

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO DE UNA PLATAFORMA CAMA-BAJA EXTENSIBLE CON CAPACIDAD DE 25 TONELADAS, ACOPLABLE A CABEZALES DE TRANSPORTE PESADO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**JORGE EDISON CAIZA BARAHONA**

**jorgec\_2802@hotmail.com**

**EDGAR PATRICIO SÁNCHEZ VISCAÍNO**

**crass1822@hotmail.com**

**DIRECTOR: MSC. ING. RICARDO SOTO A.**

**ricardo.soto@epn.edu.ec**

**Quito, Agosto de 2012**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Jorge Edison Caiza Barahona y Edgar Patricio Sánchez Viscaíno, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Jorge Edison Caiza Barahona**

---

**Edgar Patricio Sánchez Viscaíno**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Jorge Edison Caiza Barahona y Edgar Patricio Sánchez Viscaíno, bajo nuestra supervisión.

---

**Msc. Ing. Ricardo Soto A.**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

**Ing. Homero Barragán**  
**COLABORADOR DEL PROYECTO**

---

**Ing. Mario Granja**  
**COLABORADOR DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por llevarme a su lado a lo largo de esta vida siempre llenándome de alegría y gozo.

A mi madre por ser el pilar fundamental en mi vida, que con todo su amor y tenacidad lucho incansablemente para que pueda alcanzar mi meta. A mi abuelito Manuel Barahona por todo su apoyo, cariño y consejos en momentos difíciles, mientras compartió su existencia en este mundo.

A mis amigos que estuvieron siempre conmigo durante toda mi instancia en la carrera, es especial a Edgar y Santiago. A los ingenieros Ricardo Soto, Homero Barragán y Mario Granja por transmitir sus conocimientos para la culminación de este proyecto.

*Jorge*

Mi eterno agradecimiento a mi Dios por haberme brindado el regalo más hermoso que es mi familia, por las oportunidades, por la confianza y por sentir su fuerza celestial en las tormentas pasajeras de mi vida.

A mis padres Jaime y Carmen, de quienes es realmente este logro, ya que solo ellos supieron brindarme cada uno su apoyo, comprensión y por sobre todo y lo más importante, su cariño incondicional.

A mis hermanos Jaime y Evelyn, quienes con su confianza, sus palabras y su ternura me hicieron sentir un ejemplo importante en sus vidas.

Finalmente agradezco a todas las personas que de una u otra manera influyeron para la culminación de este trayecto, entre ellos mis amigos Jorge y Santiago ya que sin sus ocurrencias los años de universidad hubieran sido diferentes. A los ingenieros, profesores, amigos y demás familiares que estuvieron presentes cuando los necesité. Gracias.

*Edgar*

## DEDICATORIA

Dedico a Dios por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más. A mis padres Pedro Caiza y Transito Barahona por haberme educado, soportar mis errores, consejos, por el amor que siempre me han brindado, por cultivar e inculcar ese sabio don de la responsabilidad y su apoyo incondicional para culminar mi carrera profesional.

A mis abuelitos por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida, A mi hijo Stephen que es la parte fundamental e inspiración para culminar con éxito mi meta.

A mis hermanos porque siempre he contado con ellos de manera incondicional.

*Jorge*

Este paso lo dedico principalmente a Dios por haberme brindado la oportunidad de salir adelante, por brindarme la vida y por sobre todo por nunca abandonarme.

A mi madre quien durante todos estos años supo corregirme, enseñarme e inculcarme las cosas buenas de la vida.

A mi padre, quien por sobre todos fue el pilar de mi vida, de mis sueños, mis triunfos y mis esperanzas.

A mi hermano, quien me ha enseñado lo duro que es brindar un buen ejemplo, pero de quien además se que recordará cada alegría compartida juntos.

A mi hermanita, que es parte de mi vida desde siempre y de la cual agradezco a Dios por su llegada.

Finalmente, lo dedico a mi tío Marco, quien sabe lo duro que fue esto, y al cual lo único que me falta decir es gracias y promesa cumplida.

*Edgar*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4	OBJETIVOS.....	3
1.4.1	OBJETIVO GENERAL.....	3
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.5	ALCANCE.....	4
<b>2</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>6</b>
2.1	TRANSPORTE ESPECIAL.....	6
2.1.1	CARGA SOBREDIMENSIONADA.....	7
2.1.2	PROCEDIMIENTOS DE TRANSPORTE DE CARGA SOBREDIMENSIONADA.....	8
2.1.3	EQUIPOS PARA TRANSPORTE SOBREDIMENSIONADO.....	10
2.1.3.1	Equipos de izaje y estibas de carga.....	11
2.1.3.2	Vehículos de arrastre.....	11
2.1.3.2.1	Cabezales de transporte.....	12
2.1.3.3	Plataforma para carga sobredimensionada.....	14
2.1.3.3.1	Tipos de plataformas.....	15
2.1.4	RADIO DE GIRO EN LA CONFIGURACIÓN TRACTOCAMIÓN SEMIRREMOLQUE.....	16
2.2	SEMIRREMOLQUES EXTENSIBLES.....	19
2.2.1	DEFINICIÓN DE ELEMENTOS CONSTITUTIVOS.....	20
2.2.1.1	Sistema estructural.....	20
2.2.1.2	Sistema de suspensión.....	21
2.2.1.3	Ejes.....	24
2.2.1.4	Sistema de frenos.....	25

2.2.1.5	Rines y llantas.....	26
2.2.1.6	Sistema de acoplamiento.....	27
2.2.1.7	Patatas de apoyo.....	28
2.2.1.8	Sistema eléctrico.....	28
2.3	RED VIAL EN EL ECUADOR.....	29
2.3.1	SISTEMA VIAL URBANO.....	29
2.3.2	SISTEMA VIAL SUBURBANO.....	30
2.3.2.1	Vías arteriales principales.....	30
2.3.2.2	Vías arteriales secundarias.....	31
2.3.2.3	Vías colectoras principales.....	31
2.3.2.4	Vías colectoras suburbanas.....	31
2.4	REGLAMENTO NACIONAL PARA MOVILIZACIÓN DE TRANSPORTE PESADO.....	30
<b>3</b>	<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>35</b>
3.1	ESPECIFICACIONES Y REQUISITOS DE DISEÑO.....	35
3.2	MÉTODO DE FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA LRFD.....	35
3.2.1	RESISTENCIA REQUERIDA.....	36
3.2.2	ESTADO LÍMITE.....	36
3.2.3	FACTORES DE CARGA.....	37
3.2.4	FACTORES DE RESISTENCIA.....	37
3.3	CARGAS Y COMBINACIONES DE CARGAS.....	38
3.3.1	CARGA ESTÁTICA.....	38
3.3.2	CARGAS DINÁMICAS.....	38
3.3.2.1	Carga de seguridad.....	39
3.3.2.2	Carga viva.....	39
3.3.2.3	Carga de impacto.....	40
3.3.2.4	Cargas laterales.....	40
3.3.2.4.1	Carga de viento.....	40
3.3.2.4.2	Fuerza de tiro.....	43
3.3.3	COMBINACIONES DE CARGA PARA LRFD.....	43

3.4	DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	45
3.4.1	CLASIFICACIÓN DE LAS SECCIONES DE ACERO.....	46
3.4.2	DISEÑO DE MIEMBROS A TRACCIÓN.....	48
3.4.2.1	Áreas de la sección.....	49
3.4.3	DISEÑO DE MIEMBROS A CORTE.....	50
3.4.4	DISEÑO DE MIEMBROS EN COMPRESIÓN.....	50
3.4.5	DISEÑO DE MIEMBROS EN FLEXIÓN.....	51
3.4.5.1	Deflexiones.....	53
3.5	CONEXIONES.....	53
3.5.1	CONEXIONES POR PASADOR.....	54
3.5.1.1	Diseño del pasador.....	54
3.5.1.2	Diseño de elementos conectados por pasador.....	54
3.5.2	CONEXIONES SOLDADAS.....	56
3.5.2.1	Tipos de soldadura.....	56
3.5.2.2	Transición de espesor.....	61
3.5.2.3	Resistencia.....	61
3.5.2.4	Conexiones resistentes a momento.....	63
3.6	DISEÑO POR RESISTENCIA ESTÁTICA.....	63
3.6.1	TEORÍA DE LA ENERGÍA DE LA DISTORSIÓN.....	64
3.6.2	FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO.....	64
3.7	DISEÑO POR RESISTENCIA A LA FATIGA.....	65
3.7.1	ESFUERZOS FLUCTUANTES.....	65
3.7.2	FACTORES MODIFICADORES DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA.....	65
3.7.3	LÍNEA DE GOODMAN.....	66
3.7.4	FACTOR DE SEGURIDAD DINÁMICO.....	67
<b>4</b>	<b>ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....</b>	<b>68</b>
4.1	DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	68
4.1.1	ALTERNATIVA A. SEMIRREMOLQUE BIEXTENSIBLE.....	65

4.1.2	ALTERNATIVA B PLATAFORMA CAMA BAJA EXTENSIBLE CON BASTIDOR DE DOBLE VIGA.....	70
4.1.3	ALTERNATIVA C SEMIRREMOLQUE CAMA BAJA EXTENSIBLE CON SOPORTE CENTRAL TIPO CAJON.....	71
4.2	EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.....	72
4.2.1	MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS..	73
4.2.1.1	Criterios de valoración.....	73
4.2.2	TABLAS DE PONDERACIÓN.....	74
4.2.3	TABLA DE CONCLUSIONES. ....	77
<b>5</b>	<b>DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.....</b>	<b>78</b>
5.1	GENERALIDADES.....	78
5.2	DISPOSICIÓN DETALLADA DE LA PLATAFORMA.....	78
5.2.1	DISPOSICIÓN DE LOS ACCESORIOS.....	80
5.2.2	DISPOSICIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL.....	80
5.3	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	83
5.3.1	CAPACIDAD DE CARGA.....	83
5.3.2	UBICACIÓN DE CARGAS.....	83
5.3.2.1	Hipótesis de carga 1.....	84
5.3.2.2	Hipótesis de carga 2.....	84
5.3.2.3	Hipótesis de carga 3.....	85
5.3.2.4	Hipótesis de carga 4.....	85
5.3.2.5	Hipótesis de carga 5.....	86
5.3.3	LONGITUD ADECUADA DE EXTENSIÓN DE LA PLATAFORMA.....	86
5.3.3.1	Dimensión del tracto camión.....	87
5.3.3.2	Longitud de la plataforma.....	88
5.3.3.3	Radio de giro y ancho entre caras externas.....	88
5.3.3.4	Características geométricas de las vías en curva.....	88
5.3.3.5	Cálculo del ancho de curva.....	89
5.3.4	DIMENSIONES DE LA PLATAFORMA.....	90

5.3.5	REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES.....	93
5.4	DETERMINACIÓN DE CARGAS ACTUANTES EN LA ESTRUCTURA.....	93
5.4.1	CARGA MUERTA (Cm).....	93
5.4.2	CARGA DE SEGURIDAD (Cs).....	95
5.4.3	CARGA VIVA (Cv).....	96
5.4.4	CARGA DE IMPACTO (Ci).....	96
5.4.5	CARGA DE DISEÑO (Cd).....	96
5.4.6	CARGA DE VIENTO (Cw).....	97
5.4.7	FUERZA DE TIRO O ARRASTRE (Ft).....	98
5.5	ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.....	99
5.5.1	ANÁLISIS Y DISEÑO DE LAS VIGAS CENTRALES.....	100
5.5.1.1	Asignación de cargas.....	100
5.5.1.2	Asignación de perfiles.....	104
5.5.1.3	Diseño a flexión.....	105
5.5.1.4	Resultados de diseño.....	105
5.5.2	ANÁLISIS Y DISEÑO DE ARRIOSTRES .....	111
5.5.3	ANÁLISIS Y DISEÑO DE TREVESAÑOS.....	117
5.5.4	DISEÑO DE PLACAS DE ENCAJONAMIENTO.....	119
5.5.5	DISEÑO DEL PLATO DE GIRO.....	123
5.6	SELECCIÓN DE ACCESORIOS.....	127
5.6.1	SELECCIÓN DEL KING PIN.....	127
5.6.2	SELECCIÓN DE LA SUSPENSIÓN.....	127
5.6.3	SELECCIÓN DE EJES.....	128
5.6.4	SELECCIÓN DE NEUMÁTICOS.....	129
5.6.5	SELECCIÓN DE PATAS DE APOYO.....	129
5.7	DISEÑO DE CONEXIONES.....	130
5.7.1	DISEÑO DE LA CONEXIONES POR PASADOR.....	130
5.7.1.1	Diseño del pasador.....	130
5.7.1.2	Comprobación de elementos conectados por pasador.....	133
5.7.2	DISEÑO DE LAS CONEXIONES POR SOLDADURA.....	135

5.7.2.1	Material de aporte para la soldadura.....	135
5.7.2.2	Soldadura en las vigas principales del bastidor móvil.....	136
5.7.2.3	Soldadura en las vigas principales del bastidor fijo.....	142
5.7.2.4	Soldadura diversas.....	144
<b>6</b>	<b>PROCEDIMIENTOS DE FABRICACIÓN, MONTAJE Y ANÁLISIS DE COSTOS.....</b>	<b>145</b>
6.1	FABRICACIÓN Y MONTAJE.....	145
6.1.1	DETALLES DE FABRICACIÓN.....	145
6.1.2	ESPECIFICACIONES DE MONTAJE.....	145
6.1.3	ELABORACION DE PLANOS DE MONTAJE Y DE TALLER.....	146
6.2	COSTOS.....	147
6.2.1	ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS.....	147
6.2.1.1	Materiales y accesorios.....	147
6.2.1.2	Fabricación y montaje.....	149
6.2.1.3	Diseño.....	150
6.2.2	ANÁLISIS DE COSTOS INDIRECTOS.....	150
6.2.3	COSTO TOTAL.....	151
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>152</b>
7.1	CONCLUSIONES.....	152
7.2	RECOMENDACIONES.....	153
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>155</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>157</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Transporte especial de líquidos.....	6
Figura 2.2	Transporte especial de carga sobredimensionada.....	7
Figura 2.3	Grúa móvil para izajes.....	11
Figura 2.4	Cabezal marca Kenworth.....	12
Figura 2.5	Clasificación de tractocamiones según ASSTHO.....	14
Figura 2.6	Modular autopropulsado.....	14
Figura 2.7	Modular hidráulico.....	16
Figura 2.8	Tipos de semirremolque cama baja.....	17
Figura 2.9	Parámetros de giro de la combinación tractocamión – semirremolque.....	19
Figura 2.10	Cama baja de caída simple extensible.....	20
Figura 2.11	Suspensión mecánica Tándem.....	22
Figura 2.12	Suspensión neumática.....	23
Figura 2.13	Suspensión de viga igualadora.....	24
Figura 2.14	Eje.....	24
Figura 2.15	Cámara de aire.....	25
Figura 2.16	Rin y neumático para servicio pesado.....	26
Figura 2.17	Elementos del sistema de acoplamiento.....	27
Figura 2.18	Patas de apoyo.....	28
Figura 2.19	Elementos del sistema eléctrico.....	29
Figura 3.1	Área de elementos conectados por pasador.....	50
Figura 3.2	Tipos de soldadura de ranura.....	51
Figura 3.3	Soldadura de filete.....	53
Figura 3.4	Tamaño máximo de soldadura de filete en bordes de uniones traslapadas.....	54
Figura 3.5	Transición de uniones a tope de espesor diferente.....	55
Figura 3.6	Línea de Goodman modificado.....	67

Figura 4.1	Semirremolque biextensible.....	68
Figura 4.2	Semirremolque con soporte central de doble viga.....	70
Figura 4.3	Semirremolque extensible con viga central tipo cajón.....	71
Figura 4.4	Sistema extensible tipo cajón.....	71
Figura 5.1	Elementos constitutivos de la plataforma extensible.....	79
Figura 5.2	Sección fija y móvil de la plataforma extensible.....	80
Figura 5.3	Ubicación de la cubierta metálica y de la cubierta de madera.....	81
Figura 5.4	Designación de los elementos estructurales.....	82
Figura 5.5	Carga distribuida hipótesis 1.....	84
Figura 5.6	Carga distribuida hipótesis 2.....	84
Figura 5.7	Carga puntuales hipótesis 3.....	85
Figura 5.8	Carga puntuales hipótesis 4.....	85
Figura 5.9	Carga distribuida hipótesis 5.....	86
Figura 5.10	Dimensiones de tractocamión para camino montañoso y rocoso.....	87
Figura 5.11	Especificaciones de una vía curva de un carril por sentido.....	89
Figura 5.12	Principales dimensiones de la plataforma.....	92
Figura 5.13	Zonas características de la plataforma.....	99
Figura 5.14	Asignación carga de viento.....	101
Figura 5.15	Asignación carga de diseño hipótesis 1.....	101
Figura 5.16	Asignación carga de diseño hipótesis 2.....	102
Figura 5.17	Asignación carga de diseño hipótesis 3.....	102
Figura 5.18	Asignación carga de diseño hipótesis 4.....	103
Figura 5.19	Asignación carga de diseño hipótesis 5.....	104
Figura 5.20	Momento máximo en zona 4.....	105
Figura 5.21	Deflexión máxima.....	108
Figura 5.22	Resultados de análisis para la hipótesis 1.....	109
Figura 5.23	Resultados de análisis para la hipótesis 2.....	109
Figura 5.24	Resultados de análisis para la hipótesis 3.....	110
Figura 5.25	Resultados de análisis para la hipótesis 4.....	110

Figura 5.26	Resultados de análisis para la hipótesis 5.....	111
Figura 5.27	Ubicación de arriostres principales.....	112
Figura 5.28	Resultados del diseño de arriostres principales.....	113
Figura 5.29	Soportes de king pin.....	113
Figura 5.30	Resultados de diseño soportes del king pin.....	114
Figura 5.31	Soportes de bastidor móvil.....	114
Figura 5.32	Resultados del diseño de arriostres secundarios.....	115
Figura 5.33	Soportes del plato de giro.....	116
Figura 5.34	Resultados de diseño de los soportes del plato de giro.....	116
Figura 5.35	Carga de diseño en travesaños.....	117
Figura 5.36	Resultados de diseño de travesaños.....	117
Figura 5.37	Vigas de soporte de piso.....	118
Figura 5.38	Área tributaria.....	118
Figura 5.39	Resultado del diseño de soportes de piso.....	119
Figura 5.40	Zona crítica de placas de encajonamiento.....	120
Figura 5.41	Tensión máxima en placas.....	120
Figura 5.42	Desplazamiento máximo en placas.....	121
Figura 5.43	Tensión máxima en plato de giro.....	124
Figura 5.44	Desplazamiento máximo en plato de giro.....	124
Figura 5.45	Reacciones máximas resultantes.....	127
Figura 5.46	Disposiciones del pasador.....	130
Figura 5.47	Diagrama de momento y corte.....	131
Figura 5.48	Ubicación de conexión 1, 2 y 3.....	136
Figura 5.49	Dimensiones de junta 1 y 2.....	137
Figura 5.50	Distribución de cargas en la conexión 1 y 2.....	137
Figura 5.51	Momento máximo en la conexión 1 y 2.....	138
Figura 5.52	Cortante máximo en la conexión 1.....	138
Figura 5.53	Dimensiones de la junta 3.....	140
Figura 5.54	Momento máximo en la conexión 3.....	140
Figura 5.55	Cortante máximo en la conexión 3.....	141

Figura 5.56	Ubicación de la conexión 4.....	142
Figura 5.57	Dimensiones de la junta 4.....	143
Figura 5.58	Momento máximo en la conexión 4.....	143
Figura 5.59	Cortante máximo en la conexión 4.....	144

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Pesos y longitudes máximas permisibles.....	33
Tabla 2.2	Límites de longitudes.....	33
Tabla 2.3	Costos de certificados de dimensiones y carga.....	33
Tabla 3.1	Factores de carga característicos.....	46
Tabla 3.2	Garganta efectiva de soldadura de tope con junta de penetración parcial.....	58
Tabla 3.3	Resistencia disponible en juntas soldadas a tope de penetración completa.....	62
Tabla 4.1	Evaluación del peso específico de cada criterio.....	74
Tabla 4.2	Evaluación del peso específico del criterio fiabilidad.....	75
Tabla 4.3	Evaluación del peso específico del criterio facilidad de diseño y construcción.....	75
Tabla 4.4	Evaluación del peso específico del criterio capacidad.....	75
Tabla 4.5	Evaluación del peso específico del criterio costo.....	76
Tabla 4.6	Evaluación del peso específico del menor peso.....	76
Tabla 4.7	Evaluación del peso específico del criterio materiales en el mercado.....	76
Tabla 4.8	Evaluación del peso específico del criterio facilidad de operación.....	77
Tabla 4.9	Evaluación del peso específico del criterio facilidad de mantenimiento.....	77
Tabla 4.10	Tabla de conclusiones.....	77
Tabla 5.1	Elementos de la plataforma extensible.....	79
Tabla 5.2	Dimensiones comunes de tractocamiones.....	87
Tabla 5.3	Anchos de curva y de carril para diferentes radios de curva.....	90
Tabla 5.4	Principales dimensiones de la plataforma.....	91
Tabla 5.5	Propiedades mecánicas del acero A-36.....	93

Tabla 5.6	Aporte en peso de elementos estructurales.....	94
Tabla 5.7	Aporte en peso de accesorios.....	94
Tabla 5.8	Peso total de la plataforma.....	95
Tabla 5.9	Propiedades de electrodos E-6010 y ER70S-6.....	136
Tabla 6.1	Costos de perfiles y planchas.....	148
Tabla 6.2	Costos de accesorios.....	149
Tabla 6.3	Costos de fabricación y montaje.....	150
Tabla 6.4	Costos de diseño.....	150
Tabla 6.5	Costos de totales.....	151

## RESUMEN

El presente proyecto es realizado con la finalidad de establecer una propuesta de diseño de una plataforma cama baja extensible que sea acoplable a cabezales comunes de transporte pesado, para facilitar el transporte por carretera de cargas especiales sobredimensionadas en longitud a través de las vías nacionales.

El diseño se establece en base a la geometría y configuración de una plataforma cama baja normal de fabricación nacional, que cumpla con los requisitos establecidos en el reglamento nacional para la transportación de carga pesada y los códigos de diseño para estructuras metálicas.

El proyecto inicia con una información resumida sobre la importancia, procedimientos y usos de plataformas especiales en la transportación. Posteriormente se señala ventajas y desventajas sobre las diferentes alternativas de plataformas extensibles, para, mediante un análisis elegir la más adecuada que permita alcanzar los objetivos establecidos.

De la alternativa seleccionada se procede a detallar la disposición final y selección de cada elemento estructural que conforma la plataforma, así como también de sus accesorios y complementos. Tomando en cuenta parámetros y situaciones que influirán durante la operación de la plataforma.

En esta parte del proyecto es indispensable esclarecer los diferentes recursos y limitantes, ya que en nuestro país no se dispone aún de una amplia gama, tanto en calidad y variedad, de perfilería estructural y accesorios.

Finalmente el proyecto concluirá con el diseño detallado, designación de procesos de fabricación y montaje de la plataforma y determinación de los costos aproximados para la construcción de la misma.

## PRESENTACIÓN

El creciente desarrollo tecnológico ha permitido optimizar los procesos de fabricación logrando así, que determinadas estructuras o sistemas mecánicos aumenten sus tamaños gradualmente, para mejorar sus prestaciones y disminuir los costos y el tiempo empleado en el montaje de la estructura final.

Razón por la cual se ve necesario el desarrollo nuevos sistemas especiales para la trasportación de este tipo de cargas de una forma eficiente y segura.

Actualmente las empresas en el Ecuador dedicadas a la transportación o movilización de cargas de gran tamaño cuentan con semirremolques como su principal sistema de transporte. Estos en su mayoría son de fabricación extranjera y en otros casos se realiza adaptaciones temporales a plataformas normales, con el fin de presentar una alternativa para futuras construcciones de este tipo de se realiza el siguiente proyecto.

Al no existir un código de diseño para este tipo de estructuras, se empleará las especificaciones ANSI/AICS 360-05, ya que esta establece criterios de diseño, fabricación y montaje para estructuras de acero con elementos resistentes a cargas verticales y laterales semejantes a las actuantes en la plataforma.

En este documento se entrega el procedimiento y las consideraciones tomadas para el diseño de la alternativa seleccionada y su construcción, resultado del análisis de una visión ingenieril y técnica, y el uso de herramientas informáticas para fines de diseño mecánico.

Además se pretende orientar e incentivar a las industrias metalmecánicas del país en la construcción de semirremolques especiales que permita aumentar la versatilidad de los cargamentos que se pueden transportar sobre ellas.

## SIMBOLOGÍA

<b><i>A</i></b>	Área transversal del pasador (cm <sup>2</sup> )
<b><i>A<sub>e</sub></i></b>	Área neta efectiva (cm <sup>2</sup> )
<b><i>A<sub>g</sub></i></b>	Área bruta del miembro (cm <sup>2</sup> )
<b><i>A<sub>MB</sub></i></b>	Área de la sección transversal del metal base (cm <sup>2</sup> )
<b><i>A<sub>n</sub></i></b>	Área neta (cm <sup>2</sup> )
<b><i>A<sub>pb</sub></i></b>	Área proyectada de aplastamiento (cm <sup>2</sup> )
<b><i>A<sub>s</sub></i></b>	Área neta de la pared (m <sup>2</sup> )
<b><i>A<sub>sf</sub></i></b>	Área de corte (cm <sup>2</sup> )
<b><i>A<sub>w</sub></i></b>	Área del alma, altura total por el espesor (cm <sup>2</sup> )
<b><i>A<sub>w</sub></i></b>	Área efectiva de la soldadura (cm <sup>2</sup> )
<b><i>C<sub>f</sub></i></b>	Coefficiente de fuerza neta
<b><i>C<sub>v</sub></i></b>	Coefficiente de corte, para almas de perfiles laminados
<b><i>D</i></b>	Carga muerta (kgf)
<b><i>E</i></b>	Carga al sismo (kgf)
<b><i>F<sub>MB</sub></i></b>	Tensión nominal del metal base (kgf/cm <sup>2</sup> )
<b><i>F<sub>t</sub></i></b>	Fuerza de tiro (N)
<b><i>F<sub>u</sub></i></b>	Resistencia a la tensión mínima (kgf/cm <sup>2</sup> )
<b><i>F<sub>w</sub></i></b>	Tensión nominal del metal de soldadura (kgf/cm <sup>2</sup> )
<b><i>F<sub>wi</sub></i></b>	Fuerza de viento (kgf)
<b><i>F<sub>y</sub></i></b>	Tensión mínima de fluencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
<b><i>G</i></b>	Factor de efecto de ráfaga
<b><i>J</i></b>	Constante torsional (cm <sup>4</sup> )
<b><i>K<sub>d</sub></i></b>	Factor de direccionalidad del viento
<b><i>K<sub>z</sub></i></b>	Factor de exposición
<b><i>K<sub>zt</sub></i></b>	Factor topográfico
<b><i>L</i></b>	Carga viva (kgf)
<b><i>L<sub>b</sub></i></b>	Longitud entre arriostramientos (cm)

$L_i$	Suma de distancia entre de ejes de tractocamión (m)
$L_p$	Longitud límite al volcamiento (cm)
$L_r$	Longitud límite de pandeo flexo-torsional inelástico (cm)
$L_{ro}$	Carga viva sobre techo (kgf)
$M_n$	Resistencia nominal a flexión (kgf-cm))
$P_n$	Resistencia nominal (kgf)
$P_u$	Resistencia nominal de operación (kgf)
$R$	Carga de lluvia (kgf)
$R_c$	Radio de curvatura (m)
$R_u$	Resistencia nominal de operación (kgf)
$S$	Carga de nieve (kgf)
$S_e$	Límite de resistencia a la fatiga del elemento (kgf/cm <sup>2</sup> )
$S'_e$	Límite de resistencia a la fatiga de la probeta (kgf/cm <sup>2</sup> )
$S_m$	Componente media (kgf/cm <sup>2</sup> )
$S_x$	Módulo de sección elástico en torno al eje x (cm <sup>3</sup> )
$U$	Ancho de barrido en curva (m)
$V$	Velocidad (m/s)
$W$	Carga de viento (kgf)
$Z_x$	Módulo de sección plástica en torno al eje x (cm <sup>3</sup> )
$a$	Aceleración (m/s <sup>2</sup> )
$b_{eff}$	Ancho efectivo de la platina (cm)
$d$	Diámetro del pasador (cm)
$e$	Distancia medida paralelamente a la fuerza aplicada (cm)
$h_o$	Distancia entre centroide de alas (cm)
$k_a$	Factor de superficie
$k_b$	Factor de tamaño
$k_c$	Factor de confiabilidad
$k_d$	Factor de temperatura
$k_e$	Factor de concentración de esfuerzos
$k_f$	Factor de efectos diversos

$l$	Longitud del elemento que incide en la deflexión (cm)
$m$	Masa total que se requiere movilizar (kg)
$n$	Factor de seguridad
$q_z$	Presión dinámica de viento evaluada a una altura $h$ (N/m <sup>2</sup> )
$r_y$	Radio de giro en torno al eje $y$ (cm)
$t$	Menor espesor de los elementos conectados (cm)
$t$	Tiempo (s)
$u$	Distancia entre las caras externas de los neumáticos (m)
$\Delta$	Deflexión máxima presentada en la estructura (cm)
$\emptyset$	Factor de resistencia
$\emptyset_{sf}$	Factor de resistencia para falla en bloque de corte
$\emptyset_t$	Factor de resistencia para tracción
$\emptyset_t$	Factor de resistencia para flexión
$\emptyset_v$	Factor de resistencia a corte
$\lambda_p$	Esbeltez a pandeo local límite para elementos compactos
$\lambda_r$	Esbeltez a pandeo local límite elementos no compactos
$\sigma_a$	Esfuerzo amplitud (kgf/cm <sup>2</sup> )
$\sigma_{m\acute{a}x}$	Esfuerzo máximo (kgf/cm <sup>2</sup> )
$\sigma_{m\acute{i}n}$	Esfuerzo mínimo (kgf/cm <sup>2</sup> )
$\sigma_{min}$	Esfuerzo medio (kgf/cm <sup>2</sup> )

# CAPÍTULO 1

## ANTECEDENTES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

En el Ecuador el principal medio de transporte de cargamento sobredimensionado se lo realiza mediante semirremolques estándar, pero actualmente por el desarrollo tecnológico y el uso de estructuras o sistemas de mayor envergadura ha generado que este medio de movilización en determinadas ocasiones sea insuficiente.

