

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAÍSO – CHILE



“OPTIMIZACION DE UN SILO TRAILER
SEMIRREMOLQUE PARA EL TRANSPORTE DE
CAL”

NICOLÁS ANDRES MIRANDA MUÑOZ

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: Ing. RAFAEL MENA YANSSEN

PROFESOR CORREFERENTE: Dr. Ing. CHRISTOPHER NIKULIN CH.

Marzo 2018

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a todos aquellos que participaron durante mi vida universitaria y fueron parte de este proceso. Para comenzar, agradezco infinitamente a mi familia, a mis padres que me incentivaron y alentaron constantemente, dándome ánimos cada vez que era necesario, por darme las facilidades de estudio y por ser grandes tutores. A mi hermana por estar siempre conmigo y a mi hermano pequeño, que me motiva a superarme para mostrarle las cosas que se pueden realizar con estudios.

Agradezco además a las personas que fueron como mi otra familia dentro de este proceso, personas con las cuales logré compartir más allá de lo académico, que estuvieron en todo momento al lado entregando alegría y amor cuando fue necesario, a los que me soportaron en momentos difíciles, a mis compañeros los cuales comenzamos y también a los que terminamos, a mis amigos de infancia. Su apoyo constante fue un gran impulsor para que este proceso culminara.

También agradezco a mi profesor guía Rafael Mena Yansen, por darme la posibilidad de tomar trabajar bajo su tutela, por la disposición mostrada al momento de las dudas, por la cercanía y por la confianza en mi trabajo. Agradezco también a Francisco Mena, y Franco Arancibia por su buena disposición y la ayuda otorgada dentro del laboratorio. Muchas gracias a cada uno de ustedes.

Abstrac

The following document includes the design and manufacture of a dry bulk trailer for the transport of quick lime in the mining industry that complies with all the stipulated basic parameters and requirements required by the current regulations applicable to the carriage of goods by road in our country.

That is why it starts by analyzing the different types of dry bulk trailer used in the carriage of dry bulk materials for various production processes, analyzing designs that are found in the national and international market, which are designed and manufactured under safety regulations that guarantee the reliable transfer of raw materials. Mainly, Cal is analyzed as raw material used in mining, with its characteristics and properties, considering statistical data and the current situation in Chile.

In addition to presenting the different types of semi-trailer silos in the industry, their main components are described, the different manufacturing materials, load capacities, accessories necessary to perform a fluid discharge of the material, accessories to ensure the transfer of materials on land routes are defined. , among others.

In summary, the development of this project consists of proposing a design made in software and analyzing it using finite element analysis technology in order to optimize the load capacity and construction costs of the semi-trailer silo, as well as selecting high-end elements and accessories to guarantee the transfer and unloading of the material.

For this case, the minimum thickness of the bulk is 6.35 [mm] if an ASTM A572 steel is used, and 10 [mm] using an Aluminum A6061 T-6 as manufacturing material. Considering these thicknesses, the materials for the structure, electrical accessories, among others,. The estimated manufacturing value is \$ 28.000.384 and \$ 36.305.054 CLP, with aluminum being the most expensive value due at the high cost of the material. The difference between both is not only of value, but also in an increase of the useful load capacity per route made of 9% in favor of the prototype built of aluminum.

Resumen

El siguiente documento comprende el diseño y fabricación de un silo semirremolque para el transporte de cal viva en la industria minera que cumpla con todos los parámetros y requerimientos básicos estipulados que exige la normativa vigente aplicable al transporte de carga pesada a través de las rutas terrestres en nuestro país.

Es por ello que se inicia analizando los diferentes tipos de silo semirremolque utilizados en el transporte de materiales a granel de bajo tamaño de partículas para variados procesos productivos, se analizan diseños que se encuentran tanto en el mercado nacional como internacional, que son diseñados y fabricados bajo normas de seguridad que garanticen el traslado confiable de materias primas. Principalmente se analiza la Cal como materia prima utilizada en la minería, con sus características y propiedades, considerando datos estadísticos y la situación actual de Chile.

Además de presentar los diferentes tipos de silos semirremolque en la industria se describen sus principales componentes, se definen los diferentes materiales de fabricación, capacidades de carga, accesorios necesarios para realizar una descarga fluida del material, accesorios para garantizar el traslado de materias en rutas terrestres, entre otros.

En resumen, el desarrollo de este proyecto consta en proponer un diseño realizado en software y analizarlo mediante tecnología de análisis de elementos finitos con el fin optimizar la capacidad de carga y los costos de construcción del silo semirremolque, además de seleccionar elementos y accesorios de alto desempeño para garantizar el traslado y descarga de material.

Para este caso los espesores mínimos del silo corresponden a 6,35 [mm] si se utiliza un acero ASTM A572 gr 60 y 10 [mm] utilizando un Aluminio A6061 T-6. Considerando estos espesores, los materiales para la estructura, accesorios eléctricos y de rodados en general, mano de obra, entre otros, se estima un valor de construcción de \$ 28.000.384 y \$ 36.305.054 pesos chilenos, siendo el aluminio el valor más caro debido al alto costo del material. La diferencia entre ambos no es solo de valor, sino también en un aumento de la capacidad de carga útil por recorrido realizado de un 9% a favor del prototipo construido de aluminio.

Tabla de contenidos

Listado de figuras.....	ix
Listado de Tablas	xi
Listado Anexos	xii
Glosario.....	xiii
Introducción	xiv
Objetivos.....	xvii
1 Introducción e Información General Transporte de Materiales en Ruta, Configuración de los Vehículos de Carga y Normativa Aplicable en Chile.	1
1.1 Clasificación de los semirremolques	2
1.2 Silos semirremolque.....	3
1.3 Tipos de Silo Semirremolque.....	5
1.4 Normativa Aplicable	8
1.4.1 Capacidad máxima de transporte:	9
1.4.2 Dimensiones máximas permitidas transporte ruta.	10
2 Características, antecedentes, propiedades y estadísticos de la Cal.....	11
2.1 Tipos de Cal	13
2.2 Características Principales de la Cal viva en Chile.....	14
2.2.1 Granulometría:	14
2.2.2 Densidad de la Cal	14
2.3 Aplicaciones de la cal en minería según su tipo	15

2.4	Situación de la Cal en Chile.....	16
2.5	Transporte, manejo y almacenamiento de Cal bajo normativa Chilena	17
3	Componentes funcionales, propuestas de diseño, análisis alternativas, materialidad de fabricación y selección de modelo.	19
3.1	Componentes funcionales para el transporte en ruta	19
3.2	Componentes funcionales del silo neumático.....	20
3.3	Alternativa de diseño a considerar	30
3.4	Volumen de almacenamiento a considerar	31
3.5	Análisis de alternativas a considerar	32
3.5.1	Diseño preliminares	32
3.5.2	Diseño A	33
3.5.3	Diseño B.....	34
	Parámetro de evaluación diseño.....	34
4	Simulación y Análisis esfuerzo en condiciones de operación del Silo Semirremolque considerando diferentes materialidades.	37
4.1	Análisis estructural bajo carga estática:	38
4.1.1	Resultado análisis estructural bajo carga estática considerando elementos finitos prototipo aluminio según el criterio de Von Misses:	39
4.1.2	Resultado análisis estructural bajo carga estática considerando elementos finitos prototipo acero según el criterio de Von Misses:.....	40
4.2	Análisis bajo condición de movimiento:.....	40
4.2.1	Resultado análisis estructural bajo condición de movimiento prototipo acero:	41

4.2.2	Resultado análisis estructural bajo condición de movimiento prototipo aluminio:..	41
4.3	Análisis bajo Condiciones de trabajo (Carga y descarga del material):	42
4.4	Análisis diferentes materialidad construcción estanque silo	44
4.4.1	Silo tráiler de aluminio y silo tráiler de acero	45
5	Estimación y análisis de costos de fabricación silo semirremolque para el transporte de cal viva	48
5.1	Costo Mano de Obra:	49
5.2	Costos de elementos rodados y eléctricos:.....	52
5.3	Costo de materiales estructurales y funcionales:	55
5.4	Costo elementos neumáticos.....	61
	Costos Variados	62
5.4.1	Costo cilindrado:.....	62
5.4.2	Costo Traslado:	62
5.4.3	Costo Tratamiento Superficial:	63
5.4.4	Costo Soldadura e insumos.....	63
5.5	Análisis costos de Fabricación.....	65
6	Conclusiones y recomendaciones:	67
	Datos estadísticos del mallado modelo aluminio.....	74
	Asimetría (Skewness) modelo aluminio:	75
	Ortogonalidad (Orthogonal Quality) prototipo Aluminio:	75
	Dato estadístico mallado modelo acero.	76
	Asimetría (Skewness) modelo acero:.....	76

Ortogonalidad (Orthogonal Quality) prototipo acero:	77
Análisis bajo la acción de frenado:	78
Análisis bajo el ADR:	79
Análisis bajo recomendaciones de ACHS:	79
7 Referencias.....	85

Listado de figuras

Figura 1: Imagen planta INACAL, despacho. (Inacal, 2017)	xiv
Figura 2: Grafico Participación según tipo de vehículos de transporte en ruta. Elaboración propia, fuente INE.	2
Figura 3: Semirremolque en V típicamente utilizando en la industria de cemento.	5
Figura 4: Diferentes silo semirremolques con Conos descarga a 45° utilizados en la industria nacional	6
Figura 5: Semirremolque Silo "Tipping" Cilíndrico típico.	7
Figura 6: Proceso Productivo de la cal simplificado, fuente INACAL	12
Figura 7 Grafico aplicaciones de la cal. fuente "La Cal es un Reactivo" (Coloma Alvarez, 2008)	16
Figura 8: Distintivo Sustancias peligrosas clase 8 segun NCh 2190/8	17
Figura 9: Esquema diagrama con componentes funcionales sistema neumático, elaboración propia.	21
Figura 10: Tipo filtro de aire. (BTI, 2018)	22
Figura 11: Válvula de alivio o seguridad utilizados en contenedores a presión. (BTI, 2018)	23
Figura 12: Válvula unidireccional típica, más conocida como válvula "check" (BTI, 2018)	23
Figura 13: Manómetro típico presión línea descarga	24
Figura 14: "Hopper tee", Tee de descarga de tolva. (BTI, 2018)	25
Figura 15: Válvula Mariposa utilizada en la descarga de la tolva.	25
Figura 16: Sistema de Aireadores en tolva de descarga, (BTI, 2018)	26
Figura 17: Válvula de aireación utilizada en los sistemas neumáticos de aireación. (BTI, 2018)	26
Figura 18: Acoples tipo Camlock en la industria	27
Figura 19: Manguera típica utilizada para descarga Cal	27
Figura 20: Manómetro utilizado para medir presión del contenedor.	28
Figura 21: Falla por sobrepresión sobre estructura cilíndrica del silo (BTI, 2018)	28
Figura 22: Escotilla Tipo utilizada en tanques a presión.	29
Figura 23: Silo Semirremolque fabricado por Maestranza Italia Ltda.	30
Figura 24: Silo Semirremolque típico mercado internacional	31
Figura 25: Vistas generales alternativa A del silo semirremolque.	33
Figura 26: Vistas generales alternativa B del silo semirremolque.	34
Figura 27: Gradiente de presión hidrostática para el modelo en acero $e = 6,4 \text{ [mm]}$	39
Figura 28: Gradiente de presión hidrostática modelo en aluminio $e = 10 \text{ [mm]}$	39
Figura 29: Resultados obtenidos bajo carga estática modelo aluminio.	39
Figura 30: Resultados obtenidos bajo carga estática modelo acero.	40
Figura 31: Resultados obtenidos bajo condiciones de movimiento prototipo acero	41

Figura 32: Resultados obtenidos bajo condiciones de movimiento prototipo aluminio. _____	41
Figura 33: Soplador tipo Betico de accionamiento por correa. _____	42
Figura 34: Esfuerzos generados sobre el silo por una presión interior de 3 Bar, prototipo aluminio. _____	43
Figura 35: Esfuerzos generados sobre el silo por una presión interior de 3 Bar, prototipo acero. _____	44
Figura 36: Esquema representativo fuerzas para calcular reacciones en ejes. Elaboración propia. _____	53
Figura 37: Diagrama cuerpo libre para cálculo de reacciones en ejes, elaboración propia. _____	53
Figura 39: Subdivisiones correspondientes a secciones del silo, elaboración propia. _____	56
Figura 40: Desarrollo Calderería considerando planchas de 12000x2440 [mm], elaboración propia. _____	57
Figura 41: Desarrollo Calderería para Aluminio considerando planchas de 1220x3000 [mm], elaboración propia. _____	58
Figura 42: Grafico costos constructividad acero, elaboración propia. _____	65
Figura 43: Grafico costos constructividad aluminio, elaboración propia. _____	66
Figura 44: Rangos de calidad de mallado de asimetría y ortogonalidad. _____	74
Figura 45: Datos generales mallado Ansys. _____	75
Figura 46: Datos asimetría modelo aluminio. _____	75
Figura 47: Distribución estadística elementos parámetro asimetría modelo aluminio _____	75
Figura 48 : Valores parametro ortogonalidad modelo aluminio _____	75
Figura 49: Distribución estadística elementos ortogonalidad modelo aluminio. _____	76
Figura 50: Valores parámetro asimetría modelo acero. _____	76
Figura 51: Distribución estadística elementos asimetría modelo acero _____	77
Figura 52: Valores parámetro ortogonalidad modelo acero _____	77
Figura 53: Distribución estadística elementos ortogonalidad modelo acero. _____	77
Figura 54: Esquema fuerzas bajo acción de frenado (aceleración negativa) _____	78
Figura 55: Dimensiones típicas modelo New Actros 2651 LS 6x2 _____	81
Figura 56: Eficiencia deposición para diferentes procesos de soldadura. _____	82
Figura 57: Tabla Peso metal depositado según espesor de soldadura "Manual de soldadura Indura" _____	82
Figura 58: Grafico velocidad deposición considerando Mig Tubular _____	83
Figura 59: Cantidad de gas necesario para proteccion por unidad de tiempo, fuente indura. _____	83
Figura 60: Diferentes gases de protección según metal base, fuente Indura _____	83
Figura 61: Material de aporte recomendado para soldar aluminio 6061, con mig. (INDURA, 2013) _____	84
Figura 62: Alambre aporte sistema mig para soldar acero al carbono de alta resistencia mecánica. _____	84

Listado de Tablas

<i>Tabla 1: Peso por eje o conjunto de ejes, medido en toneladas.</i>	9
<i>Tabla 2: Combinación de un camión con un semirremolque, con eje posterior simple o doble</i>	10
<i>Tabla 3: Dimensiones máximas de vehículos de carga que circulan por caminos públicos.</i>	10
<i>Tabla 4: Tabla resumen granulometría comercializa en Chile según INACAL.</i>	14
<i>Tabla 5: Densidad de la cal suelta y compacta según INACAL.</i>	15
<i>Tabla 6: Datos Característicos Alternativa Diseño a considerar</i>	36
<i>Tabla 7: Carga útil disponible considerando acero y aluminio como materialidad de construcción.</i>	46
<i>Tabla 8:</i>	49
<i>Tabla 9: Tabla estimación de horas hombre y costos del personal.</i>	52
<i>Tabla 10: Costos de los equipos y elementos de rodados y eléctricos.</i>	54
<i>Tabla 11: Estimación de costos asociado a cantidad de materiales (Planchas, perfiles, etc) de acero a utilizar.</i>	59
<i>Tabla 12: Estimación de costos asociado a cantidad de materiales (Planchas, perfiles, etc.) de aluminio a utilizar.</i>	60
<i>Tabla 13:</i>	61
<i>Tabla 14: Costos asociados al cilindrado de los mantos que componen el silo.</i>	62
<i>Tabla 15: Costo estimado de arriendo de un camión para el traslado de materiales</i>	62
<i>Tabla 16: Costo tratamiento superficial aplicado al prototipo fabricado de acero.</i>	63
<i>Tabla 17: Costos estimados de soldadura asociados al prototipo de acero.</i>	64
<i>Tabla 18: Costos estimados soldadura asociados al prototipo de aluminio</i>	64
<i>Tabla 19: Costos constructividad considerando acero ASTM A572 como material de construcción.</i>	65
<i>Tabla 20: Costos constructividad considerando aluminio como material de construcción.</i>	66
<i>Tabla 21: Tabla propiedades mecánicas ASTM A572:</i>	72
<i>Tabla 22: Tabla propiedades mecánicas Aluminio 6061-T6:</i>	72
<i>Tabla 23: Tipos de remolque y semirremolques</i>	73
<i>Tabla 24: Clases de remolques y semirremolques</i>	73
<i>Tabla 25: Cargas de diseño de paredes frontales</i>	80

Listado Anexos

<i>Anexo A. Ficha especificaciones generales de los diseños propuestos:</i>	<i>69</i>
<i>Anexo B. Planos Silo Semirremolque</i>	<i>71</i>
<i>Anexo C. Propiedades mecánicas materiales analizados.</i>	<i>72</i>
<i>Anexo D. Clasificación de los semirremolques.</i>	<i>73</i>
<i>Anexo E. Calidad mallado Ansys.</i>	<i>74</i>
<i>Anexo F: Condiciones de movimiento consideradas para el análisis.</i>	<i>78</i>
<i>Anexo G. Distancia entre eje extremos</i>	<i>81</i>
<i>Anexo H. Costos Soldadura.</i>	<i>82</i>

Glosario.

<i>Aireadores:</i>	<i>Aireadores vibratorios que mantienen en movimiento los materiales secos a granel, manteniendo un flujo constante y acelerando la descarga.</i>
<i>E:</i>	<i>Empuje en [kN] que ejerce la masa transportada sobre la pared de semirremolque.</i>
<i>Eficiencia deposición:</i>	<i>Capacidad de deposición dependiendo del tipo de soldadura a utilizar.</i>
<i>Eje doble:</i>	<i>Un conjunto de dos ejes cuya distancia entre centros de ruedas es superior a 1.20 metros e inferior a 2.40 metros.</i>
<i>Eje triple:</i>	<i>Un conjunto de tres ejes cuya distancia entre centros de ruedas extremas es superior a 2.40 metros e inferior a 3.60 metros.</i>
<i>Deposición:</i>	<i>Adición de material de aporte.</i>
<i>h :</i>	<i>Altura del semirremolque [m].</i>
<i>ml:</i>	<i>Metros lineales de soldadura [m].</i>
<i>Peso bruto vehicular:</i>	<i>Peso máximo legal para un vehículo.</i>
<i>Pc :</i>	<i>Peso máximo correspondiente a la clase del remolque o semirremolque, en [KN].</i>
<i>Pom :</i>	<i>Corresponde al peso total del semirremolque y el tracto-camión con depósito al 80% o 100% de capacidad (depende de la fuente), todos sus fluidos, rueda de repuesto y un peso añadido de 75 [kg] como conductor.</i>
<i>Tara:</i>	<i>Peso del recipiente o vehículo físico donde se contiene o transporta alguna mercancía.</i>
<i>Tracto-camión:</i>	<i>Vehículo a motor diseñado y equipado para arrastrar un semirremolque, mediante un dispositivo denominado quinta rueda.</i>
<i>Velocidad de deposición:</i>	<i>Cantidad de material de aporte depositado por unidad de tiempo [kg/s].</i>

Introducción

Hoy en día el desarrollo económico del país va de la mano con la capacidad productiva de las industrias que se desarrollan en el territorio nacional, esto ha ocasionado que las grandes compañías aumenten el consumo de insumos, mercancías y materia primas esenciales para sus procesos productivos, buscando en gran manera el máximo beneficio de los recursos utilizados.

El incremento del consumo de insumos y materias primas para diferentes procesos productivos comprende un aumento de la flota de los vehículos de carga que abastecen la industria nacional, además considerando el rol fundamental que cumple el transporte dentro de la cadena de producción se hace necesario adquirir vehículos de transporte de alta eficiencia, seguros y que garanticen el traslado de mercancías requeridas en la industria. Según el presidente de la confederación nacional de dueños de camiones de Chile *“la industria del transporte genera el 5% del PIB y moviliza el 95% de las cargas en el país.”* (Ayala, Conferencia conmemoración día del camionero, 2017)



Figura 1: Imagen planta INACAL, despacho. (Inacal, 2017)

Ahora si consideramos la situación económica a nivel país, la minería sigue siendo la principal fuente económica de Chile y el área con mayor inversión extranjera, logrando aportar alrededor de un 9% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional durante el año 2017 (Minería Chilena, 2017). En la minería se identificaron 6 insumos críticos según análisis del mercado en la minería del cobre (Cal, bolas de molienda, camiones de extracción, palas de carguío, neumáticos OTR y floculantes) cuya situación de abastecimiento podría ser crucial para las operaciones mineras de mediano y largo plazo de nuestro país, es aquí en donde garantizar el traslado juega un rol fundamental. El

consumo de cal en la minería del cobre corresponde mayoritariamente a los procesos de flotación de concentrados, llegando a consumos unitarios de cal por tonelada de mineral procesado que varían entre 1,5 a 1,7 kg/ton de mineral procesado, estimándose una demanda base de cal para el año 2018 de 1.030.000 toneladas de cal solo para el proceso de flotación y alrededor 262.000 toneladas para usos variados como en fundiciones, cianuración, entre otras aplicaciones.

