



Diseño de un Semi-Remolque de dos Niveles para la Transportación de Pallets

Alex Rodriguez Herrera⁽¹⁾, Manuel Helguero Gonzáles⁽²⁾
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)⁽¹⁾⁽²⁾

⁽¹⁾Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, arodrigu@espol.edu.ec

⁽²⁾Ing. Mecánico, Profesor FIMCP-ESPOL, mhelguero@espol.edu.ec
Guayaquil – Ecuador⁽¹⁾⁽²⁾

Resumen

El objetivo de esta tesis se fundamenta en diseñar un sistema para la transportación de pallets de un tamaño estándar en dos niveles por medio de un semi-remolque aumentando la eficiencia de este al transportar el producto a los diferentes centros de distribución o puntos de entrega, diferente de las cajas secas tradicionales que solo se puede realizar el procedimiento de carga y descarga por la parte posterior, el nuevo sistema permite hacer lo mismo por los costados facilitando este procedimiento y disminuyendo su tiempo .

Se dio forma a este proyecto extrayendo las dimensiones permitidas por la normativa impuesta por el MTOP (Ministerio de transporte y Obras Publicas), y de la forma de otras plataformas existentes, luego se dimensiono los espacios de carga por medio del cálculo manual y finalmente se realizo la comprobación por medio del Software de Calculo Estructural SolidWorks ® y su complemento Simulation el cual permite aplicar cargas reales al sistema en cuanto a los factores que intervienen en su Diseño.

Para finalizar se realizo una estimación de costos que intervienen tanto en el diseño como en la construcción y puesta a punto del Semi-remolque.

Palabras Claves:*Semi-remolque, Plataforma, Transportación, Pallets.*

Abstract

The objective of this thesis is based on designing a system for transportation of a standard size pallet on two levels by a semi-trailer to increase the efficiency of this by transporting the product to distribution centers or different delivery points, different from the traditional dry boxes that you can only perform the procedure for loading and unloading the rear, the new system can do the same for the side to facilitate this process and reduce their time.

This project took its way by removing the dimensions allowed by the regulations imposed by the MTOP (Ministry of Transport and Public Works), and the form of other platforms, then size the cargo space through the manual calculation and finally checking performed by means of structural calculation software and its complement SolidWorks® Simulation which lets you apply real loads to the system in terms of the factors involved in its design.

Finally, an estimate of costs involved is shown both the design, construction and commissioning of semi-trailer.

Keywords:*Semi-trailer, platforms, transportation, Pallets.*

1. Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un sistema para transportar carga palletizada de una manera fácil, rápida y segura, teniendo este dos niveles en los cuales se puede ubicar esta carga siendo acoplable a todo tipo de cabezas tractoras para poderlas movilizar por las vías del país, diferente de un container que tendría que introducirse el montacargas para extraer o cargar los pallets siendo complicado, y una de las causas para perder el tiempo y estropear la carga que se transporta

Teniendo en cuenta el paulatino de la industria y sus bodegas de almacenaje las cuales dan cabida al diseño planteado siendo una de las opciones más viables cuando se trata de rapidez y facilidad de carga y descarga

Luego para lograr cumplir con todos los requerimientos de dimensiones y capacidades se realizara un análisis en que se evalúan factores técnicos de la distribución de carga tanto a la quinta rueda como al King pin enseguida se pasa a dimensionar elementos que se van a soportar así mismos y a la carga este cálculo se lo hace manual o con ayuda del software CAD (Computer Assistant Design) para este diseño se utilizó el complemento Simulation del paquete Solidworks, el cual por medio del análisis de elementos finitos no muestra resultados como esfuerzos máximo, deformación, y factor de seguridad

2. Sistema de Transportación de Productos

2.1 Objetivos Generales

Obtener un diseño que sea muy eficiente en la transportación de pallet el cual ahorre tiempo en cargar y descargar, además que brinde el mayor cuidado al transportar el producto, y que sea acoplable a todo tipo de cabezales existentes en el medio.