Las empresas de ingeniería son las que en su mayoría solicitan los servicios de empresas de transporte para su carga sobredimensionada. Normalmente las industrias de ingeniería que toman parte en grandes proyectos llaman a empresas de transportes para participar en los estudios de factibilidad de caminos, accesos medidas y pesos a transportar.

La gran mayoría de estas empresas de transporte especial no disponen de plataformas adecuadas para la movilización de este tipo de cargas, mientras que las que sí, lo hacen únicamente con plataformas de fabricación extranjera.

Provocando que los costos en movilización de una estructura desde su punto de fabricación a su lugar de operación sean muy elevados, lo cual hace que muchas veces resulte más conveniente fabricar la estructura en su lugar de operación.

Los principales inconvenientes para la fabricación de plataformas especiales se debe a limitantes tecnológicos, disponibilidad de materiales y accesorios para su construcción. Pero las más relevantes vienen a ser las condiciones topográficas y el sistema vial del país, lo que hace que el transporte especial se encuentre limitado a determinados zonas.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad la necesidad de transportar cargamentos de longitudes considerables por el sistema vial del país y por la casi nula existencia de empresas que diseñen nuevos sistemas de transporte extensibles por su falta de visión innovadora.

Se ha visto necesario plantear el diseño de un semirremolque cama baja extensible acoplable a cabezales de transporte pesado, que permita mejorar la funcionalidad del semirremolque estándar. Creando así la posibilidad de adaptar su longitud al tamaño de la carga que se requiere movilizar y además que cumpla con los requisitos legales vigentes de circulación de una plataforma normal cuando no se encuentre extendida.

Todo esto bajo un contexto ingenieril y técnico para evitar el sobredimensionamiento de todos los elementos que forman parte de ésta, que influyen directamente en sus costos y capacidad de carga útil. Y lo más importante garantizar la integridad tanto de las personas como de los bienes involucrados en las actividades de transportación terrestre. Y hacer uso de paquetes informáticos que hoy en día constituye herramientas indispensables en el diseño mecánico.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El aumento en la producción de bienes y la extracción de recursos ha determinado que la actividad del transporte se constituya como un pilar fundamental en la economía de los países. Así, en la mayoría de países industrializados el transporte de estos tiene un alto índice de representación en el empleo remunerado.

En el Ecuador, el creciente avance de la industrialización a través de las empresas productoras y consumidoras, ha determinado como medio de movilización fundamental el transporte por carretera, el cual representa el mayor porcentaje de carga movilizadora en el país.

Las empresas dedicadas al transporte de carga requieren cada vez de equipos más eficientes para sus actividades, motivo por cual es necesario investigar y desarrollar nuevos sistemas que se adapten mejor a sus necesidades y que presenten mayor versatilidad para la movilización de sus cargamentos. Este contexto justifica el desarrollo del presente proyecto de titulación.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una plataforma cama baja extensible con capacidad de 25 toneladas, acoplable a cabezales de transporte pesado para el traslado de estructuras o sistemas mecánicos de longitud considerable.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar y utilizar las normas de pesos y medidas nominales para el transporte pesado, establecidas por el Ministerio de Transporte y Obras Publicas (MTOB).
- Analizar el sistema vial del país para determinar la longitud adecuada para el sistema de extensión del semirremolque.
- Realizar un estudio y análisis, que permita obtener los parámetros funcionales de diseño para la alternativa seleccionada.

- Determinar las solicitaciones en los miembros y conexiones utilizando los principios de la mecánica estructural.
- Emplear los códigos de diseño del AISC y AWS basadas en el método de los factores de carga y resistencia (LRFD).
- Realizar la simulación mecánica virtual de los diferentes estados de carga posibles en los programas computacionales SAP2000 y Autodesk Inventor.
- Seleccionar materiales y elementos constitutivos normalizados para el diseño de la alternativa escogida.
- Determinar los procesos de fabricación para la construcción de los elementos que conforman el semirremolque.
- Incentivar el desarrollo de nuevos sistemas de transportación con mejores prestaciones, analizados desde una perspectiva ingenieril y técnica.
- Entregar un prototipo que sirva como guía para futuros proyectos de las industrias metalmecánicas dirigidas al sector del transporte.

## **1.5 ALCANCE**

- Recopilar la información necesaria que permita establecer los parámetros de funcionalidad y diseño del semirremolque extensible.
- Contemplar en el diseño la capacidad de transportar bienes o equipos como: vigas de acero o concreto, tanques, maquinarias, estructuras pre ensambladas y otros elementos de longitudes considerables.
- Analizar varias alternativas de solución y seleccionar la más adecuada.

- Efectuar el diseño y simulación de la alternativa escogida, empleando SAP2000 y Autodesk Inventor.
- Elaborar los planos de taller y conjunto de la alternativa adecuada.
- Determinar las conclusiones y recomendaciones para el presente proyecto.

## CAPÍTULO 2

### GENERALIDADES

#### 2.1 TRANSPORTE ESPECIAL

En el medio nacional existen algunas mercancías, bienes o servicios que por su naturaleza o por sus dimensiones y pesos, para ser transportados necesitan el empleo de vehículos especiales adaptados para esas características.

Cuando el carácter de especial es debido a la naturaleza de la mercancía bastará con adaptar el vehículo a la misma, tal es el caso de carga refrigerada, cargas de líquidos (figura 2.1) y cargas peligrosas entre otras.

Pero cuando dicha característica especial sea por el peso y dimensiones de transporte, es decir una carga sobredimensionada (figura 2.2), será necesario emplear un sistema de mayores dimensiones o capacidades que los establecidos en las reglamentaciones de circulación nacional y será netamente necesario comprobar que en el itinerario a seguir en la carretera esté acorde al paso del vehículo con la carga sobredimensionada.



**Figura 2.1** Transporte especial de líquidos<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> TAIFER. Camiones sistema multicuba polivalente <[www.teifer.com/espanol/actividades.html](http://www.teifer.com/espanol/actividades.html)> [consulta: 08 Noviembre 2011]

### 2.1.1 CARGA SOBREDIMENSIONADA

Se entiende por carga sobredimensionada aquella que para ser transportada por carretera no puede dividirse en dos o más partes, sin costo o riesgo innecesarios de daños y que, debido a sus dimensiones o masas, no puede ser transportada por un medio de transporte por carretera común, que se ajuste en todos los sentidos a las masas y dimensiones máximas autorizadas y establecidas por el organismo encargado.

Los términos de costo y de riesgos de daños no solo deben referirse como económicos, sino también en términos de perjuicios para el resto de usuarios de la vía por la cual se movilizará la carga.



*Figura 2.2 Transporte especial de carga sobredimensionada<sup>2</sup>*

Las dimensiones y pesos legales varían según los países y muchas veces dentro de las regiones del mismo. Un vehículo que exceda las dimensiones legales por lo general requiere un permiso especial que adhieren gastos adicionales que deben pagarse a fin de que el vehículo de gran tamaño o peso pueda viajar legalmente en las carreteras.

---

<sup>2</sup> MAOTRANS S.L. Transporte especial <[www.maotrans.com/SpecialTransport.aspx](http://www.maotrans.com/SpecialTransport.aspx)> [consulta: 08 Noviembre 2011]

El permiso suele especificar una ruta de la carga que debe seguir, así como las fechas y horas durante el cual la carga puede viajar. Además, la carga para la cual se solicita una autorización complementaria de circulación, es única en cuanto a la descripción de la misma, y no puede variarse a lo largo del período de vigencia de la autorización.

### **2.1.2 PROCEDIMIENTOS DE TRANSPORTE DE CARGA SOBREDIMENSIONADA**

Entre los procedimientos que han de acatarse para realizar un transporte especial de carga sobredimensionada se deben tener en cuenta muchos factores fundamentales, como por ejemplo la selección correcta del equipo para un transporte adecuado y los elementos de estiba requeridos.

En términos de coordinación es indispensable contar con tiempo necesario para la planificación de la solicitud de permisos de sobrepeso y sobredimensión con el MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas) para nuestro país y las escoltas de viaje o carabineros en el caso de requerirse vía libre para su tránsito.

También es fundamental la selección de las rutas, contando con especificaciones técnicas de los equipos que se transportarán con el fin de verificar el camino y si es necesario posibles rutas alternativas. Además otro punto esencial en el transporte de este tipo de cargas es la capacitación de quienes tienen a cargo dicha responsabilidad.

Pero de forma generalizada en un procedimiento de transporte de carga especial podrían distinguirse los siguientes pasos<sup>3</sup>:

---

<sup>3</sup> Grúas y Transportes Sierra S.A. Procedimiento a seguir para realizar un transporte especial <<http://www.transportesespeciales.com.es/transportes-especiales-procedimientos.html>> [consulta: 08 Noviembre 2011]

*a) Verificación de la carga a transportar*

En este paso un técnico comprueba la carga que se va a transportar mediante planos o presencialmente tomando datos y medidas para adaptar el equipo adecuado.

*b) Selección del equipo idóneo para el transporte*

Aquí es necesario disponer de una amplia gama de equipos diseñados adecuadamente para este fin. De entre los equipos más comunes se pueden disponer de tanques cisterna, niñeras, camas bajas, plataformas extensibles, y equipo modular.

*c) Estudio técnico*

En este paso se realiza una adaptación mediante planos y medidas del equipo de transporte a la carga y con esto determinar los puntos de mayor riesgo que podrían suscitarse para que el día del transporte se dispongan de medios auxiliares para solventar el problema. Es recurrente también el apoyo de algunas empresas de servicios tales como: compañías de electricidad, teléfonos, TV cable, etc., cuyo objetivo es intervenir el cableado en ciertas partes de la ruta para dar paso al convoy, siempre y cuando no existan rutas alternativas en el trayecto entre el origen y el destino de la carga.

*d) Solicitud de permisos especiales de circulación*

Aquí se encarga de la obtención de los permisos especiales de circulación y su seguimiento en todas las carreteras optadas para el transporte, así como también de proveer toda la documentación necesaria para la obtención de los mismos.

*e) Comprobación de los equipos*

Es indispensable una revisión técnica de todos los equipos a utilizarse en el proceso de transportación.

*f) Determinación de los plazos del transporte*

Es de gran importancia determinar los tiempos probables que se dispondrá para ejecutar la transportación, ya sean estos especificados por el contratista o por el organismo de regulación vial.

*g) Estiba de la carga*

Aquí se dispone de todos los sistemas adecuados para la colocación de la carga en su medio de transporte, como grúas y otros medios.

*h) Realización del transporte*

Se realiza la ejecución del transporte de la manera más óptima posible.

*i) Comprobación del grado de satisfacción*

Es necesaria la comprobación del trabajo realizado para implantar mejoras en la ejecución, opinión que será brindada por el cliente.

### **2.1.3 EQUIPOS PARA TRANSPORTE SOBREDIMENSIONADO**

Para que empresas dedicadas al transporte de cargas especiales puedan satisfacer la demanda de este tipo de servicios, es necesaria una inversión de equipos especiales, tanto en equipos de izaje o estiba de la carga como en vehículos de arrastre y plataformas o semirremolques de carga.

### 2.1.3.1 Equipos de izaje y estiba de cargas

Equipo de izaje es todo dispositivo que permite elevar o bajar una carga, previamente calculada, en forma segura y controlada.

En general en el país son considerados equipos de izaje y estiba a los siguientes: puente-grúa, grúas móviles, camiones grúa, winches, montacargas entre otros y son utilizados de acuerdo al tipo y peso de la carga.



*Figura 2.3 Grúa móvil para izajes<sup>4</sup>*

### 2.1.3.2 Vehículos de arrastre

Estos generalmente son vehículos motorizados adaptados adecuadamente para arrastrar o jalar otros vehículos, estos por sí mismos, no tienen verdadero uso comercial ya que no se puede transportar carga sobre ellos. Es decir los vehículos de arrastre son unidades de potencia de un equipo completo cuya finalidad es arrastrar o jalar a través de una articulación a un remolque o semirremolque en el cual estará colocada la carga.

<sup>4</sup> AMERICANVIAL. Grúa XCMG QY100K <[http://xcmg.es/productos/gruas/xcmg\\_qy100.htm](http://xcmg.es/productos/gruas/xcmg_qy100.htm)> [consulta: 08 Noviembre 2011]

### 2.1.3.2.1 Cabezales de transporte

En el Ecuador los vehículos de arrastre más utilizados son los tractocamiones o comúnmente conocidos como “cabezales”, estos, ya sea por su accesibilidad, capacidad y comodidad son los vehículos mayormente preferidos para el transporte de carga en general y más para el transporte de carga especial.



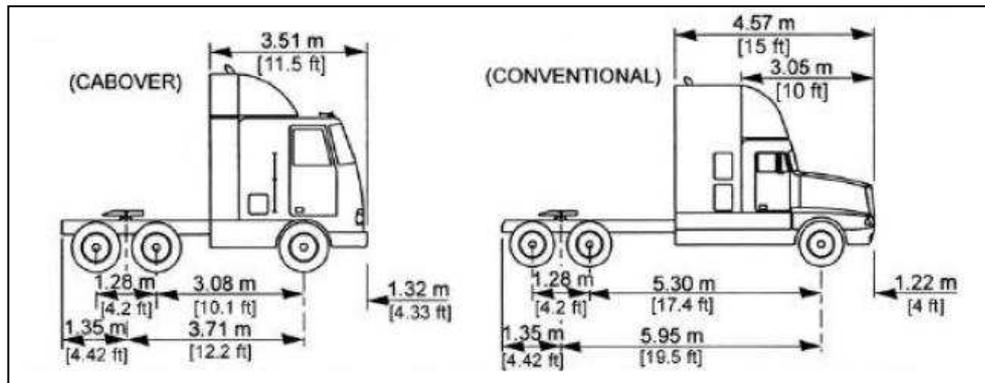
**Figura 2.4** Cabezal marca Kenworth<sup>5</sup>

Al ser estos los vehículos de arrastre más accesibles en el mercado existen numerosas marcas proveedoras de los mismos, con diferentes modelos y diferentes capacidades, los cuales son utilizados para transporte de todo tipo de cargas en el país.

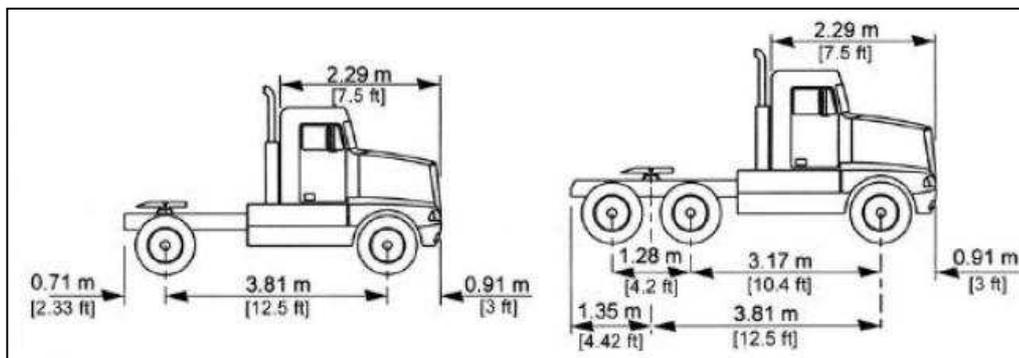
De acuerdo a la AASHTO, los tractocamiones de uso común se clasifican como se muestra en la siguiente figura.

---

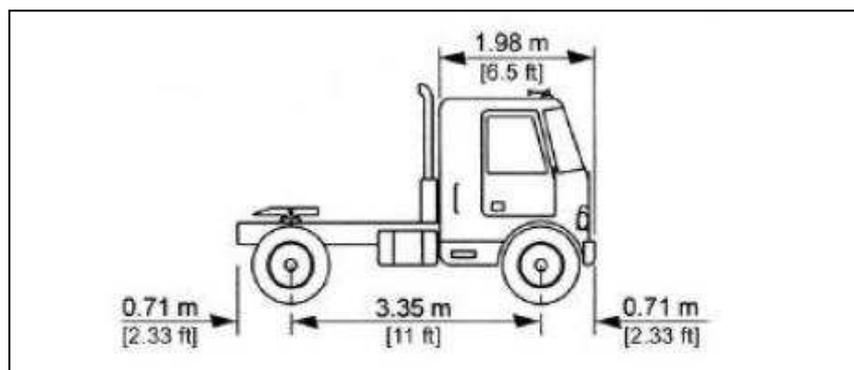
<sup>5</sup> PROYECTAR. Tractocamiones Kenworth W900 2011 <<http://www.proyectar.com.mx/kenworth/w900.htm>> [consulta: 08 Noviembre 2011]



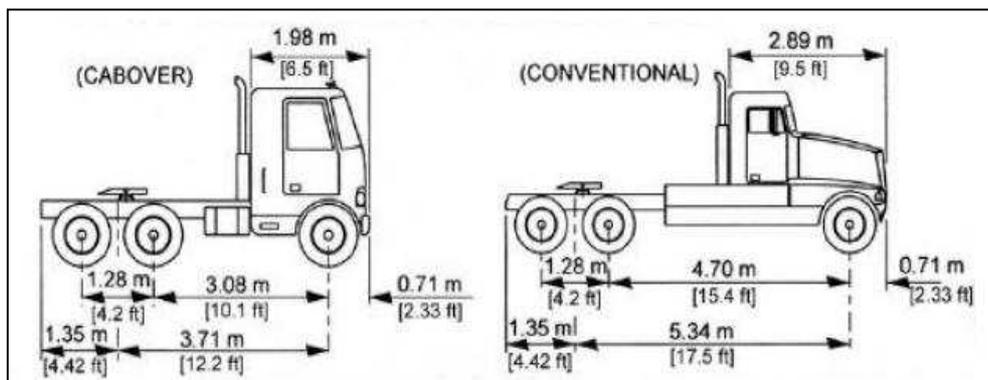
a) Para trayectos largos



b) Típicos de ciudad para trayectos cortos



c) Para doble y triple configuración



d) Para caminos montañosos y rocosos

**Figura 2.5** Clasificación de tractocamiones según ASSTHO<sup>6</sup>

### 2.1.3.3 Plataformas para carga sobredimensionada

Son vehículos adecuados especialmente para este tipo de transporte y en general son la esencia misma del transporte especial, ya que en estos es donde será ubicada la carga a ser trasladada, pero al igual que un cabezal de transporte no es posible su funcionamiento independiente.



**Figura 2.6** Modular auto propulsado<sup>7</sup>

<sup>6</sup> AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (ASSTHO), A police on geometric design of highways and streets, United States of America, 2001, 30 pg.

<sup>7</sup> NAUTIC EXPO. Transportador para astilleros <<http://www.nauticexpo.es/prod/goldhofer/trasportadores-modulares.html> > [consulta: 10 Noviembre 2011]

En el mercado internacional son muchos los tipos de plataformas para transportes especiales diseñados específicamente para diferentes usos con capacidades impresionantes de hasta 36 toneladas por eje, de baja altura con respecto al piso, ejes multidireccionales y de muy fácil operación, tal es el caso de modulares autopropulsados (figura 2.6) que poseen un equipo motriz en cada eje.

#### *2.1.3.3.1 Tipos de plataformas*

Entre los tipos más comunes de plataformas en el medio nacional se pueden diferenciar una variedad amplia compuestas con mecanismos hidráulicos, neumáticos y mecánicos, muchas de ellas variantes de otras, pero con funcionalidades distintas. Entre las más importantes se pueden destacar las siguientes:

- *Modulares Hidráulicos*

Son plataformas tipo remolque utilizadas especialmente para grandes tonelajes, generalmente entre 60 a 400 toneladas, dependiendo de su número de ejes. Debido a su diseño permiten una mejor distribución del peso por eje reduciendo así el impacto al piso, además permiten una gran estabilidad de carga ya que al tener una altura baja permite reducir el centro de gravedad de la carga ajustándose mejor a la plataforma.

Entre las ventajas más importantes de este tipo de plataformas es que permite diferentes configuraciones, tanto entre las distancias de ejes como el número de ejes para un perfecto acoplamiento a la carga.



**Figura 2.7** Modular hidráulico<sup>8</sup>

Los modulares permiten implementar accesorios, como elementos metálicos que funcionan como vigas de apoyo y que permiten elevar el momento de inercia del conjunto, mejorar la distribución equitativa de la carga, reducir la altura, todo esto con el objetivo de mejorar la estabilidad y la seguridad de la carga.

- *Camas bajas*

Estas plataformas tipo semirremolque a diferencia de los modulares hidráulicos son diseñadas para acoplarse a un cabezal, sobre el que se apoya parte de la misma. Es decir se transfiere una parte sustancial de la masa del cargamento al cabezal.

Además son utilizados para cargas inferiores que la de los modulares hidráulicos, es decir generalmente hasta 70 toneladas. Son denominadas camas bajas ya que el piso de la plataforma es diseñada para estar lo más cerca posible del suelo, permitiendo trasladar cargas de gran altura.

Existen muchas variantes de camas bajas debido a su configuración geométrica, su número de ejes, o características propias, de entre las variantes más comunes de las plataformas cama baja se pueden diferenciar las siguientes:

---

<sup>8</sup> NAUTIC EXPO. Transportador para astilleros <<http://www.nauticexpo.es/prod/goldhofer/trasportadores-para-astillero-30683-190550.html>> [consulta: 10 Noviembre 2011]



a) Caída simple tipo tándem



b) Caída simple tipo tridem



c) Tipo modular



d) Caída doble



e) Modular de cuello desgonzable



f) Extensible

**Figura 2.8** Tipos de semirremolques cama baja<sup>9</sup>

#### 2.1.4 RADIO DE GIRO EN LA CONFIGURACIÓN TRACTOCAMIÓN-SEMIRREMOLQUE<sup>10</sup>

El radio de giro, es el radio de la circunferencia definida por la trayectoria de la rueda delantera externa del vehículo, cuando éste efectúa un giro.

<sup>9</sup> LASO TRANSPORTES. Flota <<http://www.laso.pt/flota?lang=es>> [consulta: 13 de Noviembre 2011]

<sup>10</sup> AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (ASSTHO), A police on geometric design of highways and streets, United States of America, 2001.29,207 pg.

El radio de giro, la distancia entre ejes y la entrevía del vehículo (distancia entre caras externa del vehículo), definen la trayectoria que siguen las ruedas cuando el vehículo efectúa un giro. Estas trayectorias, especialmente la de la rueda delantera externa y la trasera interna, sirven para calcular las ampliaciones en las curvas horizontales de una carretera y diseñar la orilla interna de la calzada en los ramales de una intersección.

El radio de giro mínimo está limitado por la deflexión máxima de las ruedas. En los vehículos modernos, la rotación máxima de las ruedas es 50°.

La distancia entre los límites exteriores de las huellas de la llanta delantera externa y trasera interna es mayor cuanto menor es el radio de giro, alcanzando su valor máximo cuando el radio de giro es mínimo, es decir, cuando la deflexión de la llanta es máxima, a esa distancia se la llama distancia entre huellas externas o ancho de barrido en curva.

Para la configuración tractocamión con semirremolque el ancho de barrido en curva depende también de los puntos de articulación y de las longitudes de la distancia entre los ejes. Su valor se determina con la siguiente ecuación.

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - \sum L_i^2} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

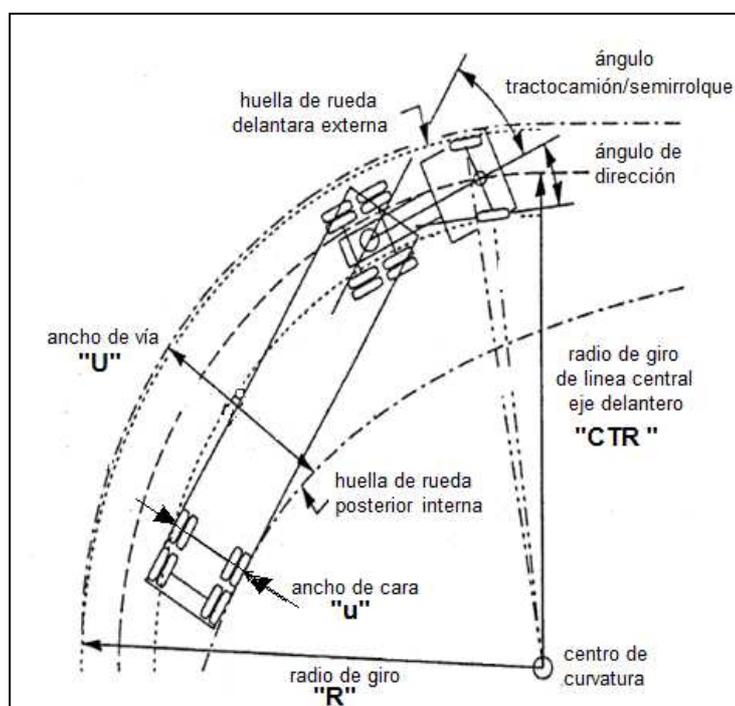
$U$  = ancho de barrido en curva

$u$  = distancia entre las caras externas de los neumáticos

$R$  = radio de curvatura

$L_i$  = suma consecutiva de distancia entre ejes del tractocamión, puntos de articulación y semirremolque

A continuación se muestra de forma grafica los parámetros que se mencionan en la anterior ecuación.



**Figura 2.9** Parámetros de giro de la combinación tractocamión –semiremolque<sup>11</sup>

## 2.2 SEMIRREMOLQUES EXTENSIBLES

Esta plataforma es una innovación de las plataformas comunes ya que posee un mecanismo que le permite extenderse longitudinalmente, logrando así aumentar su funcionalidad para transportar cargas de gran longitud.

Consiste esencialmente en un chasis con doble bastidor que forma un sistema telescópico que permite regular su longitud según la necesidad.

<sup>11</sup> AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (ASSTHO), A police on geometric design of highways and streets, United States of America, 2001, 29 pg.