La cal es distribuida hacia las distintas faenas mineras de nuestro país mediante el carguío a granel en distintos tipos de camiones, ya sea en maxisaco o big bag como en contenedores neumáticos que evitan el contacto del material con el medio ambiente adaptándose a las variaciones y contingencias de las operaciones de transporte.

La importancia de la cal a la minería y los grandes volúmenes que se demandan requieren de un transporte seguro por las rutas terrestres de nuestro país, un transporte que se realice de una manera eficiente, que garantice que las propiedades del material no cambien desde la planta de cal hacia las faenas mineras.

Los sistemas logísticos de transporte intentan optimizar su operación, eligiendo los medios, distribuyendo bien los recorridos y aumentando la cantidad de carga en viaje. En relación a esto, debe analizarse el peso trasladado en cada recorrido, el peso propio del semirremolque denominado Tara y el Peso Bruto Vehicular que corresponde al peso total de transporte (incluye Tara y peso de materias transportadas). Considerando que el peso propio incide directamente sobre la capacidad de carga, una manera de aumentarla consiste en reducir el peso de la estructura buscando lograr apropiada relación de resistencia mecánica con su estructura optimizando su manufactura y reduciendo los costos de producción de los remolques o semirremolques utilizados para el transporte terrestre de cal.

Hoy en día las empresas extranjeras (Chinas, brasileras, entre otros) se han desarrollado en equipos de transporte en nuestro país, exhibiendo equipos de variada calidad y costos. Debido a esto las empresas nacionales han perdido terreno y por ende es primordial obtener una mayor cuota de participación dentro el mercado ofreciendo equipos de mayor competitividad en la industria de transporte.

Una solución a este inconveniente es proponer un diseño de un semirremolque para el transporte de cal viva, cemento u otro material pulverizado que cumpla con los requerimientos de normativas nacionales y regulaciones existentes para el transporte en rutas terrestres, además de garantizar tanto la carga, traslado y descarga del material.

Objetivos

El crecimiento del consumo de Cal en Chile es significativo y es considerado uno de los insumos críticos en la minería, alcanzando promedios de 1.400.000 [ton/año] trasladados por vía terrestre desde las unidades productivas hacia las plantas de proceso localizadas en nuestro país.

General

Optimizar la capacidad de carga del silo semirremolque para distintas materialidades de fabricación del silo, asegurando su desempeño y vida útil para el transporte de sólidos a granel en polvo. Como material de referencia se utilizará Cal, considerando las distintas condiciones de operación y de servicio a la cual puede ser sometido.

Específicos

- Proponer un diseño optimizado y generar un modelo tridimensional para un silo semi-remolque de aplicación industrial.
- Someter el modelo a los esfuerzos generados por las distintas condiciones de presurización y operación para distintos materiales (aleaciones de acero y aluminio) utilizando métodos de elementos finitos para optimizar el espesor de pared del silo.
- Determinar y seleccionar los accesorios necesarios para el funcionamiento y transporte en ruta según la normativa vigente en el territorio nacional. (piping, válvulas, aireadores, ejes, luces, etc.).
- Determinar el costo de fabricación y concluir respecto de las ventajas e impacto económico que presentaría el modelo optimizado respecto del normalmente utilizado en la industria nacional.

1 Introducción e Información General Transporte de Materiales en Ruta, Configuración de los Vehículos de Carga y Normativa Aplicable en Chile.

El transporte de cargas por carretera corresponde a una de las actividades más relevantes en cualquier lugar del mundo, ya que permite conectar ciudades, regiones e incluso admite la conexión entre distintos países. Permitiendo tener al alcance de las personas y empresas productos, servicios y materias primas que no se encuentran en su región país. Esta importante característica del transporte en ruta lo convierte en un factor determinante para la economía y desarrollo de cualquier país.

En ese sentido, el transporte y distribución de recursos y materias primas, conforman el servicio más relevante para acceder a los mercados de forma segura, oportuna, eficiente y sustentable.

Según el presidente de la Confederación Nacional de Dueños de Camiones de Chile, Juan Araya:

“Hay unas 40.000 empresas de transporte en Chile con 160.000 camiones, tractos y equipos que en conjunto movilizan el 95% de las cargas. Esto significa anualmente, en términos aproximados, unas 700 millones de toneladas, incluyendo los volúmenes del consumo interno, exportación e importación. La industria genera una parte importante del Producto Nacional; el PIB chileno en 2016 fue cercano a los 245.000 millones de dólares, el transporte participó con el 5%, unos US\$ 12.000 millones. Un dato no menor es que este año se venderá una cifra cercana a los 12.000 camiones nuevos” (Ayala, Conferencia conmemoración día del camionero, 2017)

Este enorme volumen vehicular demuestra que el transporte de cargas en ruta es el eje del encadenamiento productivo del país. Ya que cualquier objeto o bien físico en algún momento de su cadena logística fue movilizado mediante el transporte en ruta.

El siguiente grafico demuestra la participación dentro del transporte de carga por carretera según el tipo de vehículos, en el cual se aprecia que los camiones lideran el segmento

seguido de los semirremolques acoplados a un tracto camión poseen un 32% de participación dentro del transporte de carga por carretera.

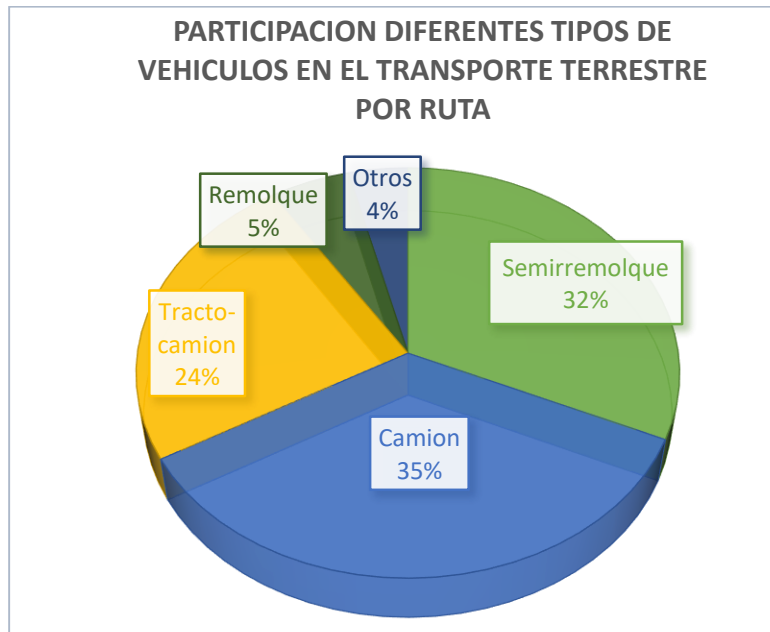


Figura 2: Grafico Participación según tipo de vehículos de transporte en ruta. Elaboración propia, fuente INE.

1.1 Clasificación de los semirremolques

Como primera etapa de este trabajo es preciso considerar ciertas normativas que nos indican la clasificación de semirremolques, dimensiones máximas, tipo de silo semirremolques en la industria, cargas máximas admitidas, entre otras.

Atendiendo a la normativa chilena (NCH 1609, of 79), los remolques y semirremolque se clasifican por su peso total en 13 diferentes clases (Ver tabla Anexo D).

Para este estudio la clasificación según el peso es de la clase 11, un peso mayor a 30 toneladas hasta inclusive 35 toneladas.

Según el servicio al que se destinan los remolques y semirremolques se clasifican en 8 tipos distintos. Para el transporte de productos a granel, la clasificación corresponde a un semirremolque 5 tipo tolva, cuya letra de identificación corresponde a una T.

Por ultimo, los remolques y semirremolques se designan por letras como se indica a continuacion:

SR → Semirremolques.

R → Remolques.

Por lo tanto la desingacion correspondiente al semirremoque para el transporte de materiales a granel, adquiere el la siguiente clasificacion: **SR-T-11**

Bajo este contexto, el estudio que se presentara a continuación corresponde a los semirremolques, vehículos sin eje delantero destinados a ser acoplados a un tracto camión de manera que el semirremolque sea arrastrado y soportado por parte del tracto camión.

Si bien existen diferentes tipos de semirremolques, en el desarrollo de este trabajo se hará referencia a los semirremolques para el transporte de materiales a granel, más específicamente a los que se necesitan para el desarrollo del país, como lo son el cemento, áridos, azúcar, cal, harinas, entre otros productos químicos, alimenticios y materiales de construcción. Y justamente en ese ámbito los silos semirremolques presentan las mejores características para garantizar el transporte en ruta.

1.2 Silos semirremolque

Los silos semirremolque tienen la forma de un estanque como cuerpo principal, generalmente fabricado con una aleación de acero que varía a partir de la aplicación final que tendrá el contenedor. Este contenedor es el que evita el contacto directo del material a transportar con el ambiente, generando una condición de hermeticidad del estanque. Habitualmente cuando el silo semirremolque se encuentra en operación, las presiones en el interior del silo varían incluso al nivel de provocar sobrepresiones dentro del estanque, es por ello que es necesario el uso de manómetros para medir presión interior y el uso de válvulas de alivio o seguridad, para evitar sobrepresiones y daños irreversibles al silo.

El estanque además de poseer válvulas de seguridad y manómetros, está construido con una base cónica, denominada tolva descarga. Esta tolva es la encargada de forzar al material hacia la descarga. Los silos semirremolques más actualizados cuentan con un sistema de aireación que facilita la descarga con pequeñas pulsaciones de aire que transforman el material almacenado a una condición de fluidez, evitando obstrucciones y asegurando la descarga.

Todo el sistema de almacenamiento está montado sobre una estructura de apoyo (bastidores y soporte tanque) que además de sostener el estanque y la estructura, se encarga de fijar los distintos elementos y grupos mecánicos (suspensión, tambor de frenos, ejes, luces, etc.)

En fin, un silo semirremolque puede presentar variadas geometrías, volúmenes, materialidades y accesorios. Dependiendo de estas características se logra atender a las diferentes necesidades operaciones que presentan los diversos materiales a granel que son transportados a través de las carreteras de nuestro país.

A continuación se ilustra alguno de los diferentes tipos de semirremolque utilizados en la industria:

1.3 Tipos de Silo Semirremolque



Figura 3: Semirremolque en V típicamente utilizando en la industria de cemento.

El silo semirremolque en V usualmente posee capacidades de almacenamiento menores a 30 m^3 , y posee solo una descarga al centro del estanque contenedor, la descarga del material es aero asistida, ya que el silo posee un sistema de vibradores en el cono de descarga como también en la base V. Este tipo de silo semirremolque es perfectamente apto para transportar variedades de materiales como: Cemento, Cal, Cenizas, azúcar, entre otros.

El siguiente tipo de silo es el silo más visto dentro de la industria del transporte de materiales a granel, tiene una gran variedad de capacidades, siendo la más común alrededor de los 30 m³, posee variados conos de 45° de descarga (desde 1 a 4 dependiendo de la capacidad de almacenamiento), cada uno de estos conos posee un sistema asistido de aireadores para la descarga (Habitualmente 3 aireadores por cono). En cuanto a la materialidad; en el mercado se pueden encontrar de aleaciones de acero, acero inoxidable y aluminio.



Figura 4: Diferentes silo semirremolques con Conos descarga a 45° utilizados en la industria nacional

Otro tipo de Silo Semirremolque que se utiliza para el transporte de solidos a granel es el silo semirremolque denominado “Tipping”, el cual consta de un pistón basculante diseñado para ser utilizado como mecanismo de elevación para facilitar la descarga por la única descarga ubicada en la parte posterior del semirremolque, sus volúmenes de carga son elevados (desde 38 m³ hasta 90 m³).



Figura 5: Semirremolque Silo “Tipping” Cilíndrico típico.

Si bien este tipo de silo semirremolque resulta bastante llamativo, la elevación del estanque por medio del mecanismo de elevación puede interferir con alguna instalación al momento de efectuarse la descarga. Además existe evidencia de casos de este tipo de silos semirremolques volcados por uso inadecuados.

1.4 Normativa Aplicable

Dentro del marco regulatorio a nivel nacional para la fabricación de semirremolques existen una serie de normativas que hacen alusión y limitan el diseño, desarrollo y fabricación de remolques, semirremolques, tolvas sobre camión y equipos especiales utilizados para el transporte de carga por carretera.

Las siguientes normativas corresponden a las normativas legales vigentes en Chile a la fecha que son aplicadas con el fin de aumentar la seguridad en las rutas terrestres dentro del territorio nacional:

- I. Resolución No 1/95, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Establece dimensiones máximas a vehículos que circulen en vías públicas.
- II. Decreto Supremo No 158/80, Ministerio de Obras Públicas, Fija el peso máximo de los vehículos que pueden circular por caminos públicos.
- III. Decreto No 75 Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Establece condiciones para el transporte de Cargas.
- IV. Resolución No 303/94, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Establece exigencia de relación potencia/peso mínima a vehículos camión con remolque y tracto camión con semirremolque.
- V. Resolución No 1465/00, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Dispone utilización de cintas reflectantes en vehículos de carga, sus remolques y semirremolques.

- VI. Resolución No413/02, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Fija características y condiciones de uso de luz de seguridad en vehículos de transporte de cargas peligrosas por calles y caminos.
- VII. Resolución No1464/00, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Dispone la utilización de luces en la parte lateral de vehículos de carga, sus remolques y semirremolques.
- VIII. Resolución No1463/00, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Establece parachoques tipo anti empotramiento en la parte trasera de vehículos de carga, sus remolques y semirremolques.

En resumen considerando el contexto de fabricación y los aspectos regulados en Chile de gran relevancia para el diseño de un silo semirremolque son establecidos principalmente por Resolución No 1/95, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, y por el Decreto Supremo No 158/80, Ministerio de Obras Públicas, los cuales regulan las dimensiones y pesos máximos permisibles para transitar por caminos públicos.

1.4.1 Capacidad máxima de transporte:

Como fue descrito anteriormente el Decreto Supremo No 158/80, limita los pesos máximos permitidos para el transporte en ruta de nuestro país.

A continuación la siguiente tabla hace referencia la cantidad de peso máximo permitido a un vehículo dependiendo del número de ejes y la disposición de rodado, según el MOP:

Tabla 1:
Peso por eje o conjunto de ejes, medido en toneladas.

EJE	RODADO	[TONS.]
SIMPLE	SIMPLE	7

SIMPLE	DOBLE	11
DOBLE	SIMPLE	14
DOBLE	DOBLE + SIMPLE	16
DOBLE	DOBLE	18
TRIPLE	SIMPLE	19
TRIPLE	2 DOBLE + 1 SIMPLE	23
TRIPLE	DOBLE	25

Fuente: Decreto n°158 del ministerio de obras públicas MOP.

Los pesos máximos permitidos según el ministerio de obras públicas (MOP), para la combinación de un camión con un semirremolque con eje posterior o dobles, son los siguientes:

Tabla 2:

Combinación de un camión con un semirremolque, con eje posterior simple o doble

DISTANCIA [m]	PESO BRUTO TOTAL [TONS]
MENOS DE 13	39
ENTRE 13 Y 15	42
MAS DE 15	45

Fuente: Decreto n°158 del ministerio de obras públicas MOP.

1.4.2 Dimensiones máximas permitidas transporte ruta.

En relación a la protección del tráfico fluido y seguro dentro de ruta terrestre, y además de asegurar la protección de la infraestructura vial nace la Resolución No 1/95 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, la cual dispone que los vehículos que circulen por la vía pública no pueden exceder las siguientes dimensiones:

Tabla 3:

Dimensiones máximas de vehículos de carga que circulan por caminos públicos.

A. Ancho Máximo Exterior, con o sin carga (No se consideran los espejos retrovisores exteriores ni sus soportes)	2,60 m
B. Alto Máximo, con o sin carga (sobre el nivel del suelo)	4,20 m
C. Largo Máximo (Considerado entre los extremos anteriores y posteriores del vehículo)	-
I. Camión	11,00 m
II. Semirremolque (exceptuando el semirremolque especial para el transporte de automóviles)	14,40 m
III. Remolque (no se considera la barra de acoplamiento)	11,00 m
IV. Tractor-camión con semirremolque	18,60 m
V. Camión con remolque o cualquier otra combinación	20,50 m
VI. Tracto camión con semirremolque especial para el traslado de automóviles.	22,40 m

Fuente: Resolución No 1/95, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

2 Características, antecedentes, propiedades y estadísticos de la Cal.

La cal u óxido de calcio deriva del resultado de la calcinación de piedras sedimentarias, compuestas en su mayor parte por carbonado de calcio (CaCO_3), denominadas piedras calizas. Estas piedras calizas aparecen en rocas sedimentarias en forma de magnesita, calcita y dolomita mineral. Se pueden diferenciar fácilmente del resto de las rocas por sus dos principales características físicas y químicas, posee una dureza 3 en escala de Mohs (menos dura que el cobre) y reacciona instantáneamente en presencia de ácidos.

Para la obtención de cal viva a granel, en su forma granulada o en polvo, la caliza debe atravesar un proceso productivo que inicia en la mina con la extracción de piedras calizas para luego pasar por un proceso chancado y clasificación primaria, luego es trasladada a plantas productoras de caliza en donde son acopiadas, clasificadas y dispuestas para el proceso de calcinación, en donde la caliza es calcinada por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio para luego almacenarla, el método más común de transporte de cal es mediante tracto camiones silos o camiones tolva.

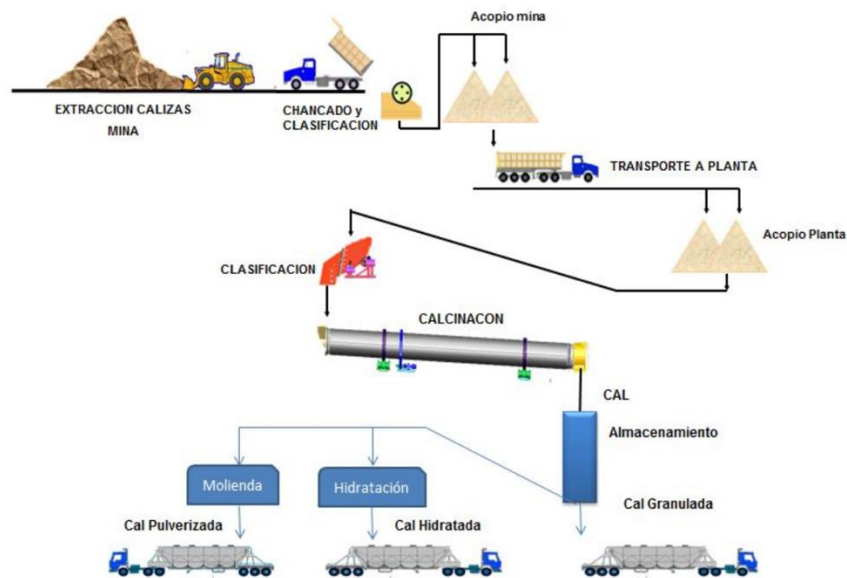


Figura 6: Proceso Productivo de la cal simplificado, fuente INACAL

Entre las características de la Cal más destacables encontramos su alta alcalinidad, posee un pH cercano a 12 que aporta la capacidad de estabilizar mezclas a un pH determinado, y

sus propiedades como aglomerante, además si sumamos a esto el bajo costo que posee, describen a la cal en sus diferentes tipos, como uno de los químicos más utilizados en la industria, en especial a la minera como se detalla más adelante.