Cumpliendo las legislaciones que rigen en nuestro medio respecto a la transportación.

2.2 Definición de Remolque

Se llama así puede definirse como un vehículo que está diseñado para el transporte de algún producto o mercancía y que para su movilización necesita de un vehículo con potencia suficiente para transportarlo y que debe cumplir con características requeridas para hacerlo.

2.3 Tipos de Semirremolque

Se elegirá el más adecuado, atendiendo a la información proporcionada por el expedidor en cuanto a

las características propias de las materias a transportar, el tipo de envase y embalaje utilizado, la ruta a seguir, etc.

3. Capacidad máxima Según la Legislación Ecuatoriana

3.1 Dimensiones Permitidas

Para el semirremolque y basándose en el reglamento Técnico Andino sobre Límites de Pesos y Dimensiones de los Vehículos destinados al Transporte Internacional de Pasajeros y Mercancías por Carretera” publicado en el Registro Oficial 310, de 20 de abril de 2001 – DECISIÓN 491, la misma que limita las longitudes para camiones, remolques y semirremolques.

3.2 Pesos Permitidos

El peso máximo del ensamble puede transmitirse al piso a través de ejes, está definida por el tipo **3S3** Tracto Camión de 3 ejes y semirremolque de 3 Ejes el cual no limita a un peso máximo de 48 [Tn.] de peso bruto vehicular.

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE (Ton.)	DESCRIPCIÓN	Peso Bruto Vehicular PBV (Toneladas)	Peso Vehículo Vacío (Promedio)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (METROS)		
					Largo	Ancho	Alto
3S3		TRACTO CAMION DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 3 EJES	48.00	18.00	18.50	2.60	4.10

Figura 1 – Peso y longitudes máximas permitidas

4. Diseño Estructural de Semirremolque

4.1 Dimensiones Requeridas

Las dimensiones y pesos máximas permitidas que son:

- Ancho: 2600mm.
- Largo: 18500mm. (incluido tracto camión).
- Alto: 4100mm.
- El peso máximo es de 48 toneladas distribuidas en 6T en el eje delantero, 20T en los eje intermedios y 24T en los ejes traseros.

Las dimensiones requeridas más comunes para la ubicación de un pallet las cuales son:

- Ancho: 1000mm.
- Largo: 1100mm.
- Alto: 1100mm.
- El peso máximo para cada pallet es de una tonelada.

4.2 Requerimientos Estructurales

Para este diseño existen varias características que pueden ser consideradas críticas para una aplicación son:

- Facilidad de encontrar en el mercado
- Propiedades mecánicas a largo plazo
- Cumplir con los requisitos de resistencia
- Ductilidad

4.3 Análisis de Cargas

En un semirremolque es importante determinar los tipos de cargas que intervienen en el análisis del sistema son:

- Cargas estáticas
- Cargas dinámicas
 - Cargas de viento
 - Cargas de impacto

4.3 Diseño de Estructura y Sistema de Almacenamiento

Para comenzar se debe realizar el análisis de material que se va a emplear, para esto se ha seleccionado uno de los materiales más utilizados como es el ASTM A-36, por ser un material de fácil adquisición y costos relativamente bajos en el mercado.

4.3.1 Diseño de Nivel de Carga

Para el diseño del nivel de carga debemos realizar el cálculo necesario aplicando todas las cargas expuestas anteriormente.



Figura 2 –Ubicación del Nivel de Carga

Propiedades Mecánicas utilizadas del Material escogido

$$Sut = 4 \times 10^2 \text{ MPa}$$

$$E = 207 \times 10^9 \text{ Pa}$$

Enseguida se determina el límite de fatiga Se'

A continuación se determinan los factores que modifican el límite de Fatiga Se'

$$Se = ka \cdot kb \cdot kc \cdot kd \cdot ke \cdot Se'$$

Entonces se obtienen las siguientes cargas actuantes y propiedades para el elemento seleccionado:

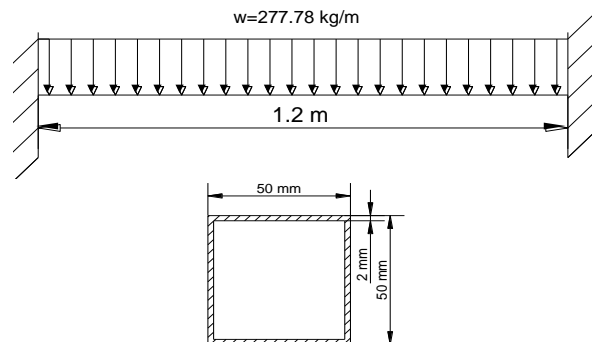


Figura 3 -Gráfica de las Cargas que Actúan sobre la Viga

Para determinar el factor de seguridad del diseño se utilizará la teoría de fallas de GOODMAN cuya ecuación es la siguiente:

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_{at}}{Se} + \frac{\sigma'_{mt}}{Sut}$$

Luego de haber realizado los respectivos cálculos manuales tenemos como resultado que:

$$n = 1.42$$

4.5 Análisis General mediante Software de Diseño

En la industria de la transportación uno de los mayores desafíos que existe al diseñar un semirremolque es la capacidad de dimensionar un remolque que sea liviano y que sea capaz de soportar todas las cargas que actúan en él ya que el material en exceso se convierte en una carga muerta que afecta directamente en el consumo de combustible, desgaste de llantas, motor, plato del King pin, acortando su vida útil.

La integración de un software al diseño en Ingeniería utilizando métodos numéricos como el FEA (Finite Element Analysis) Solidwork que es un software comercial de Diseño el cual ha sido utilizado en este diseño, permite comprobar casi de forma inmediata si dicho elemento a analizar va a resistir a las cargas que esté sometido y tomar las debidas correcciones.

A continuación se presentan los cálculos de los valores de carga que están presentes en la estructura:

Fuerza debido a la carga a Transportar

$$W = m \cdot g$$

m : Masa de un pallet en cada ubicación = 1000 [kg].

g : Aceleración Gravitatoria = 9.81 [m/s^2]

Fuerza debido al peso propio de la estructura

$$W_e = m_e * g$$

m_e : Masa de toda la estructura = 5830 [kg].
 g : Aceleración Gravitatoria = 9.81 [m/s²]

Fuerza debido a las cargas de Impacto

$$W_i = W * 0.30$$

W : Fuerzas debido a las cargas a transporta = 9810 [N]

Fuerza Centrifuga

$$a_c = \frac{v^2}{R}$$

Donde

a_c : Aceleración Centrifuga
 v : Velocidad del Vehículo = 70 [Km/h].
 R : Radio de una curva = 150 [m].

$$F_c = m * a_c$$

Donde

m : Masa de un pallet en cada ubicación = 1000 [kg].

Fuerza de frenado

$$F_f = m * a_f$$

Donde

a_f : Desaceleración mínima = 2.5 [m/s²].
 M_{pallet} : Masa de un pallet en cada ubicación = 1000 [kg].

Fuerza del viento

$$R_a = \frac{1}{2} * C_d * \rho * A_F * v_r^2$$

Donde

R_a : Resistencia del Aire
 C_d : Coeficiente Aerodinámico, para este caso = 1.1
 ρ : Densidad del Aire bajo condiciones normales = 1.2
 A_F : Área proyectada
 v_r : Velocidad relativa entre la velocidad del vehículo y el Aire.
 $v = 70$ [Km/h]
 Velocidad máxima permitida para un vehículo de este tipo

$$v_{Aire} = 64.37$$
 [Km/h]

Condición de viento según Instituto Meteorológico del Ecuador



Figura 4– Vista Isométrica del Modelo

A continuación se muestra los gráficos representativos del cálculo mediante Solidworks y su complemento Simulation Programa de elementos finitos