**Figura 2.10** Cama baja de caída simple extensible<sup>12</sup>

### 2.2.1 DEFINICIÓN DE ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

Existen elementos comunes entre los diferentes tipos de semirremolques entre estos se tiene:

- sistema estructural
- sistema de suspensión
- sistema de acoplamiento (king pin y quinta rueda)
- sistema de frenos
- sistema eléctrico
- ejes
- rines y llantas
- patas de apoyo

#### 2.2.1.1 Sistema estructural

Generalmente es una estructura metálica formada por vigas, planchas u otros elementos, dispuestos de tal manera que cumpla con los requisitos mínimos de diseño para una capacidad de carga y dimensiones determinadas. En definitiva el sistema estructural es el cuerpo o bastidor de una plataforma.

---

<sup>12</sup> MANAC. Extendable flatbeds <<http://www.manac.ca/plates-formes-ext-en.php>> [consulta:12 de Diciembre del 2011]

### 2.2.1.2 Sistema de suspensión

Se llama suspensión al conjunto de elementos elásticos que se interponen entre los elementos suspendidos como bastidor y elementos no suspendidos como ruedas y ejes. Su misión es absorber las reacciones producidas en las ruedas por las desigualdades del terreno y distribuir la carga a los diferentes ejes, asegurando así la comodidad de la carga y al mismo tiempo manteniendo la estabilidad del vehículo.

La absorción de estas reacciones se consigue por la acción combinada de los neumáticos y el sistema de suspensión.

Un sistema de suspensión para transporte pesado debe tener las siguientes características<sup>13</sup>:

- Capacidad para soportar la carga.
- Transmisión de frenado y tracción al bastidor.
- Articulación de los ejes para todas las condiciones de carretera.
- Seguridad y estabilidad al vehículo.
- Facilidad de mantenimiento y peso ligero.

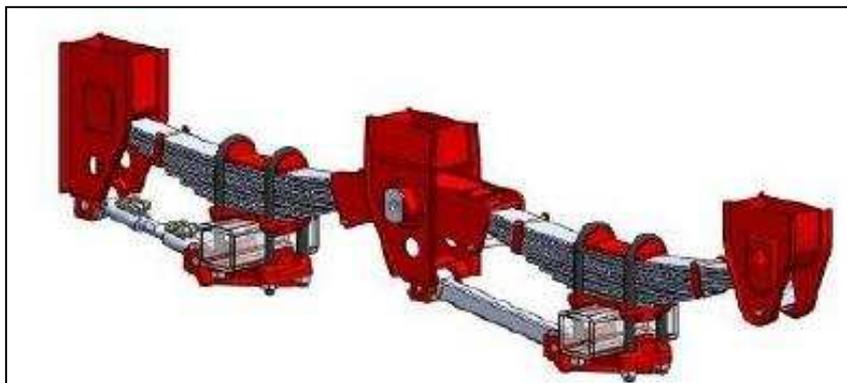
Para plataformas cama baja de servicio pesado, ya sea para configuraciones tándem o tridem, generalmente existen tres tipos de suspensiones que son las siguientes:

- Suspensión Mecánica

La configuración constructiva de la suspensión mecánica dispone como componente principal a las denominadas ballestas como elemento elástico para absorber todo tipo de oscilaciones generadas en las ruedas durante la marcha del semirremolque. Además de otros elementos como tensores, manotas o soportes, abrazaderas, bocines, etc.

---

<sup>13</sup> CUESTA, G. Camiones y vehículos pesados, Madrid, 2003, 180 pg.



**Figura 2.11** Suspensión mecánica Tandem<sup>14</sup>

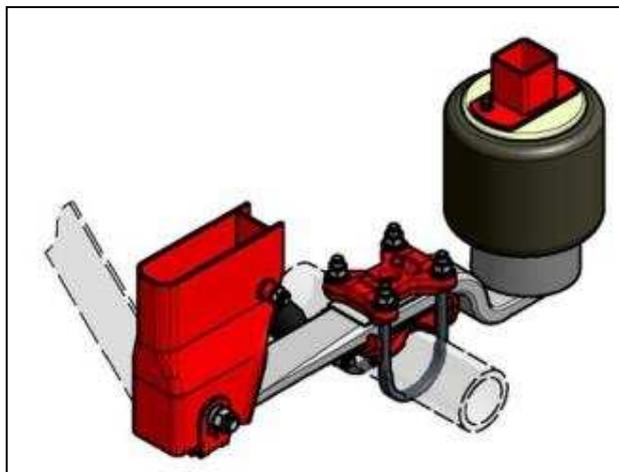
- Suspensión Neumática

Este tipo de suspensiones actualmente son las más implementadas en las nuevas plataformas y está constituido por un elemento fundamental que es llamado muelle neumático, el cual está conformado por una estructura de goma reforzada con dos tapas o bridas superior e inferior. En su interior se introduce aire a presión que le dota de las características mecánicas requeridas. Suele complementarse con un resorte de goma como tope de recorrido, que incrementa bruscamente la rigidez del sistema, ante sollicitaciones importantes y puede actuar en caso de avería.

Las diversas configuraciones existentes de suspensiones neumáticas pueden incluir uno o dos muelles neumáticos por rueda, siendo habitual aplicar uno para ejes conducidos y dos para ejes tractores. El sistema se complementa con amortiguadores telescópicos hidráulicos y barras estabilizadoras que optimizan el comportamiento del vehículo completo.

---

<sup>14</sup> SHULZ IBERICA. Suspensiones <h <http://schulziberica.com/es/catalogo/pdf/eurapall.pdf>> [consulta: 20 de Noviembre 2011]



**Figura 2.12** Suspensión neumática<sup>15</sup>

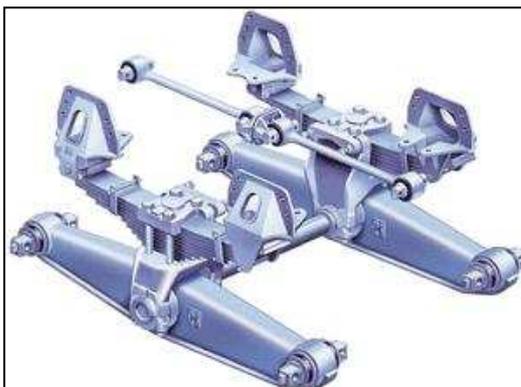
- Suspensión de viga igualadora o Walking Beam

Este tipo de suspensión utiliza el principio básico de la palanca para absorber impactos y golpes en la carretera. Está conformada principalmente por una viga tipo balancín, en la cual están ensamblados los ejes en sus extremos permitiendo así que los ejes sean siempre paralelos, transfiriéndose esto como un menor desgaste de los neumáticos, mejor estabilidad y bajo mantenimiento. Poseen simplemente cuatro puntos de montaje en el bastidor, permitiendo así disminuir los concentradores de esfuerzos, además mediante barras de torsión que se encuentran conectadas desde cada eje a un eje travesaño permite evitar las rotaciones de los ejes causados por la conducción y las fuerzas de frenado.

Este tipo de suspensiones son altamente fiables con un buen rendimiento en una amplia gama de trabajo pesado, razón por la cual su costo en el mercado es elevado.

---

<sup>15</sup> SHULZ IBERICA. Suspensiones <h ttp://schulziberica.com/es/catalogo/pdf/neumatica.pdf> [consulta: 20 de Noviembre 2011]



**Figura 2.13** Suspensión de viga igualadora<sup>16</sup>

### 2.2.1.3 Ejes

Son elementos que van acoplados al sistema de suspensión y que soportan el peso tanto del remolque como de la carga a transportar, y que además sirve de soporte para el montaje de los brazos rígidos de la suspensión, cámaras de aire entre otras. Están fabricados de una barra hueca de aleación especial y que aloja espigas de acero en los extremos soldadas, en el cual se ensamblan los mecanismos de frenos, rines y llantas.



**Figura 2.14** Eje<sup>17</sup>

<sup>16</sup> HENDRICKSON. Walking beam <<http://www.northendspring.ca/parts/Hendrickson.html>> [consulta: 15 de Diciembre 2011]

#### 2.2.1.4 Sistema de frenos

Para estos vehículos por su mayor seguridad se utiliza un sistema de frenos de aire. Estos básicamente están compuesto por elementos como: compresor de aire, regulador, depósito (tanque de aire), válvula de aplicación (válvula de freno), válvula relevadora, cámara de aire, mecanismo de acción y tuberías de aire.

El sistema de frenos de aire tiene como fuente de energía el motor del tracto camión que mueve directa o indirectamente una bomba de aire, llamada compresor y que suministra una presión del aire para almacenarlo, para convertirse después en la energía potencial del sistema de frenos.

Sin embargo, el volumen de aire almacenado (capacidad del depósito) no es tan importante como su presión, ya que es la presión del aire la que crea la fuerza de frenado inicial. La cámara de aire (figura 2.14) convierte la presión de aire en fuerza lineal que se aplica a los mecanismos de acción tipo leva.

La fuerza de frenado dependerá del tamaño del tambor, el área de la balata y su coeficiente de rozamiento, sin embargo la manera más sencilla de lograr este objetivo es variar el área de la cámara de aire y/o el brazo de palanca del ajustador de separación.



**Figura 2.15** Cámara de aire<sup>18</sup>

---

<sup>17</sup> HENDRICKSON. Trlaxle <<http://www.hendrickson-intl.com/tráiler/On-Highway/TRLAXLE-Trailer-Axles>> [consulta: 15 de Diciembre 2011]

<sup>18</sup> MGS. Pulmones de freno <<http://www.mgsrepuestos.cl/Pulmonesfren.php#>> [consulta: 15 de Diciembre 2011]

### 2.2.1.5 Rines y llantas

Existen gran variedad de rines y neumáticos los mismos que se seleccionan a la aplicación que se desee. Generalmente los neumáticos están constituidos por textiles, caucho natural, productos químicos y productos de acero que se combinan para dar la resistencia y características especiales de cada neumático.



**Figura 2.16** Rin y neumático para servicio pesado<sup>19</sup>

Entre las funciones más importantes de los neumáticos se tienen: mantener la presión de aire en su interior, mantener adherencia al piso, seguridad, absorción de impactos, absorción de vibraciones, etc.

Para la correcta selección de un neumático es necesario tener las siguientes consideraciones:

- El tipo de servicio.
- Diseño adecuado del neumático
- Capacidad de carga.
- Medida correcta.

---

<sup>19</sup> BRIDGESTONE. Firestone <<http://www.preciolandia.com/ar/neumaticos-para-camion-1000x20-firestone-70k4pp-a.html>> [consulta: 30 Diciembre 2011]

### 2.2.1.6 Sistema de acoplamiento

El sistema de acoplamiento consta de dos partes, una acoplada al tractocamión denominada quinta rueda y la otra acoplada a la plataforma denominada king pin. A pesar que la quinta rueda no es un elemento netamente de la plataforma merece mencionarlo ya que es un elemento imprescindible para el sistema de acoplamiento al tractocamión.

El king pin facilita un acoplamiento firme entre el semirremolque y la quinta rueda a la vez que permite la rotación entre estas. Además debe cumplir con todas las normas internacionales vigentes de fabricación para un óptimo funcionamiento.

La mayoría de estos son soldados a la estructura del semirremolque, aunque también suelen ser empernados.



a) King pin<sup>20</sup>



b) Quinta rueda<sup>21</sup>

**Figura 2.17** Elementos del sistema de acoplamiento

<sup>20</sup> CMEC. King pin 2 Inch <<http://www.hrd-autoparts.com/king-pin/810531.html>> [consulta: 29 de Diciembre 2011]

<sup>21</sup> RANDON. Quinta rueda jost <[http://www.randon.com.br/Content/Informativos/ES/Informativo97/p\\_menu\\_11.htm](http://www.randon.com.br/Content/Informativos/ES/Informativo97/p_menu_11.htm)> [consulta: 29 de Diciembre 2011]

### 2.2.1.7 Patas de apoyo

Son elementos complementarios de la plataforma que ayudan a soportar su peso, ya sea vacío o con carga, cuando se encuentra desacoplado del tractocamión. Generalmente son de tipo telescópico con varias configuraciones y capacidades de carga estática.



**Figura 2.18** Patas de apoyo<sup>22</sup>

### 2.2.1.8 Sistema eléctrico.

Tiene la finalidad de señalar el semirremolque, cuando frena, indicación de dirección, de alerta y señalización nocturna. El sistema es conectado del vehículo tractor al semirremolque a través de conexión y cable eléctrico.

El sistema se compone básicamente de: cables eléctricos revestidos, arnés de 7 polos estándar, faros traseros, retroreflectores, señalizadores de matrícula y faros laterales.

---

<sup>22</sup> MUNDO REMOLQUE. Patas de apoyo telescópica jost <[http://www.mundoremolque.com/vx-mundoremolque/detalle\\_prod.asp?prod\\_id=1278](http://www.mundoremolque.com/vx-mundoremolque/detalle_prod.asp?prod_id=1278)> [consulta: 30 de Diciembre 2011]



**Figura 2.19** Elementos del sistema eléctrico<sup>23</sup>

### 2.3 RED VIAL EN EL ECUADOR<sup>24</sup>

De acuerdo a la ordenanza de gestión urbana territorial en relación con el sistema vial y para un manejo adecuado de los planes viales zonales contenida en el Plan Maestro de Transporte y Red Vial, se establece la siguiente clasificación:

- Sistema Vial Urbano
- Sistema Vial Suburbano

#### 2.3.1 SISTEMA VIAL URBANO

Para el Sistema Vial Urbano se establece la siguiente estructuración y secciones viales, tomando en cuenta las características funcionales y técnicas que son: sistemas de transporte existentes, características de capacidad de las vías, demanda vehicular y la relación con las actividades de la población.

<sup>23</sup> RANDON. Sistema eléctrico < <http://www.volpysa.com.py/archivos/semirremolque-y-bitren-tanque.pdf>> [consulta: 30 de Diciembre 2011]

<sup>24</sup> COLEGIO DE ARQUITECTOS DEL ECUADOR (CAE). Normas de arquitectura y urbanismo N°3457 y 3477 < <http://www.cae.org.es/ordenanzas/Q7.pdf>> [ consulta 4 de Enero del 2012]. 25-36 pg.

El Sistema Vial Urbano se clasifica funcionalmente de la siguiente manera: Vías Expresas (Autopistas – Freeways), Vías Arteriales Principales, Vías Arteriales Secundarias, Vías Colectoras, Vías Locales, Vías Peatonales, Ciclovías y Escalinatas.

### **2.3.2 SISTEMA VIAL SUBURBANO**

La clasificación técnica de las carreteras o vías suburbanas, deben estar sujetas a las disposiciones y especificaciones de la clasificación establecida por el MTOP.

El Sistema Vial Suburbano conocido también como sistema de carreteras, se clasifica funcionalmente de la siguiente manera:

#### **2.3.2.1 Vías arteriales principales (Tipo I)**

Su función principal es proporcionar movilidad a los tráficos regionales y nacionales caracterizados por largos desplazamientos con velocidades de operación que tienden a registrar valores crecientes. Permite establecer conexión entre los grandes generadores de tráfico como ciudades importantes y sus respectivas zonas industriales, productivas o residenciales.

*Características funcionales:*

- Asume el tráfico internacional e interprovincial.
- Provee gran movilidad al tráfico de larga distancia.
- Garantiza continuidad en las grandes regiones.
- Permite conexiones con vías similares en regiones vecinas.
- Conecta ciudades con poblaciones superiores a 20000 habitantes y las capitales provinciales.

### **2.3.2.2 Vías arteriales secundarias (Tipo II)**

Su función principal es servir al tráfico interprovincial e intercantonal en condiciones de movilidad y conectar ciudades de importancia media y a capitales provinciales.

*Características funcionales:*

- Asume el tráfico interprovincial, intercantonal, distrital y regional.
- Provee movilidad cantonal y regional.
- Establece un sistema continuo combinado con las vías arteriales.
- Conecta poblaciones superiores a los 10000 habitantes.

### **2.3.2.3 Vías colectoras principales (Tipo III)**

Su función es servir al tráfico intercantonal e interparroquial con características de movilidad y acceso. Se articula y mantiene continuidad con el sistema vial arterial, al cual lo alimenta.

*Características funcionales:*

- Asume el tráfico intercantonal e interparroquial.
- Proporciona movilidad y acceso.
- Sistema vial continuo combinado con el Sistema Arterial.
- Alimentador del Sistema Arterial.
- Conectar ciudades con poblaciones superiores a los 5000 habitantes.

### **2.3.2.4 Vías colectoras secundarias suburbanas (Tipo IV)**

Al igual que en el caso anterior, su función es atender al tráfico intercantonal e interparroquial, pero en condiciones técnicas inferiores, pues sus conexiones se realizan a centros poblados menores.

#### *Características funcionales:*

- Asume el tráfico intercantonal e interparroquial en condiciones técnicas inferiores a las colectoras principales.
- Proveer de acceso y movilidad.
- Alimentador de los sistemas de más alta función.
- Conectar poblaciones superiores a los 2000 habitantes y a las sedes parroquiales.
- Sirve a pequeños generadores de tráfico.

Los parámetros de diseño geométrico para cada uno de los tipos de carreteras mencionados anteriormente se muestran en el anexo A.

De acuerdo con el MTOP las vías que presentan mayores inconvenientes para la circulación de vehículos de carga pesada son las de tipo III y IV, que en su gran parte se encuentran en la región amazónica del país.

## **2.4 REGLAMENTO NACIONAL PARA MOVILIZACIÓN DE TRANSPORTE DE CARGA PESADA<sup>25</sup>**

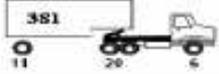
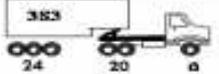
En el comunicado del 30 de julio del 2009 el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) a través de la subsecretaría de transporte terrestre y ferroviario, dictamina que los señores transportistas, empresas generadoras de carga y público en general que hacen uso de la red vial, deben cumplir con los pesos y dimensiones máximas permitidas indicadas en el anexo B.

Este documento permite establecer los primeros parámetros de diseño en base a un semirremolque normal del tipo 3S2 como se muestra en la tabla 2.1, los mismos que serán empleados en capítulos posteriores del presente proyecto.

---

<sup>25</sup> MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PUBLICAS. Comunicado para transportistas de carga pesada y afines <[http://www.mtop.gob.ec/subsecretarias/comunicado\\_transportistas\\_junio2009.pdf](http://www.mtop.gob.ec/subsecretarias/comunicado_transportistas_junio2009.pdf)> [consulta: 10 de Enero 2012]

**Tabla 2.1 Pesos y longitudes máximas permisibles**

CUADRO DEMOSTRATIVO DE PESO BRUTO VEHICULAR Y LONGITUDES MÁXIMAS PERMISIBLES							
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESOS MÁXIMOS PERMITIDOS (1)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (m)			
				LARGO	ANCHO	ALTO	
3S1			37	18,50	2,60	4,10	
3S2			46	18,50	2,60	4,10	
3S3			48	18,50	2,60	4,10	

De igual manera el comunicado informa que se otorgará el certificado de operación por dimensiones, a los vehículos de carga pesada que excedan las siguientes dimensiones.

**Tabla 2.2 Límites de longitudes**

<u>Ancho:</u>	<u>Longitud:</u>	
2,60 m	Camión con 2 ejes	12,00m
	Camión con 3 y 4 ejes	12,20m
4,10 m	Combinaciones de tracto-camión y semi-remolque y de camión remolque independientemente del número de ejes y de su distribución.	18,50m
	Remolque (Carrocería)	10,00m
	Remolque balanceado (Carrocería)	10,00m
	Semi-Remolque (Carrocería)	13,00m

En caso de sobrepasar la carga permitida de 46 toneladas, por cada vehículo se deberá tramitar adicionalmente el certificado por carga, el cual tendrá la duración de 8 días o en su caso un solo viaje y los costos de estos certificados se muestran a continuación:

**Tabla 2.3 Costos de certificados de dimensiones y carga**

Costo por Certificado Especial (Carga o Dimensiones):	<b>US \$ 100,00</b>
Duración Certificado Especial por Dimensiones:	<b>30 días</b>
Duración Certificado Especial por exceso de carga:	<b>8 días o 1 viaje</b>

Esto permite llegar a la conclusión que cuando el semirremolque se encuentre extendido en longitudes superiores a 13 m, para transportar una carga, será necesario que este tenga un certificado especial por dimensiones para circular por las vías.

## **CAPÍTULO 3**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 ESPECIFICACIONES Y REQUISITOS DE DISEÑO**

En la actualidad no existen códigos o normas que establezcan disposiciones generales para el diseño de semirremolques con estas características. Por lo que para el presente proyecto es necesario hacer uso de los diferentes reglamentos nacionales y códigos internacionales existentes para construcciones de acero y adaptarlas a los requerimientos del semirremolque.

El uso de códigos, normas y especificaciones permiten facilitar y guiar el desarrollo de un diseño, ya que cuenta con la información básica sobre generalidades, condiciones, métodos, limitantes y procesos.

#### **3.2 MÉTODO DE FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD)<sup>26</sup>**

Este es un método que permite dimensionar componentes estructurales de tal forma que la resistencia de diseño iguale o exceda las solicitaciones de diseño provenientes de las combinaciones LRFD para cargas.

Este método incluye muchas de las características de los procedimientos de diseño comúnmente asociadas con el diseño último, diseño plástico y el diseño al límite o el diseño por colapso. El término estado límite se usa para describir una condición en el que la estructura o parte de ella deja de cumplir su pretendida función.

---

<sup>26</sup> AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (AISC). Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-05, United States of America, 2005, 10-11, 213pg.

### **3.2.1 RESISTENCIA REQUERIDA**

La resistencia requerida de los miembros estructurales y conexiones será determinada mediante análisis estructural para las combinaciones de cargas utilizadas. Esta especificación permite el análisis estructural elástico, inelástico o plástico, aunque generalmente el diseño estructural se realiza mediante un análisis elástico.

### **3.2.2 ESTADO LÍMITE**

Un estado límite es una condición en el cual el sistema o sus componentes no cumple con el propósito de diseño. Las disposiciones de diseño han demostrado que la probabilidad de alcanzar un estado límite resulta pequeña dentro de valores aceptables, cuando se aplican las combinaciones con factores de carga, resistencia o factores de seguridad, con las cargas y resistencias nominales consistentes con las hipótesis de diseño.

Dos tipos de estados límites se aplican a las estructuras:

- Estados límite resistente que definen la estabilidad contra fallas locales o globales que pueden ocurrir durante la vida útil esperada de la estructura.
- Estados límite de servicio que definen los requisitos funcionales. Esta especificación, al igual que otras especificaciones de diseño estructural, se enfocan básicamente en los estados límite resistente debido a las demandantes consideraciones de seguridad pública.

Los estados límite resistentes varían de elemento a elemento y varios estados límites pueden aplicarse a un elemento dado. Los siguientes estados límite son los más comunes:

Fluencia, formación de rótula plástica, inestabilidad de un miembro o inestabilidad global de un marco, pandeo lateral torsional, pandeo local, ruptura o fatiga, en estos se incluyen: deformaciones elásticas y derivas inaceptables, vibraciones inaceptables y deformaciones permanentes.

### **3.2.3 FACTORES DE CARGA**

El propósito de los factores de carga es incrementar las cargas para tomar en cuenta las incertidumbres implicadas al estimar las magnitudes de las cargas vivas, muertas y accidentales durante la vida útil de la estructura. Y estos son empleados en las combinaciones de carga del método usado.

### **3.2.4 FACTORES DE RESISTENCIA**

Para estimar con precisión la resistencia última de una estructura, es necesario tomar en cuenta las incertidumbres que se tienen en la resistencia de los materiales, en las dimensiones, en la mano de obra, etc.

Algunas de las incertidumbres que afectan a estos factores son:

- La resistencia de los materiales puede variar inicialmente en forma considerable respecto a los valores supuestos y la variación será mayor con el lapso del tiempo debido al flujo plástico, la corrosión y la fatiga.
- Los métodos de análisis están sujetos con frecuencia a errores apreciables o no se tienen un criterio definido para la estructuración.
- Los fenómenos naturales causan condiciones difíciles de predecir.
- Las incertidumbres durante el proceso de construcción, fabricación y montaje son pocas veces consideradas en el análisis.
- Las cargas muertas de una estructura pueden estimarse con bastante exactitud, pero no así las cargas vivas.
- Otras incertidumbres son la presencia de esfuerzos residuales y concentraciones de esfuerzos que pueden estar presentes.

### **3.3 CARGAS Y COMBINACIONES DE CARGAS**

La tarea más importante y difícil en el diseño de una estructura es la estimación precisa de las cargas que afectaran durante su vida útil. No debe omitirse la consideración de cualquier carga que pueda llegar a presentarse. Después de que se han estimado las cargas, es necesario investigar las combinaciones más desfavorables que pueden ocurrir en un momento dado.

#### **3.3.1 CARGA ESTÁTICA**

La carga estática o llamada carga muerta son cargas de magnitud constante que permanecen fijas en un mismo lugar. Éstas son los pesos propios de la estructura y otras cargas permanentemente unidas a ella. Para diseñar una estructura es necesario estimar los pesos o cargas muertas de sus componentes.

Las dimensiones y pesos exactos de las partes no se conocen hasta que se hace el análisis estructural y se selecciona los miembros de la estructura.

Los pesos determinados de acuerdo con el diseño deben compararse con los pesos estimados. Si se tiene grandes discrepancias, será necesario repetir el análisis y efectuar el diseño con una estimación más precisa de las cargas.

Una estimación razonable de las cargas en la estructura puede hacerse en base a fórmulas o tablas disponibles en diversos códigos y catálogos.

#### **3.3.2 CARGAS DINÁMICAS**

Las cargas dinámicas son aquellas que pueden cambiar de lugar y magnitud, es decir, todas las cargas que no son muertas, son dinámicas. Las cargas que se mueven bajo su propio impulso o que pueden ser desplazadas como: camiones, personas, muebles, materiales de almacén, entre otras, se denominan cargas móviles.

Otras cargas dinámicas son aquellas causadas al construir o por efectos climáticos tales como: viento, lluvia, sismo, suelos y cambio de temperatura.

Las cargas más usuales consideradas en el diseño de semirremolques son las que se describen a continuación:

### **3.3.2.1 Carga de seguridad**

En el diseño estructural es necesaria la consideración de una carga de seguridad que permita garantizar el perfecto funcionamiento de una estructura frente a un supuesto uso indebido de la misma o una carga extra por encima de la nominal que pudiera darse.

Para esta carga de seguridad es recomendable, según el Colegio de Ingenieros Mecánicos de Pichincha asignar un valor de  $20 \text{ kg/m}^2$  como carga de seguridad adicional para estructuras metálicas convencionales.

### **3.3.2.2 Carga viva**

La carga viva representa la suma de la carga a transportar y la carga de seguridad, donde la carga a transportar son los cargamentos probables debida a la ocupación y el uso de la plataforma, estas suelen ser consideradas como cargas uniformemente distribuidas sobre el área del piso<sup>27</sup>.

Sin embargo, esta consideración se la hace en estructuras estáticas predeterminadas donde se precisa con gran acierto la ubicación de la carga viva, siendo esta de gran incertidumbre en este caso donde se puede tener muchas conjeturas sobre la ubicación de esta.

---

<sup>27</sup> STANLEY, Crawley. Estructuras de Acero, Análisis y Diseño, 3ra Ed., México, 1992, Limusa, 3 pg.

### 3.3.2.3 Carga de impacto

En el diseño de la estructura es necesario considerar la carga vertical originada por saltos, debido muchas veces a la irregularidad de la vía por la que se circula, y que pueden generar fisuras en las vigas principales así como en los demás elementos. Cuando se produce esto, según la AASHTO es necesario establecer como carga de impacto un 30% de la carga total transportada más la sobrecarga.

### 3.3.2.4 Cargas laterales

Se pueden establecer dos de este tipo para el diseño de la estructura, siendo estas:

- Carga de viento
- Fuerza de tiro

#### 3.3.2.4.1 Carga de viento

Las magnitudes de las cargas de viento varían con la localidad geográfica, las alturas sobre el nivel del terreno, superficie de contacto, geometría de la estructura, los tipos de terreno que rodean el edificio o estructura.

Por lo general se supone que las presiones del viento se aplican uniformemente a las superficies de barlovento y que pueden proceder de cualquier dirección.