2.1 Tipos de Cal

En el mercado chileno, se pueden encontrar los siguientes tipos de cal:

- La cal viva corresponde a la caliza calcinada, formada principalmente por óxido de calcio enlazado con óxido de magnesio y que es capaz de hidratarse con el agua. Este tipo de cal, es el que general y mayoritariamente se produce en Chile y se encuentra de forma granulada y en polvo fino.
- Cal Apagada o Hidratada se forma mezclando la cal viva con una cierta cantidad de agua estequiométrica, de tal manera que el producto resultante es un polvo fino y seco. Si se le agrega agua con mayor abundancia el producto final puede ser una pasta de cal e incluso con suficiente agua se puede transformar en lechada de cal.
- La Cal hidráulica corresponde a una mezcla de la Cal Hidratada con un material como arcilla, ceniza volante o puzolana con el fin de que en la hidratación se generen en forma natural los silicatos y aluminatos cálcicos, en otras palabras corresponde a la Cal hidratada mezclada con materiales que faciliten el endurecimiento de la cal tanto en el aire como bajo el agua.
- La Cal Aérea es la cal viva hidratada a la intemperie, en donde se obtiene una mezcla de cal viva y cal apagada.

2.2 Características Principales de la Cal viva en Chile

2.2.1 Granulometría:

La distribución del tamaño de las partículas, que se clasifica según el tamaño de los granos a diferentes escalas de dimensión y tipos de partículas. Es una propiedad clave para el diseño de flujo de material sólido a granel, visto desde el punto de vista del transporte neumático.

INACAL clasifica la cal viva como granulada y pulverizada, presentando la siguiente granulometría:

Tabla 4:

Tabla resumen granulometría comercializa en Chile según INACAL.

Estado Material	Tamaño partículas
Cal viva granulada	1 -19 [mm]
Cal viva pulverizada	80% -200# (0,075 mm) y 90% -400# (0,038 mm)

Fuente: <https://inacal.cl/productos-y-servicios/caliza/>

2.2.2 Densidad de la Cal

La densidad de las partículas corresponde a otra de las características de mayor relevancia para describir un material, a menudo se utiliza para determinar la capacidad real de almacenamiento de un silo o recipiente, influye directamente en el cálculo de las presiones sobre el silo y transporte neumático.

La densidad que presenta la cal viva depende directamente de la compactación del material, método de llenado y descarga del silo semirremolque, entre otras. Habitualmente se considera la densidad de la cal suelta cuando el silo semirremolque es llenado.

Tabla 5: Densidad de la cal suelta y compacta según INACAL.

Densidad Aparente y Estado Material	Densidad [ton/m ³]
Cal Suelta	0,95 a 1,1

Fuente: <https://inacal.cl/productos-y-servicios/caliza/>

2.3 Aplicaciones de la cal en minería según su tipo

Como fue mencionado anteriormente, la mayor cantidad de cal que se produce y utiliza en nuestro país, corresponde a la cal viva, esta tipo de cal puede ser utilizada en todos los procesos y aplicaciones químicas, mineras, metalúrgicos e industriales, que se requiera estabilizar la acidez de una mezcla en un valor de pH determinado, ya sea como cal viva granulada, molida, cal hidratada, lechada de cal, entre otras. Dependiendo del contenido del valor alcalinizante que se quiere desarrollar para las diferentes aplicaciones en los procesos, va a variar la forma de aplicación de cada una de ellas.

En la actualidad la cal es considerada como uno de los insumos críticos para la minería y por ende sus aplicaciones dependen del estado físico que presente la cal. A continuación se resumen las aplicaciones dependiendo de su estado físico-químico:

La cal viva que se encuentra granulada se aplica en faenas industriales en la cual se dispone de un tiempo de residencia mayor a 12 minutos con el fin de que la cal logre hidratarse adecuadamente, para posteriormente liberar todos los iones de calcio y grupos de hidroxilos. También se recomienda su aplicación en procesos de flotación donde es necesario preparar grandes volúmenes de lechada de cal. La cal viva fina o en polvo, se aplica en faenas en donde se requiera un tiempo menor a 12 minutos de residencia del proceso.

El hidróxido de calcio o la cal hidratada, como ya ocurrió el proceso de hidratación, solo falta la liberación y combinación de los iones de calcio y grupos de hidroxilos, por lo que

el tiempo de residencia es mucho menor que los 2 anteriores, se recomienda aplicar este tipo de cal cuando las faenas tienen problemas de abastecimiento de aguas.

La lechada de cal es la forma más común de agregar cal a los distintos procesos que se utiliza, este tipo de cal reacciona hasta dos veces más rápido que las aplicaciones descritas anteriormente, para obtener la lechada de cal se hidrata el óxido de calcio con un exceso de agua generando una forma lechada de cal.

2.4 Situación de la Cal en Chile

Actualmente existen dos empresas que producen cal para la minería en Chile, siendo Inacal la que concentra la mayor capacidad de producción correspondiente al 92% de la capacidad de producción a nivel nacional. El mercado de la cal en Chile se divide logísticamente en dos áreas, la zona norte que tiene una demanda levemente superior al millón y la zona central (Los Bronces, El Teniente, Andina), la cual es abastecida principalmente por cal importada desde Argentina, como dato durante el año 2015, las importaciones de cal viva se mantuvieron cercanas a las 400 mil toneladas.

La siguiente tabla contiene una distribución porcentual de los diferentes usos de Cal aplicados a Chile durante un periodo de 5 años.

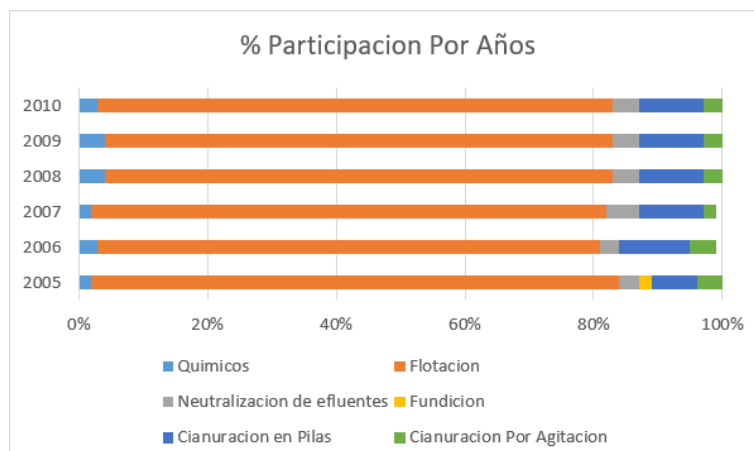


Figura 7 Gráfico aplicaciones de la cal. fuente "La Cal es un Reactivo" (Coloma Alvarez, 2008)

Es relevante destacar el consumo de cal en la minería, más específicamente el proceso de flotación logrando un 80% de participación, bajo este contexto y según Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre del 2015, realizado por la Comisión Chilena de Cobre, se estima un consumo para el año 2020 de 1.100.000 ton de Cal para la minería y alrededor de 1.800.000 ton de Cal considerando todas las aplicaciones de la Cal.

2.5 Transporte, manejo y almacenamiento de Cal bajo normativa Chilena

La cal se encuentra en el listado de sustancias peligrosas clase ¹ 8 “Sustancias corrosivas” según la Norma Chilena NCh 382, y por ende su transporte, almacenaje también se encuentra regulado por la Norma Chilena NCh 2120/8, la cual señala requisitos de seguridad con los que se deben identificar los riesgos que presentan las sustancias



Figura 8: Distintivo Sustancias peligrosas clase 8 según NCh 2190/8

peligrosas, su almacenamiento y manipulación asociados al transporte de todas las sustancias corrosivas clase 8 con la finalidad de propender la seguridad personal, colectiva, la seguridad de la propiedad y del medio ambiente.

¹ Sustancia Peligrosa: es aquella, que por su naturaleza, produce o puede producir daños momentáneos o permanentes a la salud humana, animal o vegetal, a los bienes y/o medio ambiente. Las sustancias peligrosas se conocen también como materiales peligrosos mercancías peligrosas o cargas peligrosas (NCh 382)

En cuanto al almacenamiento de la cal, como este es un material ávido de agua, se debe asegurar que tanto el transporte como el almacenamiento de la cal sea lo más hermética posible, evitando todo tipo de contactos con la humedad del ambiente, ya que si por alguna razón la cal mantiene contacto con agua, ácidos o alguna otra sustancia que contenga agua cristalizada reacciona absorbiendo el agua a gran velocidad, expandiendo su tamaño hasta 2.5 veces generando el calor suficiente para encender materiales combustibles cercanos al lugar, contenedor, o stockpiles de almacenamiento de cal.

Por ende el almacenamiento de cal, debe realizarse en contenedores debidamente sellados que garanticen que el producto no entre en contacto con alguna otra sustancia que contenga agua cristalizada.

3 Componentes funcionales, propuestas de diseño, análisis alternativos, materialidad de fabricación y selección de modelo.

Una vez ya comprendido los diferentes tipos de silos semi-remolques utilizados para el transporte en ruta, es necesario realizar un detalle más particular sobre los componentes que influyen en la operación normal del silo semirremolque para el transporte de materiales por carretera.

Principalmente se diferencian dos grandes sistemas de componentes necesarios para el funcionamiento del silo semirremolque, los componentes funcionales para el transporte en ruta y los componentes funcionales para el transporte neumático del material.

3.1 Componentes funcionales para el transporte en ruta

Todos los componentes funcionales para el transporte en ruta, como lo son los componentes del chasis (estructura principal del semirremolque), el sistema de rodados y la suportación son fabricados o tratados con materiales que poseen una buena resistencia al desgaste y a la corrosión, ya que estos elementos son los que se encuentran expuestos al agua y a otros fluidos de la superficie de la carretera.

Los componentes básicos del silo semi-remolque son:

Estructura: Componente esencial del silo semirremolque, corresponde al cuerpo del estanque con sección transversal cónica fabricada en láminas de acero o aluminio de alta resistencia, el chasis del semirremolque corresponde a dos bastidores de viga, sin alas superiores debido a que se unen directamente a la sección cónica de la tolva del silo.

Soporte: Componente encargado de unir el contenedor junto con la estructura, se soporta en los bastidores de la estructura del semirremolque, fabricado habitualmente por soportes tubulares tipo C.

Sistema de rodado: El sistema de rodado está compuesto por los ejes, la suspensión, llantas y neumáticos, el sistema de rodado es el componente encargado de absorber las irregularidades del terreno que puede presentar la ruta del semirremolque, además de facilitar el transporte del contenedor denominado silo, el sistema de rodados actúa entre la estructura (bastidores centrales) y las ruedas del semirremolque.

Sistema de frenos: El sistema de frenos es fundamental y se consideran uno de los aspectos más relevantes para garantizar la seguridad tanto del semirremolque, conductor y terceros que puedan encontrarse en la misma ruta, comúnmente se utilizan frenos de tambor para los sistemas remolcados, aunque en los últimos años se ha visto un incremento de frenos de disco en el rubro, ya que presentan un comportamiento superior frente a las altas temperaturas que se generan en una frenada de emergencia.

Otros accesorios: Se refiere a otros accesorios que son parte del semirremolque pero que no afectan en la funcionalidad de este, como por ejemplo: las luces traseras, laterales y de señalización, parachoques trasero y lateral, King pin, etc.

3.2 Componentes funcionales del silo neumático.

La Imagen a continuación muestra un diagrama esquemático de los componentes funcionales para realizar la presurización, descarga del material y posterior despresurización del silo semirremolque.



Figura 9: Esquema diagrama con componentes funcionales sistema neumático, elaboración propia.

Descripción Componentes funcionales el silo neumático

- 1) Suministro de Aire: Principalmente el suministro de aire al silo semirremolque puede provenir de dos fuentes, la primera de ellas es el suministro a través de un compresor o un soplador propio del semirremolque y la segunda corresponde al suministro de aire proporcionado por la planta. En la mayoría de los casos el suministro de aire corresponde a un compresor o soplador de desplazamiento positivo.

La presión y el flujo de aire deberán ser controlados y monitoreados, el material a transportar, el tipo de aire y el tiempo de descarga determinan los parámetros adecuados para realizar una descarga segura del material.

- 2) Filtro de Aire: Filtro encargado de remover las partículas sólidas que puedan ingresar al sistema de silo neumático, evitando la contaminación del producto.

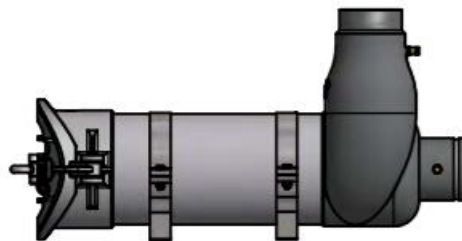


Figura 10: Tipo filtro de aire. (BTI, 2018)

- 3) Válvula de alivio o seguridad: Es casi indispensable considerar la fabricación de algún tipo de silo o estanque a presión sin considerar una válvula de alivio en él. Su función corresponde a limitar la presión que el estanque puede lograr durante su operación y habitualmente es controlada a no más de 2 [bar] de presión, y es también considerada como una protección para el compresor o soplador. Se recomienda realizar una inspección constante a este elemento, debido al alto riesgo que implicaría la falla de este componente.



*Figura 11: Válvula de alivio o seguridad utilizados en contenedores a presión.
(BTI, 2018)*

- 4) Válvula “check” o retención: Corresponde a una válvula unidireccional, ya que permite el flujo en un solo sentido, evitando posibles contraflujos y daños a las fuentes de suministro de aire.



*Figura 12: Válvula unidireccional típica,
más conocida como válvula “check” (BTI,
2018)*

- 5) Válvula Controladora descarga: Esta válvula se utiliza para controlar la presión de funcionamiento del silo y el flujo de aire que después transporta el material. Esta válvula en el comienzo de la descarga varia constantemente en posición ya que el ajuste de esta válvula debe mantener un flujo constante y una presión optima en el estanque para asegurar el transporte desde el silo semirremolque al contenedor final.
- 6) Válvula Check Sistema descarga: Válvula unidireccional utilizada como medida de seguridad con función de evitar el flujo hacia el manifold y sistema de aireación.
- 7) Manómetro presión línea descarga: Medidor e indicador de presión del silo, por ende su exactitud es vital para verificar la presión de línea y presión del interior del contenedor al momento de producirse la descarga del material.



*Figura 13: Manómetro típico
presión línea descarga*

- 8) Tee descarga tolva: Tee encargada de recibir el material y guiarlo al ducto de descarga.



*Figura 14: "Hopper tee", Tee de descarga de tolva.
(BTI, 2018)*

- 9) Válvula tipo mariposa de descarga: Habitualmente se utiliza una válvula mariposa para facilitar dar paso a la caída del material al sistema de transporte neumático, es la última válvula en abrirse y la primera en cerrar al término de la operación.



*Figura 15: Válvula Mariposa
utilizada en la descarga de la tolva.*

- 10) Sistema de aireadores: Es uno de los elementos principales para realizar una descarga eficiente del material dentro del silo, encargado de modificar el comportamiento del material de tal manera que este se comporte como un fluido.

El desgaste de los aireadores produce fugas de aire agua arriba, bloqueando el paso del aire y provocando serios problemas en la descarga, su revisión debe ser obligatoria si se requiere una descarga óptima del material.



Figura 16: Sistema de Aireadores en tolva de descarga, (BTI, 2018)

11) Válvula de Aireación: Válvula correspondiente de abrir o cerrar el paso al sistema de aireadores ubicados cada uno de los conos de descarga. El adecuado uso de esta válvula permite una descarga fluida del material almacenado en el silo semirremolque.



Figura 17: Válvula de aireación utilizada en los sistemas neumáticos de aireación. (BTI, 2018)

12) Acople tipo Camlock salida descarga: Acople utilizado para realizar la conexión entre ducto rígido y la manguera flexible, habitualmente es un acople tipo camlock.



13) Salida de descarga: Corresponde al área de acople con la manguera de transporte neumático, puede ser un lugar extremadamente peligroso, ya que es el lugar en donde ocurre la descarga del material hacia el contenedor final. Posee una tapa tipo camlock, y al momento de la conexión con la manguera es importante asegurarse que mantenga al menos dos abrazaderas o algún método de conexión adecuado que asegure la descarga.



14) Salida Aire Aireadores: Salida de aire presurizado, habitualmente esta salida es poco utilizada, ya que al momento de descarga el aire es dirigido hacia los aireadores.

15) Válvula salida control aire: Se utiliza para dirigir y/o controlar el flujo de aire a la línea de aireadores, su adecuado funcionamiento es fundamental para facilitar la descarga.

16) Válvula presión positiva: La función de esta válvula es permitir el flujo del aire al interior del estanque cuando este se encuentra con cambio de presión,

evitando presiones negativas dentro del silo. Esta válvula, cuando se abre, pasará aire en el tanque, por encima del producto. Se utiliza en conjunto con las válvulas de aireación para presurizar el tanque y facilitar la descarga.

- 17) Manómetro Silo: Instrumento encargado de medir la presión manométrica dentro del silo.



Figura 20: Manómetro utilizado para medir presión del contenedor.

- 18) Válvula Alivio o Seguridad Silo: Válvula utilizada como sistema de seguridad para evitar sobrepresiones dentro del silo, su uso es fundamental para respaldar la seguridad e integridad del contenedor, su fallo habitualmente ocasiona grietas y fallas en las placas del estanque, como se puede apreciar en la Ilustración



Figura 21: Falla por sobrepresión sobre estructura cilíndrica del silo (BTI, 2018)

19) Manhole: Corresponde a la escotilla del sistema de carga del silo semirremolque, se debe tener extremo cuidado cuando se abren las escotillas, ya que puede existir algún tipo de presión residual dentro del silo, lo que provocaría que la escotilla se desprenda del estanque. Existen escotillas manuales y escotillas que son accionadas neumáticamente. Estas últimas de gran valor en comparación a las manuales.



Figura 22: Escotilla Tipo utilizada en tanques a presión.

20) Válvula de ventilación: Válvula que cumple la función de despresurizar el tanque hasta la presión atmosférica cuando se requiera, habitualmente esta válvula se mantiene abierta al finalizar la descarga, de tal manera de asegurar que el tanque se mantenga a la presión atmosférica mientras no requiera realizar la descarga del material.

3.3 Alternativa de diseño a considerar

Las alternativas de diseño a considerar combinan una recopilación de diseños, información, recomendaciones, que se encuentran en el mercado nacional como también en el mercado internacional que cumplen con los estándares de calidad y las normativas necesarias para el transporte por el territorio nacional.

En ese contexto, las marcas de silos semirremolques que fueron analizadas para el desarrollo de ese trabajo fueron:

Bealltrailers

Mactrailer

TrailKing

Maestranza Italia Ltda

Polartank

Heiltrailer

Dentro del mercado nacional una de las alternativas que se pueden encontrar corresponde a un silo semirremolque con variados conos de descarga, siendo el más habitual el silo representado en la siguiente imagen:



Figura 23: Silo Semirremolque fabricado por Maestranza Italia Ltda.

En el mercado internacional existe una clara tendencia a un modelo en específico, un silo con forma semicilíndrica en la parte superior y cónica en la parte inferior, como es representada en la imagen:



Figura 24: Silo Semirremolque típico mercado internacional

3.4 Volumen de almacenamiento a considerar

El volumen de almacenamiento del Silo Semirremolque depende de la densidad aparente suelta del material a almacenar (Ver apartado 4.3), ya que considera la mínima capacidad de almacenamiento. Además de la carga útil estimada para el transporte de Cal, para este caso se utilizara para el diseño una capacidad de carga de 30 ton de Cal.

$$V = \frac{\text{Capacidad de Carga}}{\text{Densidad Aparente (Mínima)}}$$

$$V = 30 \text{ m}^3 \text{ para Cal}$$

3.5 Análisis de alternativas a considerar

Como fue previsto en el apartado anterior, se consideraran dos alternativas con el objetivo de encontrar el diseño del silo semirremolque más eficiente a manufacturar, las dos alternativas que serán presentadas a continuación corresponden a dos diseños de silo semirremolque que se encuentran en la industria del transporte de materiales a granel vía terrestre y que fueron influenciados por modelos que se encuentran tanto en el mercado nacional como internacional.