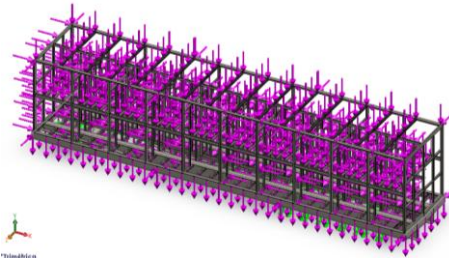


Figura 5 -Aplicación de Cargas y Restricciones al Modelo

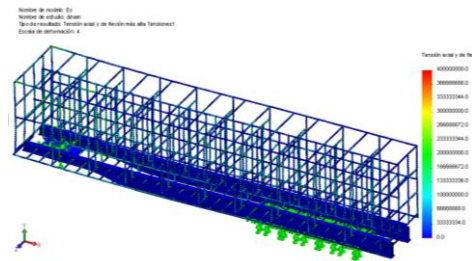


Figura 6 -Resultado de los Esfuerzos a los que está sometido el Modelo

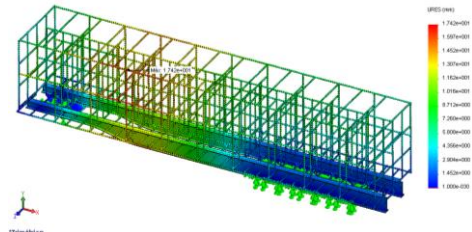


Figura 7 - Resultado del mayor Desplazamiento que presenta el Modelo

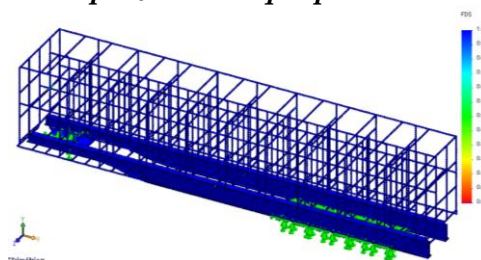


Figura 8 - Factor de Seguridad del modelo Rango 0-1

Aquí se puede observar que el rango del factor de seguridad esta de cero a uno, así se demuestra que ningún elemento está por debajo de uno que es el valor límite.

4.6 Selección de la Suspensión

Se Toma en cuenta:

- Distribución del peso entre la Quinta Rueda y la Suspensión.
- Que proporcione estabilidad y resistencia al vuelco.
- Permite excelente manejo de altura del chasis.
- Fácil instalación y reputación bien merecida de bajo mantenimiento.

Capacidad 25000 lbmínimo



Figura 9 - Suspensión Neumática

Con el fin de reducir costos por recambio de neumáticos y de mantenimiento se opta por seleccionar como adicional el sistema para eje retráctil o **sistema de levante**.



Figura 10 - Operación del Sistema de Levante

4.7 Selección de Ejes

La selección de los ejes se la realiza obteniendo la reacción hacia los ejes por parte del producto a transportar mas el peso de la estructura

Capacidad 25000 lbmínimo



Figura 11 - Ejes

4.8 Selección de Frenos

El sistema de frenos usado es neumático por ser más eficiente que el hidráulico con punta de tambor lubricada con aceite



Figura 12 - Freno de Tambor

Sistema de ABS4S/3M

Tabla 1. MODELOS DE ABS PARA REMOLQUES

Modelos típicos de ABS Easy-Stop™ para remolques					
Modelo	2100 (2S/1M)	2200 (2S/2M)	4200 (4S/2M)	4300 (4S/3M)	6300 (6S/3M)
Configuración	2 sensores/ 1 válvula relevadora ABS	2 sensores/ 2 válvulas relevadora ABS	4 sensores/ 2 válvulas relevadora ABS	4 sensores/ 3 válvulas relevadora ABS	6 sensores/ 3 válvulas relevadora ABS
Diagrama					

LEYENDA: ■ Componentes del ABS ■ Tubería neumática

El sistema de frenos debe cumplir varios requerimientos:

- La capacidad de reserva de aire debe ser al menos de 11 veces el volumen de las cámaras de aire
- Tener una válvula protectora calibrada a 4,8 MPa (70 lb/in³) para evitar la pérdida de aire en caso de rotura de mangueras de aire a sistemas auxiliares
- Los sistemas de válvulas deben incluir una válvula de llenado de tanque y operación de cámara de frenos de emergencia
- El frenado debe ser capaz de producir una deceleración mínima de 2,5 m/s²

4.8 Selección de Accesorios

4.8.1 Selección del King Pin

Para lo cual se debe realizar una distribución de pesos entre el King pin y la suspensión y la fuerza que necesita para mover el semirremolque.