La determinación de la carga de viento en el caso de paredes sólidas independientes está estipulada por la siguiente ecuación<sup>28</sup>:

$$F_w = q_z G C_f A_s$$

**Ecuación 3.1**

---

<sup>28</sup> AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS/STRUCTURAL ENGINEERING INSTITUTE (ASCE/SEI), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10, United States of America, 2010, 307-308 Pg.

Donde:

$F_w$  = fuerza de viento

$q_z$  = presión dinámica de viento evaluada a una altura  $h$

$G$  = factor de efecto de ráfaga

$C_f$  = coeficiente de fuerza neta

$A_s$  = área neta de la pared

El Factor de efecto ráfaga,  $G$ , para edificios rígidos y otras estructuras puede tomar un valor de 0.85.

El coeficiente de fuerza neta,  $C_f$ , está en función de las dimensiones de la superficie vertical en contacto con el aire, separación con respecto al suelo y la dirección con la que el viento choca contra la superficie. Y sus valores se muestran en el anexo C.

El área neta de la pared,  $A_s$ , es la superficie que impedirá el flujo normal del aire.

La presión dinámica de viento,  $q_z$ , para una altura  $z$ , se calcula con la siguiente ecuación:

$$q_z = 0.613K_zK_{zt}K_dV^2 \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

$K_z$  = factor de exposición

$K_{zt}$  = factor topográfico

$K_d$  = factor de direccionalidad del viento

$V$  = velocidad básica del viento

Para determinar el factor de exposición,  $K_z$ , se debe establecer primero una categoría de exposición que refleje adecuadamente las características de las irregularidades de la superficie para el lugar en el cual se va a construir el edificio o la estructura, siendo estas :

- Exposición B. Áreas urbanas y suburbanas, áreas boscosas, o terrenos con numerosas obstrucciones próximas entre sí, del tamaño de unifamiliares o mayores.
- Exposición C. Terrenos abiertos con obstrucciones dispersas, con alturas generalmente menores de 10 m. Esta categoría incluye campo abierto plano y terrenos agrícolas.
- Exposición D. Áreas costeras planas, sin obstrucciones, expuestas al viento soplando desde aguas abiertas en una distancia de al menos de 1600 m. Esta exposición se debe aplicar solamente a aquellos edificios y otras estructuras expuestas al viento soplando desde el agua.

Este factor también depende de la altura de exposición y sus valores se muestran en el anexo C.

El Factor topográfico,  $K_{zt}$ , considera la topografía del sector en donde se encuentra la edificación o estructura, ya que existe un aumento de la velocidad el viento sobre lomas, escarpas y colinas aisladas.

El Factor de direccionalidad del viento,  $K_d$ , toma en cuenta la forma geometría de la estructura y debe ser empleado únicamente cuando se realice una combinación de cargas en cálculos posteriores. Sus valores se muestran en el anexo C.

La velocidad básica de viento,  $V$ , depende de la longitud y calidad de los registros de viento y del modelo estadístico utilizado.

### 3.3.2.4.2 Fuerza de tiro o arrastre (*ft*)

La fuerza de tiro es la que trasmite el tracto camión al semirremolque para lograr el desplazamiento de este último, su cálculo puede ser realizado mediante la segunda ecuación de Newton.

$$F_t = ma \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$$a = \frac{dv}{dt} \approx \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Donde:

$F_t$  = fuerza de tiro

$m$  = masa total que se requiere movilizar

$a$  = aceleración del tracto camión

$V$  = velocidad

$t$  = tiempo

### 3.3.3 COMBINACIÓN DE CARGAS PARA LRFD<sup>29</sup>

Las combinaciones de cargas están basadas en modelos probabilísticos modernos de las cargas y una investigación exhaustiva de las confiabilidades inherentes a las prácticas de diseño tradicional.

Estas combinaciones de carga utilizan un “formato acción principal - acción acompañante”, el cual está basado en la noción de que el máximo efecto combinado de las cargas ocurre cuando una de las cargas que varían en el tiempo alcanzan un valor (acción principal), mientras las otras cargas variables en el tiempo, alcanzan un valor en un instante cualquiera arbitrario (acciones acompañantes).

---

<sup>29</sup> AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS/STRUCTURAL ENGINEERING INSTITUTE (ASCE/SEI), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10, United States of America, 2010, 7 Pg.

La carga muerta, considerada una acción permanente es la misma para todas las combinaciones en los cuales los efectos de las cargas son aditivos.

Investigaciones han demostrado que ésta metodología de análisis de estructura mediante combinaciones de cargas es consistente con la forma en que las cargas se combinan en los miembros y sistemas estructurales en los cuales los estados límite resistentes pueden ser determinantes.

Los factores de carga reflejan incertidumbre en la magnitud de las cargas individuales y para efectos de análisis las cargas se transforman en los efectos de las cargas.

Estructuras, componentes y bases serán diseñados de manera que su resistencia de diseño o nominal sea igual o supere los efectos de las cargas factorizadas en las siguientes combinaciones:

- $1.4D$
- $1.2D + 1.6L + 0.5 (Lr \text{ o } S \text{ o } R)$
- $1.2D + 1.6 (Lr \text{ o } S \text{ o } R) + (L \text{ o } 0.5W)$
- $1.2D + 1.0W + L + 0.5 (Lr \text{ o } S \text{ o } R)$
- $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
- $0.9D + 1.0W$
- $0.9D + 1.0E$

Donde:

$D$  = carga muerta

$L$  = carga viva

$W$  = carga de viento

$S$  = carga de nieve

$R$  = carga de lluvia

$E$  = carga al sismo

$Lr$  = carga viva sobre techo

### 3.4 DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES<sup>30</sup>

El diseño de acuerdo con las disposiciones de factores de carga y resistencia según ANSI/AISC 360-05 satisface los requisitos cuando la resistencia de diseño de cada componente estructural es mayor o igual a la resistencia requerida determinada de acuerdo a las combinaciones de carga LRFD. El diseño se realizará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$R_u \leq \phi R_n \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

$R_u$  = resistencia requerida

$R_n$  = resistencia nominal

$\phi$  = factor de resistencia

Al lado izquierdo de la ecuación se encuentra la resistencia requerida, la misma que se determina mediante análisis estructural basado en las cargas estipuladas de acuerdo con la norma ASCE/SEI 7-10, mientras que al lado derecho se representa la resistencia límite estructural, o resistencia de diseño, proporcionada por el miembro.

En esta especificación el factor de resistencia es menor o igual que 1 y toma en cuenta imprecisiones de la teoría y variaciones en las propiedades mecánicas y dimensiones de los elementos y marcos. Para el estado límite en donde  $\phi=1.0$ , la resistencia nominal se considera suficientemente conservadora, cuando al compararla con la resistencia real no se requiere una reducción adicional.

---

<sup>30</sup> AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (AISC). Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-05, United States of America, 2005, 11 pg.

A continuación se indican los factores de carga más característicos de acuerdo a su situación<sup>31</sup>.

**Tabla 3.1 Factores de carga característicos**

SITUACIONES	FACTORES DE RESISTENCIA $\phi$
Aplastamiento en áreas proyectantes de pasadores, fluencia del alma bajo cargas concentradas, cortante en tornillos en juntas de tipo fricción.	1.00
Vigas sometidas a flexión, corte, filete de soldadura en paralelo al eje de soldadura, soldadura de ranura en el metal base.	0.90
Columnas, aplastamiento del alma, distancia al borde y capacidad de aplastamiento en agujeros.	0.85
Cortante en el área efectiva de soldadura de ranura con penetración completa, tensión normal al área efectiva de la soldadura de ranura de penetración parcial.	0.80
Tornillos a tensión, soldadura de tapón o muescas, fractura en la sección neta de los miembros a tensión.	0.75
Aplastamiento en tornillos (que no sean del tipo A 307).	0.65
Aplastamiento en tornillos A 307, aplastamiento en cimentaciones de hormigón.	0.60

### 3.4.1 CLASIFICACIÓN DE LAS SECCIONES DE ACERO

Las secciones de acero pueden clasificarse como secciones compactas, no compactas y esbeltas. Para que una sección califique como compacta, sus alas deben estar continuamente conectadas al alma o almas y la razón ancho-espesor de sus miembros comprimidos no debe exceder la razón límite ancho-espesor  $\lambda_p$ . Cuando la razón ancho-espesor de uno o más miembros comprimidos excede  $\lambda_p$ , pero no excede el valor  $\lambda_r$ , la sección se denomina no compacta. Si la razón ancho-espesor de cualquier elemento excede el valor  $\lambda_r$ , la sección se denomina esbelta.

<sup>31</sup> ESCALANTE, Víctor. Diseño de estructuras metálicas LRFD, 1ra. Ed., Republica Dominicana, 2003, 11pg.

Un elemento no atiesado es una pieza proyectante con un borde libre, paralelo a la dirección de la fuerza de compresión, en tanto que un elemento atiesado esta soportado a lo largo de los dos bordes en esa dirección.

En el cálculo de la relación ancho - espesor se emplean las siguientes ecuaciones:

- Para alas:

$$\frac{b}{t} = \lambda_f \quad \text{Ecuación 3.6}$$

- Para almas:

$$\frac{h}{t_w} = \lambda_w \quad \text{Ecuación 3.7}$$

En elementos no atiesados sometidos a flexión en las alas de perfiles laminados tipo I y canales los límites ancho-espesor son:

- Para secciones compactas:

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

- Para secciones no compactas:

$$\lambda_r = 1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Para elementos atiesados sometidos a flexión en almas de perfiles I de simetría doble y canales los límites ancho-espesor son:

- Para secciones compactas:

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{Ecuación 3.10}$$

- Para secciones no compactas:

$$\lambda_r = 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{Ecuación 3.11}$$

Donde:

$E$  = módulo de elasticidad,  $2.04 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$  (200000 Mpa)

$F_y$  = límite de fluencia

$b$  = ancho de ala

$t$  = espesor de ala

$t_w$  = espesor de alma

$h$  = altura de alma

$\lambda_f$  = relación ancho – espesor ala

$\lambda_p$  = esbeltez a pandeo local límite para elementos compactos

$\lambda_r$  = esbeltez a pandeo local límite elementos no compacto

$\lambda_w$  = relación ancho – espesor alma

### 3.4.2 DISEÑO DE MIEMBROS A TRACCIÓN

La resistencia de diseño en tracción,  $\phi_t P_n$ , de miembros solicitados a tracción debe ser el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límite de fluencia en tracción en la sección bruta y fractura en tracción en la sección neta.

Para fluencia en tracción en la sección bruta:

$$P_n = F_y A_g \quad \text{Ecuación 3.12}$$

$$\phi_t = 0.9$$

Para fractura en tracción en la sección neta:

$$P_n = F_u A_e \quad \text{Ecuación 3.13}$$

$$\phi_t = 0.75$$

Donde:

$P_n$  = resistencia nominal

$F_y$  = tensión de fluencia mínima

$F_u$  = tensión última mínima

$A_g$  = área bruta del miembro

$A_e$  = área neta efectiva

### 3.4.2.1 Áreas de la sección

El área bruta,  $A_g$ , de un miembro es el área total de la sección transversal.

El área neta de un miembro,  $A_n$ , es la suma de los productos que se obtiene de multiplicar los espesores por los correspondiente anchos neto de los miembros de cada elemento calculados de la siguiente manera:

Para calcular el área neta para tensión o corte, el ancho de una perforación se tomará como 2 milímetros más grande que la dimensión nominal de la perforación.

### 3.4.3 DISEÑO DE MIEMBROS A CORTE

Abarca el diseño de las almas de miembros con simetría doble o simple solicitados por corte en el plano del alma, ángulos simples y perfiles tubulares, y corte en la dirección débil de perfiles de simetría doble o simple.

Para el cálculo de la resistencia de corte de diseño,  $\phi_v V_n$ , la resistencia nominal de almas no atiesadas o atiesadas de acuerdo al estado límite de fluencia en corte y pandeo en corte es:

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v \quad \text{Ecuación 3.14}$$

$$\phi_v = 0.9$$

Donde:

$V_n$  = resistencia nominal a corte

$A_w$  = área del alma

$C_v$  = coeficiente de corte, para almas de perfiles laminados

### 3.4.4 DISEÑO DE MIEMBROS EN COMPRESIÓN

La resistencia de diseño en compresión,  $\phi_c P_n$ , deben ser determinadas de la siguiente manera:

$$\phi_c = 0.9$$

La resistencia de compresión nominal,  $P_n$ , es el menor valor obtenido de acuerdo con los estados límites de pandeo por flexión, pandeo torsional y pandeo flexo-torsional.

- a) Para secciones de simetría doble y secciones de simetría simple se aplica el estado límite de pandeo por flexión.

- b) Para secciones de simetría simple, secciones de asimétricas y ciertas secciones de simetría doble, tales como columnas cruciformes o columnas armadas, los estados límite de pandeo torsional y flexo-torsional también son aplicables.

### 3.4.5 DISEÑO DE MIEMBROS EN FLEXIÓN

Este abarca el diseño de miembros solicitados por flexión simple en torno a un eje principal. Para flexión simple, el miembro es cargado en un plano paralelo al eje principal que pasa a través del centro de corte o es restringido al giro en los puntos de carga y los apoyos.

Para el cálculo de la resistencia de diseño en flexión,  $\phi_b M_n$ , la resistencia nominal a flexión para miembros compactos de sección H de simetría doble y canales flectados en torno a su eje mayor, teniendo almas compactas y alas compactas debe ser el menor valor obtenido de acuerdo a los siguientes estados límite.

- Para Fluencia:

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad \text{Ecuación 3.15}$$

$$\phi_b = 0.9$$

Donde:

$M_n$  = resistencia nominal a flexión

$M_p$  = momento de flexión plástico

$Z_x$  = módulo de sección plástica en torno al eje x

- Para pandeo lateral-torsional:

- a) Cuando  $L_b \leq L_p$ , el estado límite de pandeo lateral-torsional no aplica

b) Cuando  $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad \text{Ecuación 3.16}$$

c) Cuando  $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad \text{Ecuación 3.17}$$

Donde:

$L_b$  = longitud entre arriostramientos

$L_p$  = longitud límite al volcamiento

$L_r$  = longitud límite de pandeo flexo-torsional inelástico

$S_x$  = módulo de sección elástico en torno al eje x

Las longitudes límites  $L_p$  y  $L_r$  se determinan con las siguientes ecuaciones:

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{Ecuación 3.18}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6 - 76 \left( \frac{0.7F_y S_x h_o}{E J c} \right)^2}}} \quad \text{Ecuación 3.19}$$

Donde:

$J$  = constante torsional

$c$  = constante para secciones H con simetría doble

$h_o$  = distancia entre centroides de alas

$r_y$  = radio de giro en torno al eje y

$r_{ts}$  = radio de giro efectivo

### 3.4.5.1 Deflexiones

En una estructura sometida a flexión es necesario determinar si la deflexión máxima que se presenta en la misma no altera sus buenas propiedades de servicio y funcionamiento.

El ANSI/AISC 360-05 no especifica de manera directa valores de deflexiones máximas admisibles, ya que como existen tantos tipos de materiales, tipos de estructuras y diferentes condiciones de cargas no es aceptable un solo grupo de deflexiones máximas para todos los casos. Así en términos generales cuando se considera carga viva + carga muerta se puede utilizar deflexiones máximas de<sup>32</sup>.

$$\Delta \leq \frac{L}{240} \quad \text{Ecuación 3.20}$$

Donde:

$\Delta$  = deflexión máxima presentada en la estructura

$L$  = longitud del elemento que incide en la deflexión

## 3.5 CONEXIONES

En el diseño de estructuras metálicas es tan importante optimizar los perfiles a emplear como unirlos adecuadamente. Así, se tiene entonces muchos tipos de conexiones en consideración a la geometría y cargas. Cada conexión tiene que cumplir una serie de requisitos para asegurar su ductilidad, rotación y capacidad de tomar momentos, cortes y cargas axiales.

---

<sup>32</sup> ESCALANTE, Víctor. Diseño de estructuras metálicas LRFD, 1ra. Ed., Republica Dominicana, 2003, 56 pg.

### 3.5.1 CONEXIONES POR PASADOR

Los pasadores son conectores mecánicos que permiten materializar articulaciones o rótulas para enlazar dos o más miembros de una estructura o apoyos articulados.

Es necesario, además del diseño del pasador comprobar la resistencia de los elementos conectados por el mismo.

#### 3.5.1.1 Diseño del pasador

El pasador se comporta en realidad como una viga, por tanto se diseña a corte y flexión<sup>33</sup>.

- Diseño para resistencia a flexión

$$M_n = 1.5F_y \pi \frac{d^3}{32} \quad \text{Ecuación 3.21}$$

$$\phi_b = 0.9$$

- Diseño para resistencia a corte

$$V_n = 0.6F_y A \quad \text{Ecuación 3.22}$$

$$\phi_v = 0.9$$

Donde:

$A$  = área transversal del pasador

$d$  = diámetro del pasador

#### 3.5.1.2 Diseño de elementos conectados por pasador

La resistencia de diseño en tracción de los miembros conectados por pasador debe ser el menor valor determinado de acuerdo a los estados límite de rotura en tracción, rotura en corte, aplastamiento y fluencia, para el elemento de menor espesor.

<sup>33</sup> CAORI, Patricia. Conexiones en Estructuras Metálicas, 1ra. Ed., Colombia, 2002, Unidad de Publicaciones de Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia, 13 pg.

- Comprobación resistencia de rotura en tracción

$$P_n = 2tb_{eff}F_u \quad \text{Ecuación 3.23}$$

$$\phi_t = 0.75$$

- Comprobación resistencia de rotura en corte

$$P_n = 0.6A_{sf}F_u \quad \text{Ecuación 3.24}$$

$$\phi_{sf} = 0.75$$

- Comprobación resistencia para aplastamiento

$$R_n = 1.8A_{pb}F_y \quad \text{Ecuación 3.25}$$

$$\phi = 0.75$$

- Resistencia para fluencia en la sección bruta

$$P_n = A_gF_y \quad \text{Ecuación 3.26}$$

$$\phi = 0.9$$

Donde:

$A_{pb}$  = área proyectada de aplastamiento, véase figura 3.2 a

$A_{sf}$  = área de corte e igual a  $2t(a + d/2)$ , véase figura 3.1 b

$a$  = distancia medida paralelamente a la fuerza aplicada desde el borde del hueco hasta el extremo

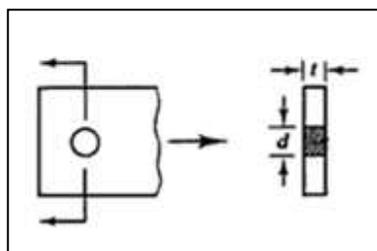
$R_n$  = resistencia de aplastamiento

$b_{eff}$  = ancho efectivo de la platina e igual a  $2t + 1.6$

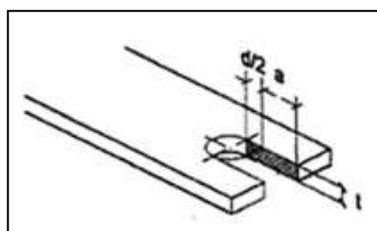
$t$  = menor espesor de los elementos conectados

$\phi$  = factor de resistencia

$\phi_{sf}$  = factor de resistencia para falla en bloque de corte



a) Área proyectada de aplastamiento



b) Área de corte

**Figura 3.1** Áreas de elementos conectados por pasador<sup>34</sup>

### 3.5.2 CONEXIONES SOLDADAS

La soldadura es un proceso en el que se unen partes metálicas mediante el calentamiento de sus superficies a un estado plástico, permitiendo que las partes fluyan y se unan con o sin adición de otro metal fundido. Aunque se dispone tanto de soldadura con gas como con arco, casi toda la soldadura estructural es de arco.

En estructuras metálicas es uno de los procesos más destacados y con mayor confiabilidad de los últimos años, es por esto que existen códigos estrictamente dedicados a este proceso de fabricación.

#### 3.5.2.1 Tipos de soldadura

En la fabricación de semirremolques los principales tipos de soldadura empleados para realizar las conexiones son:

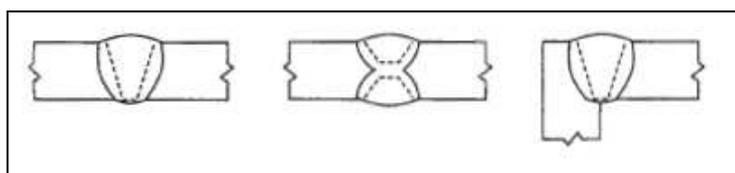
<sup>34</sup> CAORI, Patricia. Conexiones en Estructuras Metálicas, 1ra. Ed., Colombia, 2002, Unidad de Publicaciones de Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia, 40 pg.

- Soldadura a de ranura

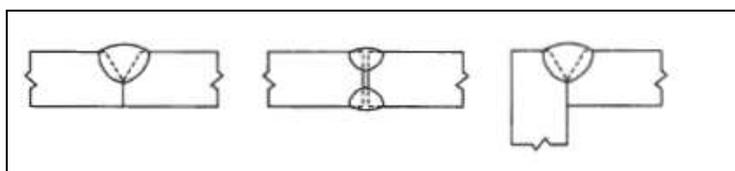
La soldadura de ranura se emplea cuando los miembros que se conectan están alineados en el mismo plano. Esta se realiza entre el espacio que queda entre dos piezas de metal y se emplean en varias combinaciones dependiendo de la accesibilidad, de la economía, del diseño y del proceso de soldadura que se aplique.

La soldadura de ranura es bastante común en muchas conexiones tales como los empalmes en alas y alma de vigas o de columnas.

Este se clasifica en: soldadura de ranura de penetración completa y soldadura de ranura de penetración parcial.



a) Soldadura de penetración completa



b) Soldadura penetración parcial

**Figura 3.2** Tipos de soldadura de ranura<sup>35</sup>

La longitud de soldadura efectiva es la máxima longitud de cualquier soldadura de ranura, sin tomar en cuenta su extensión. Deberá ser el ancho de la parte unida, perpendicular a la dirección de la tensión o carga de compresión. Para las soldaduras ranuradas que transmiten corte, la longitud efectiva es la longitud especificada.

<sup>35</sup> McCORMAC, Jack. Diseño de Estructuras Metálicas de Acero LRFD, 2da. Ed., México, 2002, Alfaomega, 441 pg.

El tamaño efectivo de una soldadura ranurada de penetración completa deberá ser del espesor más delgado de la parte unida. Un aumento en el área efectiva con respecto a los cálculos del diseño por refuerzos de soldadura está prohibido.

El tamaño mínimo de soldaduras ranuradas de penetración parcial deberá ser igual o mayor que al especificado en la siguiente tabla:

**Tabla 3.2** Garganta efectiva de soldaduras de tope con junta de penetración parcial<sup>36</sup>

Tabla J 2.1 Garganta Efectiva de Soldaduras de tope con Junta de Penetración Parcial			
Proceso de Soldado	Posición de Soldado F (estirado), H (horizontal), V (vertical), OH (sobre cabeza)	Tipo de surco (Figura 3.3, AWS D1.1)	Garganta Efectiva
Arco de electrodo revestido (SMAW)	Todos	Bisel J o U 60° V	Profundidad del bisel
Arco metálico y gas (GMAW) Arco con núcleo de fundente (FCAW)	Todos		
Arco Sumergido (SAW)	F	Bisel J o U Bisel 60° o V	
Arco metálico y gas (GMAW) Arco con núcleo de fundente (FCAW)	F, H	Bisel 45°	Profundidad del bisel
Arco de electrodo revestido (SMAW)	Todos	Bisel 45°	Profundidad del bisel menos 3 mm
Arco metálico y gas (GMAW) Arco con núcleo de fundente (FCAW)	V, OH	Bisel 45°	Profundidad del bisel menos 3 mm

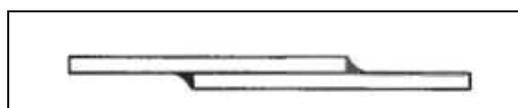
El área efectiva de soldaduras de ranura será la longitud efectiva multiplicada por el tamaño de la soldadura efectiva.

- Soldadura a de filete

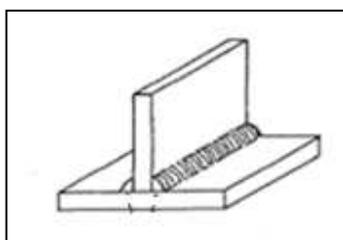
Estas soldaduras son básicamente triangulares vistas desde su sección, aunque su forma no sea siempre un triángulo perfecto o isósceles.

<sup>36</sup> AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (AISC). Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-05, United States of America, 2005, 16-155 pg.

Este tipo de soldadura se realiza con mayor rapidez ya que sus juntas son fáciles de preparar y alinear. Aunque a veces se requieran de un mayor número de pases que las juntas soldadas de ranura. Además permite mayores tolerancias en el montaje.



a) Juntas traslapadas



b) Juntas en "T"

**Figura 3.3** Soldadura de filete<sup>37</sup>

La longitud efectiva de un filete de soldadura recta es la longitud total, incluyendo retornos finales. Ninguna reducción en la longitud efectiva debe asumirse en los cálculos del diseño para permitir el inicio y el final del cráter de soldadura.

La longitud efectiva de una soldadura curva debe medirse por la línea central de la garganta efectiva.

La longitud mínima de la soldadura de filete debe ser a lo menos cuatro veces el tamaño nominal, o el tamaño efectivo de la soldadura debe considerarse de manera que no exceda el 25% de su longitud requerida.

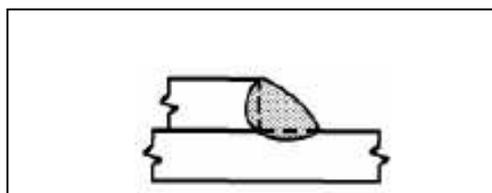
---

<sup>37</sup> McCORMAC, Jack. Diseño de Estructuras Metálicas de Acero LRFD, 2da. Ed., México, 2002, Alfaomega, 443 pg.

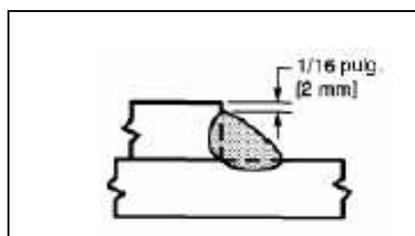
Para soldaduras de filete entre partes que se unan en ángulos entre 80° y 100°, la garganta efectiva debe tomarse como la distancia más corta desde la raíz de la unión hasta la superficie de la soldadura.

El tamaño máximo de soldaduras de filete en uniones en traslape debe ser:

- El espesor del metal base, para metales inferiores a 6 mm de espesor.
- Un valor de 2 mm menos de espesor del metal base, para metales de 6 mm o más de espesor.



a) Metal base inferior a 6 mm de espesor



b) Metal base de 6 mm o más de espesor

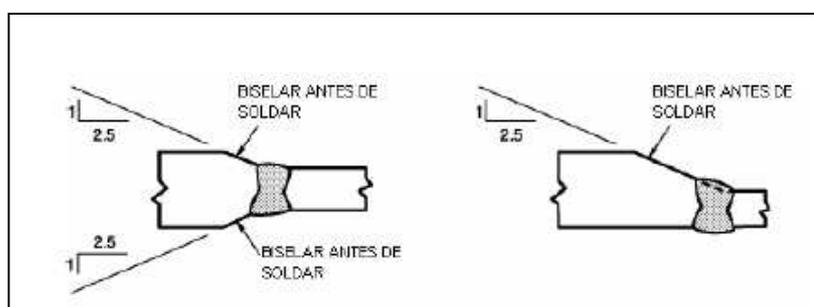
**Figura 3.4** Tamaño máximo de soldadura de filete en bordes de uniones traslapadas<sup>38</sup>

El área efectiva deberá ser la longitud efectiva de la soldadura multiplicada por la garganta efectiva.

<sup>38</sup> AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). Structural Welding Code - Steel, AWS D1.1/d1.1M, United States of America, 2004, 41 pg.

### 3.5.2.2 Transición de espesor

Las uniones a tope con tensión en los componentes primarios alineados axialmente en materiales de diferentes espesores o tamaños, deben hacerse de tal manera que la inclinación a través de la zona de transición no exceda 1 a 2½ in (25.4 a 63.5 mm). La transición deberá realizarse biselando la parte más gruesa, inclinando el metal soldado o mediante una combinación de estos dos métodos.