3.5.1 Diseño preliminares

A continuación se detallan las dos alternativas de diseño a evaluar realizadas en Autodesk Inventor 2016. Ambas alternativas cumplen con la normativa existente en Chile en relación a las dimensiones máximas admisibles para el transporte de material o carga en las rutas establecidas:

3.5.2 Diseño A

El diseño A representa al tanque del semirremolque que se puede encontrar en la industria internacional, consta de un tanque con sección transversal superior semicilíndrica y cónica en la parte inferior, la transición entre el semicilindro y cono es de manera directa, los extremos del tanque poseen una geometría cónica excéntrica con tapas circulares en cada lado, ver figura:

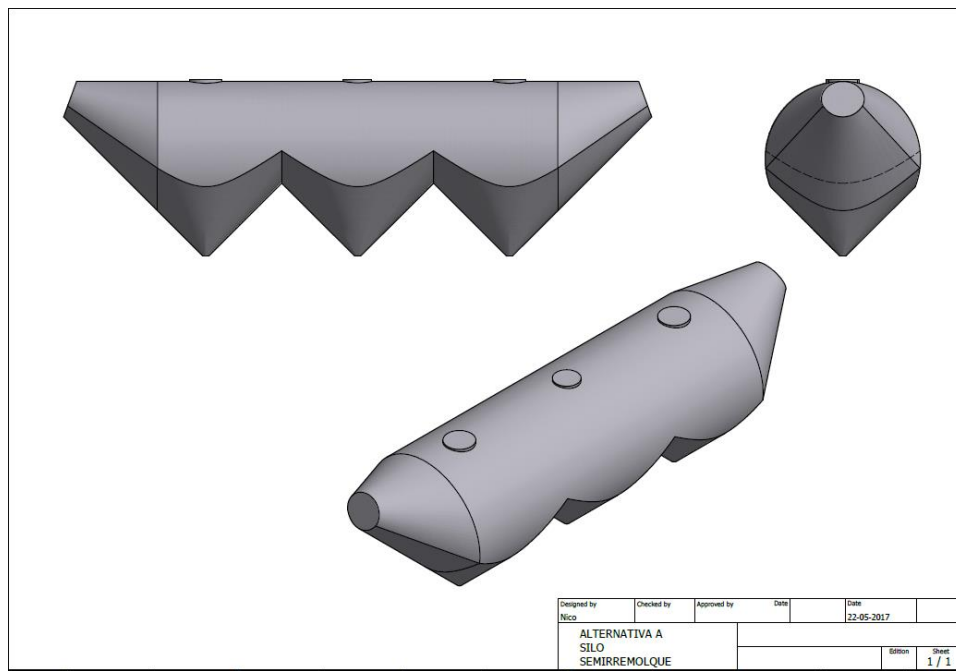


Figura 25: Vistas generales alternativa A del silo semirremolque.

3.5.3 Diseño B

El diseño B consta con un tanque con sección transversal semicilíndrica en la parte superior y cónica en la parte inferior, la transición del semicilindro al cono ocurre mediante cilindros, ambos extremos, al igual que en el diseño A, corresponden a un cono excéntrico con tapas a cada lado, ver imagen:

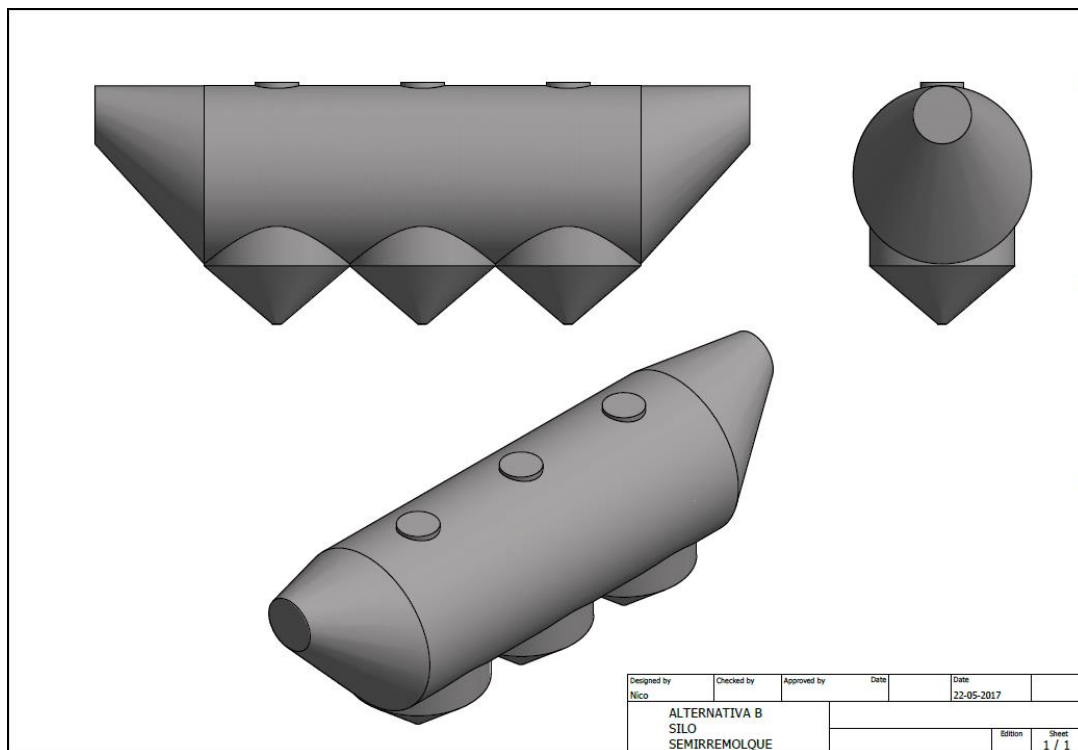


Figura 26: Vistas generales alternativa B del silo semirremolque.

Parámetro de evaluación diseño.

Después de haber presentado ambas alternativas de diseño del silo semirremolque para el transporte de cal en polvo, estas deberán ser evaluadas con el fin de realizar una elección capaz, que además de cumplir con las capacidades mínimas de carga y las exigencias del mercado, deberá ser manufacturado de la manera más eficiente, reduciendo la cantidad de material a utilizar y por ende el peso final del tanque. A continuación se presentan los parámetros más relevantes al momento de realizar la evaluación:

- Volumen de almacenamiento y Capacidad de Carga: el silo semirremolque puede ser diseñado respecto a la capacidad de carga o a su capacidad de volumen de almacenamiento, un mayor volumen de almacenamiento permite una mayor capacidad de carga.
- Materialidad: La materialidad del tanque tanto del diseño A como del diseño B puede ser variada, y eso será materia a analizar para los apartados más adelante.
- Dimensiones: Las dimensiones de ambas alternativas de diseño corresponden a dimensiones admitidas por la normativa existente en nuestro país.
- Relación volumen de almacenamiento sobre superficie del tanque: Este parámetro corresponde al de mayor importancia dentro de la evaluación de ambos diseños, si bien tanto el diseño A como el B cumplen con la capacidad mínima de almacenamiento, estas difieren levemente entre sí, por ende se procede a calcular la relación Volumen/Superficie, entre mayor sea el resultado obtenido menor va a ser la cantidad de material a utilizar (aleación de acero) por metro cubico de almacenamiento. En otras palabras si se ocupa una menor cantidad de superficie, indica que se está utilizando una menor masa de material (dependiendo claramente del espesor de plancha a utilizar 4mm, 5mm, 6 mm, entre otras medidas).

Con el fin de reducir los costos de fabricación del silo Semirremolque, se estima el indicador de relación de volumen de almacenamiento sobre superficie del tanque para cada una de las alternativas:

Tabla 6:
Datos Característicos Alternativa Diseño a considerar

Alternativas	Volumen útil [m³]	Área Superficial [m²]	Relación Volumen/Superficie
Diseño A	30	60	0,50
Diseño B	34	70	0,48

Elaboración propia, fuente prototipo realizado en software inventor 2016.

En la tabla 6, mostrada anteriormente se puede apreciar claramente que el Diseño A presenta una mayor relación volumen superficie, lo que indica que esta alternativa se utiliza una menor cantidad de material por volumen de almacenamiento que la alternativa B, por ende los costos de materialidad del diseño A son menores que su competencia.

El diseño del modelo A representa modelos más nuevos del mercado, en comparación con el modelo B, el cual es fabricado en la industria nacional.

Además hay que considerar que el diseño A emplea menor cantidad de material por volumen a almacenar, por ende menor peso, lo que se traduce en una mayor capacidad de carga.

Considerando los motivos comentados anteriormente el modelo A es escogido sobre el modelo B.

4 Simulación y Análisis esfuerzo en condiciones de operación del Silo Semirremolque considerando diferentes materialidades.

En este capítulo, se desarrollaran las simulaciones y los análisis de los esfuerzos que se generan en las diferentes condiciones de operación del silo semirremolque. Para el desarrollo de esta memoria se utilizaran principalmente dos software:

1. Inventor Autodesk Professional 2016: Software utilizado para el diseño 3D del silo semirremolque en general (Diseño bastidores, silo, estructura apoyo, etc.)
2. Ansys Workbench 16: Este software es el encargado de mallar el diseño realizado en el software anterior, además de realizar análisis de elementos finitos sobre el diseño propuesto.

A continuación se describen las condiciones de operación a las cuales será sometido el silo semirremolque:

Condición Estática	Condicion Movimiento	Operacion Descarga
•El análisis estructural bajo carga estática se refiere a la simulación del silo semirremolque bajo la condición de encontrarse a plena carga, para ello se utiliza una presión hidrostática equivalente al peso específico del material a transportar.	•El analisis estructural bajo la condicion de movimiento ocurre cuando el silo semirremolque es sometido a cargas dinamicas por la accion del movimiento.	•En el transcurso de operación de la descarga del silo, el silo es presurizado para facilitar la descarga de la materia prima a transportar, esta condición depende esencialmente de las capacidades del soplador o compresor acoplado al tracto camión.

Para realizar el estudio estructural mediante análisis por elementos finitos se debe realizar un mallado adecuado del diseño propuesto considerando las 2 materialidades a analizar

(acero al carbono y aluminio), el mallado corresponde a la subdivisión del sólido en varios elementos que terminan componiendo la estructura sólida propuesta para cada materialidad. La calidad del mallado determina en gran manera si el diseño presentado cumple con los parámetros mínimos para que el análisis sea considerado válido.

En este caso ambos diseños analizados cumplen con los rangos de calidad de mallado, ver Anexo E.

Por consiguiente, ahora se presentan los resultados obtenidos.

4.1 Análisis estructural bajo carga estática:

El análisis estructural bajo carga estática se refiere a la simulación del silo semirremolque bajo la condición de encontrarse a plena carga, para ello se utiliza una presión hidrostática² equivalente al peso específico mencionado en el capítulo 2, aplicada sobre la superficie del estanque.

Para este análisis se utilizara el peso específico mayor, correspondiente a $1,1 \times 10^{-5} \text{ [N/mm}^3\text{]}$ considerando la cal suelta.

Las siguientes imágenes muestran la gradiente de presión hidrostática en el silo semirremolque, considerando las dos materialidades (Acero y aluminio):

² Presión hidrostática: es la presión que ocurre debido al peso de un fluido en reposo.

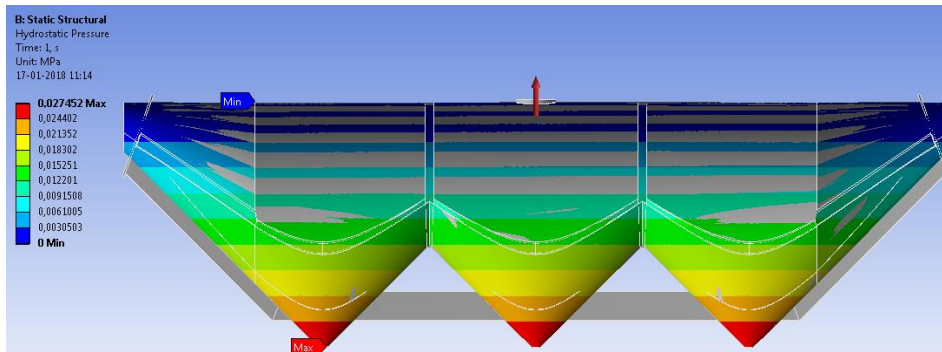


Figura 27: Gradiente de presión hidrostática para el modelo en acero $e = 6,4$ [mm]

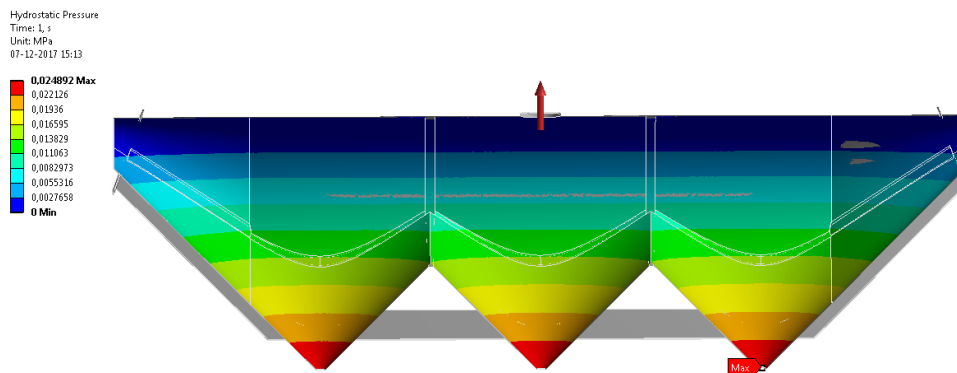


Figura 28: Gradiente de presión hidrostática modelo en aluminio $e = 10$ [mm]

4.1.1 Resultado análisis estructural bajo carga estática considerando elementos finitos prototipo aluminio según el criterio de Von Mises:

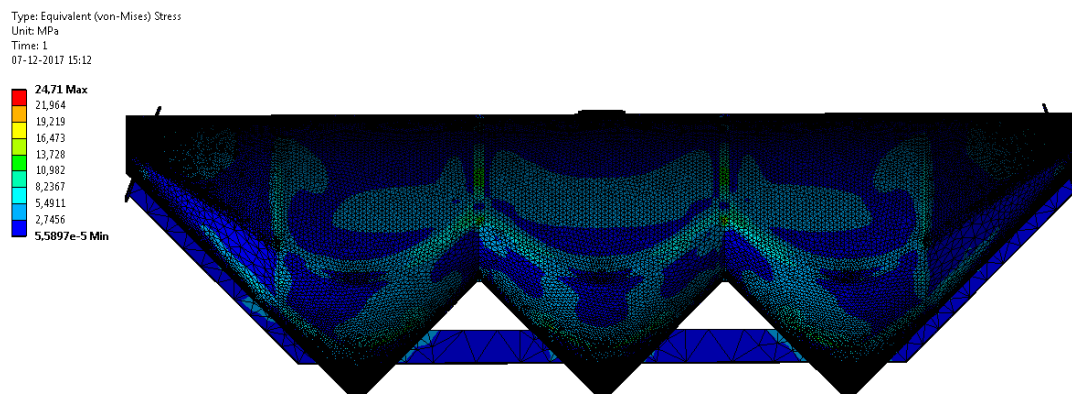


Figura 29: Resultados obtenidos bajo carga estática modelo aluminio.

4.1.2 Resultado análisis estructural bajo carga estática considerando elementos finitos prototipo acero según el criterio de Von Mises:

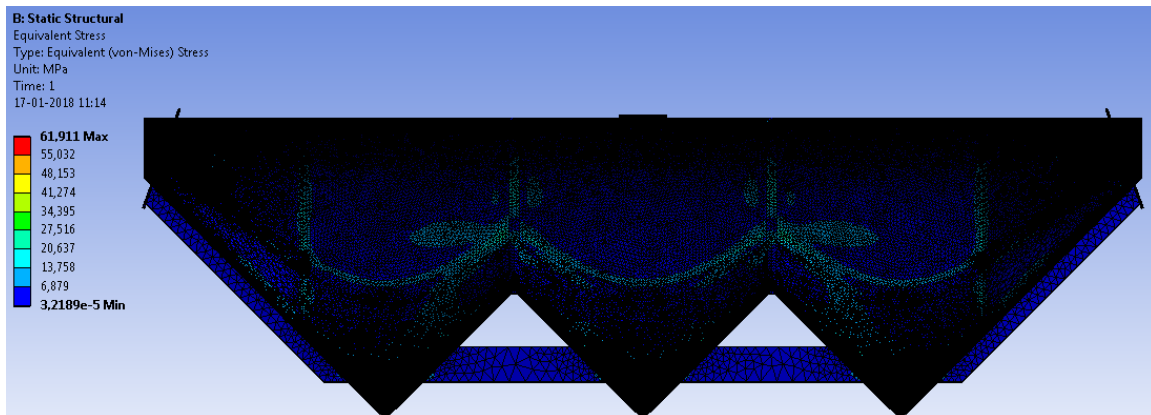


Figura 30: Resultados obtenidos bajo carga estática modelo acero.

4.2 Análisis bajo condición de movimiento:

El análisis estructural bajo la condición de movimiento ocurre cuando el silo semirremolque es sometido a cargas dinámicas por la acción del movimiento.

En este caso se consideran 3 métodos distintos para estimar la fuerza que debe resistir las paredes que se encuentran en dirección del movimiento, el análisis bajo recomendaciones de la asociación chilena de seguridad (ACHS), análisis bajo el acuerdo europeo del transporte de sustancias peligrosas (ADR por sus siglas en ingles) y el análisis bajo la acción de frenado.

Dentro de los 3 casos explicados en el Anexo F se considera el valor de la fuerza más alto para evaluarla en el silo semirremolque. En este caso se evalúan 650 [kN] sobre las caras interiores en la parte delantera del silo.

4.2.1 Resultado análisis estructural bajo condición de movimiento prototipo acero:

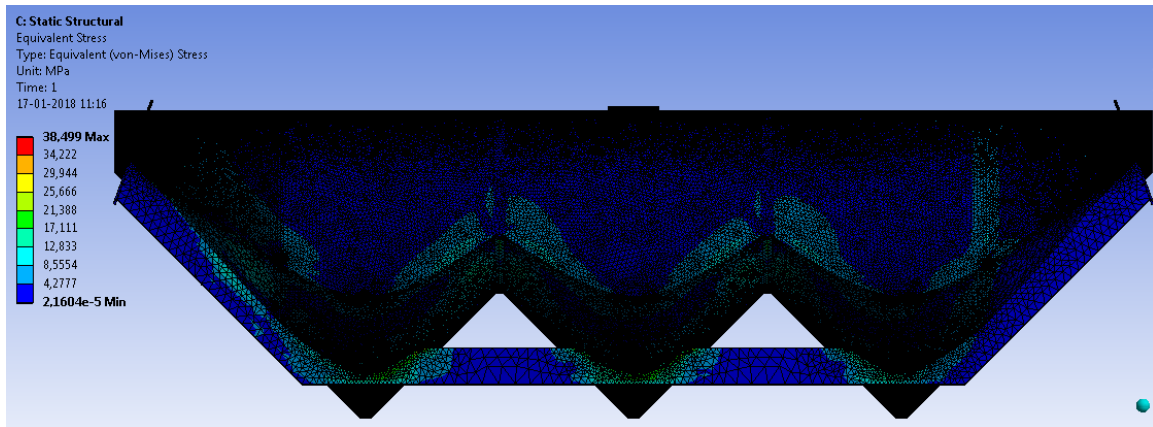


Figura 31: Resultados obtenidos bajo condiciones de movimiento prototipo acero

4.2.2 Resultado análisis estructural bajo condición de movimiento prototipo aluminio:

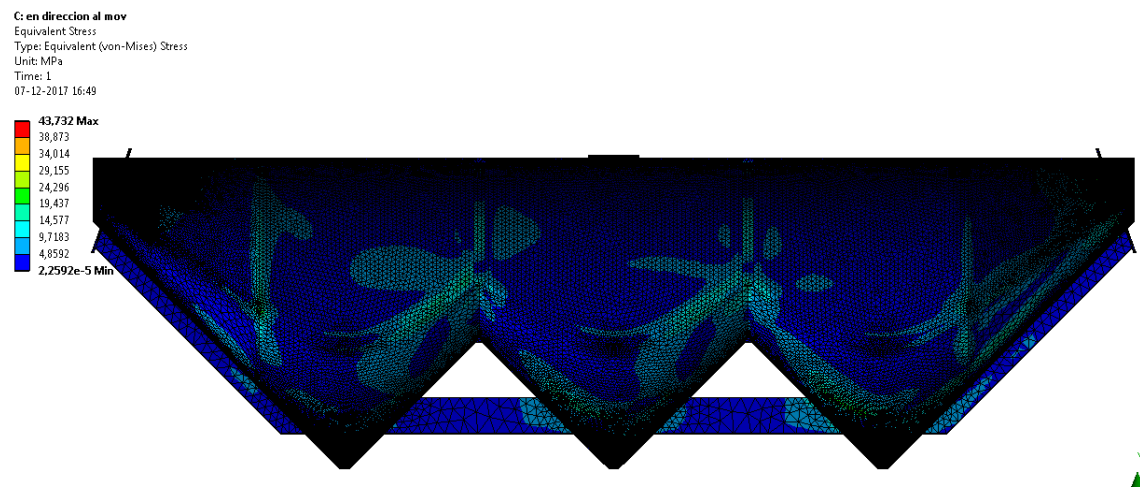


Figura 32: Resultados obtenidos bajo condiciones de movimiento prototipo aluminio.