King pin 2" (ø D = 2"): cotas funcionales según la directiva 94 / 20 / EG clase H50, DIN 74080 y ISO 337, Seleccionamos este porque es el más usado en nuestro medio.



Figura 13 - King Pin

4.8.2 Selección de Patas de Apoyo

Esta selección se la realiza mediante un estándar que existe en nuestro medio en el uso de patas apoyo por el fácil acceso con las siguientes características:

- carga de elevación de 24 [TON]
- carga de prueba estática de 50 [TON]



Figura 14 - Barras de Apoyo

4.9 Circuito Eléctrico

Para el sistema de alumbrado se necesita que exista comunicación eléctrica entre el semirremolque y el cabezal es necesario un conector universal de siete vías de “7 Way Trailer End”, para las conexiones respectivas de señalización.

Para que el semirremolque pueda transitar por las vías del país debe cumplir Normas internacionales como la FEDERAL MOTOR VEHICLE SAFETY STANDARDS (FMVSS)

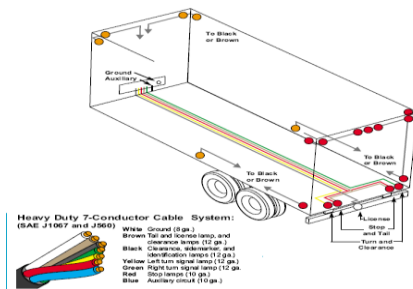


Figura 15- CÓDIGO DE COLORES DEL SISTEMA DE LUCES

4.10 Análisis de Soldadura

Para este cálculo se ha tomado en cuenta dos Normas:

- AWS American Welding Society “Structural Welding Code-Steel” D1.1
- AISC American Institute of Steel Construction

Las Propiedades del electrodo seleccionado se muestran a continuación por ser el más usado a nivel estructural es AWS E 6011.

Tabla 2. PROPIEDADES MÍNIMAS DEL METAL DE SOLDADURA

NÚMERO DE ELECTRODO	RESISTENCIA ÚLTIMA kpsi (MPA)	RESISTENCIA DE FLUENCIA kpsi (MPA)	ELONGACIÓN %
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22

El Factor de seguridad es calculado de acuerdo al criterio de falla energía de distorsión.

Tabla 3. ESFUERZOS PERMITIDOS POR EL REGLAMENTO AISC PARA METAL DE SOLDADURA.

TIPO DE CARGA	TIPO DE JUNTA	ESFUERZO PERMISIBLE	N*
Tensión	A tope	0,60 σ_y	1,67
Flexión	A tope	0,60-0,66 σ_y	1,52-1,67
Compresión simple	A tope	0,60 σ_y	1,67
Cortante	A tope o de filete	0,40 σ_y	1,44

Se calcula el tamaño del filete basándose en la norma AWS D1.1 la cual es una de las metodologías más usadas para dicho cálculo.