**Figura 3.5** Transición de uniones a tope de espesor diferente<sup>39</sup>

### 3.5.2.3 Resistencia

La resistencia de diseño,  $\phi R_n$ , de juntas soldadas debe ser el menor valor entre la resistencia del material base determinada de acuerdo con los estados límites de fractura en tracción y fractura en corte, y la resistencia del metal de soldadura determinada con el estado límite de fluencia, según las ecuaciones siguientes<sup>40</sup>:

- Para el metal base

$$R_n = F_{MB} A_{MB} \quad \text{Ecuación 3.27}$$

<sup>39</sup> AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). Structural Welding Code - Steel, AWS D1.1/D1.1:M, United States of America, 2010, 44 pg.

<sup>40</sup> AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (AISC). Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-05, United States of America, 2005, 16-159 pg.

- Para el metal de soldadura

$$R_n = F_w A_w \quad \text{Ecuación 3.28}$$

Donde:

$F_{MB}$  = tensión nominal del metal base

$F_w$  = tensión nominal del metal de soldadura

$A_{MB}$  = área de la sección transversal del metal base

$A_w$  = área efectiva de la soldadura

Los valores de  $\phi$ ,  $F_{BM}$  y  $F_w$  y las limitaciones respectivas se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 3.3 Resistencia disponible de juntas soldadas a tope de penetración completa<sup>41</sup>**

<b>Tabla J 2.5</b>					
<b>Resistencia Disponible de Juntas Soldadas, T (kN)</b>					
Tipo de Carga y Dirección Relativa al Eje de Soldadura	Metal Pertinente	$\phi$ y $\Omega$	Tensión Nominal ( $F_{BM}$ y $F_w$ ) kgf/cm <sup>2</sup> (MPa)	Área Efectiva ( $A_{MB}$ y $A_w$ ) cm <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	Nivel de Resistencia Requerida del Metal de Aporte[a][b]
SOLDADURAS DE TOPE CON JUNTA DE PENETRACIÓN COMPLETA					
Tracción Normal al eje de soldadura	Resistencia de la junta controlada por el metal base			Se debe usar metal de aporte compatible con el metal base. Para juntas T y de esquina sin remoción de soporte, se requiere de metal de aporte resistente a muecas. Ver la Sección J2.6.	
Compresión Normal al eje de soldadura	Resistencia de la junta controlada por el metal base			Se permite metal de aporte con nivel de resistencia igual a un nivel de resistencia menor que metal de aporte compatible con el metal base.	
Tracción o Compresión Paralelo al eje de soldadura	Tracción o compresión en partes unidas paralelas a la soldadura no necesitan ser consideradas en el diseño de soldaduras que unen las partes			Se permite metal de aporte con un nivel de resistencia igual o menor que metal de aporte compatible con el metal base.	
Corte	Resistencia de la junta controlada por el metal base			Se debe usar metal de aporte compatible con el metal base. [c]	

<sup>41</sup> AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (AISC). Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-05, United States of America, 2005, 16-162 pg.

### 3.5.2.4 Conexiones resistentes a momento<sup>42</sup>

En este tipo de conexiones hace que el momento producido en la junta sea cargado en su mayoría sobre los patines de la viga, y la carga cortante en la conexión casi en su totalidad sobre el alma de la misma.

Por lo que las soldaduras de los patines de la viga se encuentran a tracción y compresión, los esfuerzos presentes están determinados por la siguiente ecuación:

$$R_u = \frac{M_u}{h - t_f} \quad \text{Ecuación 3.29}$$

Donde:

$M_u$  = momento máximo resultante en la conexión

$R_u$  = resistencia requerida

$h$  = profundidad de perfil

$t_f$  = espesor del ala

## 3.6 DISEÑO POR RESISTENCIA ESTÁTICA

Se puede referir a una carga estática cuando es invariable con el tiempo, pudiendo ser esta de tensión, compresión, corte, flexión, torsión, o una combinación de las mismas. A la hora de diseñar un elemento de una máquina que esté afectado por dichas cargas, lo ideal es disponer de resultados de ensayos de resistencia realizadas en probetas de características semejantes al elemento en diseño, resultando poco práctico en el proceso de diseño.

Motivo por el cual se han desarrollado métodos que utilizan los datos de ensayo simple a tensión para dimensionar adecuadamente una pieza con un margen de seguridad adecuado a su uso. A estos métodos se los conoce como teorías de falla.

---

<sup>42</sup> McCORMAC, Jack. Diseño de Estructuras Metálicas de Acero LRFD, 2da. Ed., México, 2002, Alfaomega, 472 pg.

### 3.6.1 TEORÍA DE LA ENERGÍA DE LA DISTORSIÓN<sup>43</sup>

Esta es la teoría más adecuada para materiales dúctiles y uniformes donde la resistencia a la tracción sea aproximadamente igual a la resistencia a la compresión y cuya resistencia al cortante sea menor a la de tracción. Esta teoría consiste básicamente en determinar la denominada tensión efectiva de Von Mises,  $\sigma'$ , tras haber determinado el estado de tensión del punto más crítico mediante las siguientes ecuaciones:

- Para un estado bidimensional de tensiones:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2} \quad \text{Ecuación 3.30}$$

- Para un estado tridimensional de tensiones:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3} \quad \text{Ecuación 3.31}$$

Donde:

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  = esfuerzos principales

### 3.6.2 FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO

Una vez determinada la tensión efectiva de Von Mises, es necesario compararla con el límite elástico del material,  $S_y$ , obteniéndose así el coeficiente de seguridad del material.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \quad \text{Ecuación 3.32}$$

---

<sup>43</sup> SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica, 4ta., México, 1983, McGraw-Hill, 245 pg.

### 3.7 DISEÑO POR RESISTENCIA A LA FATIGA

Se ha comprobado que materiales dúctiles sometidos a esfuerzos cíclicos mucho menores que el nivel de su resistencia estática pueden fallar por fatiga.

La fatiga se define como el proceso de un localizado, permanente y progresivo cambio estructural sufrido por un material sujeto a condiciones que le producen tensiones y deformaciones en uno o varios puntos y que puede conducir a la producción de grietas o a la ruptura después de un número suficiente de fluctuaciones.

#### 3.7.1 ESFUERZOS FLUCTUANTES

En muchos casos los estados de esfuerzo varían sin tener una inversión completa sucesiva, e inclusive en muchas ocasiones los esfuerzos fluctúan sin pasar por cero. De estos casos se pueden considerar las siguientes componentes del esfuerzo:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \quad \text{Ecuación 3.33}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \quad \text{Ecuación 3.34}$$

Donde:

$\sigma_a$  = esfuerzo de amplitud

$\sigma_m$  = esfuerzo medio

$\sigma_{m\acute{a}x}$  = esfuerzo máximo

$\sigma_{m\acute{i}n}$  = esfuerzo mínimo

#### 3.7.2 FACTORES MODIFICADORES DE RESISTENCIA A LA FATIGA

Son factores que permiten relacionar el límite de resistencia a la fatiga de un elemento mecánico,  $S_e$ , con los resultados del límite de resistencia a la fatiga obtenidos con probetas de ensayos,  $S_e'$ , incluyéndose así la influencia de la

diferencia con la aplicación real. El límite de resistencia del elemento es expresado mediante la ecuación:

$$S_e = S'_e k_a k_b k_c k_d k_e k_f \quad \text{Ecuación 3.35}$$

Donde:

$S_e$  = límite de resistencia a la fatiga del elemento

$S'_e$  = límite de resistencia a la fatiga de la probeta

$k_a$  = factor de superficie

$k_b$  = factor de tamaño

$k_c$  = factor de confiabilidad

$k_d$  = factor de temperatura

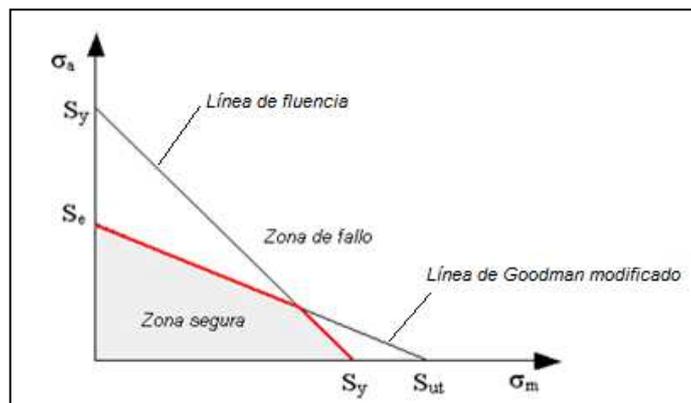
$k_e$  = factor de concentración de esfuerzos

$k_f$  = factor de efectos diversos

### 3.7.3 LÍNEA DE GOODMAN

Este es el criterio más empleado de líneas de falla y en el cual se distingue entre tensiones tractivas y compresivas, y considera que las tensiones medias compresivas no afectan a la resistencia a la fatiga. Cuando se incluye además la fluencia como criterio de fallo, surge la línea de falla de Goodman modificado (figura 3.6), pudiendo expresarse esta mediante la siguiente ecuación:

$$s_m = \frac{S_e}{\frac{\sigma_a}{\sigma_m} + \frac{S_e}{S_{ut}}} \quad \text{Ecuación 3.36}$$



**Figura 3.6** Línea de Goodman modificada<sup>44</sup>

### 3.7.4 FACTOR DE SEGURIDAD DINÁMICO ( Kimmelmann )

Afirma que el factor de seguridad a la fatiga debe calcularse como la razón de los esfuerzos que originan fallas al esfuerzo máximo en condiciones de operación. Teniéndose el factor de seguridad como se indica en la siguiente ecuación.

$$n = \frac{S_m}{\sigma_m} \quad \text{Ecuación 3.37}$$

Donde:

$S_m$  = componente media

$n$  = factor de seguridad

<sup>44</sup> MECAPEDIA. Criterio de Goodman Modificado <[http://www.emc.uji.es/d/mecapedi/criterio\\_de\\_Goodman\\_modificado.htm](http://www.emc.uji.es/d/mecapedi/criterio_de_Goodman_modificado.htm)> [consulta: 8 de Junio del 2012]

## CAPÍTULO 4

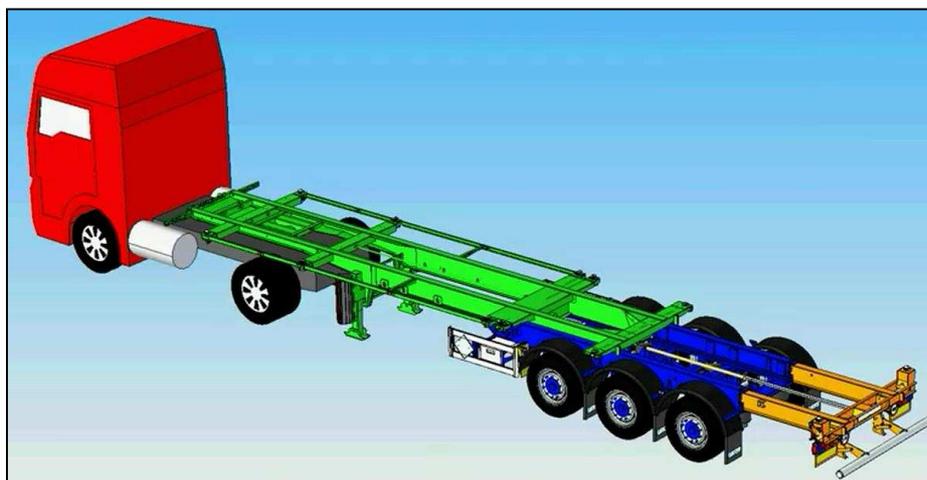
### ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Identificada la necesidad y definido el problema, es necesario buscar y seleccionar la alternativa más conveniente. Las opciones de solución se reúnen mediante la indagación e investigación, las mismas que se evalúan, comparan y seleccionan con el fin de obtener una solución óptima. La solución elegida se expondrá en los capítulos posteriores más detalladamente.

Es necesario aclarar que en el país este tipo de plataformas no son comunes y las existentes en su gran mayoría son de fabricación extranjera.

#### 4.1 DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS

##### 4.1.1 ALTERNATIVA A. SEMIRREMOLQUE BIEXTENSIBLE



**Figura 4.1** Semirremolque biextensible<sup>45</sup>

<sup>45</sup> TECNOKAR TRAILERS, Semirimorchio porta container telescopico Galileo  
<<http://www.youtube.com/watch?v=qKJmVtVO3po&feature=related>> [consulta: 2 de Octubre 2011]

Este semirremolque tiene la característica principal de poseer dos sistemas extensibles en su estructura, así, mediante estos se puede regular su longitud para adaptarla al tipo de carga que se requiera transportar.

El semirremolque biextensible está constituido por tres partes fundamentales en su chasis, esto sin tomar en cuenta los diferentes accesorios que son acoplados al mismo.

Estas partes son:

- Conjunto estructural anterior.
- Conjunto estructural medio.
- Conjunto estructural posterior.

Cada conjunto estructural está constituido por vigas, travesaños y placas que serán el soporte de la estructura.

El primer sistema extensible está compuesto por el conjunto estructural anterior y el conjunto estructural medio, donde este último es el cuerpo central de la estructura y a través del cual el sistema de suspensión, los ejes y rines transmiten el peso hacia el piso.

Por último el segundo sistema extensible está conformado por el conjunto estructural medio y el conjunto estructural posterior siendo este último la parte final del semirremolque.

Ventajas:

- Fácil adaptación a longitudes requeridas.
- Estructura liviana.
- Fácil acceso a materiales de construcción.

Desventajas:

- Complejidad del diseño de los sistemas extensibles.
- Mayor costo por los sistemas extensibles.
- Menor capacidad de carga en longitud abierta.
- Mayor complejidad en su operatividad.
- Bajo nivel estético.

#### 4.1.2 ALTERNATIVA B. SEMIRREMOLQUE EXTENSIBLE CON SOPORTE CENTRAL DE DOBLE VIGA



**Figura 4.2** Semirremolque con soporte central de doble viga<sup>46</sup>

Este tipo de semirremolque a diferencia del anterior posee un solo sistema extensible en la parte central del semirremolque que permite todas sus regulaciones en su longitud. Este sistema de extensión está conformado por dos vigas centrales corredizas y que mediante un sistema de sujeción permite regular su posición.

Ventajas:

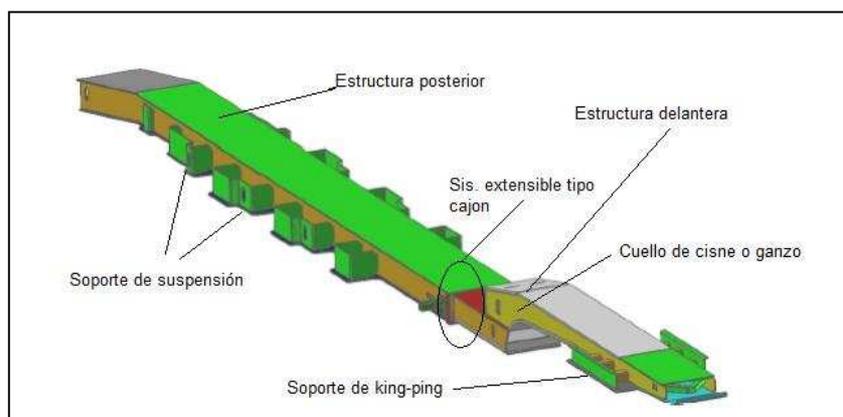
- Fácil regulación de longitud.
- Nivel bajo de operatividad.
- Fácil acceso a sus materiales de fabricación.
- Mayor capacidad de carga.
- Buen nivel estético.

Desventajas:

- Mayor peso.
- Nivel medio de complejidad en funcionamiento del sistema extensible y sistemas auxiliares de sujeción.
- Costo medianamente elevado.

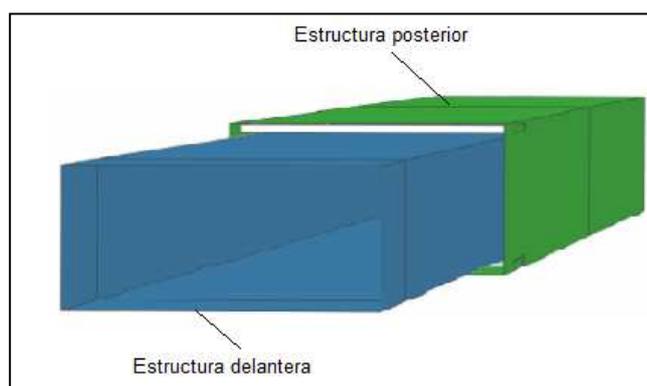
<sup>46</sup> MANAC. Black Steel Extendable Drops Decks < [http:// usedsemitrailers.com/Illinois-trailers/listing=148753](http://usedsemitrailers.com/Illinois-trailers/listing=148753) > [consulta: 2 de Octubre 2011]

### 4.1.3 ALTERNATIVA C. SEMIRREMOLQUE EXTENSIBLE CON SOPORTE CENTRAL TIPO CAJÓN



**Figura 4.3** Semirremolque extensible con viga central tipo cajón<sup>47</sup>

Estos remolques se encuentran constituidos por dos estructuras una delantera y otra posterior, las mismas que son de forma rectangular y forman el sistema extensible de manera que una columna ingresa en la parte interna de la otra, esto permite una facilidad tanto para extender y contraer el semirremolque. Además presenta una alta estabilidad en su estructura total.



**Figura 4.4** Sistema extensible tipo cajón

<sup>47</sup> KOSZALKA, Grzegorz. Fem Analysis in Design of Extendable Central Beam for a Semi-trailer < <http://www.mdesign.ftn.uns.ac.rs/pdf/2011/no1/047-050.pdf> > [consulta: 2 de Octubre 2011]

La estructura delantera se encuentra conectada al cuello de cisne que contiene la placa de acoplamiento y al king-pin. Mientras que la estructura posterior es el apoyo de los ejes y del sistema de suspensión, además sirve de soporte para la estructura delantera.

Las dimensiones de la viga trasera están limitadas a la altura de la plataforma requerida, las dimensiones de los ejes y al sistema de suspensión.

La capacidad de carga del semirremolque se encuentra relacionada directamente al espesor de las paredes que forman el encajonamiento del sistema extensible.

#### *Ventajas*

- Fácil extensión de longitud.
- Buena rigidez de la estructura total.
- Estructura liviana.
- Fácil mantenimiento.
- Buena capacidad de carga.

#### *Desventajas*

- Requiere de procesos de fabricación complejos.
- Los materiales para su fabricación requieren de propiedades mecánicas que no se encuentran en el mercado nacional con facilidad.
- Costos de fabricación elevados.
- Dificultad en el ensamble.

## **4.2 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA**

Una vez presentado las diferentes alternativas de solución es necesario escoger la más óptima para el diseño, para asegurar que el cumplimiento de los diferentes criterios sea en el nivel más adecuado.

Para evaluar las diferentes elecciones es importante utilizar un método que permita ponderar diferentes aspectos de un sistema con el objeto de evaluar las mismas de forma numérica.

#### 4.2.1 MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS<sup>48</sup>

Este método permite determinar un orden preferencial de la evaluación global, sin necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin necesidad de estimar numéricamente el peso de cada criterio, obteniéndose resultados altamente satisfactorios y de forma objetiva.

En este método es necesario establecer, además de las alternativas, los criterios de valoración en base a los cuales se evaluarán las diferentes alternativas.

Se basa principalmente en tablas de ponderación donde los criterios se confrontan entre sí inicialmente y luego son evaluadas en relevancia según cada alternativa de solución dándose valores de 1 si el criterio es de mayor relevancia que el otro, de 0.5 si los dos criterios son semejantes y de 0 si el criterio es de menor relevancia que su competencia.

##### 4.2.1.1 Criterios de valoración

- *Alta fiabilidad*, considerado ya que su funcionamiento está encaminado a la transportación y cualquier fallo constituiría un peligro para la carga, operadores, automotores y peatones
- *Facilidad de diseño y construcción*, tomado en cuenta para disminuir los tiempos empleados en la concepción del diseño y además que no requiera de proceso complejos para su fabricación por las limitaciones tecnológicas del país.
- *Capacidad*, considerado puesto que este criterio determinará en gran medida la aceptación de la plataforma ya que limita el peso de los cargamentos que se puedan transportar.

---

<sup>48</sup> RIBA, Carles. Diseño Concurrente, España, 2002, Ediciones Upc, España, 59 pg.

- *Costo*, este criterio es uno de los más importantes ya que las limitaciones económicas determinan la competitividad y conformidad de cualquier producto en el medio.
- *Peso*, tomado en cuenta ya que este permitirá optimizar el diseño y aumentar la capacidad de carga sin sobrepasar los límites establecidos en la legislación ecuatoriana.
- *Materiales en el mercado*, este factor indica la accesibilidad que existe en el mercado nacional a diferentes tipos de materiales y accesorios para la construcción de la plataforma.
- *Operación*, se toma en cuenta para determinar la facilidad con la que un operador puede manejar un sistema o mecanismo.
- *Mantenimiento*, factor empleado para determinar la facilidad que presenta cada alternativa para mantenerla en condiciones óptimas de funcionamiento.

#### 4.2.2 TABLAS DE PONDERACIÓN

**Tabla 4.1** Evaluación del peso específico de cada criterio

Fiabilidad>Diseño>Capacidad>Costo>Peso=Material<Operación>Mantenimeinto

Criterio	Fiabilidad	Diseño	Capacidad	Costo	Peso	Materiales	Operación	Mantto.	$\Sigma +1$	Pond.
<b>Fiabilidad</b>		1	1	1	1	1	1	1	8	0.222
<b>Diseño</b>	0		1	1	1	1	1	1	7	0.194
<b>Capacidad</b>	0	0		1	1	1	1	1	6	0.167
<b>Costo</b>	0	0	0		1	1	1	1	5	0.139
<b>Peso</b>	0	0	0	0		0.5	1	1	3.5	0.097
<b>Materiales</b>	0	0	0	0	0.5		1	1	3.5	0.097
<b>Operación</b>	0	0	0	0	0	0		1	2	0.056
<b>Mantenimiento</b>	0	0	0	0	0	0	0		1	0.028
								<b>Suma</b>	36	1

*Fuente: Propia*

**Tabla 4.2** Evaluación del peso específico del criterio fiabilidad*Solución C > Solución B > Solución A*

<i>Fiabilidad</i>	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	$\Sigma +1$	<i>Ponderación</i>
<i>Solución A</i>		0	0	1	0.17
<i>Solución B</i>	1		0	2	0.33
<i>Solución C</i>	1	1		3	0.50
<b>Suma</b>				6	1

*Fuente: Propia***Tabla 4.3** Evaluación del peso específico del criterio facilidad de diseño y construcción*Solución B > Solución C = Solución A*

<i>Diseño</i>	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	$\Sigma +1$	<i>Ponderación</i>
<i>Solución A</i>		0	0.5	1.5	0.25
<i>Solución B</i>	1		1	3	0.50
<i>Solución C</i>	0.5	0		1.5	0.25
<b>Suma</b>				6	1

*Fuente: Propia***Tabla 4.4** Evaluación del peso específico del criterio capacidad*Solución C = Solución B > Solución A*

<i>Capacidad</i>	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	$\Sigma +1$	<i>Ponderación</i>
<i>Solución A</i>		0	0	1	0.17
<i>Solución B</i>	1		0.5	2.5	0.42
<i>Solución C</i>	1	0.5		2.5	0.42
<b>Suma</b>				6	1

*Fuente: Propia*

**Tabla 4.5** Evaluación del peso específico del criterio costo

Solución B &gt; Solución A &gt; Solución C

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución A		0	1	2	0.33
Solución B	1		1	3	0.50
Solución C	0	0		1	0.17
			<b>Suma</b>	6	1

Fuente: Propia

**Tabla 4.6** Evaluación del peso específico del peso

Solución A = Solución B &gt; Solución C

Peso	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución A		0.5	1	2.5	0.42
Solución B	0.5		1	2.5	0.42
Solución C	0	0		1	0.17
			<b>Suma</b>	6	1

Fuente: Propia

**Tabla 4.7** Evaluación del peso específico del criterio materiales en el mercado

Solución B &gt; Solución A &gt; Solución C

Materiales	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución A		0	1	2	0.33
Solución B	1		1	3	0.50
Solución C	0	0		1	0.17
			<b>Suma</b>	6	1

Fuente: Propia

**Tabla 4.8** Evaluación del peso específico del criterio facilidad de operación

Solución B = Solución C &gt; Solución A

Operación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución A		0	0	1	0.17
Solución B	1		0.5	2.5	0.42
Solución C	1	0.5		2.5	0.42
<b>Suma</b>				6	1

Fuente: Propia

**Tabla 4.9** Evaluación del peso específico del criterio facilidad de mantenimiento

Solución B &gt; Solución C &gt; Solución A

Mantenimiento	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución A		0	0	1	0.17
Solución B	1		1	3	0.50
Solución C	1	0		2	0.33
<b>Suma</b>				6	1

Fuente: Propia

#### 4.2.3 Tabla de conclusiones.

**Tabla 4.10** Tabla de conclusiones

Conclusión	Fiabilidad	Diseño	Capacidad	Costo	Peso	Materiales	Operación	Mantto.	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.037	0.049	0.028	0.046	0.041	0.032	0.009	0.005	0.247	3
Solución B	0.074	0.097	0.069	0.069	0.041	0.049	0.023	0.014	0.436	1
Solución C	0.111	0.049	0.069	0.023	0.016	0.016	0.023	0.009	0.317	2

Fuente: Propia

Terminado el análisis y cálculos correspondientes se determina que la solución B (semirremolque extensible con soporte central de doble viga), es la más adecuada para el propósito del proyecto.

## **CAPÍTULO 5**

### **DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA**

#### **5.1 GENERALIDADES**

En el presente capítulo se procederá a diseñar y seleccionar todos los componentes estructurales de la plataforma extensible con soporte central de doble viga, para lo cual es necesario previamente conocer de manera detallada cada uno de estos elementos y conjuntamente establecer ciertos parámetros técnicos de diseño que se requieren para efectuar los diferentes cálculos en el diseño de la misma.

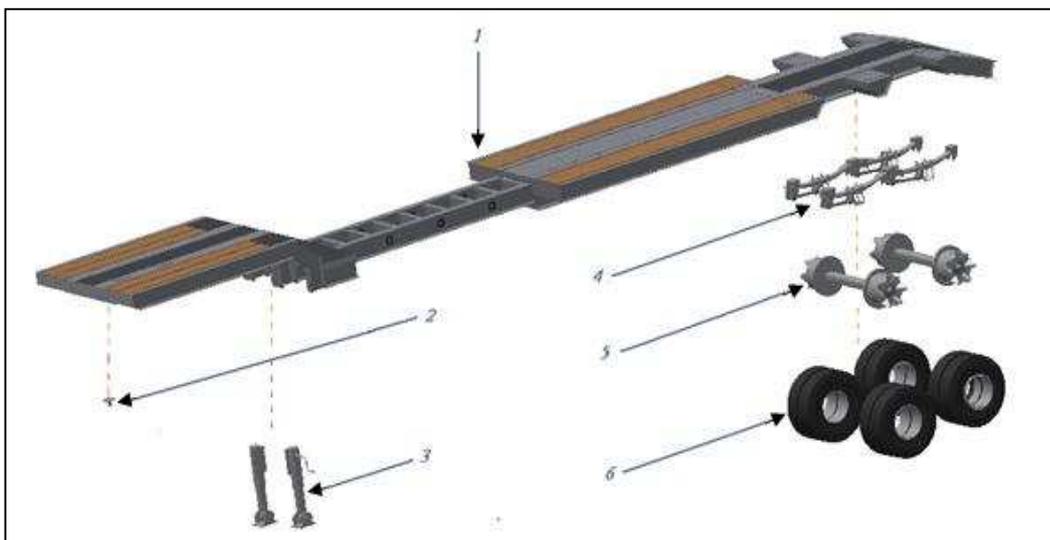
#### **5.2 DISPOSICIÓN DETALLADA DE LA PLATAFORMA**

La plataforma extensible estará conformada por dos conjuntos principales agrupados de tal forma que permitirán un diseño y selección independiente una de otra, obteniéndose así una mejor referencia en el diseño.