4.3 Análisis bajo Condiciones de trabajo (Carga y descarga del material):

En el transcurso normal de operación (Principalmente en la descarga) del semirremolque encontramos situaciones en las cuales el silo es presurizado para facilitar la descarga de la materia prima a transportar, esta condición depende esencialmente de las capacidades del soplador o compresor acoplado al tracto camión.

Si realizamos un estudio de los compresores utilizados para la descarga, nos encontramos que la presión de operación de los compresores es desde 1 a 2 bares de presión, siendo 2 bares la presión máxima utilizada para el transporte neumático de cemento y cal.



Figura 33: Soplador tipo Betico de accionamiento por correa.

Considerando que los 2 [bar] corresponde a la presión de trabajo, la presión de prueba a evaluar corresponde a 1,5 veces el valor de la presión de trabajo. Por lo tanto, al momento de realizar el análisis de elementos finitos sobre el estanque, se consideran 3 [Bar] de presión interior, a pesar de que el estanque cuenta con válvulas de alivio programadas para trabajar cuando la presión sobrepase los 2 [Bar] de presión.

Resultado análisis estructural bajo condiciones de trabajo considerando elementos finitos prototipo aluminio:

Las siguientes imágenes ilustran los resultados obtenidos en el análisis de elementos finitos realizados en Ansys, considerando aluminio como material de construcción con un espesor de plancha de 10 [mm] y una presión de 3 bar en el interior del silo.

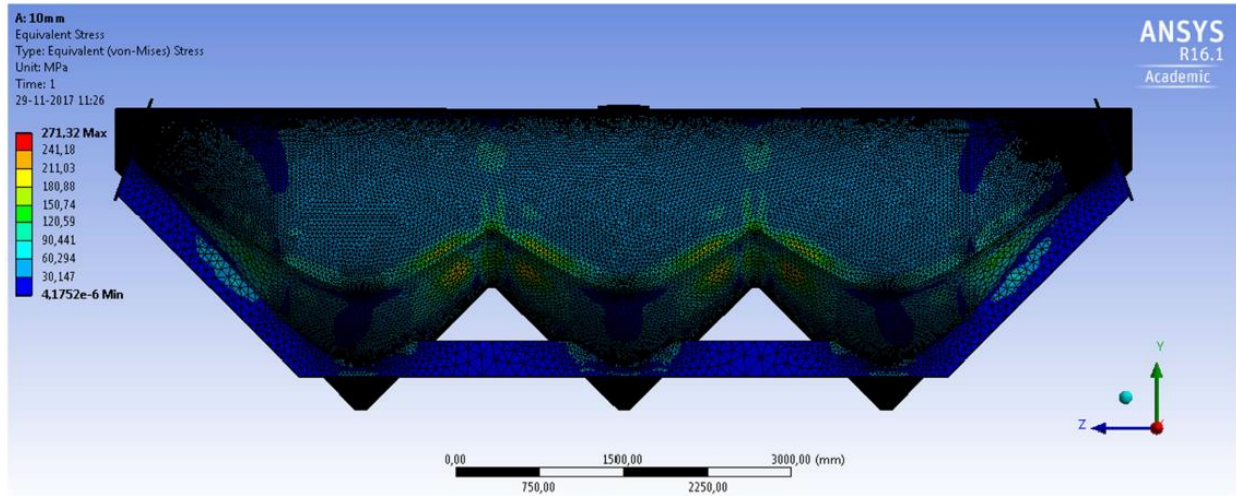


Figura 34: Esfuerzos generados sobre el silo por una presión interior de 3 Bar, prototipo aluminio.

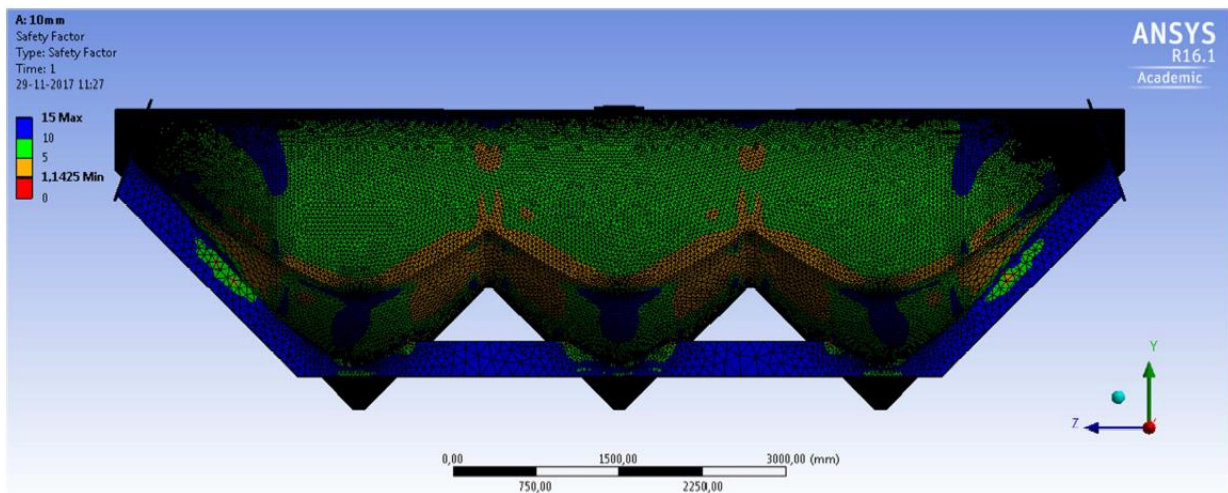


Figura 1: Factor de seguridad del Silo cuando es sometido a una presión de 3 Bar, prototipo aluminio.

Resultado análisis estructural bajo condiciones de trabajo considerando elementos finitos prototipo acero:

La siguiente imagen ilustra los resultados obtenidos en el análisis de elementos finitos realizados en Ansys, considerando aluminio como material de construcción con un espesor de plancha de 6,35 [mm] y una presión de 3 bar en el interior del silo.

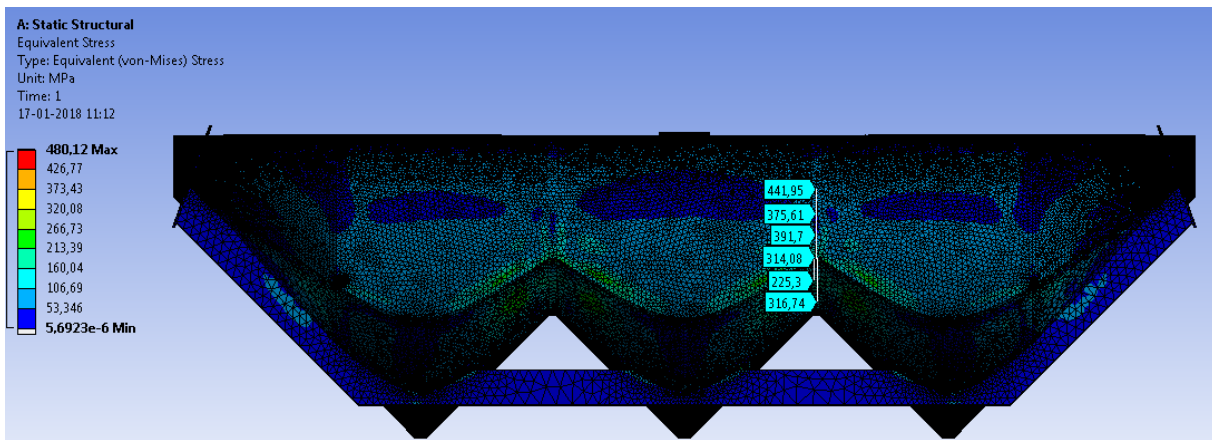


Figura 35: Esfuerzos generados sobre el silo por una presión interior de 3 Bar, prototipo acero.

4.4 Análisis diferentes materialidad construcción estanque silo

Los materiales de construcción del silo son variados y dependen habitualmente de la aplicación que se requiera utilizar el silo semirremolque, si se requiere para transportar materiales como el cemento o cal es innecesario la utilización de materiales como el acero inoxidable, debido a su elevado costo como materia prima en comparación al acero al carbono, en cambio cuando se trata de la industria alimentaria, es necesario la utilización de materiales sanitarios, que eviten el óxido en contacto con sus productos, es por eso que nace la necesidad de construir este tipo de silo transportable con aluminio y acero inoxidable.

El aluminio, desde que fue utilizado en la industria del transporte de sólidos a granel, ha ganado una gran ventaja sobre el acero común como materia prima de fabricación. Ya que el aluminio no solo resiste la oxidación y corrosión mejor, sino que también es más ligero por lo tanto más fácil de transportar afectando en el consumo de combustible, sin embargo todos los remolques fabricados en aluminio tienen tendencia a ser más caros que los remolques de acero.

4.4.1 Silo tráiler de aluminio y silo tráiler de acero

Si bien el acero y el aluminio son las dos principales materias primas utilizadas para la construcción de los silos semirremolque, la gran pregunta a responder es cuál de estos dos metales es más favorable.

El acero posee una reputación de ser una de las aleaciones comunes más resistentes incluso aún más que el aluminio puro, sin embargo el aluminio utilizado en todos los semirremolques también es una aleación, con alrededor de un 95% de aluminio y un 5% de variados metales como el cobre, titanio, cromo y zinc, los cuales proporcionan a la aleación de aluminio un límite de elasticidad comparable con el del acero.

El menor peso de un remolque de aluminio, el peso del aluminio equivale a 1/3 del peso del acero al carbono, se traduce en una mayor capacidad de carga útil, lo que significa que puede cargar más elementos en un portador de aluminio antes de alcanzar la cantidad máxima de peso normado para el transporte.

En cuanto a la durabilidad del silo semirremolque esta va a depender del material a transportar, materiales abrasivos tienden a causar daños y desgastes sobre las paredes manto del silo, como también de las condiciones de operación a la cual va a estar sometido el semirremolque, siendo un factor determinante la resistencia a la corrosión del silo. Frente al factor de la corrosión, se pueden emplear distintos materiales para alargar la vida útil de los semirremolque.

La utilización de un acero inoxidable como materia prima para la fabricación del semirremolque es una opción factible ya que ofrece una resistencia a condiciones ambientales corrosivas, dependiendo del grado de calidad del acero inoxidable, pero es un material de elevado valor, además de ser poseer una densidad similar al acero.

Otra opción es utilizar acero galvanizado como materia prima, el cual ofrece una buena resistencia a la corrosión y requerirá menos inspección que el caso de utilizar acero al carbono, sin embargo se requiere de grandes estanques de Zinc fundido para lograr sumergir el silo, además en caso de la utilización de planchas de pequeño espesor, el hecho de someterlas a temperatura para lograr la galvanización del silo, puede ocasionar deformaciones no deseadas en el diseño del silo semirremolque.

Las reparaciones de los remolques de acero suelen ser más complejas que si fuesen fabricados de aluminio, esto se debe a que los semirremolques de acero deben pintarlo para evitar la oxidación, si este es galvanizado para su reparación se debe quitar la capa de zinc antes de volver a soldar, luego de volver a galvanizar para garantizar la resistencia a la corrosión.

La siguiente tabla alude a carga útil a transportar considerando el acero y el aluminio como materialidades a analizar, la cual depende de la distancia de los ejes extremos del conjunto tracto-camión y el semirremolque, ver Anexo G :

Tabla 7:

Carga útil disponible considerando acero y aluminio como materialidad de construcción.

Tipo de Carga	Peso [Ton] Acero	Peso [Ton] Aluminio
Carga máxima DS n°158	42	42
Tara Tracto Camión	9	9
Tara Semirremolque	7	4,5
Carga útil	26	28,5
	33	33

Elaboración propia

Desde la tabla anterior se demuestra que existe un aumento de un 9,6% de carga útil a favor del Aluminio, por ende el prototipo de aluminio puede transportar mayor cantidad de material por viaje realizado.

5 Estimación y análisis de costos de fabricación silo semirremolque para el transporte de cal viva

En este último capítulo se realiza una estimación de los costos de fabricación con el fin de determinar el valor económico de construcción del semirremolque, entendiéndose como costos de fabricación a los valores o precios de los conjuntos de recursos utilizados en la construcción del silo semirremolque.

Para llevar a cabo dicha estimación económica se deben considerar todos los elementos, materiales, personal, y procesos involucrados directamente en la fabricación del silo semirremolque propuesto en el capítulo 3. Es por ello que los costos asociados a la fabricación serán abarcados principalmente por los siguientes grupos:

Materiales Estructurales y Funcionales	Elementos Rodados y electricos	Mano de Obra	Variados
•Materiales construcción silo y suportación •Elementos neumáticos del silo (Válvulas de seguridad, válvulas check, Tee descarga, Aireadores, Etc.)	•Materiales eléctricos (Focos, conectores, cableado, Etc.) •Elementos mecánicos y accesorios de rodado (Ejes, suspensión, tambor de freno, llantas, neumáticos, etc.)	•Se consideran las horas hombres empleadas de cada trabajador (Soldador, mecánico, ayudante, Supervisor) que interviene en la construcción del silo semirremolque.	•Traslado de materiales. •Cilindrado de mantos del Silo. •Insumos soldadura. •Tratamiento superficial, considera un granallado y capa de pintura epoxica.

El análisis de inversión o estimación de costos desarrollado en este apartado, se basa en precios reales de accesorios, elementos y materias primas (planchas de aluminio o acero, perfiles, pletinas, etc.) encontrados tanto en el mercado nacional como internacional, escogiendo los precios más viables considerando el diseño propuesto.

5.1 Costo Mano de Obra:

El costo de la mano de obra, habitualmente se representa por el valor de las horas hombre (HH) total que se incurren en el proceso de producción de algún objeto. En este caso se consideran las horas hombre desde que se inicia con la recepción de materias primas hasta que se terminan los últimos detalles del silo semirremolque. Además los costos de mano de obra varían dependiendo de la actividad y del tipo del personal que la realice (preparación de piezas, uniones soldadas, tratamiento superficial, etc.).

El desarrollo de una buena planificación resulta crucial para estimar la cantidad de horas hombres trabajadas durante la fabricación del silo semirremolque, es por ello que se procede a dividir el proyecto en variadas actividades enumeradas a continuación, estimando la cantidad de hombres y las horas de trabajo necesarios para cada una de las actividades para la construcción de un silo semirremolque.

1. Adquisición de materiales.
2. Preparación del material.
3. Fabricación, armado y unión estructura.
4. Preparación superficial
5. Montaje e instalación elementos mecánicos y neumáticos funcionales.
6. Instalación de accesorios.

Tabla 8:

Tabla planificación de fabricación del silo semirremolque

PLANIFICACION FABRICACION SILO SEMIRREMOLQUE			
N°	Actividades a realizar	Descripción de actividad	Tiempos de ejecución.

1	Recepción y Acopio de materias primas (Materiales)	Recepción y acopio de materiales según funcionalidad (elementos rodados, eléctricos, neumáticos, fabricación, insumos, etc.)	4 HD (Ayudantes)
2	Preparación de materiales	Esta actividad desarrolla la selección, trazado, corte y biselado de materiales. Además, envió a proceso de cilindrado	8 HD (maestro taller) 8 HD (ayudantes) 2 HD (Operador equipo corte de plasma)
3	Fabricación estructura semirremolque	Esta actividad comprende el Armado estructura base soporte del semirremolque y remates de soldadura. Incluye fabricación de parachoques anti empotramiento según normativa.	5 HD (maestro taller) 5 HD (ayudantes) 5 HD (Soldador)
3	Fabricación estructura del estanque.	Esto comprende el armado de componentes que conforman el estanque (elementos previamente preparados) y remates de soldadura.	8 HD (maestro taller) 8 HD (ayudantes) 12 HD (Soldador)
3	Instalación de Refuerzos y manhole	Una vez el silo se encuentra rematado 100% se procede a realizar la unión soldada de los refuerzos interiores del silo y el montaje del manhole.	8 HD (maestro taller) 8 HD (ayudantes) 12 HD (Soldador)
3	Montaje Estanque y estructura base	Ensamble estanque sobre estructura	4 HD (maestro taller) 4 HD (ayudantes) 2 HD (Soldador)
*4	Tratamiento Superficies	Esta etapa corresponde a la limpieza de la estructura Soporte (Base) y estanque (Silo) mediante arenado o granallado	Valor por KG

		comercial para eliminar óxidos e impurezas.	
*4³	Pintura manto exterior y estructura soporte silo semirremolque	Pintura estructura soporte y pintura estanque (superficie exterior) con dos capas de anticorrosivo y dos capas de esmalte.	Valor por m ²
5	Montaje Sistema de rodado y parachoques anti empotramiento.	Corresponde a la instalación de los ejes, sistema de frenos de aire, suspensión, parachoques anti empotramiento, ruedas, patas de apoyo, King pin, entre otros.	4 HD (mecánico) 4 HD (ayudantes) 1 HD (Soldador)
5	Instalación de filtros, válvulas de alivio y manómetros.	Se procede a armar y montar los ductos de la descarga, válvulas de mariposa en tolva de descarga, válvulas check, tee descarga tolva, codos, válvulas de alivio, manómetros, entre otros elementos.	3 HD (mecánico) 3 HD (ayudantes) 1 HD (Soldador)
6	Montaje e instalación de accesorios(luces,	Una vez ya completa gran parte del silo semirremolque, se instalan accesorios necesarios según reglamentación vigente en nuestro	2 HD (eléctrico mecánico) 2 HD (ayudantes)

³ La preparación de superficies (granallado y capa pintura epoxica) solo se considera para el caso de utilizar acero carbono como material de constructividad.

HD = Horas/días = 8 hh

	tapabarros, reflectores)	país, como lo son las luces, reflectores, adhesivos informativos (tara, peso, presión máxima, máxima capacidad volumétrica, etc.)	
--	--------------------------	---	--

Tabla de planificación de construcción del silo semirremolque con el fin de estimar cantidad horas hombre necesarias para llevar a cabo las tareas determinadas.

Cada persona que se ve involucrada en la fabricación del silo semirremolque tiene un valor asociado al trabajo realizado, generalmente este valor es diferente dependiendo de actividad que realiza como lo ilustra la siguiente tabla.

Tabla 9:

Tabla estimación de horas hombre y costos del personal.

Personal	Costo Hora/Hombre	Cantidad Horas/Hombre	Valor total HH
Ayudantes	\$ 2.300	368	\$ 846.400
Maestro Taller	\$ 3.900	264	\$ 1.029.600
Operador Plasma	\$ 4.000	16	\$ 64.000
Eléctrico	\$ 4.000	16	\$ 64.000
Mecánico	\$ 4.000	80	\$ 320.000
Soldadores	\$ 4.400	264	\$ 1.161.600
Total			\$ 3.485.600

Elaboración propia, considerando valores estimados de costo de horas hombre según la industria nacional.

5.2 Costos de elementos rodados y eléctricos:

Corresponde a los costos asociados a los elementos, equipos, accesorios mecánicos y eléctricos para el transporte del semirremolque, como lo son: el sistema de freno, sistema de suspensión, ejes, luces, tapabarros, King ping, entre otros.

La selección de los elementos de rodado es fundamental para garantizar el traslado de materias, ya que los elementos de rodado son los encargados de soportar la carga, brindar estabilidad al semirremolque, suavizar los desniveles de la ruta, realizar el frenado, acople tracto camión-semirremolque, entre otras responsabilidades.

Para una correcta selección de los elementos de rodado se debe realizar un calculo simple de sumatoria de fuerzas, para determinar las reacciones en los ejes y en el “King Pin”. Una vez obtenida las reacciones se puede hacer la comparacion con los pesos maximos permitidos en cada eje y pesos maximos permitidos en desplazamiento por la normativa vigente en nuestro pais.