Tubo Cuadrado de 50x2mm. Long. 1.2m

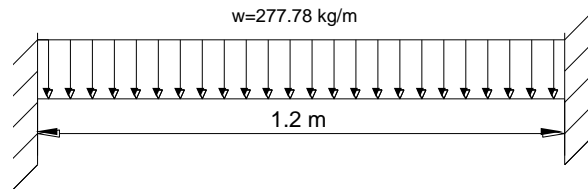


Figura 16 - Gráfico de la Carga Actante sobre la Viga

$$V_{max} = 2125 N$$

$$M_{max} = 425 N \cdot m$$

Para obtener el área de la garganta, ver Apéndice 10, es:

$$A_g = 0.707h(2d + b)$$

$$I_U = \frac{d^2(2b + d)}{3(b + d)}$$

Esfuerzo cortante primario, debido a la fuerza cortante transversal

$$\tau' = \frac{V_{max}}{A_g}$$

Esfuerzo cortante secundario, debido al momento flexión

$$\tau'' = \frac{M_{max}}{I}$$

Obtención de la altura del filete de soldadura h:

Para obtener h, se halla el esfuerzo permisible en la soldadura según American Institute Of Steel Construction AISC, Tabla 3.6.

$$\tau_{permisible} = 0.4S_y$$

En donde S_y es la resistencia a la fluencia del metal de soldadura para el metal de aporte seleccionado en el numeral (electrodo E60XX) obtenida en la Tabla 3.5.

$$S_y = 500 MPa$$

$$\tau_{permisible} = 200 MPa$$

Este esfuerzo permisible debe ser igual o menor al esfuerzo hallado entonces:

$$200[MPa] = \frac{481184.23[Pa]}{h}$$

$$h = 2.4[mm]$$

La soldadura debe tener una altura de filete mínima de 2.4 mm con un factor de seguridad, según la Tabla 7 de: $n = 1.44$

Luego para cumplir con la Norma AISC y AWS D1.1 ver tabla 8. Que dice que para espesores menores de 6.3mm la altura de garganta es de 3.2mm.

Tabla 4. TAMAÑOS MÍNIMOS DE SOLDADURA

Esesor de la más gruesa de las partes unidas mm (pulg.)	Tamaño efectivo mínimo de la garganta mm (pulg.)
menor o igual que 6.3 ($\leq 1/4$)	3.2 ($1/8$)

4.11 Preparación de Superficies

Para la preparación eficiente de las superficies que van a ser pintadas nos basamos en la Norma SSPC (*STEEL STRUCTURES PAINTING COUNCIL*) la cual rige en nuestro medio.

Se utiliza los siguientes grados de preparación:

- **SSPC- SP-2** Limpieza Manual
- **SSPC- SP-3** Limpieza Mecánica
- **SSPC-SP-10** Limpieza con chorro de Abrasivo Grado Cercano a Blanco

4.12 Pintura

El paso final a la entrega del producto siempre es la pintura, esta es la presentación del producto y de la selección adecuada depende la duración del producto ante los agente corrosivos del medio ambiente y factores adversos.

Fondo

Pinturas con agentes dos componentes de alto espesor de poliamida curado de fosfato de zinc epoxy primer con un espesor de **e=80-120 μ m** en capa seca.

Acabado

Dos componentes de poliuretano alifático acrílico con espesor recomendado por el fabricante es de **e=50-60 mils** de película seca.

5. Análisis de Costos

El análisis de inversión que se hará, se basa en precios reales al mes de noviembre de 2010 realizando una cotización entre las distintas proveedoras de perfiles y escogiendo los precios más viables para el diseño.

A continuación se presentará los rubros que intervienen en la construcción del semirremolque:

Costo de Diseño

Se tiene que el tiempo que se requiere para culminar este proyecto es de 280 Horas entonces se obtiene:

$$CostoTotal = Costo \frac{h}{h} * Tiempodediseño$$

$$CostoTotal = 4.6 * 280 = 1288USD + IVA$$

Costo de Materiales

Corresponde a **16178,13 USD + IVA** (Detallado en el trabajo completo)

Costo de Equipos y Elementos tanto Mecánicos y Accesorios

Corresponde a **28725 USD + IVA** (Detallado en el trabajo completo)

Costos de Mano de Obra

Se ha tomado en consideración los costos hora hombre para la fabricación de la estructura y montaje de los sistemas lo cual da como resultado un costo de **9706,87 USD +IVA**

Costos Indirectos

Este valor representa:

- Utilidad.
- Imprevistos.
- Uso de equipos.