De esta forma los conjuntos principales serán:

- Accesorios
- Sistema estructural

En la figura 5.1 y en la tabla 5.1 se muestra una descripción general de los elementos que constituyen los conjuntos principales de la plataforma extensible.



**Figura 5.1** Elementos constitutivos de la plataforma extensible

*Fuente: Propia*

**Tabla 5.1** Elementos de la plataforma extensible

<b>Designación</b>	<b>Conjunto</b>	<b>Nombre</b>
1	Estructural	Sistema estructural
2	Accesorios	King pin
3		Patas de apoyo
4		Sistema de suspensión tándem
5		Ejes
6		Aros y llantas

*Fuente: Propia*

Es necesario mencionar otros accesorios que no constan en la tabla anterior y que conforman el sistema eléctrico de luces y el sistema neumático de frenos, los cuales se extienden a lo largo del sistema estructural y que están constituidos por una diversidad de elementos como: cables, mangueras, acoples, válvulas, faros y otros.

### 5.2.1 DISPOSICIÓN DE LOS ACCESORIOS

Los accesorios que forman parte de la plataforma extensible estarán ubicados en lugares específicos como se muestra en la figura 5.1 y serán seleccionados en base a solicitudes que arroje el análisis del sistema estructural.

La selección de estos accesorios se dispondrá en la parte final del diseño estructural.

### 5.2.2 DISPOSICIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

El sistema estructural estará conformado por dos secciones, la una fija y la otra móvil, diseñadas de tal manera que la sección móvil encaje en el interior de la sección fija, para regular así la longitud total de la plataforma, tal como se muestra a continuación.

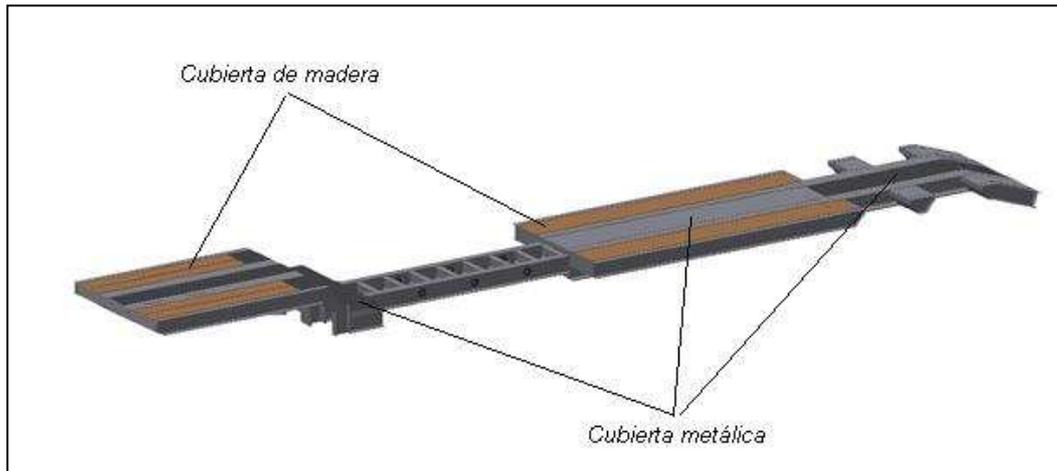


**Figura 5.2** Sección fija y móvil de la plataforma extensible

**Fuente:** Propia

La plataforma extensible constará también de una cubierta que forma el piso y de perfilaría estructural que soportará y conformará toda la armadura de la plataforma.

En la figura 5.3 se puede diferenciar los dos tipos de cubierta que forman el piso, el primer tipo de cubierta es madera y en partes complementarias es metálica con plancha de acero.

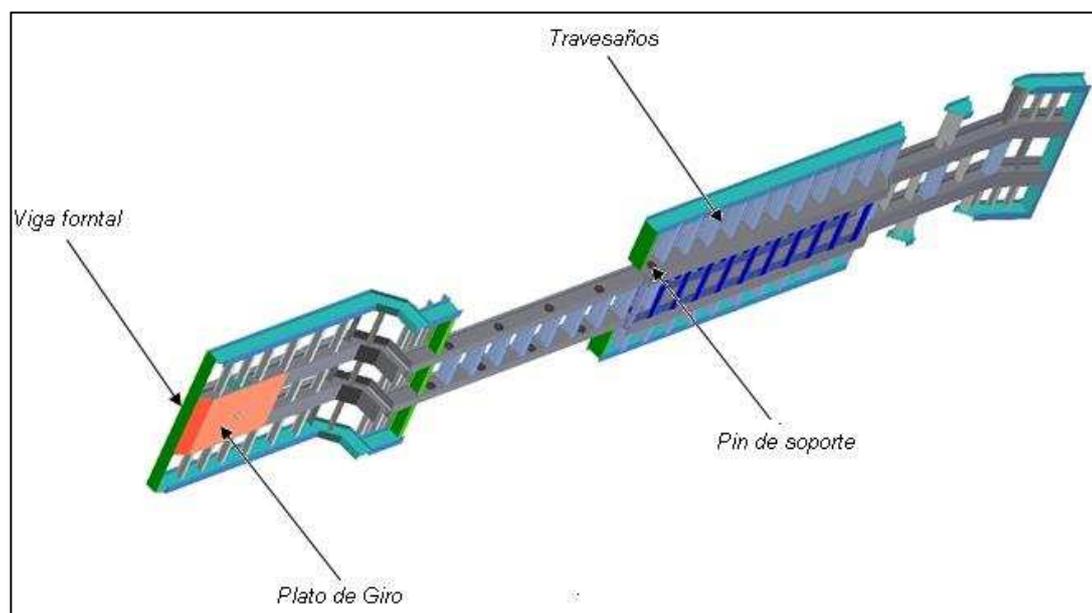
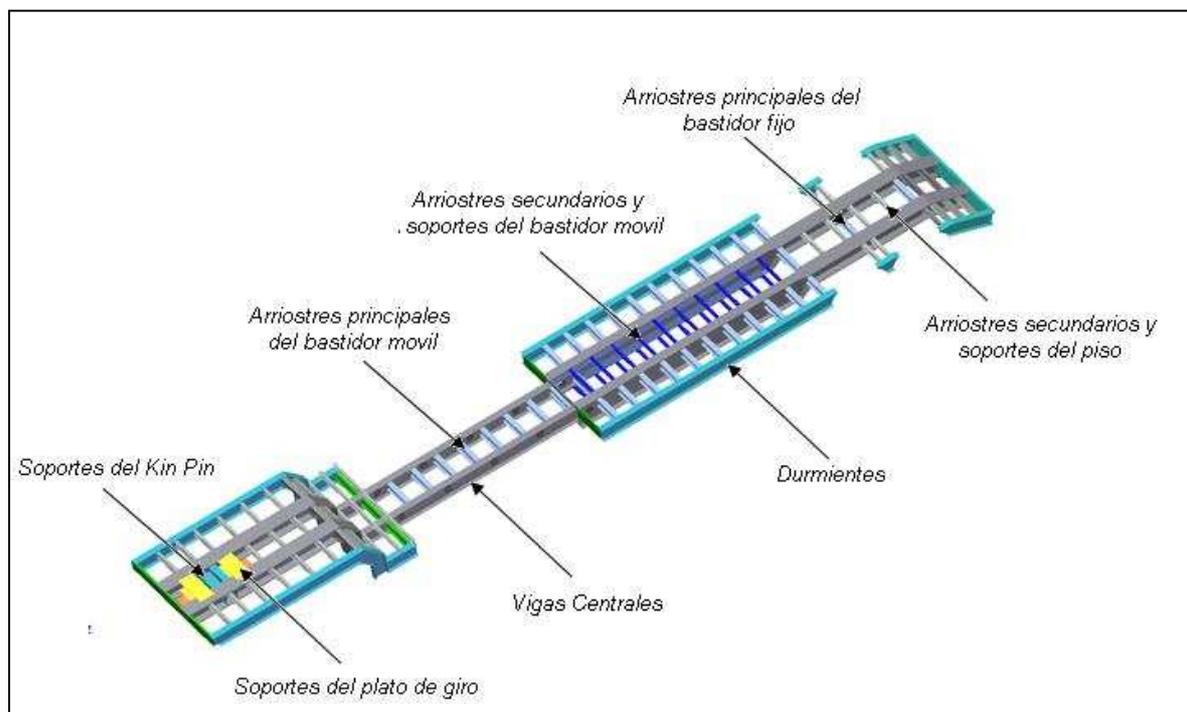


**Figura 5.3** Ubicación de la cubierta metálica y de la cubierta de madera

**Fuente:** Propia

En la figura 5.4 se visualiza los elementos que conformarán la estructura soporte de la plataforma extensible, donde cada elemento cumple funciones determinadas, que en conjunto le dan a la plataforma su funcionalidad. Entre estos elementos principales se tienen los siguientes:

- Soportes del King pin
- Soportes del plato de giro
- Vigas Centrales
- Arriostres principales del bastidor móvil
- Arriostres principales del bastidor fijo
- Arriostres secundarios y soportes del piso
- Arriostres secundarios y soportes del bastidor móvil
- Travesaños
- Durmientes
- Viga frontal
- Plato de giro
- Pin de soporte



**Figura 5.4** Designación de elementos estructurales

**Fuente:** Propia

### **5.3 PARÁMETROS DE DISEÑO**

Son características o requerimientos que influirán directamente en el diseño de la plataforma, por lo que la consideración de estos es netamente esencial para su correcto funcionamiento. Entre los parámetros más influyentes se tienen los siguientes.

- Capacidad de carga.
- Geometría de la carga.
- Longitud adecuada de extensión de la plataforma.
- Dimensiones y geometría de la plataforma.
- Requerimientos estructurales.

#### **5.3.1 CAPACIDAD DE CARGA ( C )**

La capacidad de carga es una necesidad que se da en base a los requerimientos del tipo de carga a transportar.

Considerando que los cargamentos para el cual va a estar dirigido el diseño se caracterizan primordialmente en ser de gran longitud y peso relativamente moderado, se optará por una capacidad de carga de la plataforma de 25 toneladas en longitud abierta, para no superar los límites máximos establecidos de peso.

Así, la capacidad de carga para la cual se diseñará la plataforma es de:

$$C = 25000 \text{ kg}$$

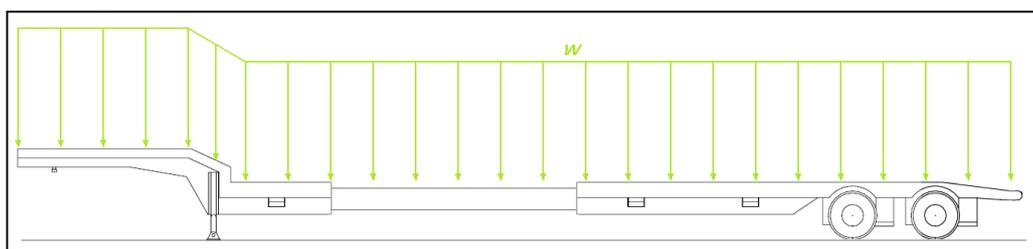
#### **5.3.2 UBICACIÓN DE CARGAS**

El diseño orientado en base a los esfuerzos que tendrá que soportar la plataforma por efecto de las cargas a ser transportadas dependerá de las formas geométricas y

puntos de apoyo de las mismas, razón por la cual es necesario referirse a ciertas hipótesis de cargas en las que se verá afectada la plataforma durante toda su vida útil.

### 5.3.2.1 Hipótesis de carga 1. Carga distribuida a lo largo de toda la plataforma

Este escenario supone una distribución uniforme a lo largo de la plataforma, mientras que está apoyado en el tractor a través de la quinta rueda. Este escenario es el modo más común de carga sobre la plataforma que se puede conjeturar.

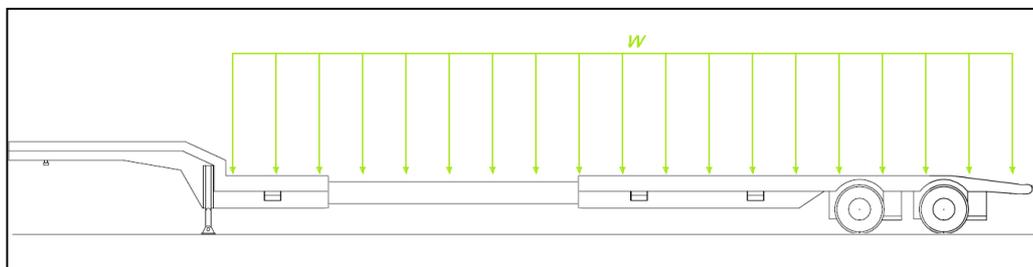


**Figura 5.5** Carga distribuida hipótesis 1

*Fuente: Propia*

### 5.3.2.2 Hipótesis de carga 2. Carga distribuida sobre la parte baja de la plataforma

Este escenario es una variante de la hipótesis anterior debido a que la carga distribuida se aplica en la parte continua al cuello de la plataforma, donde se mantiene la mayor rectitud.

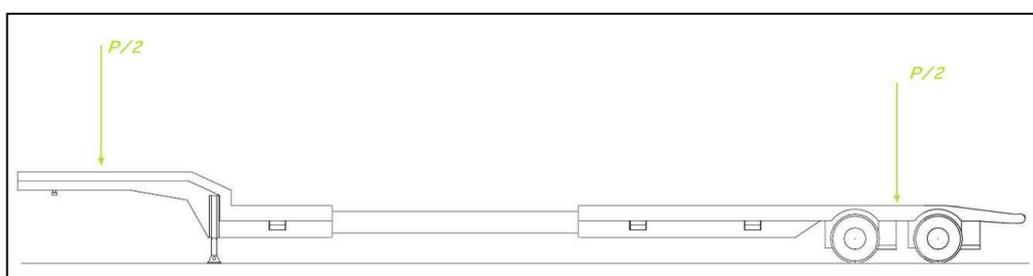


**Figura 5.6** Carga distribuida hipótesis 2

*Fuente: Propia*

### 5.3.2.3 Hipótesis de carga 3. Carga en dos apoyos sobre los extremos de la plataforma

Este escenario coloca dos cargas puntuales en los extremos de la plataforma, mientras esta se apoya sobre el tractor. Situación producida cuando la carga puede apoyarse sobre la plataforma en dos puntos a través de soportes sobre ella, donde el valor máximo de transferencia de peso será la mitad de la capacidad para la cual está diseñada la plataforma.

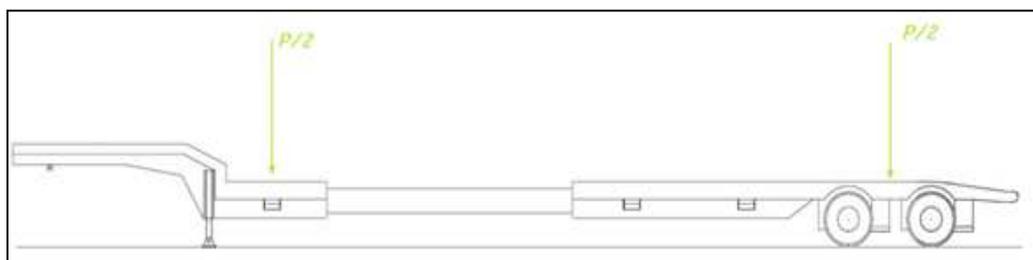


**Figura 5.7** Cargas puntuales hipótesis 3

**Fuente:** Propia

### 5.3.2.4 Hipótesis de carga 4. Carga en dos apoyos sobre la parte baja de la plataforma

En este escenario se pueden distinguir las dos cargas puntuales en los extremos de la parte baja de la plataforma mientras esta se apoya sobre el tractor, y puede presentarse en determinadas cargas que necesiten una ubicación al mismo nivel en toda su estructura.

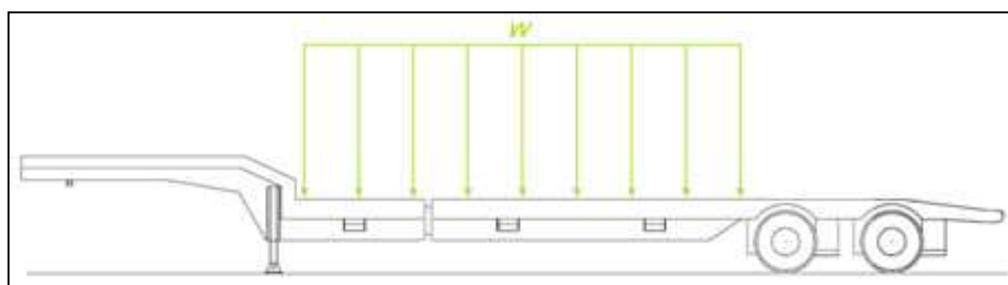


**Figura 5.8** Cargas puntuales hipótesis 4

**Fuente:** Propia

### 5.3.2.5 Hipótesis de carga 5. Carga distribuida generalizada en longitud cerrada

Debido a que la utilización de las plataformas cama baja en el medio es para el transporte de grandes pesos, como equipo caminero, estructuras u otro tipo de equipos industriales, estas se ubicarán en la zona central de la plataforma y muchas veces en los durmientes laterales de la misma, cuando esta se encuentre en longitud cerrada.



**Figura 5.9** Carga distribuida hipótesis 5

**Fuente:** Propia

### 5.3.3 LONGITUD ADECUADA DE EXTENSIÓN DE LA PLATAFORMA

La longitud adecuada de extensión de la plataforma incurrirá en el dimensionamiento y diseño de la misma, con lo cual para establecer la longitud extensible óptima se procede a realizar un análisis entre la longitud total abierta del semirremolque con el tractocamión en una maniobra de giro y las características geométricas de las vías del Ecuador. Esto con el fin de asegurar una libre circulación de la plataforma por la mayoría de las vías del país.

Es necesario aclarar que en el país existen vías en las cuales una plataforma normal no puede transitar con facilidad y que este problema será más relevante al presentar mayor longitud la plataforma.

Si así fuese el caso, será necesaria una logística previa al transporte de la carga en este tipo de carreteras.

### 5.3.3.1 Dimensiones del tractocamión

Para determinar un valor promedio de longitud más común de un tractocamión se realiza una tabla de los vehículos más comunes de este tipo que circulan en país y su longitud total.

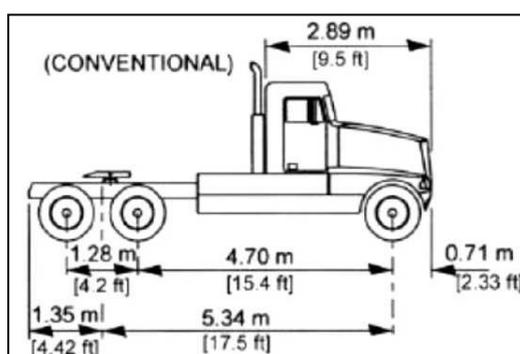
**Tabla 5.2** Dimensiones comunes de tractocamiones

<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Longitud total (m)</b>
Kenworth	T-800	7.98
Hino	Serie 700	7.62
Iveco	Stralis NR 740S41TZ	7.17
Jac	HFC Lander 4251	6.73
	<b>Promedio</b>	<b>7.37</b>

**Fuente:** Propia

El valor promedio determinado será empleado para seleccionar un tipo de tractocamión del manual de la AASTHO que mejor se ajusta a los requerimientos.

El tractocamión seleccionando es el típico para caminos montañosos, con una longitud total de 7.4 m y del cual se tomarán las dimensiones requeridas para cálculos posteriores.



**Figura 5.10** Dimensiones de tractocamión para camino montañoso y rocoso<sup>49</sup>

<sup>49</sup> AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (ASSTHO), A police on geometric design of highways and streets, United States of America, 2001, 19,30 pg.

### **5.3.3.2 Longitud de la plataforma**

Para cálculos posteriores es necesario determinar la distancia entre el punto de articulación o king pin y el centro del tándem. Pero, en el caso de semirremolques de este tipo la longitud es variable, por lo que se partirá de la longitud contraída de 9.6 m y se incrementará en intervalos de un 1 m hasta alcanzar los 5 m de extensión.

### **5.3.3.3 Radio de giro y ancho entre caras externas de neumáticos acople tractocamión-semirremolque**

El radio de giro se define como la distancia mínima que un vehículo requiere para dar vuelta. Dependiendo del tamaño del vehículo, se requerirá mayor o menor radio de giro<sup>50</sup>. Su valor para este caso es de 13.72 m, mientras que el ancho de caras externas de los neumáticos se asume de 2.6 m que es el máximo permitido por MTOP.

### **5.3.3.4 Características geométricas en curva de las vías del Ecuador**

De acuerdo con la información del MTOP determinadas vías en el Ecuador actualmente han sufrido paulatinamente procesos de reconstrucción o readecuación con la finalidad de aumentar la accesibilidad a zonas de interés económico para el país.

Sin embargo aun existen vías que por razones topográficas o por su diseño, dichos procesos de desarrollo se han visto limitados y que requieren de un análisis previo, ya que en estas pueden presentarse problemas para la libre circulación de la plataforma.

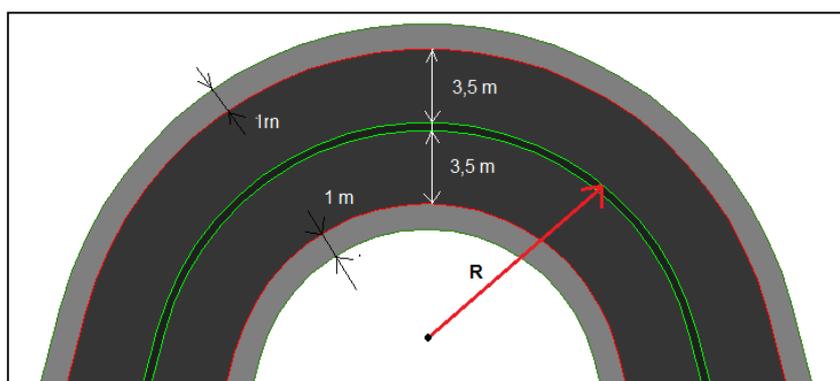
Las vías en las que pueden presentarse estos inconvenientes con mayor frecuencia están ubicadas en la troncal Amazónica. Siendo estas de clase III y IV de tipo

---

<sup>50</sup> COLEGIO DE ARQUITECTOS DEL ECUADOR (CAE). Normas de arquitectura y urbanismo N°3457 y 3477 < <http://www.cae.org.es/ordenanzas/Q7.pdf> > [ consulta 4 de Enero del 2012]. 38 pg.

montañoso (anexo A) y de las cuales la clase IV que es la condición más crítica y presenta los siguientes especificaciones:

- radio de curvatura al centro de la vía 20 m
- ancho de carril de 3.5 m
- espaldones a cada lado de la vía 1 m



**Figura 5.11** Especificaciones de una vía curva de un carril por sentido

**Fuente:** Propia

Sumando estas dimensiones se determina que el ancho mínimo de una vía clase IV es de 9 m y esto es independientemente del radio de curvatura.

En un apartado de la referencia de valores de diseño recomendados para carreteras de la MTOP se establece que en casos donde se requiera aprovechar la infraestructura existente y de relieve difícil se debe considerar un radio de curvatura de 15 m.

### 5.3.3.5 Cálculo del ancho de curva

Con los parámetros establecidos y mediante la ecuación 2.1 se determina el ancho de curva para cada radio mínimo de curvatura con cada incremento en la longitud de la plataforma, para posteriormente compararla con el ancho de una vía tipo IV y poder determinar si puede circular o no, todo esto mediante una hoja de cálculo mostrándose los resultados más importantes en la siguiente tabla.

**Tabla 5.3** Anchos de curva y de carril para diferentes radios de curva

Incremento (m)	R1=13.72 (m)	R4=15 (m)	R14=20 (m)	Ancho de vía (m)
	U1	U2	U3	
1	9.2	8.5	6.7	9
2	12	10.2	7.4	9
3	~~	12	8.3	9
4	~~	14.4	9.2	9
5	~~	~~	10.29	9

Fuente: Propia

### Conclusiones

- La plataforma no puede extenderse más de 4 m para un radio de giro de 20 m, ya que su ancho de curva es superior al ancho de vía.
- En la extensión de 5 m el ancho de curva es relativamente mayor con respecto al ancho de vía.
- Mientras mayor sea el radio de giro se requerirá menos ancho de curva y por lo tanto será más fácil transitarla.

Es importante aclarar que en estos cálculos no se tomó en cuenta el sobre ancho de curva que actualmente se considera en la construcción de las nuevas carreteras y que su objetivo es facilitar la maniobra de curva de los vehículos.

Con estas consideraciones se procede a definir una extensión máxima para la plataforma de 4 m, siendo este el que mejor se ajusta al propósito del proyecto por no presentar mayores inconvenientes para los radios de curvatura críticos.

### 5.3.4 DIMENSIONES DE LA PLATAFORMA

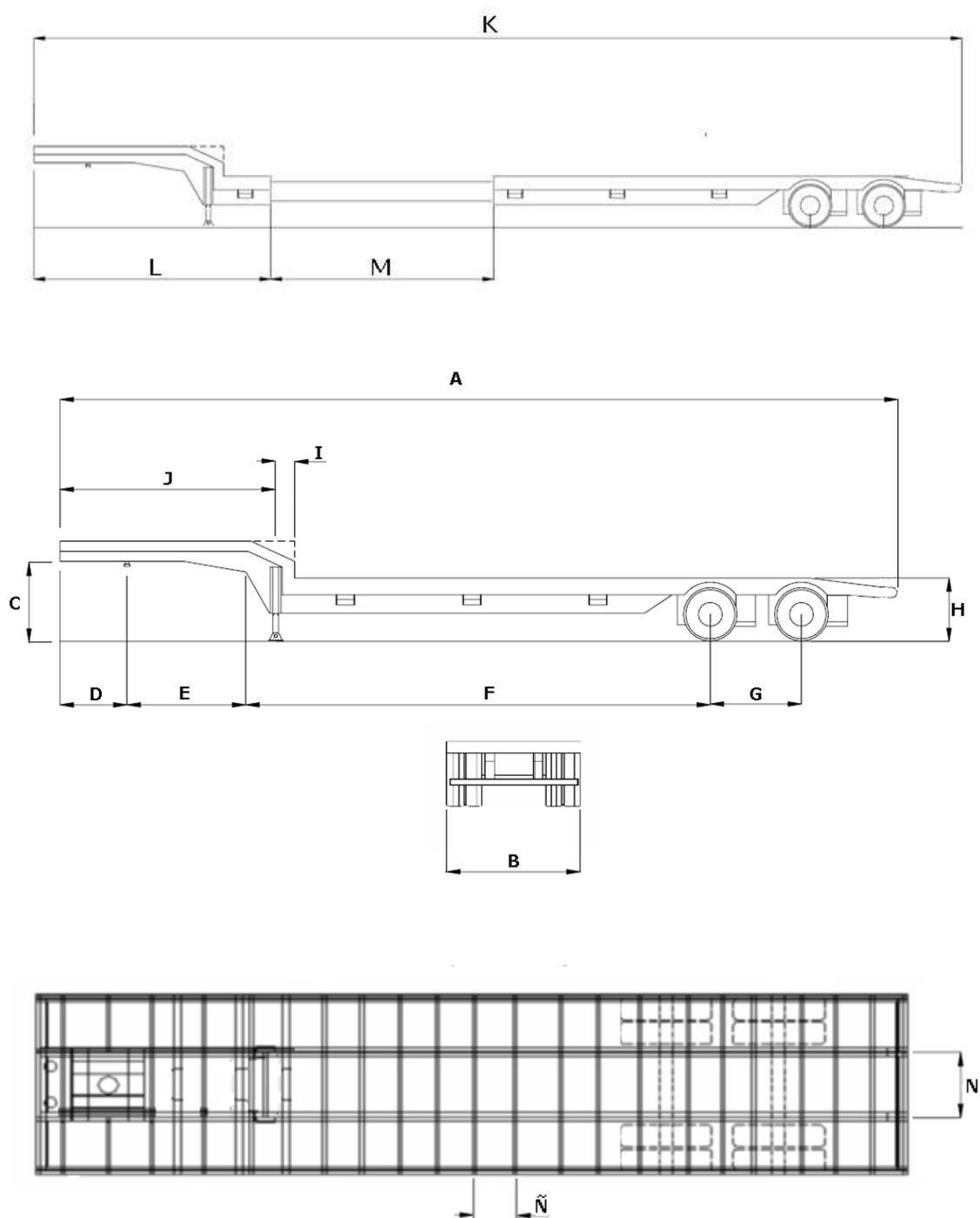
Las dimensiones más importantes que se tomarán como referencia para el diseño del semirremolque, tanto en longitud abierta como en longitud cerrada se muestran en la tabla 5.3.