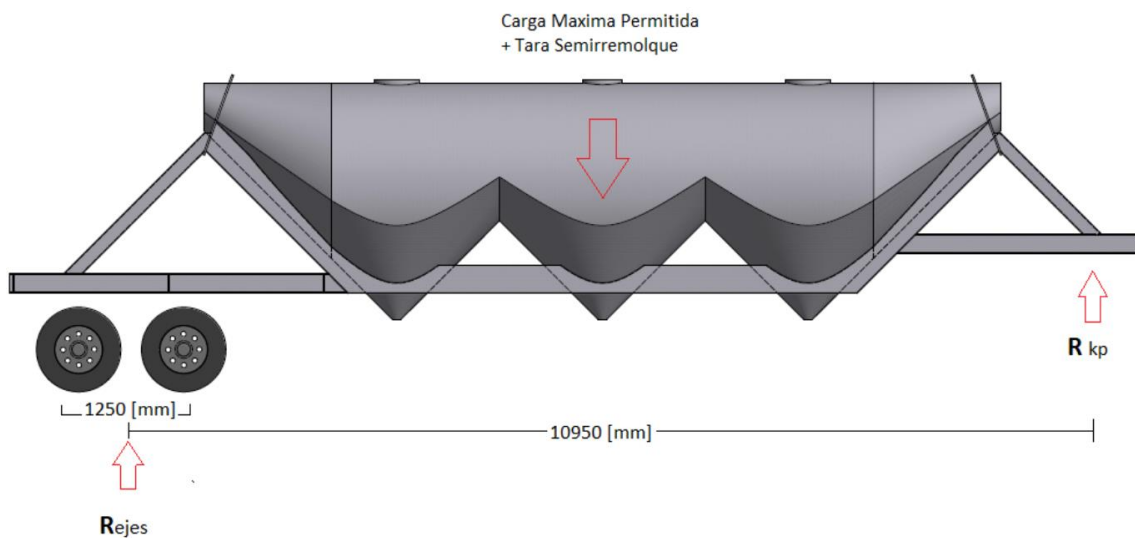


Figura 36: Esquema representativo fuerzas para calcular reacciones en ejes. Elaboración propia.

En donde la carga maxima permitida, incluyendo la tara del remolque es de 33 [Ton]

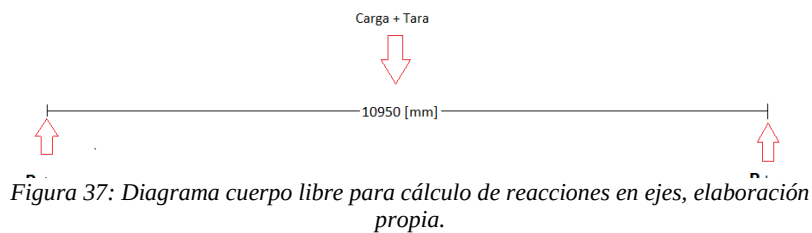


Figura 37: Diagrama cuerpo libre para cálculo de reacciones en ejes, elaboración propia.

$$\sum Fy = 0 \rightarrow Rkp + Re = 323,73 [kN]$$

La sumatoria de momentos es

$$\sum M = 0 \rightarrow Re = 161,87[kN] \rightarrow Rkp = 161,87[kN]$$

Como la distancia de los ejes traseros es la misma se supone una carga igualmente repartida para cada eje de 8250 [kg]. Este valor resulta fundamental para seleccionar el eje y su respectiva suspensión.

Los costos de elementos y equipos de este apartado se encuentran normalizados y son de libre comercialización en el país, por lo que se pueden encontrar en variadas casas comerciales de repuestos industriales.

Tabla 10:

Costos de los equipos y elementos de rodados y eléctricos.

Accesorios Rodados	Valor unitario CLP	Cantidad	Valor CLP
King Ping 2" Apernable con Flanche Plato y Pernos	\$ 87.289	1	\$ 87.289
Patas de Apoyo tipo gato Jost Carga Estatica 50 Ton 24 Ton Levante	\$ 217.489	1	\$ 217.489
Ejes Disco Europeo PROPAR + pulmón de freno maxi 30/30 30000lbs	\$ 754.900	2	\$ 1.509.800
Cableado Aire Tecalan 12x1.5 mm	\$ 20.250	1	\$ 20.250
Suspensión neumática 30000 lbs	\$ 1.160.000	2	\$ 2.320.000
LLANTA DISCO 7.50X22.5 EUROPEA	\$ 413.900	7	\$ 2.897.300

Neumático 11r22.5 Dunlop Sp831 148k 16pr Oe Jp	\$ 222.990	7	\$ 1.560.930
Guardabarros	\$ 68.900	4	\$ 275.600
Cable 7 vias 2,5mm	\$ 160.000	1	\$ 160.000
Enchufe Hembra Metal con Patas	\$ 9.740	1	\$ 9.740
Wipro Par 12v 36 Leds Luces Traseras Camión Remolque	\$ 81.700	1	\$ 81.700
Rollo Cinta Reflectante 45m Blanco/rojo	\$ 24.990	1	\$ 24.990
Caja de herramientas	\$ 110.000	1	\$ 110.000
TOTAL			\$ 9.187.799

Elaboración propia, considerando valores encontrados según la industria nacional.

5.3 Costo de materiales estructurales y funcionales:

Este costo hace referencia al costo de los materiales usados para la fabricación del silo semirremolque (Estructura de apoyo más estanque tipo silo) además de los elementos funcionales para realizar la descarga del material, incluye planchas de acero o aluminio, vigas alta resistencia, accesorios en general, cañerías de acero, tee de tolva, válvulas de alivio, entre otros.

Sin duda que para realizar una buena estimación de costos asociados a la construcción del silo semirremolque resulta indispensable definir la cantidad de materias primas a utilizar.

El costo de los materiales utilizados está directamente relacionado con el diseño presentado del semirremolque, ya que varía dependiendo de la forma y materialidad del semirremolque, los costos asociados a este apartado corresponden la construcción del semirremolque (planchas de acero, perfiles, costaneras, entre otros)

Primero nos centraremos en la estructura principal del semirremolque, el silo. El cual deberá ser subdividido en diferentes secciones para poder hacer un desarrollo de calderería sobre los mantos (cónicos y cilíndricos) que componen al silo.

La siguiente figura ilustra las subdivisiones realizadas al silo con sus respectivas secciones enumeradas:

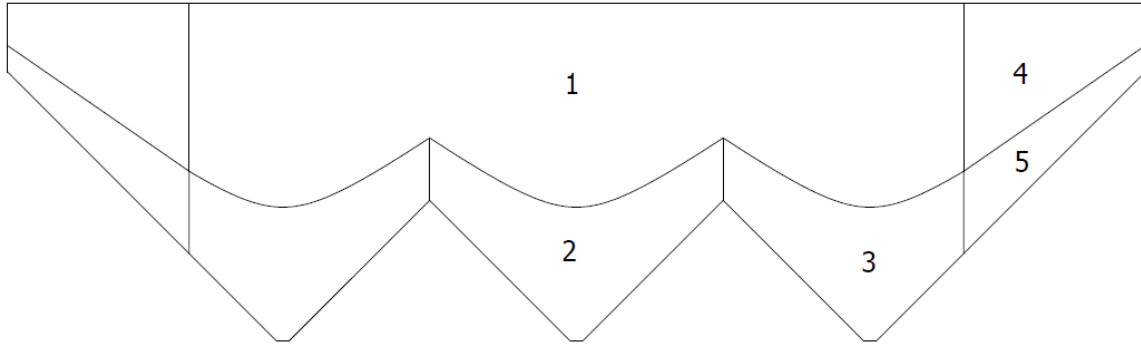


Figura 38: Subdivisiones correspondientes a secciones del silo, elaboración propia.

En la ilustración anterior no todas las partes subdivisiones están enumeradas, esto se debe a que las secciones 3,4 y 5 por simetría son iguales que las secciones no enumeradas.

El desarrollo de calderería se realiza considerando planchas de acero con unas dimensiones estándar de 12000x2440 [mm] y planchas de aluminio de 1220x3000 [mm].

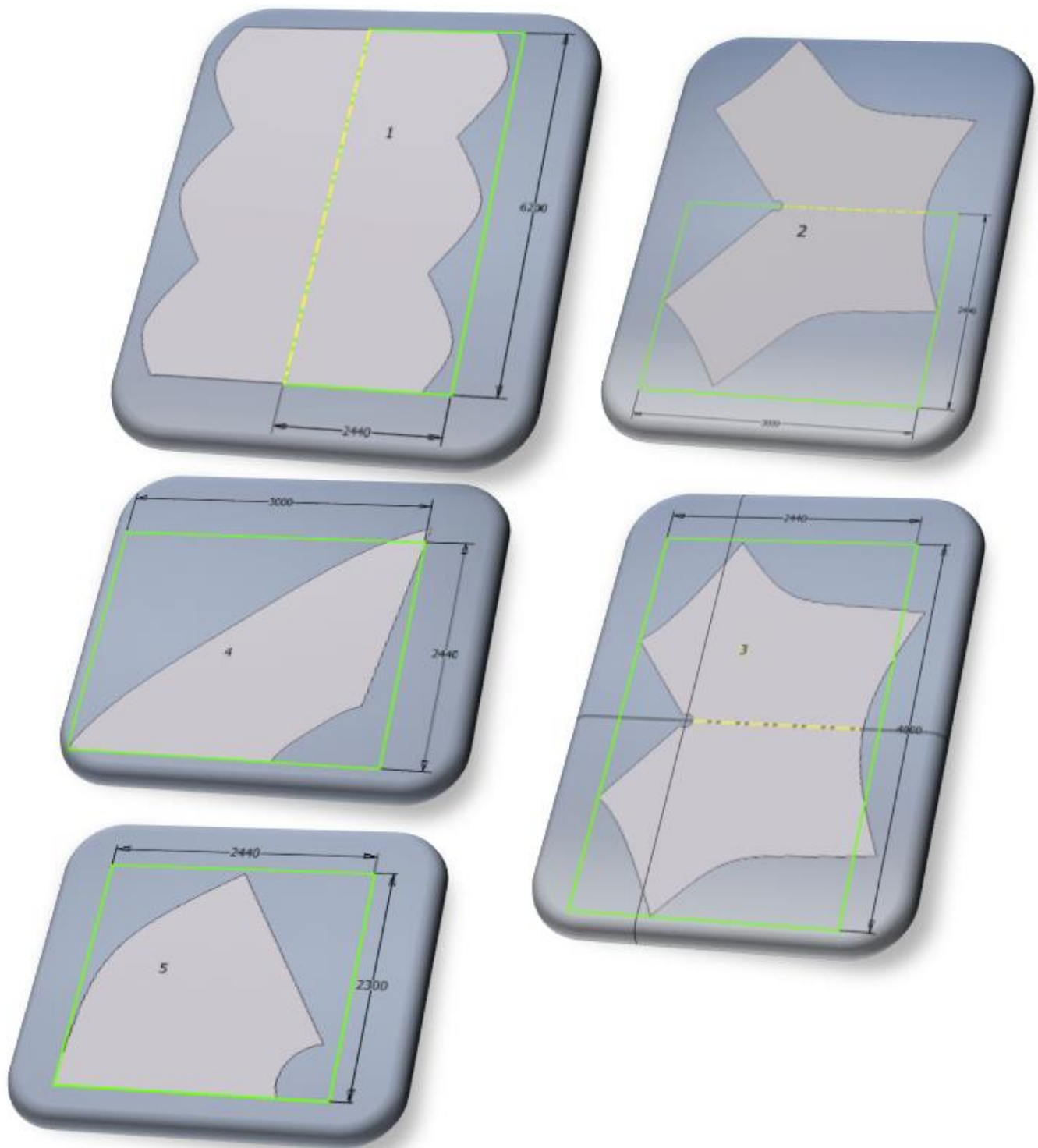


Figura 39: Desarrollo Calderería considerando planchas de 12000x2440 [mm], elaboración propia.

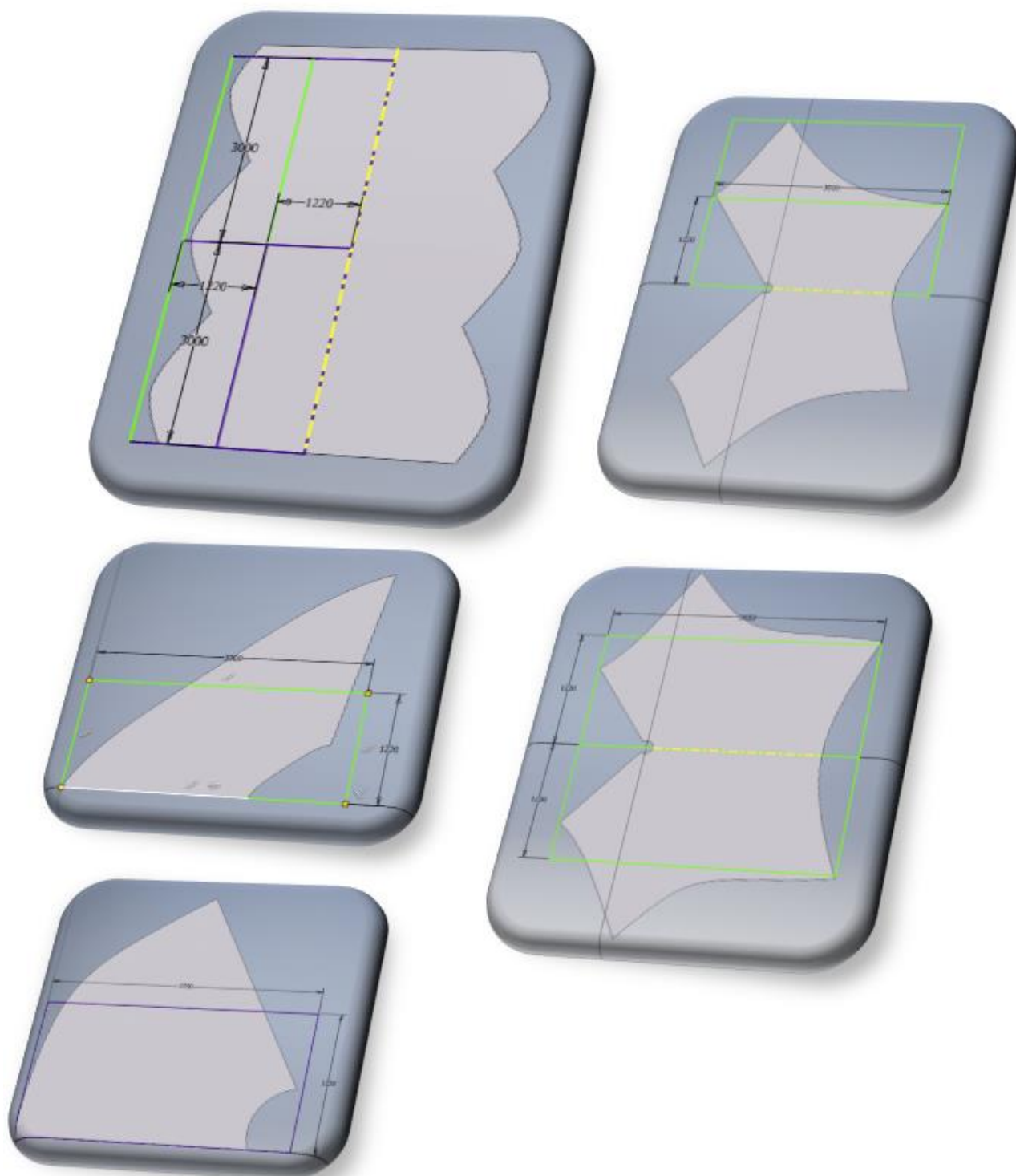


Figura 40: Desarrollo Calderería para Aluminio considerando planchas de 1220x3000 [mm], elaboración propia.

Con el desarrollo de calderería se estimó una cantidad de material estimado para la construcción del estanque y sus estructuras de suportación.

Tabla 11:

Estimación de costos asociado a cantidad de materiales (Planchas, perfiles, etc) de acero a utilizar.

Acero [6mm]		
Sección (Numero)	Cantidad Material Estimado	\$
Manto Cilíndrico (1)	1 Plancha 2440 x 12000 x 6 mm	\$ 827.453
Cono descarga Principal (2)	1 Plancha (0,5 se utiliza) 2440 x 12000 x 6 mm	\$ 827.453
Conos descarga Secundarios (3)	1 Plancha 2440 x 12000 x 6 mm	\$ 827.453
Manto Cónico Lateral (4 y 5)	1 Plancha 2440 x 12000 x 6 mm	\$ 827.453
Bastidores y Estructura de Apoyo	1 Plancha 2440 x 12000 x 8 mm	\$ 1.103.270
Escalera Tipo Gato	2 Perfil tubo Redondo 1 1/2 3mm, cinta antideslizante	\$ 21.780
Parachoques Antiemprotramiento ⁴	1 Costanera 150x50x15x4mm, 1 perfil Canal de 100x50x6mm, 8 pernos y tuercas de 1/2"	\$ 51.500
Caja Herramientas	1 Plancha Aluminio Diamantada + Accesorios (cerrojo)	\$ 103.000
Total Estimado		\$ 4.589.362

⁴ Los materiales utilizados son los recomendados según la Resolución No1463/00, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

Tabla 12:

Estimación de costos asociado a cantidad de materiales (Planchas, perfiles, etc.) de aluminio a utilizar.

Aluminio 10 [mm]		
Sección (Numero)	Cantidad de láminas estimadas	\$
Manto Cilíndrico (1)	9 Planchas 1220 x 3000 mm (48" x120")	\$ 4.277.124
Cono descarga Principal (2)	4 Planchas 1220 x 3000 mm (48" x120")	\$ 1.900.944
Conos descarga Secundarios (3)	6 Planchas 1220 x 3000 mm (48" x120")	\$ 2.851.416
Manto Cónico Lateral (4 y 5)	8 Planchas 1220 x 3000 mm (48" x120")	\$ 3.801.888
Bastidores y Estructura de Apoyo	5 Planchas 1220 x 3000 mm (48" x120")	\$ 2.376.180
Escalera Tipo Gato	2 Perfil tubo Redondo 1 ½" Aluminio, cinta antideslizante.	\$55.800
Parachoques Antiemprotramiento	1 Costanera 150x50x15x4mm, 1 perfil Canal de 100x50x6mm, 8 pernos y tuercas de 1/2"	\$ 51.500
Caja Herramientas	1 Plancha Aluminio Diamantada + Accesorios (cerrojo)	\$ 103.000
Total Estimado		\$ 15.417.852

5.4 Costo elementos neumáticos

Ya comprendido el desarrollo de calderería y la estimación de materiales para la estructura, se procede a estimar el costo asociado a los accesorios, equipos, piping, entre otros, para realizar la descarga neumática del vehículo, dichos elementos se mencionaron en el apartado 3.

El siguiente cuadro resumen los valores asociados a los elementos y accesorios del silo neumático. Cabe destacar que los valores de estos elementos corresponden a valores que se encuentran en el mercado nacional e internacional (se considera el transporte), por ende representan precios estimados reales.

Tabla 13:

Estimación de costos asociado a accesorios de descarga neumática a utilizar:

Accesorio Descarga	Valor Unidad USD	Cantidad	Valor CLP
Tee Descarga 5" y salidas de 4"	230	3	\$ 538.200
Válvula mariposa 5" PN 16 - palanca	131	3	\$ 306.540
Válvula mariposa 4" PN 16 - palanca	122	1	\$ 95.160
Válvula mariposa 3" PN 16 - palanca	110	1	\$ 85.800
Válvula mariposa 2" PN 16 - palanca	95	1	\$ 74.100
Aireadores solimar series 4300 tubing 3/8	54	9	\$ 379.080

Manómetro Glicerina ¼ conexión	20	2	\$ 31.200
Válvula alivio presión 2"	300	2	\$ 468.000
Válvula alivio vacío 2"	300	1	\$ 234.000
Escotilla 20" (Manhole)	586	3	\$ 1.230.000
Manguera de descarga	342	2	\$ 478.180
TOTAL			\$ 3.920.260

Costos Variados

Se consideran los costos de procesos, y materiales que participan directamente en la fabricación del silo semirremolque que no fueron abarcados en los grupos anteriores como lo son; costos de insumo (soldadura, discos de corte, etc.), transporte de piezas a cilindrar, cilindrado de piezas, y tratamiento superficiales en caso que sea requerido.

5.4.1 Costo cilindrado:

Tabla 14:

Costos asociados al cilindrado de los mantos que componen el silo.

Costo Cilindrado	Aluminio (1975 kg)	Acero Carbono (3856 kg)
600 x kg	\$ 1.185.000	\$ 2.313.600

Los pesos tanto de aluminio y acero al carbono fueron determinados considerando sus respectivos espesores y solo los mantos que componen el estanque.