Cuyo valor es de 5677,7+IVA.

Costo Total del Semirremolque

Luego de realizados todos los cálculos se llega finalmente a encontrar el costo total de construcción del proyecto dando como resultado el valor de **61575,7 USD +IVA**

6. Conclusiones y recomendaciones

Luego de que se ha pasado por la revisión de normas seguido del proceso de diseño y sus costos en este capítulo, se presenta los términos a los que se ha llegado luego de realizar una exhaustiva investigación sobre aspectos que afectan a la transportación y brindar las respectivas conclusiones.

Se ha optimizado el diseño mediante el software muy conocido en el medio como lo es Solidworks con el fin de que no se tenga material innecesario en el modelo, el cual sólo hace costoso el proyecto dejando de lado la



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



opción de construir empíricamente como se lo ha venido haciendo en varias pequeñas industrias del País.

Este diseño puede ser utilizado en cualquier parte del país sin necesidad de permisos especiales, y se puede acoplar a cualquier cabezal del medio ya que cumple con todas las especificaciones y normas que rigen este tipo de transporte.

Este proyecto está diseñado despreciando las fallas de construcción, es por esta razón que al momento en que se fabrique este diseño lo debe realizar personal calificado, específicamente de soldadores y del Ingeniero Mecánico a cargo que tenga conocimiento de las respectivas normas de construcción aplicables a este tipo de proyectos.

En la instalación del King pin es importante realizar el proceso de soldadura según las indicaciones técnicas presentadas por el fabricante, la placa base del King pin debe estar adecuadamente reforzada según la carga a soportar. Por razones de estabilidad el fabricante recomienda emplear para el King pin de 2" una placa de espesor 1/2", el cual debe estar debidamente centrado y perpendicular a la placa base, estos deben ser revisados su espesor, daño y fisuras mínimo cada 6 meses.

Al instalar la suspensión se debe cumplir con algunas recomendaciones como son verificar que la alineación del eje delantero no exceda una variación máxima de 1/8", del perno rey al eje frontal y una variación máxima de 1/16" de eje a eje en cualquier eje adicional. Verifique que se haya proporcionado un mínimo de 2" desde la llanta a la estructura del semirremolque para las vibraciones del camino, esto proporciona el espacio suficiente para las perturbaciones de la llanta y el viaje del eje.

Se debe realizar pruebas de inspección al circuito Neumático por cualquiera de los métodos conocidos tanto, a los tanques como al circuito del sistema neumático para evitar fugas de aire que puedan causar algún accidente.

4. Bibliografía

[1] JENSEN MANSON, Fundamentos de Dibujo, sexta edición, 1993.

[2] SINGER FERDINAD, Resistencia de Materiales, Editorial Harl, 1994.

[3] SHIGLEY JOSEPH, Diseño en Ingeniería Mecánica, Editorial, McGraw-Hill 2008.

[4] AMERICAN WELDING SOCIETY, Structural Welding Code Steel, AWS D1.1, 2007.

[5] Manuel Ángel Gómez, Mercancías peligrosas: Curso Básico, Editorial Etrasa, 2009.

[6] MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PUBLICAS, Reglamento Técnico Andino sobre Límites de Pesos y Dimensiones de los Vehículos

destinados al Transporte Internacional de Pasajeros y Mercancías por Carretera.

[7] JOSE O. VALDERRAMA CENTRO DE INFORMACION TECNOLÓGICA, Información Tecnológica, Vol. 9, 1998.

[8] MERITOR WABCO, Guía de Instalación ABS Easy Stop 4S/2M con PLC, 2001.

[9] ASTM, American Society for Testing and Materials.

[10] ASSHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials.

[11] DOT, Department of Transportation

[12] SSPC, Steel Structures Painting Council .

[13] FMVSS, Federal Motor Vehicle Safety Standards

[14] J.Y. WONG, Theory of Ground Vehicles, Editorial John Wiley & Sons, 3rd Edition, 2001

[15] DIPAC, Catalogo de Perfiles, 2009