Estas medidas están acorde con el reglamento de pesos y medidas descritas en el capítulo 2, siendo necesario aclarar que ciertas dimensiones fueron escogidas en base a estructuras similares fabricadas en el país, para tener una analogía con las mismas.

**Tabla 5.4** Principales dimensiones de la plataforma

<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>VALOR (m)</b>
<i>A</i>	<i>Longitud Cerrada de la plataforma</i>	<i>12.8</i>
<i>B</i>	<i>Ancho de la plataforma</i>	<i>2.6</i>
<i>C</i>	<i>Altura plato de giro</i>	<i>1.25</i>
<i>D</i>	<i>Distancia frontal al King Pin</i>	<i>0.91</i>
<i>E</i>	<i>Distancia mínima anterior al King Pin</i>	<i>2.3</i>
<i>F</i>	<i>Distancia al primer eje</i>	<i>6.8</i>
<i>G</i>	<i>Distancia entre ejes</i>	<i>1.25</i>
<i>H</i>	<i>Altura de la plataforma en la parte posterior</i>	<i>0.95</i>
<i>I</i>	<i>Distancia entre patines y cambio de altura de la plataforma</i>	<i>0.3</i>
<i>J</i>	<i>Distancia de colocación de patines</i>	<i>3.7</i>
<i>K</i>	<i>Longitud abierta de la plataforma</i>	<i>16.8</i>
<i>L</i>	<i>Longitud desde el frente al sistema extensible</i>	<i>5.2</i>
<i>M</i>	<i>Carrera del sistema extensible</i>	<i>4</i>
<i>N</i>	<i>Separación de vigas principales</i>	<i>0.95</i>
<i>Ñ</i>	<i>Separación de travesaños</i>	<i>0.55</i>

**Fuente:** propia



**Figura 5.12** Principales dimensiones de la plataforma

**Fuente:** Propia

### 5.3.5 REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES

El material que se empleará para la fabricación es un acero al carbono estructural ASTM A-36, el cual presenta propiedades óptimas para las condiciones de servicio a las que está sometida la plataforma. Además de ser un material de fácil adquisición, con disposición en varias láminas y perfiles a costos relativamente bajos en el mercado. Las propiedades mecánicas más importantes se presentan a continuación:

**Tabla 5.5** *Propiedades mecánicas del acero A-36*<sup>51</sup>

<b>ACERO ESTRUCTURAL A-36</b>			
<b>Propiedades mecánicas</b>		<b>Valor</b>	
		<i>MPa</i>	<i>kgf/cm<sup>2</sup></i>
<i>Resistencia última</i>	<i>Tensión</i>	400	4080
<i>Fluencia</i>	<i>Tensión</i>	250	2550
	<i>Cortante</i>	145	1479
<i>Porcentaje de elongación en 2"</i>		21 %	

## 5.4 DETERMINACIÓN DE CARGAS ACTUANTES EN LA ESTRUCTURA

### 5.4.1 CARGA MUERTA (Cm)

Para el cálculo de la carga muerta se hará una estimación razonable en base a estructuras similares, catálogos de elementos estructurales y accesorios que conforman en conjunto la estructura. Así, en las siguientes tablas se indica el aporte en peso de cada elemento estructural, accesorios y el peso total neto de la plataforma.

<sup>51</sup> MOTT, Robert. Diseño de Elementos de Máquinas, 4ta. Ed., México, 2006, Pearson, A-13 pg.

**Tabla 5.6** Aporte en peso de elementos estructurales

<b>UBICACIÓN</b>	<b>PERFIL ESTRUCTURAL</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>PESO PARCIAL (kg/m)</b>	<b>PESO TOTAL (kg)</b>
<i>Chasis</i>	<i>IPE 500</i>	<i>9.9</i>	<i>90.7</i>	<i>897.93</i>
	<i>IPE 300</i>	<i>10.7</i>	<i>42.2</i>	<i>451.54</i>
	<i>HEB 300</i>	<i>17.46</i>	<i>117</i>	<i>2042.82</i>
<i>Travesaños</i>	<i>IPE 120</i>	<i>27.12</i>	<i>10.4</i>	<i>282.05</i>
	<i>IPE 200</i>	<i>26.37</i>	<i>22.4</i>	<i>590.6</i>
	<i>UPN 180</i>	<i>23.15</i>	<i>22</i>	<i>509.34</i>
<i>Contornos</i>	<i>IPE 270</i>	<i>24.02</i>	<i>36.1</i>	<i>867.05</i>
<i>Piso y Soporte Kin Pin</i>	<i>Tol 6 mm</i>		<i>49.29</i>	<i>340.85</i>
	<i>Tol 12 mm</i>		<i>94.19</i>	<i>498.32</i>
			<b>Total Estructura</b>	<b>6480.5</b>

Fuente: Propia

**Tabla 5.7** Aporte en peso de accesorios

<b>ACCESORIO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PESO PARCIAL (kg)</b>	<b>PESO TOTAL (kg)</b>
<i>Sistema de suspensión Tándem</i>	<i>1</i>	<i>430</i>	<i>430</i>
<i>Ejes para suspensión</i>	<i>2</i>	<i>355</i>	<i>710</i>
<i>Aros y llantas</i>	<i>8</i>	<i>63</i>	<i>504</i>
<i>Patas de Apoyo</i>	<i>2</i>	<i>49</i>	<i>98</i>
<i>King Pin</i>	<i>1</i>	<i>5.5</i>	<i>5,5</i>
<i>Tanque de aire</i>	<i>1</i>	<i>16</i>	<i>16</i>
<i>Acoples y mangueras de aire</i>		<i>10</i>	<i>10</i>
<i>Accesorios eléctricos</i>		<i>6</i>	<i>6</i>
<i>Malacates</i>	<i>6</i>	<i>3.8</i>	<i>2.8</i>
		<b>TOTAL</b>	<b>1802.3</b>

Fuente: Propia

**Tabla 5.8** *Peso total de la plataforma*

<i>Total Accesorios</i>	<i>1802.3 kg</i>
<i>Total Estructura</i>	<i>6480.5 kg</i>
<b><i>Peso total</i></b>	<b><i>8282.8 kg</i></b>

**Fuente:** *Propia*

Se tiene entonces un peso propio de la plataforma de 8282.8 kg aproximadamente, lo cual vendría a ser la carga muerta.

$$C_m = 8282.8 \text{ kgf}$$

#### 5.4.2 CARGA DE SEGURIDAD ( Cs )

Con un área total de la plataforma de:

*Longitud Cerrada*

$$(12.8m)(2.6m) = 33.28 \text{ m}^2$$

*Longitud Extensible*

$$(4m)(0.95m) = 3.8 \text{ m}^2$$

*Área total = Longitud Cerrada + Longitud Extensible*

$$33.28 \text{ m}^2 + 3.8 \text{ m}^2 = 37.08 \text{ m}^2$$

Asignando una carga de 20 (kg/m<sup>2</sup>) para el área total de la plataforma se tiene que la carga de seguridad estará determinada por:

$$C_s = (\text{área total}) \left( 20 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right)$$

$$C_s = (37.08 \text{ m}^2) \left( 20 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right)$$

$$C_s = 741.6 \text{ kgf}$$

### 5.4.3 CARGA VIVA ( $C_v$ )

La carga viva es la suma de la carga transportar,  $C$ , en cualquiera de las diferentes hipótesis más la carga de seguridad,  $C_s$ , teniéndose entonces:

$$\text{Con } C = 25000 \text{ kgf } \text{ y } C_s = 741.6 \text{ kgf}$$

$$C_v = C + C_s$$

$$C_v = 25000 \text{ kgf} + 741.6 \text{ kgf}$$

$$C_v = 25741.6 \text{ kgf}$$

### 5.4.4 CARGA DE IMPACTO ( $C_i$ )

Incrementado un 30% al valor de la carga viva se tiene:

$$C_i = 0.3C_v$$

$$C_i = (0.3)(25741.6 \text{ kgf})$$

$$C_i = 7722.5 \text{ kgf}$$

### 5.4.5 CARGA DE DISEÑO ( $C_d$ )

La carga de diseño será empleada en los cálculos estructurales y considera las cargas dinámicas presentes en la plataforma.

$$C_d = C_v + C_i$$

$$C_d = 25741.6 \text{ kgf} + 7722.5 \text{ kgf}$$

$$C_d = 33464.1 \text{ kgf}$$

#### 5.4.6 CARGA DE VIENTO ( Fw )

El cálculo de la carga de viento se realiza mediante la ecuación 3.1:

$$Fw = q_z G C_f A_s$$

Con:

$$G = 0.85 \text{ (al considerarse pared lateral rígida)}$$

$$C_f = 1.5 \text{ (para una dirección de viento perpendicular)}$$

$$A_s = 54.27 \text{ m}^2 \text{ (tomado como una superficie rectangular)}$$

El valor de  $q_z$  se determina con la ecuación 3.2:

$$q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_d V^2$$

Con:

$$K_z = 0.85 \text{ (alturas menores a 4.6 m)}$$

$$K_{zt} = 1 \text{ (condiciones topográficas desconocidas)}$$

$$K_d = 0.85 \text{ (forma rectangular de la estructura)}$$

$$V = 21 \text{ m/s (para alturas menores a 10 m)}^{52}$$

$$q_z = (0.613)(0.85)(1)(0.85)(21\text{m/s})^2$$

$$q_z = 195.32 \text{ N/m}^2$$

$$Fw = (195.32 \text{ N/m}^2)(0.85)(1.5)(54.27 \text{ m}^2)$$

$$Fw = 13514.02 \text{ N} = 1378.5 \text{ kgf}$$

---

<sup>52</sup> COMITÉ EJECUTIVO DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-1 , Capítulo 1, Ecuador, 2011, 12 pg.

#### 5.4.7 FUERZA DE TIRO O ARRASTRE ( $F_t$ )

Para el cálculo se considera a la masa total como la suma de la carga de diseño más la carga muerta, donde esta última es determinada mediante el programa Autodesk Inventor con un valor de 9167.92 kg (anexo D).

$$m = C_d + C_m$$

$$m = 33464.1 \text{ kg} + 9167.9 \text{ kg}$$

$$m = 42632 \text{ kg}$$

Para determinar la aceleración máxima que ejerce el tractocamión al encontrarse remolcando al semirremolque en su máxima capacidad de carga, se asume una velocidad de 20 km/h (5.6 m/s) de velocidad máxima, alcanzada en un tiempo de 3 s. Reemplazando estos valores en la ecuación 3.4 se tiene:

$$a = \frac{5.6 \text{ m/s}}{3 \text{ s}} = 1.87 \text{ m/s}^2$$

Reemplazando finalmente en la ecuación 3.3 se tiene:

$$F_t = (42632 \text{ kg}) \left( 1.87 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$$

$$F_t = 79721.84 \text{ N} = 8129.4 \text{ kgf}$$

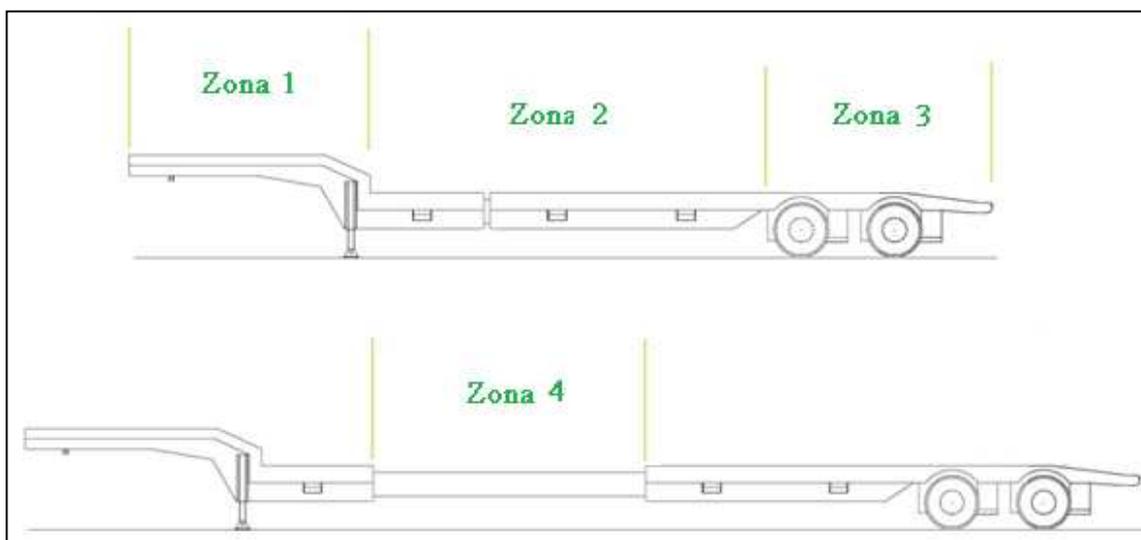
## 5.5 ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

El análisis y diseño estructural se lo realizará mediante los programas SAP2000 y Autodesk Inventor, en donde se considerarán las diferentes cargas que soportarán los elementos constituyentes de la estructura. Analizadas mediante las diferentes combinaciones de carga para cada hipótesis.

Los resultados que proporcionen estos programas permitirán ubicar zonas críticas y optimizar el diseño de cada elemento.

Para facilitar el diseño es necesario dividir la estructura en cuatro zonas específicas, logrando así una mejor orientación en el análisis de resultados.

Las zonas escogidas para el análisis se muestran en la siguiente figura:



**Figura 5.13** Zonas características de la plataforma

**Fuente:** Propia

## 5.5.1 ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIGAS CENTRALES

Las vigas centrales al ser el soporte principal de toda la estructura es primordial garantizar el correcto desempeño durante su vida útil.

### 5.5.1.1 Asignación de cargas

La carga distribuida que afecta a los diferentes elementos viene dado por la siguiente ecuación:

$$w = \frac{\text{Carga actuante}}{\text{Longitud de elementos afectados}} \quad \text{Ecuación 3.38}$$

- Carga muerta

Esta carga afecta en todo momento a la estructura y está en función de los perfiles escogidos cuyo valor es calculado y considerado automáticamente por el programa SAP2000.

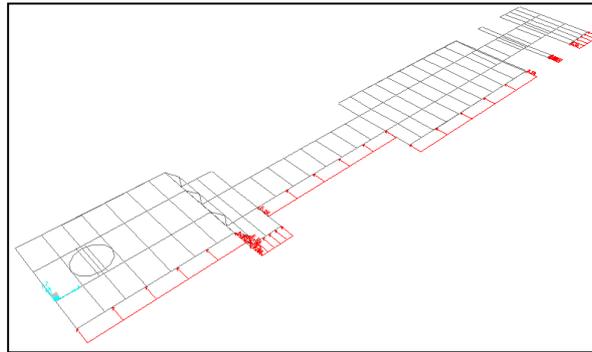
- Carga de viento

Esta carga estará presente en todas las hipótesis de carga, ya que así se recrearán las condiciones especiales de funcionamiento. Estará determinada por:

$$w_v = \frac{F_w}{\text{Longitud de elementos afectados}}$$

$$w_v = \frac{1378.5 \text{ kgf}}{1712.4 \text{ cm}}$$

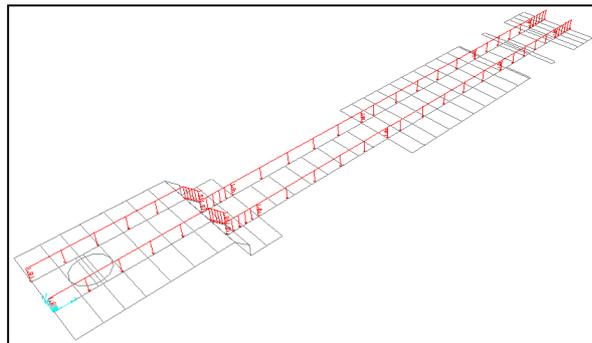
$$w_v = 0.8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}$$



**Figura 5.14** Asignación carga de viento

- Carga de diseño hipótesis 1

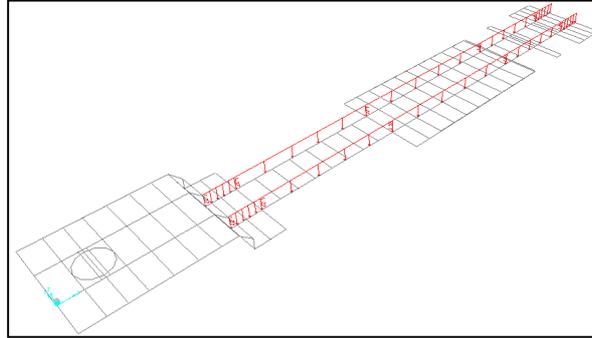
$$w_1 = 10 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}$$



**Figura 5.15** Asignación carga de diseño hipótesis 1

- Carga de diseño hipótesis 2

$$w_2 = 12.7 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}$$

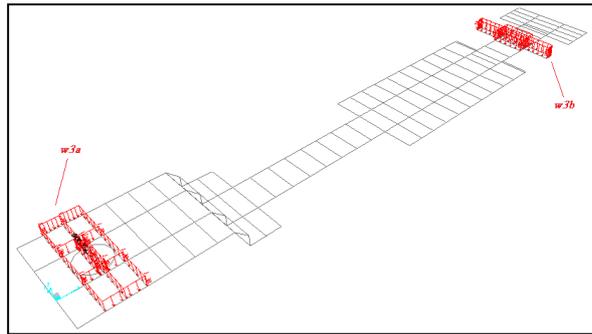


**Figura 5.16** Asignación carga de diseño hipótesis 2

- Carga de diseño hipótesis 3

$$w_{3a} = 12.9 \frac{kgf}{cm}$$

$$w_{3b} = 17.5 \frac{kgf}{cm}$$

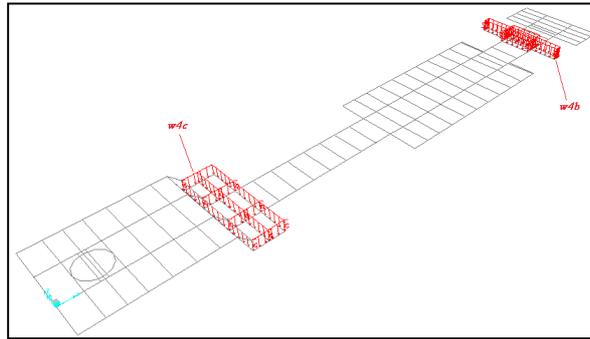


**Figura 5.17** Asignación carga de diseño hipótesis 3

- Carga de diseño hipótesis 4

$$w_{4c} = 15.2 \frac{kgf}{cm}$$

$$w_{4b} = 17.5 \frac{kgf}{cm}$$



**Figura 5.18** Asignación carga de diseño hipótesis 4

- Carga de diseño hipótesis 5

En la estructura el valor del momento máximo en longitud cerrada será menor que en longitud abierta, ya que de acuerdo a las ecuaciones el momento máximo es proporcional a la distancia entre puntos de apoyo (luz). Esto implica que la capacidad de carga de la plataforma aumenta al estar contraída.

Por esta razón la carga de diseño es diferente a la empleada en las hipótesis anteriores y su valor máximo para no exceder el límite reglamentario es de 30 T (30000 kg). Así el nuevo valor de la carga de diseño es:

Capacidad de carga:

$$C' = 30000 \text{ kgf}$$

Carga de seguridad:

$$Cs' = (\text{área en longitud cerrada}) \left( 20 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right)$$

$$Cs' = (33.28 \text{ m}^2) \left( 20 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right) = 665.6 \text{ kgf}$$

Carga viva:

$$Cv' = C' + Cs'$$

$$Cv' = 30000 \text{ kgf} + 665.6 \text{ kgf}$$

$$Cv' = 30665.6 \text{ kgf}$$

Carga de impacto:

$$Ci' = 0.3 Cv'$$

$$Ci' = (0.3)(30665.6 \text{ kgf})$$

$$Ci' = 9199.7 \text{ kgf}$$

Carga de diseño:

$$Cd' = Cv' + Ci'$$

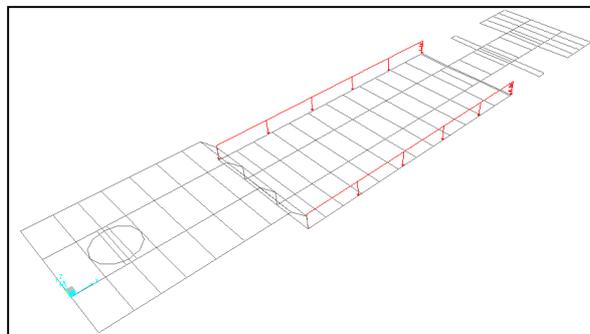
$$Cd' = 30665.6 \text{ kgf} + 9199.7 \text{ kgf}$$

$$Cd' = 39865.3 \text{ kgf}$$

Carga de diseño distribuida:

$$w_5 = \frac{39865.3 \text{ kgf}}{1160 \text{ cm}}$$

$$w_5 = 34.4 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}$$



**Figura 5.19** Asignación carga de diseño hipótesis 5

### 5.5.1.2 Asignación de perfiles

La aceptabilidad de los perfiles que conforman las vigas centrales será determinada en base a su situación predominante de trabajo, siendo esta a flexión.

Los perfiles considerados son:

- Zona 1 y zona 3: HEB 300
- Zona 2: IPE 500
- Zona 4: IPE 300

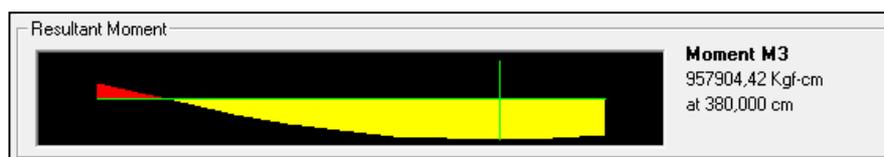
Las especificaciones de los respectivos perfiles se muestran en el anexo E.

### 5.5.1.3 Diseño a flexión

La deflexión máxima que se presentará en la estructura estará ubicada en la zona 4 de acuerdo con el anexo D, razón por la cual es considerada para el análisis a flexión.

- Resistencia requerida

El momento máximo que afecta a las vigas en esta zona de acuerdo con los resultados arrojados por el programa SAP2000 se origina con la hipótesis de carga 2 y combinación de cargas 2.



**Figura 5.20** Momento máximo en zona 4

$$M_u = 957904.4 \text{ kgf} - \text{cm}$$

- Clasificación de la sección transversal del perfil IPE 300

Con las especificaciones del anexo E se calcula la razón ancho espesor del ala y la razón ancho espesor del alma mediante las ecuaciones 3.6 y 3.7 respectivamente, teniéndose:

$$\lambda_f = \frac{75 \text{ mm}}{10.7 \text{ mm}}$$

$$\lambda_f = 7.01$$

$$\lambda_w = \frac{278.6 \text{ mm}}{7.1 \text{ mm}}$$

$$\lambda_w = 39.23$$

Los límites superiores para categorías de secciones son determinados de la siguiente forma:

Para el ala como un elemento no atiesado mediante la ecuación 3.8 se tiene:

$$\lambda_{pf} = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{pf} = 10.74$$

Para el alma como un elemento atiesado mediante la ecuación 3.10 se tiene:

$$\lambda_{pw} = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{pw} = 106.35$$

Comparando con los respectivos límites:

$$\lambda_f \leq \lambda_{pf}$$

$$\lambda_w \leq \lambda_{pw}$$

En ambos casos no se supera el límite superior para secciones compactas con lo que se concluye que el perfil es un elemento compacto.

- Resistencia de diseño

Para estado límite de fluencia de una sección compacta su momento de diseño está definido por la ecuación 3.15

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

$$M_n = \left( 2550 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) (628 \text{ cm}^3)$$

$$M_n = 1601400 \text{ kgf} - \text{cm}$$

Multiplicando por  $\phi_b = 0.9$  se tiene:

$$\phi_b M_n = (0.9)(1601400 \text{ kgf} - \text{cm})$$

$$\phi_b M_n = 1441260 \text{ kgf} - \text{cm}$$

Como:

$$M_u < \phi_b M_n \quad \text{OK}$$

Para estado límite de pandeo lateral torsional la longitud límite al volcamiento está dada por la ecuación 3.18.

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_p = (1.76)(3.35 \text{ cm}) \left( \sqrt{\frac{200000 \text{ Mpa}}{250 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$L_p = 166.8 \text{ cm}$$

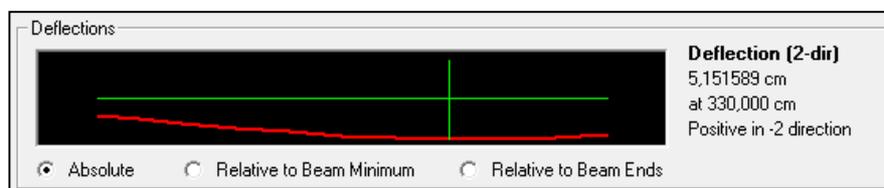
De acuerdo con el diseño de la plataforma la longitud entre puntos no arriostrados,  $L_b$ , es de 50 cm entonces:

$$L_b < L_p \quad \text{OK}$$

De esto se llega a la conclusión que el perfil no falla por fluencia y que no se aplica el estado límite de pandeo lateral torsional, cumpliendo así los requerimientos de operación.

- Deflexiones

Es necesario comprobar que la deflexión máxima que presentan las vigas principales no incida en el correcto funcionamiento de la plataforma. El valor de acuerdo con los resultados del SAP2000 es de 5.15 cm.



**Figura 5.21** Deflexión máxima

Su condición límite de acuerdo con la ecuación 3.20 es:

$$\Delta \leq \frac{L}{300}$$

$$5.15 \text{ cm} \leq \frac{1355 \text{ cm}}{240}$$

$$5.15 \text{ cm} \leq 5.65 \text{ cm}$$

**OK**

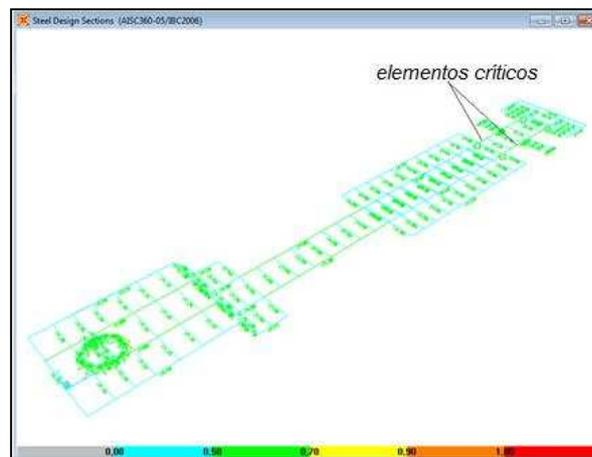
La deflexión máxima presentada está entre los valores aceptables de diseño.

#### 5.5.1.4 Resultados del diseño

Los elementos críticos para cada hipótesis de diseño se muestran a continuación con su respectiva relación demanda-capacidad obtenidos de SAP2000.