5.4.2 Costo Traslado:

Representa el costo del arriendo de un camión pluma para el traslado con el fin de facilitar la carga y descarga de las piezas cilindradas.

Tabla 15:

Costo estimado de arriendo de un camión para el traslado de materiales

Traslado	Valor CLP
Camión Pluma (10 Ton)	\$ 528.000

Se considera un día de arriendo y un valor estimado de arriendo por hora (CLP \$22.000).

5.4.3 Costo Tratamiento Superficial:

Para el tratamiento superficial, en primera instancia, se considera realizar un arenado de todo el conjunto en su totalidad, de tal manera de extraer las partículas de oxidación y de eliminar escorias que no fueron eliminadas en procesos anteriores.

Luego del arenado, se realizan dos capas con anticorrosivo en base a resina epoxica y esmalte de tal manera de dar la protección necesaria para evitar la corrosión del semirremolque.

El costo de tratamiento superficial solo es aplicado cuando la materialidad de construcción es una aleación de acero. Cuando se utiliza aluminio no se considera este costo.

Tabla 16:

Costo tratamiento superficial aplicado al prototipo fabricado de acero.

Pintura	Valor
Valor Arenado x m2	\$ 347.200
Valor Pintura Epoxi con 2 manos de anticorrosivo y esmalte.	\$ 1.500.400
Total	\$ 1.847.600

Se considera una superficie de 70 m² para estimar los costos de superficie, además solo se considera el tratamiento exterior del silo semirremolque.

5.4.4 Costo Soldadura e insumos.

Para estimar la cantidad de material de aporte (alambre para soldadura MIG) y la cantidad de gases de protección se considera el “Manual de sistemas y materiales de soldadura, de

Indura” (INDURA, 2013) el cual da recomendaciones para realizar una estimación de costos asociados al proceso de soldadura.

Primeramente se considera la cantidad de material a depositar por metro lineal de soldadura, el cual varía dependiendo el tipo de soldadura a utilizar, en este caso se considera una soldadura a tope con un bisel de 60°. Una vez obtenido este valor se procede a estimar los metros lineales de soldadura que están involucrados en la construcción del silo semirremolque. Para ello se utiliza programa de diseño Inventor, con el fin de estimar cada unión del silo y su estructura. Ver Anexo H de soldadura para más detalles.

Tabla 17:

Costos estimados de soldadura asociados al prototipo de acero.

Insumo	Cantidad	Valor	Valor Total
Carrete de 15 [kg]	8	\$26.000	\$208.000
Mezcla Indurmig [10m3]	5	\$78.000	\$390.000
Discos de corte	20	\$1.580	\$31.600
Disco desbaste	20	\$1.860	\$37.200
Oxicorte (Oxigeno y Gas)	2	\$80.000	\$160.000
Total			\$826.800

Tabla 18:

Costos estimados soldadura asociados al prototipo de aluminio

Insumo	Cantidad	Valor	Valor Total
Carrete de 6 [kg]	20	\$22.000	\$440.000
Mezcla Argón 6 [m]	6	\$150.000	\$900.000
Discos de corte	20	\$1.580	\$31.600
Disco desbaste	20	\$1.860	\$37.200
Total			\$1.408.800

5.5 Análisis costos de Fabricación.

La tabla n°19 representa los costos estimados de construcción del silo semirremolque considerando acero como material del silo semirremolque:

Tabla 19:

Costos constructividad considerando acero ASTM A572 como material de construcción.

Costos constructividad	Costo total
Tratamiento exterior	\$ 1.946.000
Personal	\$ 3.760.000
Materiales construcción Silo	\$ 4.589.362
Elementos rodados y eléctrico general	\$ 9.171.699
Elementos neumáticos	\$ 4.864.923
Transporte	\$ 528.000
Cilindrado e insumos	\$ 3.140.400
Total	\$28.000.384

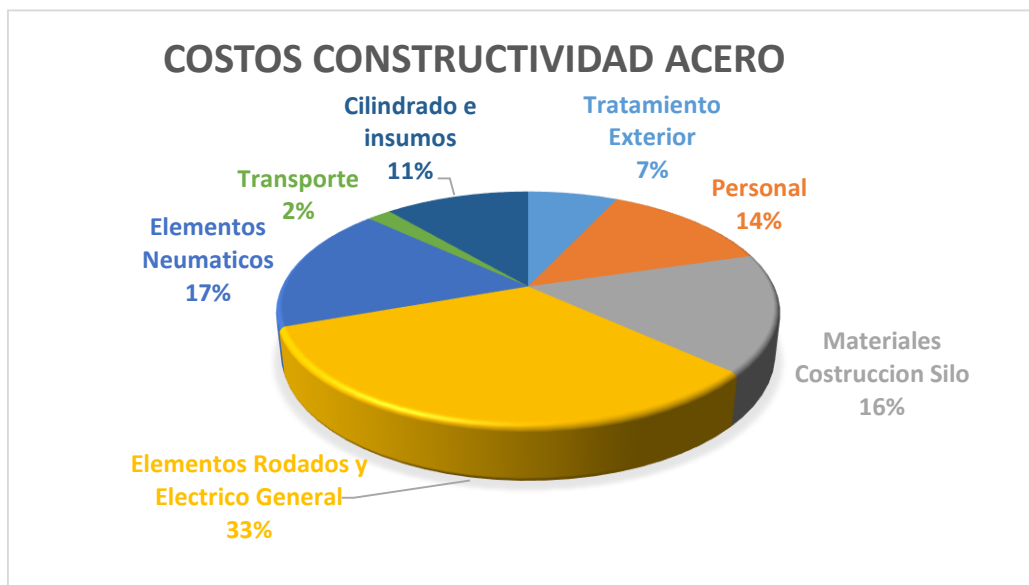


Figura 41: Grafico costos constructividad acero, elaboración propia.

La tabla n°20 representa los costos estimados de construcción del silo semirremolque considerando aluminio como material del silo semirremolque:

Tabla 20:

Costos constructividad considerando aluminio como material de construcción.

Costos constructividad	Costo total
Personal	\$3.760.000
Materiales construcción silo	\$15.417.852
Elementos rodados y eléctrico general	\$9.171.699
Elementos neumáticos	\$4.864.923
Transporte	\$528.000
Cilindrado e insumos	\$2.593.800
Total	\$36.336.274

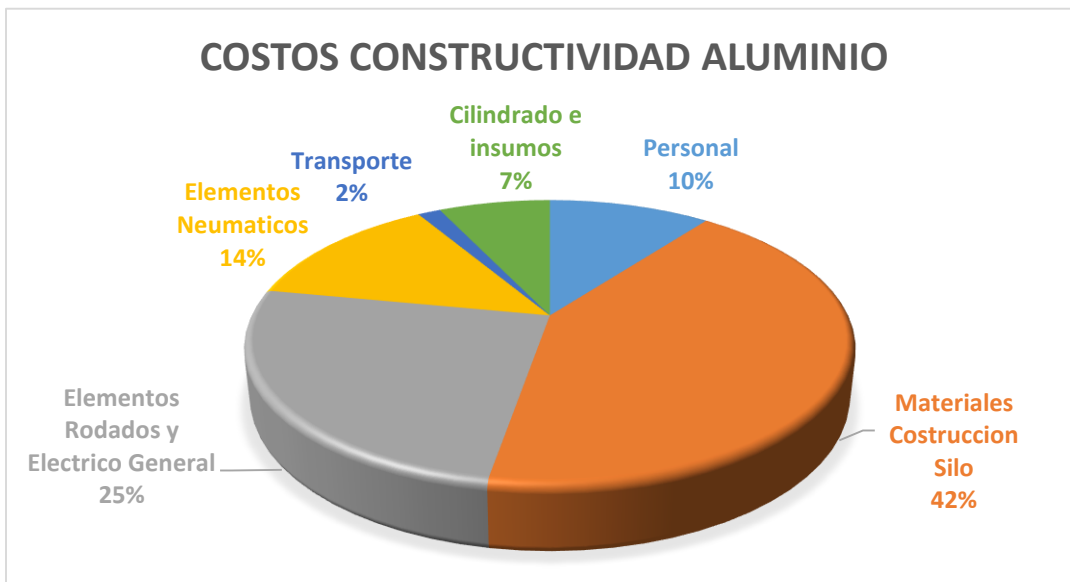


Figura 42: Grafico costos constructividad aluminio, elaboración propia.

6 Conclusiones y recomendaciones:

La presente tesis tuvo como objetivo optimizar la capacidad de carga de un silo semirremolque considerando diferentes materialidades de construcción (Aleación de acero y aluminio) de tal manera de asegurar el desempeño y la vida útil del semirremolque para el transporte de cal hacia los procesos productivos de las mineras.

Para demostrar esto, se investigaron los diferentes tipos de silo semirremolques utilizados en la industria con el fin de crear un prototipo tridimensional del semirremolque más adecuado para la aplicación requerida, considerando todas las normativas y estándares vigentes de la industria del transporte de carga por carretera en nuestro país.

Ante este escenario, se concluyó que:

Los espesores mínimos según el análisis estructural son de 6,35 [mm] considerando un acero ASTM A572 gr60 y 10 [mm] para un aluminio del tipo 6061 –T6. Se podría considerar utilizar menores espesores si se rediseñan los refuerzos utilizados en la zona de transición entre los mantos cónicos y cilíndricos del diseño propuesto.

La diferencia entre la utilización de un acero al carbono y el aluminio radica principalmente en un aumento de la capacidad de carga por recorrido realizado de un 9% si se considera aluminio como material de fabricación, además otorga mejora de rendimiento de consumo cuando el semirremolque se encuentra vacío, ya que el semirremolque de acero tara 2 toneladas más que el aluminio, lo que se ve reflejado en una reducción de los costos de operación.

Otra de las ventajas que posee el prototipo fabricado en aluminio es su resistencia a la corrosión en comparación al de acero al carbono, el cual requiere de un tratamiento previo de sus superficies para lograr resistir las condiciones que se expone el silo. El hecho de tener tratamiento superficial, hace aún más ardua la labor de reparar el silo semirremolque,

ya que cada vez que se deba reparar los mantos que componen el silo se deberá volver a aplicar el tratamiento superficial para evitar puntos de oxidación.

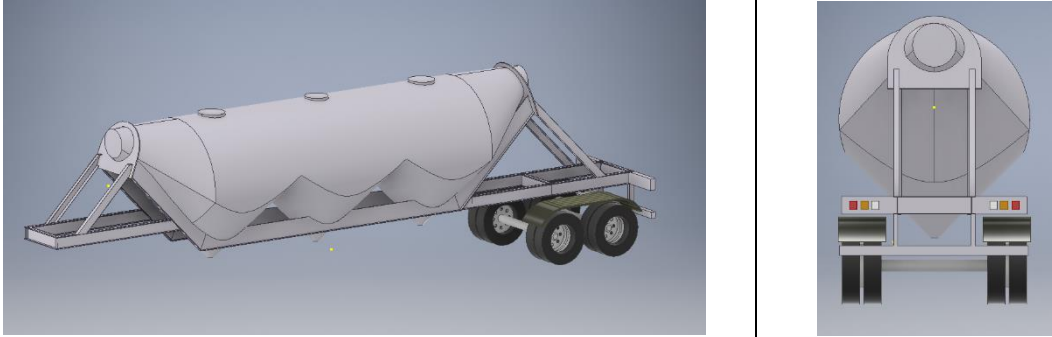
Los espesores propuestos para cada diseño están diseñado despreciando las fallas que puedan ocurrir en la construcción de este, por ende se recomienda que se fabrique con personal calificado, especialmente los soldadores y del ingeniero a cargo este actualizado con las normas de construcción aplicables a este proyecto.

En cuanto al registro del semirremolque en nuestro país no existe control sobre los fabricantes, los materiales utilizados, los accesorios necesarios y calidades de las instalaciones, etc., por lo tanto cualquier persona podría fabricar remolques o semirremolques de calidad deficiente sin control técnico ni legal. Solo se requiere de realizar la inscripción de remolques y semirremolques en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados.

Este trabajo corresponde a un estudio, por ende si el silo semirremolque llegase a fabricarse se recomienda realizar al menos una prueba hidrostática sobre el silo una vez terminada la fabricación y cada reparación importante sobre los mantos del silo, con el fin de verificar la hermeticidad y la resistencia de los accesorios bridados y los cordones de soldadura que componen el silo semirrolque en general. La utilización de válvulas de alivio es obligatoria para evitar las sobrepresiones que pueden ocasionarse mediante la operación del silo.

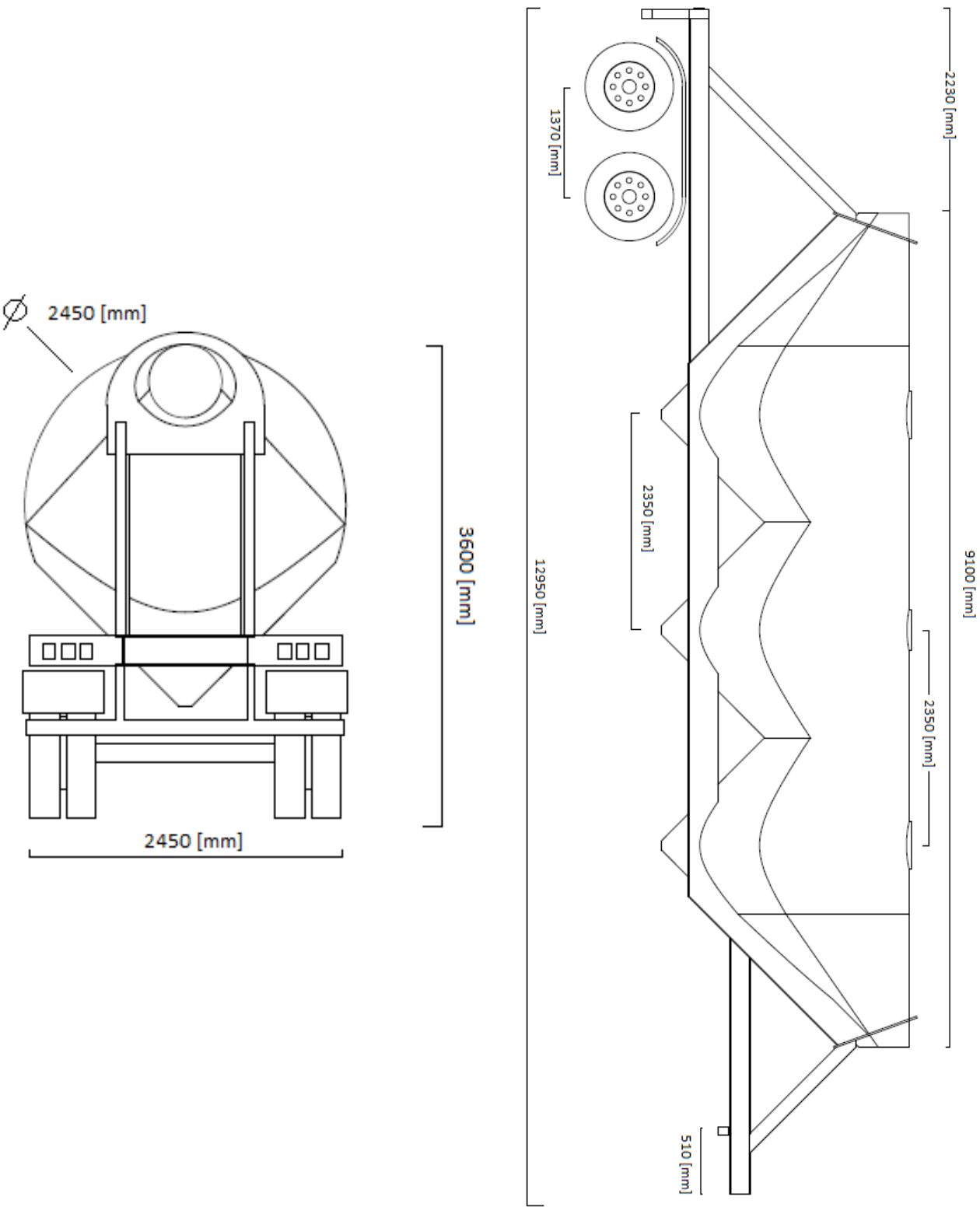
El valor de construcción, considerando acero como material de construcción, estimado en esta tesis representa un valor de alrededor de 13 millones de pesos chilenos menos que los valores presentados a nivel nacional, por lo que se aprecia un gran potencial dentro del mercado nacional, aun mas si la mayoría de los equipos de esta índole son importados. Cabe destacar que solo se está considerando el valor de construcción unitario del silo semirremolque, si se fabricara en grandes volúmenes los costos de materiales podrían reducirse sustancialmente.

Anexo A. Ficha especificaciones generales de los diseños propuestos:

Especificaciones generales Silo semirremolque	
	
Capacidad volumétrica: Volumen almacenamiento: 29 [m ³]	Presión trabajo – Presión de prueba Presión de trabajo: 2 [bar] Presión de prueba: 3 [bar]
Dimensiones: Alto: 3600 [mm] Ancho: 2450 [mm]	Peso aproximado: Prototipo Acero ASTM 572gr60: 7.000 [kg] Prototipo Aluminio H6061-T6: 4.500 [kg]
Estructura estanque: Dos materialidades diferentes a elección, aluminio H6061 y acero ASTM 572	King Pin: King Pin de 2” apernable con flanche, plato y pernos, marca Jost.
Ejes: Ejes Disco Europeo 30000 [lbs] Tubo 19 [mm] freno 165, distanciados según normativa vigente.	Tren de apoyo: Patas de apoyo tipo gato Marca Jost, 50 [ton] carga estática, 24 [Ton] levante.
Suspensión: Suspensión neumática con 30000 [lbs] capacidad de carga, marca Watson.	Sistema de Frenos: Sistema de frenos de tambor, pulmones de freno maxi 30/30 3/8 //sorl 975 kg con tuercas golilla

Neumáticos y llantas: LLANTA DISCO 7.50X22.5 EUROPEA Neumático 11r22.5 Dunlop Sp831 148k 16pr Oe Jp	Línea de suministro de aire: Cañería SCH40 2" ASTM A53 Aireadores. Cañería SCH40 3" ASTM A53 Principal Aireadores. Cañería SCH40 4" ASTM A53 Descarga. Acople Camlock tipo C macho y hembra.
Acabado superficial: Prototipo acero ASTM572: posee una capa de pintura epoxica para evitar corrosión. Prototipo aluminio: acabado superficial dado por el material.	Fluidizadores: 3 Aireadores solimar series 4300 de aluminio tubing 3/8 por cada tolva de descarga.
Dispositivos de seguridad: 2 Manómetro Glicerina ¼ conexión, uno en la línea de suministro de aire y la otra en el estanque. 2 Válvula alivio presión 2", una línea de suministro aire y otra para aliviar el estanque.	Luces: Wipro Par 12v 36 Leds Luces Traseras Camión Remolque, además de luces laterales y en los extremos según normativa vigente.
Sistema eléctrico: Compuesto por un cable 7 vias, enchufe hembra de metal con patas.	Manhole: Escotilla de 20" diámetro, se puede reemplazar por una escotilla automatizada si se requiere.
Accesorios: Guardabarros, caja de herramientas, escalera tipo gato para acceder escotillas, cintas reflectantes contorno, cintas antideslizantes, manguera descarga 60 [psi].	

Anexo B. Planos Silo Semirremolque



Anexo C. Propiedades mecánicas materiales analizados.

Tabla 21: Tabla propiedades mecánicas ASTM A572 :

Mechanical properties								
Standards	Grades	Yield strength Re	Tensile strength Rm	Ratio Re / Rm	Minimum elongation		Notch impact test	
					min. 200 mm [8 in.]	min. 50 mm [2 in.]	ASTM A673, standard position longitudinal flange	
		MPa [ksi]	MPa [ksi]		%%		Temperature °C (°F)	Energy average J [ft-lbf]
A36 - 04b	A36	≥250 [36]	400-550 [58-80]		20	21		
A572 - 04	Grade 42	≥290 [42]	≥415 [60]		20	24		
	Grade 50	≥345 [50]	≥450 [65]		18	21		
	Grade 55	≥380 [55]	≥485 [70]		17	20		
	Grade 60	≥415 [60]	≥520 [75]		16	18		
	Grade 65	≥450 [65]	≥550 [80]		15	17		

Fuente: (Steelmilsofttheworld, 2018)

Tabla 22:
Tabla propiedades mecánicas Aluminio 6061-T6:

Mechanical Properties	
Property	Value
Brinell hardness	95
Elongation % in 2 inches	12
Elongation % in 2 inches	17
Endurance limit KSI	14
Modulus of Elasticity KSI x 10 ³	10
Ultimate KSI	45
Ultimate shear strength KSI	30
Yield KSI	40

Fuente: (OnlineMetals, 2018)

Anexo D. Clasificación de los semirremolques.

Tabla 23: Tipos de remolque y semirremolques

TIPO	IDENTIFICACION	SERVICIO
1 Plataforma	P	Transporte maderas, planchas, sacos, etc.
2 Plataforma con baranda alta.	PA	Transporte productos a granel.
3 Plataforma de baranda baja.	PB	Transporte carga en general.
4 Furgón	F	Transporte carga general, equipaje.
5 Tolva	T	Transporte productos a granel.
6 Frigorífico.	FR	Transporte carne, frutas, verduras.
7 Estanque	E	Transporte combustibles líquidos, ácidos, soda cáustica, etc.
8 Especial	ESP	Transporte varios, maquinarias, contenedores, silos, etc.

Fuente: Norma Oficial Chilena NCH 1609,Of. 79. (ACHS, 2018)

Tabla 24: Clases de remolques y semirremolques

CLASE	PESO TOTAL KN (Kg.t)*			
	MAYOR QUE:		HASTA (INCLUSIVE)	
1	0,0		9,1	(910)
2	9,1	(910)	15,9	(1 590)
3	15,9	(1 590)	22,7	(2 270)
4	22,7	(2 270)	45,4	(4 540)
5	45,4	(4 540)	75,4	(7 500)
6	75,0	(7 500)	100,0	(10 000)
7	100,0	(10 000)	150,0	(15 000)
8	150,0	(15 000)	200,0	(20 000)
9	200,0	(20 000)	250,0	(25 000)
10	250,0	(25 000)	300,0	(30 000)
11	300,0	(30 000)	350,0	(35 000)
12	350,0	(35 000)	400,0	(40 000)
13	400,0	(40 000)		

Fuente: Norma Oficial Chilena NCH 1609,Of. 79. (ACHS, 2018)

Anexo E. Calidad mallado Ansys.

Los parámetros de mallado a controlar en el desarrollo de este trabajo son 2:

- Asimetría (“Skewness” en inglés): Asimetría u Oblicuidad corresponde a uno de los principales parámetros para medir la calidad de mallado, este determina que tan cerca se encuentran los elementos de una cara ideal.
- Ortogonalidad (“Orthogonal Quality” en inglés): La ortogonalidad corresponde a otro de los parámetros principales para medir la calidad de mallado, este determina la ortogonalidad entre las caras de los elementos que componen el sólido.

La siguiente imagen presenta los valores de los parámetros anteriormente nombrados según el manual de mallado de Ansys.

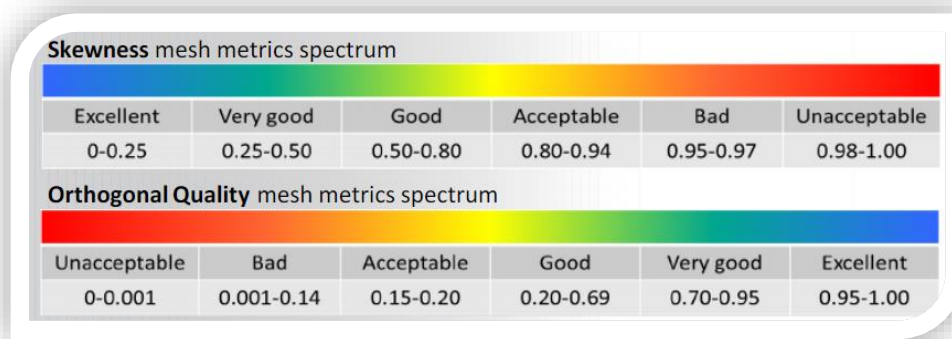


Figura 43: Rangos de calidad de mallado de asimetría y ortogonalidad.

Datos estadísticos del mallado modelo aluminio.

Los siguientes estadísticos representan los datos de mallado sobre el diseño propuesto del silo semirremolque considerando aluminio con un $e = 10$ [mm] como material de constructividad.

Statistics	
Nodes	1677714
Elements	924915

Figura 44: Datos generales mallado Ansys.

Asimetría (Skewness) modelo aluminio:

Los primeros datos a analizar corresponden a la asimetría de los elementos que componen el sólido.

Mesh Metric	Skewness
Min	9,0564e-006
Max	1,
Average	0,39254
Standard Deviation	0,23435

Figura 45: Datos asimetría modelo aluminio.

Obteniendo la siguiente distribución estadística de los elementos:

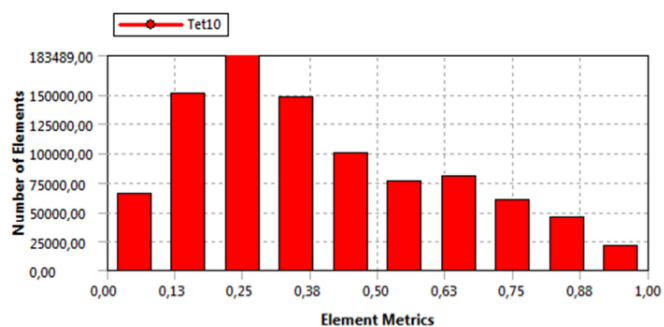


Figura 46: Distribución estadística elementos parámetro asimetria modelo aluminio

Ortogonalidad (Orthogonal Quality) prototipo Aluminio:

Los siguientes datos representan el valor mínimo y máximo del parámetro de orthogonalidad, además del dato promedio y desviación de esta.

Mesh Metric	Orthogonal Quality
Min	1,8438e-002
Max	0,99847
Average	0,73774
Standard Deviation	0,1831

Figura 47 : Valores parametro ortogonalidad modelo aluminio

Se obtiene la siguiente distribución estadística de los elementos:

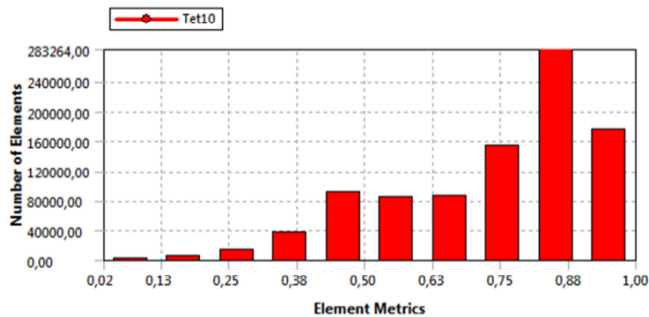


Figura 48: Distribución estadística elementos ortogonalidad modelo aluminio.

Dato estadístico mallado modelo acero.

Los siguientes estadísticos representan los datos de mallado sobre el diseño propuesto del silo semirremolque considerando acero con un $e = 6,35$ [mm] como material de constructividad.

Asimetría (Skewness) modelo acero:

Los primeros datos a analizar corresponden a la asimetría de los elementos que componen el sólido.

Statistics	
☐ Nodes	1378330
☐ Elements	739896
Mesh Metric	
☐ Min	2,6668e-005
☐ Max	1,
☐ Average	0,51309
☐ Standard Deviation	0,29391

Figura 49: Valores parámetro asimetría modelo acero.

De la cual se obtiene la siguiente distribución estadística de los elementos de mallado:

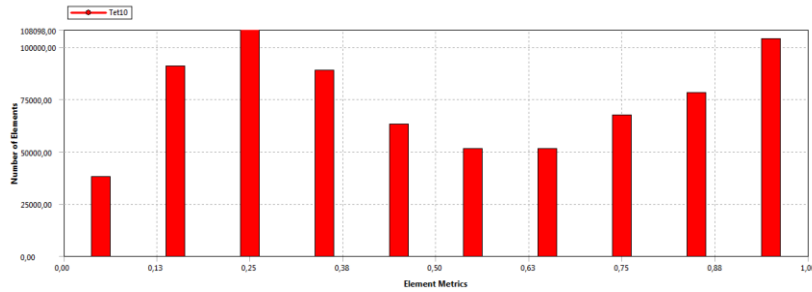


Figura 50: Distribución estadística elementos asimetría modelo acero

Ortogonalidad (Orthogonal Quality) prototipo acero:

Los siguientes datos representan el valor mínimo y máximo del parámetro de ortogonalidad, además del dato promedio y desviación de esta.

Mesh Metric	Orthogonal Quality
Min	2,1971e-002
Max	0,9946
Average	0,646
Standard Deviation	0,2185

Figura 51: Valores parámetro ortogonalidad modelo acero

Se obtiene la siguiente distribución estadística de los elementos:

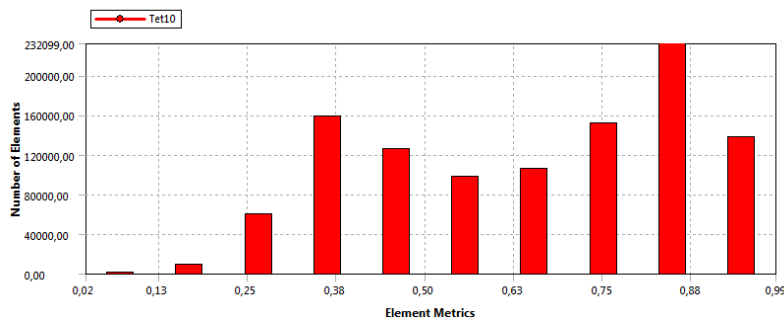


Figura 52: Distribución estadística elementos ortogonalidad modelo acero.

Anexo F: Condiciones de movimiento consideradas para el análisis.

Análisis bajo la acción de frenado:

En este caso se considera el cálculo de la fuerza de inercia que actúa sobre el semirremolque cuando está sometido a una aceleración negativa y que solo es detectable por lo que está ligado a ese sistema acelerado (INTEF, 2018). Para ello se considera una situación crítica en la cual el semirremolque circula a una velocidad de 90 [km/h] y frena en seco sobre el

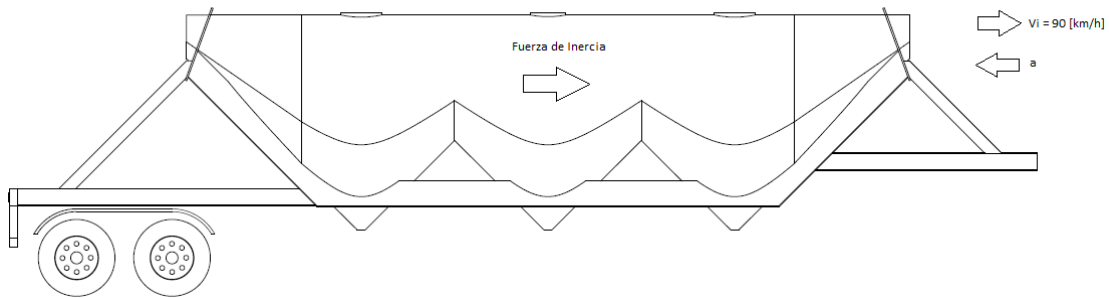


Figura 53: Esquema fuerzas bajo acción de frenado (aceleración negativa)

pavimento, tardando 10 [s] en detenerse completamente.

Datos considerados:

$$t = 10 \text{ [s]}$$

$$V_i = 25 \text{ [m/s]}$$

$$V_f = 0 \text{ [m/s]}$$

$$m = 33.000 \text{ [kg]}$$

Luego se obtiene:

$$V_f = V_i + a \cdot t$$

$$\text{Aceleración de frenado: } -2,5 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$\sum F_x = m \cdot a \rightarrow F_i = m \cdot a$$

$F_i = 33000 * (-2,5) = 82.500 \text{ (N)}$ que corresponde a la fuerza que se proyecta en el eje x positivo y corresponde a la fuerza que se produce durante la frenada en un tiempo de 10 segundos (2,5 veces la masa).

Análisis bajo el ADR:

Las cargas a las que se somete el silo semirremolque cuando este se encuentra en movimiento son variadas dependiendo de la dirección de desplazamiento, estas cargas están reguladas por el acuerdo internacional de transporte de sustancias peligrosas, denominado “ADR” por sus siglas en inglés (UNECE, 2015) y principalmente dependen de la carga máxima permisible “Maximum permissible gross mass” (MPGM por sus siglas en ingles). El MPGM corresponde a la suma de la tara del semirremolque y la carga máxima autorizada para el transporte

Tara semirremolque + Carga a transportar = 33 [TON].

MPGM= 325 [kN]

Según ADR, sección → 6.7.2.2.12 Las cisternas portátiles y su sujeción deberán poder soportar, bajo la carga máxima admisible, las siguientes fuerzas estáticas aplicadas por separado:

a) en la dirección de desplazamiento: el doble de MPGM multiplicado por la aceleración debida a la gravedad (g). 650 [kN]

Análisis bajo recomendaciones de ACHS:

Según las recomendaciones de la asociación chilena de seguridad (ACHS, 2018), en el apartado 7.3.1.5 “Las paredes frontales deben diseñarse para resistir un empuje total que se determina de acuerdo a la siguiente tabla”

Tabla 25: Cargas de diseño de paredes frontales

ALTURA DE LA PARED h (m)	EMPUJE TOTAL E (kN)
1,20 - h - 1,50	$E = 0,5 (P_c - P_{om})$
$1,50 < h$	$E = 0,4 (P_c - P_{om})$

Realizando, las cargas en las paredes frontales es de 116,45 [kN]

Anexo G. Distancia entre eje extremos

Para la obtención de la distancia de los ejes extremos del tracto camión con semirremolque se considera un tracto camión del mercado nacional. La ubicación de la quinta rueda promedio se encuentra 10% delante de la distancia media entre los ejes traseros.

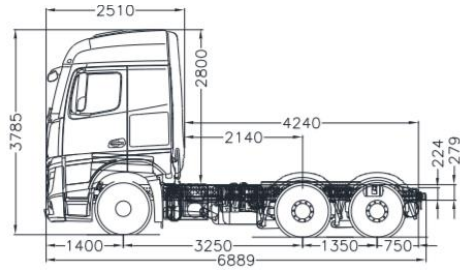


Figura 54: Dimensiones típicas modelo New Actros 2651 LS 6x2

Considerando las medidas de la figura n°55 y las de la figura n°36 se estima una distancia entre los ejes extremos aproximada de 14,85[m]

Lo que implica según el decreto supremo N°106 que la combinaciones tracto-camión/semirremolque pueden desplazar 42 toneladas de peso bruto vehicular.

Anexo H. Costos Soldadura.

Para estimar la cantidad de material de aporte y gases de protección necesarios para realizar el proceso de soldadura del silo semirremolque se consideran las siguientes formulas y tablas derivados del manual de soldadura Indura (INDURA, 2013).

$$\text{Material de aporte [Kg]} = \frac{Pmd \left[\frac{kg}{ml} \right] * ml}{\text{Eficiencia deposicion}}$$

$$\text{Cantidad de gases [m3]} = \frac{Pmd \left[\frac{kg}{ml} \right] * ml * \text{FlujoGas} \left[\frac{m3}{h} \right]}{\text{Velocidad deposicion [kg/h]}}$$

Unión de soldadura						
Espesor (E) mm	METAL DEPOSITADO (kg/ml) (acero)					
3,2	0,045	0,098				
6,4	0,177	0,190	0,380		0,358	
9,5	0,396		0,638		0,605	
12,5	0,708		1,168		1,066	
16	1,103		1,731		1,707	1,089
19	1,592		2,380	1,049	2,130	1,449
25	2,839		3,987	2,578	3,554	2,322
32				3,768		3,380
37,5				5,193		4,648
51				8,680		7,736
63,5				13,674		11,617
76				18,432		16,253

Figura 56: Tabla Peso metal depositado según espesor de soldadura "Manual de soldadura Indura"

Proceso	Eficiencia deposición (%)
Electrodo manual	60-70
MIG sólido	90
MIG tubular c/protección	83
MIG tubular s/protección	79
TIG	95
Arco sumergido	98

Figura 55: Eficiencia deposición para diferentes procesos de soldadura.

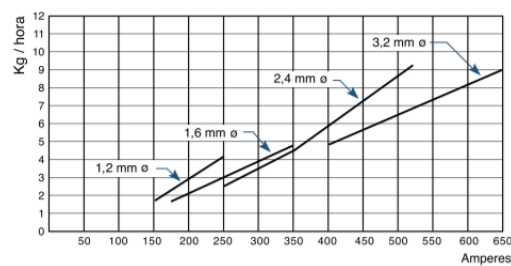


Figura 57: Gráfico velocidad deposición considerando Mig Tubular

Proceso	Flujo gas (m³/hr)
MIG sólido	0,8-1,2
MIG tubular	1,0-1,4
TIG	0,5-1,0

Figura 58: Cantidad de gas necesario para proteccion por unidad de tiempo, fuente indura.

Se consideramos una unión a tope con un bisel de 60°, la cantidad de material depositado ronda los 0,38 kg por metro lineal de soldadura con una eficiencia de deposición del 83% y una velocidad de aporte cercano a 3 (kg/h)

Se estima mediante inventar la cantidad de metros lineales para cada caso:

$$ml_{\text{Aluminio}} = 255 \text{ [m]}$$

$$ml_{\text{Acero}} = 200 \text{ [m]}$$

Metal Base	Transferencia Spray	Transferencia Corto-Circuito
Acero inoxidable	Argón + 2% CO ₂ Argón + 1% O ₂ Argón + 2% O ₂	90% Helio + 7,5% Argón + 2,5% CO ₂
Aceros al carbono y baja aleación	Argón + 2% O ₂ Argón + 20% CO ₂ Argón + 5% CO ₂ Argón + 8% CO ₂	CO ₂ Argón + 20% CO ₂ Argón + 8% CO ₂ Argón + 5% CO ₂
Aluminio y magnesio	Argón Helio Argón + 25% He Argón + 75% He	
Cobre	Helio Argón + 25% He Argón + 50% He Argón + 75% He	

Figura 59: Diferentes gases de protección según metal base, fuente Indura

INDURA 5356	Clasificación AWS: ER-5356
• Alambre sólido de aluminio para proceso de soldadura MIG • Toda posición	• Alambre de aluminio con 5% de Mg • Corriente continua, electrodo positivo • Revestimiento: No tiene

Figura 61: Alambre aporte sistema mig para soldar acero al carbono de alta resistencia mecánica.

INDURA 70S-6	Clasificación AWS: ER-70S-6 / ER-48S-6
• Alambre sólido para proceso de soldadura con protección gaseosa • Revestimiento cobrizado • Corriente continua, electrodo positivo • Toda posición	• Certificado por Canadian Welding Bureau • Certificado anualmente por American Bureau of Shipping, Lloyd's Register of Shipping, Germanischer Lloyd y Nippon Kaiji Kyokai.

Figura 60: Material de aporte recomendado para soldar aluminio 6061, con mig. (INDURA, 2013)

7 Referencias

- ACHS. (2018). *Asociacion Chilena de Seguridad*. Obtenido de Estudio de seguridad sobre remolques y semirremolques pesados de alta velocidad: <http://www.achs.cl/>
- Ayala, J. (julio de 2017). *Conferencia conmemoracion dia del camionero*. Obtenido de La relevancia del transporte terrestre en Chile: <http://www.emol.com/noticias>
- BTI. (2018). *Bulk Tank Inc*. Obtenido de <http://www.bulktankinc.com/products.htm>
- Coloma Alvarez, G. (Julio de 2008). *La Cal: ¿Es un reactivo quimico!* Obtenido de http://www.academia.edu/14138221/LA_CAL_ES_UN_REACTIVO_QU%C3%8DMICO
- Inacal. (2017). *Inacal Bio Bio*. Obtenido de Inacal sitio Web : <https://inacal.cl/productos-y-servicios/logistica/despacho/>
- INDURA. (Julio de 2013). *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura*. Obtenido de <http://www.indura.cl/Web/>
- INTEF. (Enero de 2018). *Instituto nacional de tecnologias educativas y de formacion de profesorado*. Obtenido de http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/finercia/index.htm
- Mineria Chilena. (Diciembre de 2017). *Peso de la minería en el PIB*. Obtenido de <http://www.mch.cl/>
- OnlineMetals. (2018). *Tabla propiedades mecanicas aluminio*. Obtenido de <https://www.onlinemetals.com/>
- Steelmillsoftheworld. (2018). *Tabla Propiedades mecanicas*. Obtenido de <http://www.steelmillsoftheworld.com/>

UNECE. (2015). *European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Roads*. New York & Geneva: United Nations Economic Commission for Europe.