- Hipótesis 1

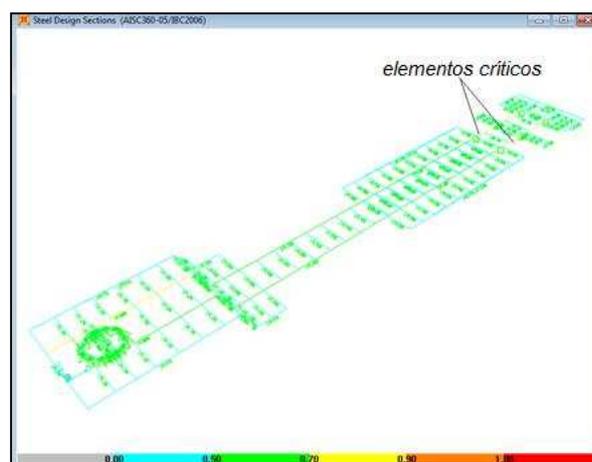
La relación demanda-capacidad en los elementos críticos es de 0.62



**Figura 5.22** Resultados de análisis para la hipótesis 1

- Hipótesis 2

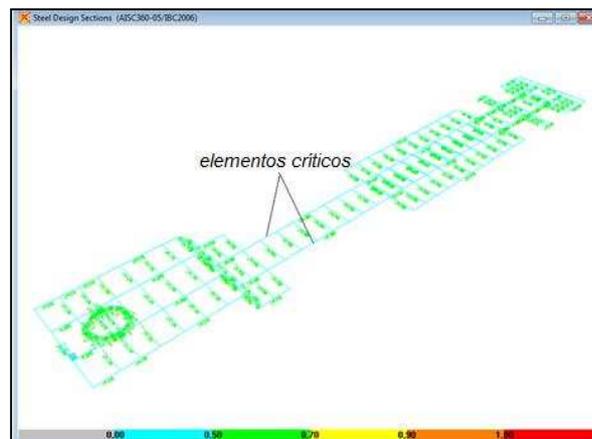
La relación demanda-capacidad en los elementos críticos es de 0.72



**Figura 5.23** Resultados de análisis para la hipótesis 2

- Hipótesis 3

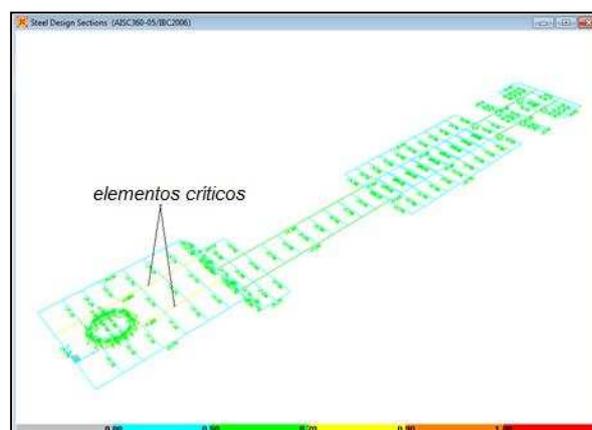
La relación demanda-capacidad en los elementos críticos es de 0.22



**Figura 5.24** Resultados de análisis para la hipótesis 3

- Hipótesis 4

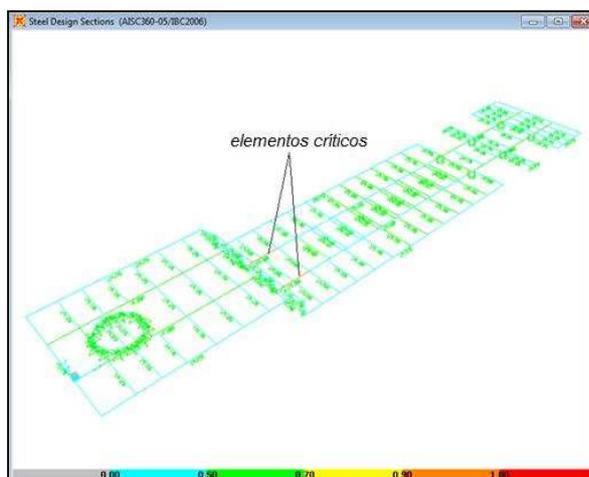
La relación demanda-capacidad en los elementos críticos es de 0.77



**Figura 5.25** Resultados de análisis para la hipótesis 4

- Hipótesis 5

La relación demanda-capacidad en los elementos críticos es de 0.94



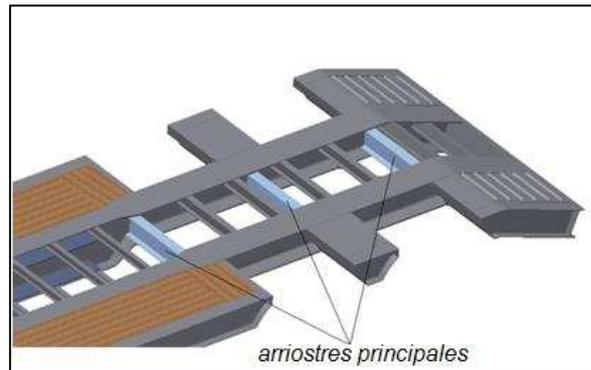
**Figura 5.26** Resultados de análisis para la hipótesis 5

La relación demanda-capacidad para los elementos más críticos se presenta en la hipótesis 5, pero este no supera el valor límite de 1, con lo cual se concluye que estos elementos no fallan.

### 5.5.2 ANÁLISIS Y DISEÑO DE ARRIOSTRES

- Arriostres principales

La función principal de los arriostres es la de contrarrestar los momentos de torsión que se generan a lo largo de las vigas principales, ocasionadas por cargas asimétricas contribuyendo así a la estabilidad de la plataforma.



**Figura 5.27** Ubicación de arriostres principales

El momento que se generará en los arriostres principales estará determinado por la siguiente ecuación:

$$M_a = d \frac{C_d}{2}$$

Donde:

$M_a$  = momento de arriostre

$d$  = distancia entre vigas arriostradas

El momento de arriostre es:

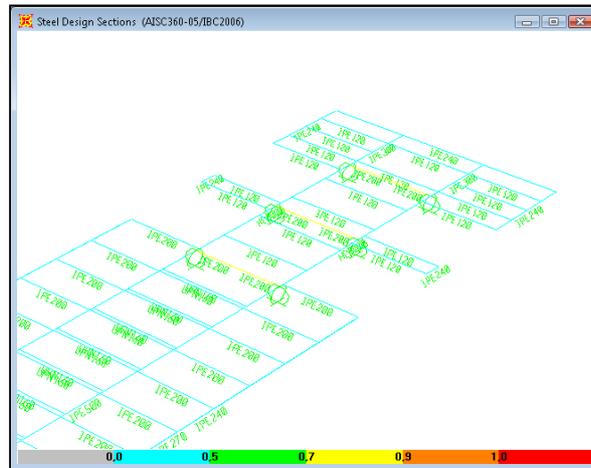
$$M_a = (95 \text{ cm}) \left( \frac{33464.1 \text{ kgf}}{2} \right)$$

$$M_a = 1589544.8 \text{ kgf} - \text{cm}$$

En el bastidor fijo se ubican 3 arriostres, uno en cada punto de apoyo con la suspensión, obteniéndose:

$$M'_a = \frac{1589544.8}{3} = 529848.3 \text{ kgf} - \text{cm}$$

Los resultados del diseño mediante SAP2000 para un perfil IPE 200 de especificaciones según el anexo D, se muestran a continuación:

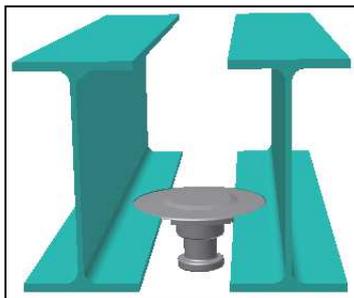


**Figura 5.28** Resultados de diseño de arriostres principales

La relación de demanda-capacidad de estos elementos es de 0.78, con lo que se concluye que no fallan.

- Soportes del king pin

Las vigas soporte son las encargadas de transferir la fuerza de arrastre o tiro ejercidas sobre el king pin hacia las estructura.

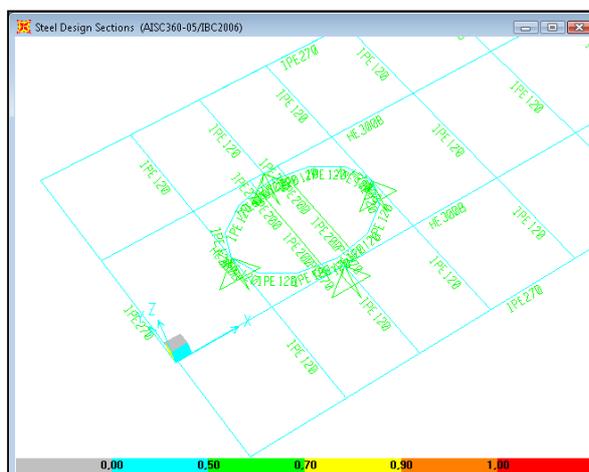


**Figura 5.29** Soportes del king pin

La carga aplicarse para el diseño es:

$$\frac{F_t}{\# \text{ soportes}} = \frac{8129.4}{2} = 4064.7 \text{ kgf}$$

Los resultados del diseño mediante SAP2000 para un perfil IPE 270 de especificaciones según el anexo D, se muestran a continuación:



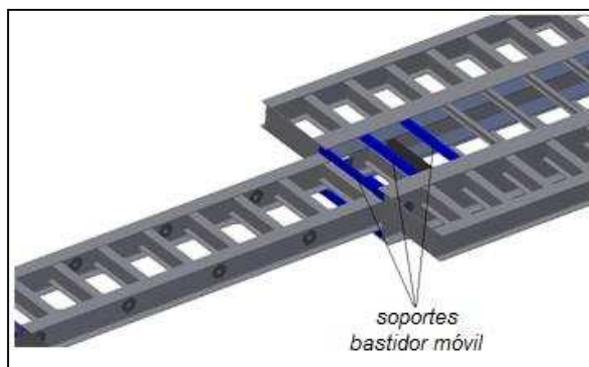
**Figura 5.30** Resultados de diseño soportes del king pin

La relación de demanda-capacidad de estos elementos es de 0.36, con lo que se concluye que no fallan.

- Soportes del bastidor móvil

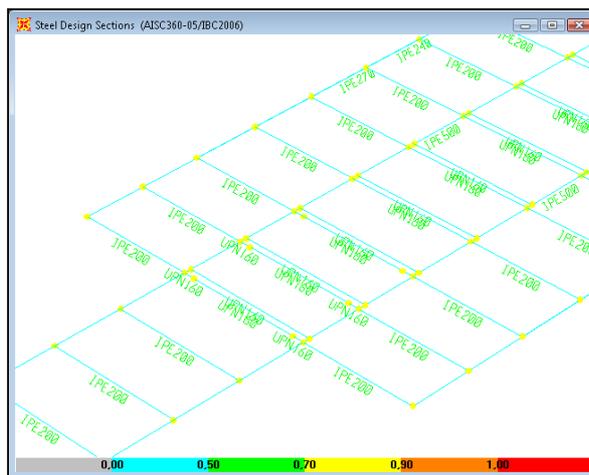
Estos elementos además de actuar como arriostres, tendrán la funcionalidad de conformar los apoyos para las placas de encajonamiento.

Para su análisis se considera la situación crítica en la cual tres de estos soportan al bastidor móvil.



**Figura 5.31** Soportes del bastidor móvil

Los resultados del diseño mediante SAP2000 para un perfil UPN 180 de especificaciones según el anexo D, se muestran a continuación:



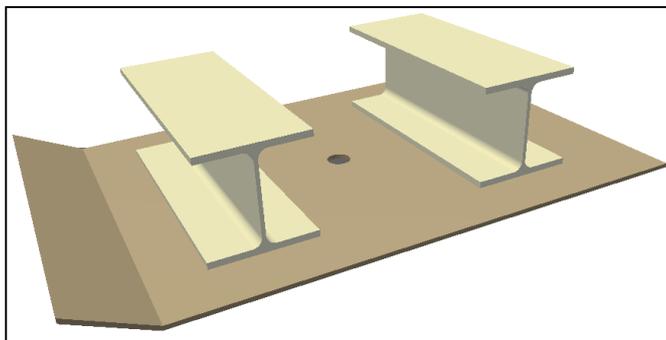
**Figura 5.32** Resultados de diseño de arriostres secundarios

La relación de demanda-capacidad de estos elementos es de 0.15, con lo que se concluye que no fallan.

- Soportes del plato de giro

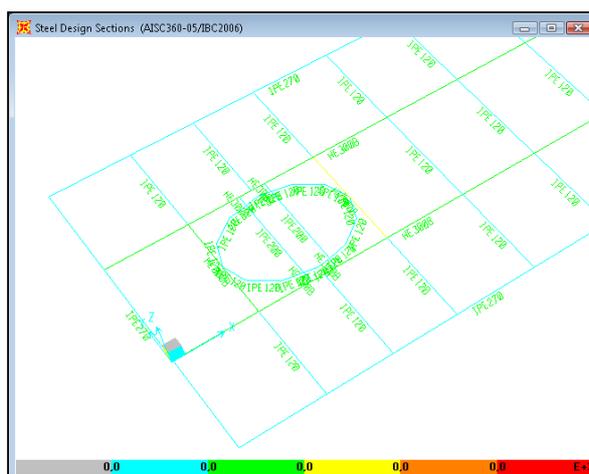
Los soportes del plato de giro son los elementos encargados de transferir parte de la carga de operación a la quinta rueda, a través del plato de giro. A pesar de que las reacciones sobre el plato de giro serán distribuidas, se puede representar con reacción máxima en el centro de las vigas soporte cuyo valor de acuerdo con SAP2000 es de:

$$R_a = 83221.41 \text{ kgf}$$



**Figura 5.33** Soportes del plato de giro

Los resultados del diseño mediante SAP2000 para un perfil HEB 300 de especificaciones según el anexo D, se muestran a continuación:



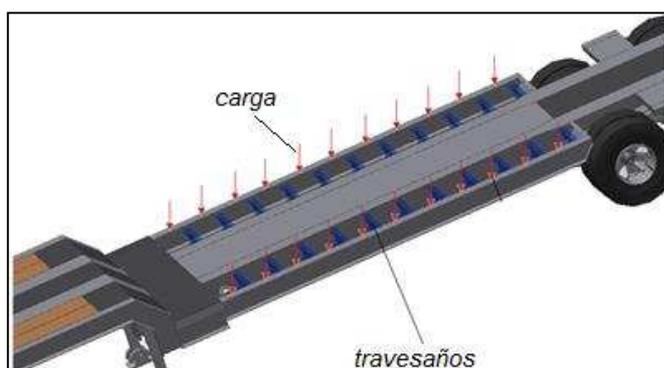
**Figura 5.34** Resultados de diseño de los soportes del plato de giro

La relación de demanda-capacidad de estos elementos es de 0.73, con lo que se concluye que no fallan.

### 5.5.3 ANÁLISIS Y DISEÑO DE TRAVESAÑOS

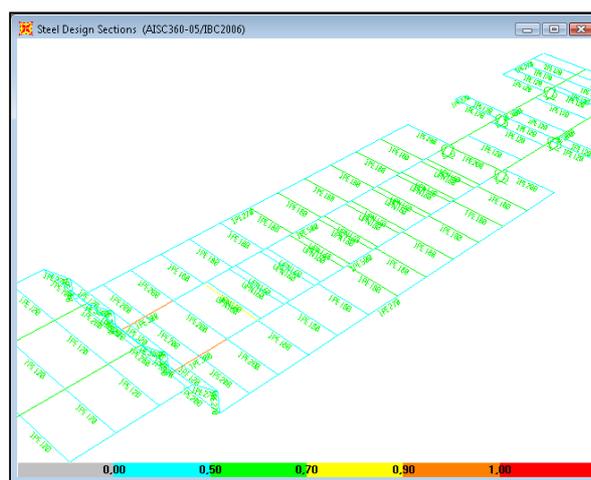
- Travesaños principales

Los travesaños son los elementos que generalmente actúan como vigas en cantiléver. Estos elementos serán analizados para la plataforma en longitud cerrada donde la carga de diseño es distribuida como se indica en la siguiente figura:



**Figura 5.35** Carga de diseño en travesaños

Los resultados del diseño mediante SAP2000 para un perfil IPE 200 de especificaciones según el anexo C, se muestran a continuación:

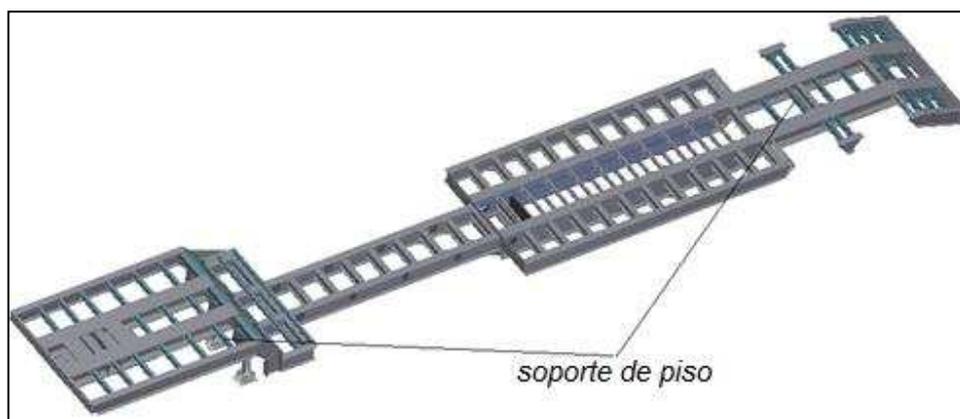


**Figura 5.36** Resultado de diseño de travesaños

La relación de demanda-capacidad máxima de estos elementos es de 0.67, con lo que se concluye que no fallan.

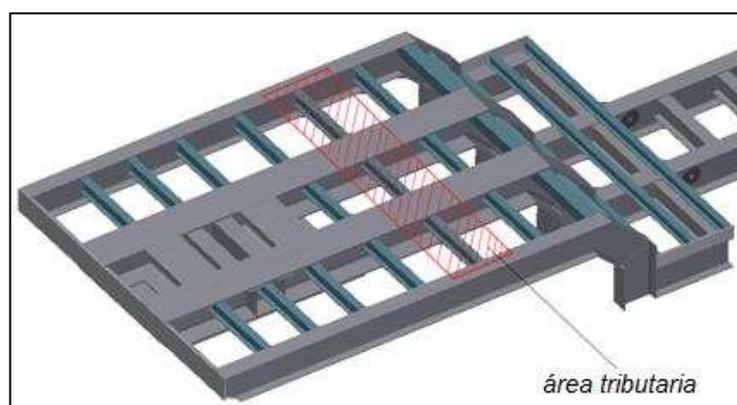
- Travesaños secundarios

Estas vigas servirán de soporte para el piso de la plataforma, estarán ubicadas en lugares específicos para permitir una adecuada distribución de las cargas de operación entre los diferentes elemento principales.



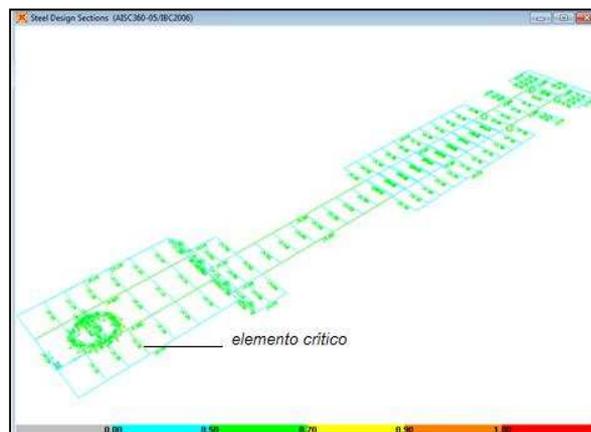
**Figura 5.37** Vigas de soporte de piso

Para determinar el valor de la carga que se asignará a los soportes de piso se utiliza el método de áreas tributarias, el cual determina un área de piso que le corresponde a un elemento estructural.



**Figura 5.38** Área tributaria

Los resultados del diseño mediante SAP2000 para un perfil IPE 120 de especificaciones según el anexo D, se muestran a continuación:



**Figura 5.39** Resultado del diseño de soportes de piso

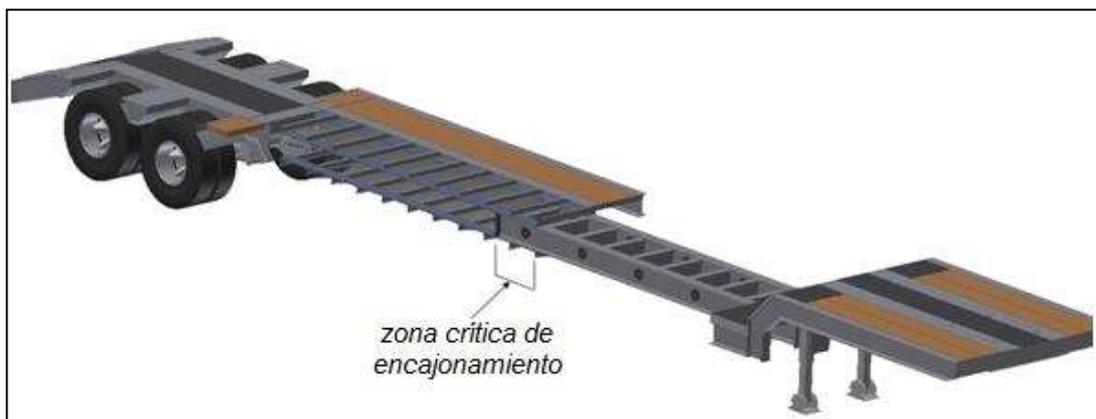
La relación de demanda-capacidad máxima de estos elementos es de 0.52, con lo que se concluye que no fallan.

#### **5.5.4 DISEÑO DE PLACAS DE ENCAJONAMIENTO**

Las placas de encajonamiento son las que conjuntamente con los arriostres secundarios formaran el soporte para las vigas centrales del bastidor móvil, con lo que deberán ser diseñadas para que no fallen por aplastamiento, flexión y fatiga. Además deben ser capaces de transmitir de manera distribuida las cargas sobre el bastidor fijo.

Para el diseño de estas placas es necesario realizar ciertas consideraciones:

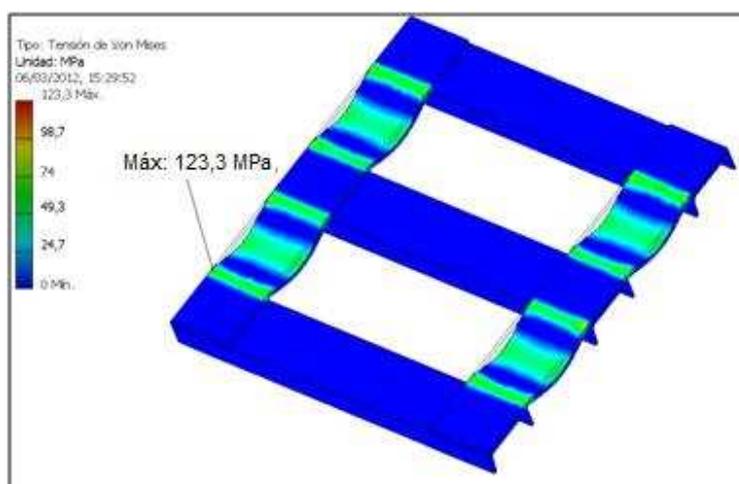
- La carga predominante es una carga perpendicular a la superficie de las placas.
- El diseño se lo realizará por resistencia estática y por resistencia a la fatiga.
- El material de la placa es un acero de especificaciones ASTM A-36.
- Se considera un área crítica de 70 x 17 cm, donde se aplicará la carga predominante.



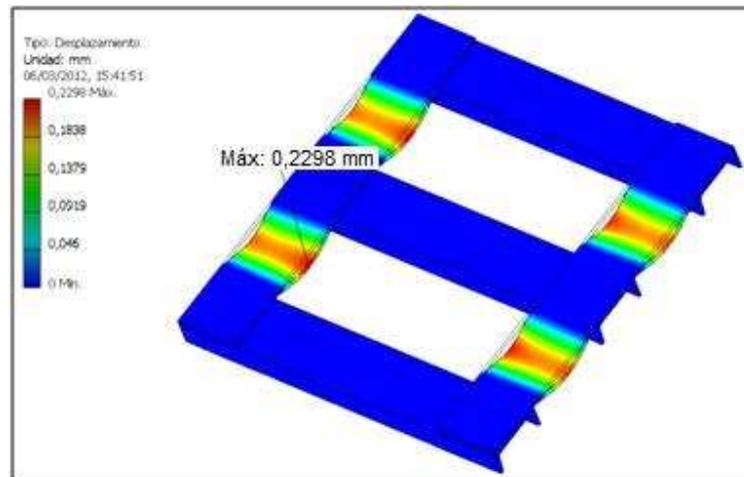
**Figura 5.40** Zona crítica de placas de encajonamiento

- Diseño por resistencia estática

Este diseño se lo realiza mediante el método de los elementos finitos a través del programa Autodesk Inventor, el cual arroja el esfuerzo máximo de Von Mises que permite calcular el factor de seguridad estático y asegurar un correcto funcionamiento de las placas.



**Figura 5.41** Tensión máxima en placas



**Figura 5.42** Desplazamiento máximo en placas

El factor de seguridad se calcula con la ecuación 3.32, en el que esfuerzo Von Mises es de  $123.3 \text{ MPa}$ , dando como resultado:

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$n = \frac{250 \text{ MPa}}{123.3 \text{ MPa}}$$

$$n = 2.03$$

**OK**

- Diseño por resistencia a la fatiga

Las placas de encajonamiento a lo largo de toda su vida se verán expuestas a cargas fluctuantes que afectaran su resistencia a la fatiga, por lo que es necesario asegurar un correcto funcionamiento. Estas cargas pueden originarse debido a muchos factores, pero principalmente por vibraciones originadas por irregularidades de las vías.

El esfuerzo normal máximo es tomado de la simulación estática, mientras que el esfuerzo normal mínimo por sus condiciones de servicio se toma como un valor nulo.

$$\sigma_{m\acute{a}x} \approx 123.3 \text{ MPa} = 1257.7 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{m\text{in}} \approx 0$$

Los esfuerzos amplitud y medio serán determinados mediante las ecuaciones 3.33 y 3.34 respectivamente.

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{1257.7 \text{ kgf/cm}^2}{2} = 628.8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

El límite de resistencia a la fatiga de acuerdo con la ecuación 3.35 es:

$$S_e = S'_e k_a k_b k_c k_d k_e k_f$$

Donde:

$$S'_e = 0.5 S_{ut}$$

$$k_a = 0.7 \text{ (A-36 laminado en caliente)}$$

$$k_b = 0.6 \text{ (cuando no se realizan pruebas)}$$

$$k_c = 1 \text{ (confiabilidad del 50\%)}$$

$$k_d = 1 \text{ (para temperaturas menores a 450° C)}$$

$$k_e = 1 \text{ (sección continua)}$$

$$k_f = 1 \text{ (sin mayor información)}$$

Reemplazando se tiene:

$$S_e = 0.5(4080)(0.7)(0.6)(1)(1)(1)(1)$$

$$S_e = 856.8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Mediante la línea modificada de Goodman ecuación 3.36:

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

$$S_m = \frac{856.8 \text{ kgf/cm}^2}{1 + \frac{856.8 \text{ kgf/cm}^2}{4080 \text{ kgf/cm}^2}}$$

$$S_m = 708.1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

El factor de seguridad por resistencia a la fatiga se tendrá mediante la ecuación 3.37:

$$n = \frac{S_m}{\sigma_m}$$

$$n = \frac{708.1 \text{ kgf/cm}^2}{628.8 \text{ kgf/cm}^2}$$

$$n = 1.13$$

**OK**

### 5.5.5 DISEÑO DEL PLATO DE GIRO

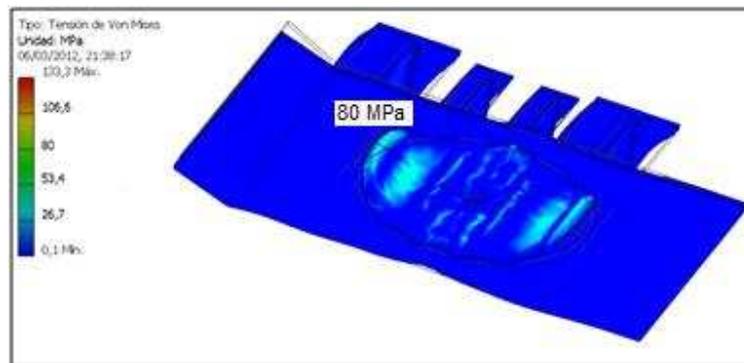
El plato de giro transmite parte de las cargas operación del semirremolque hacia el tractocamión, por lo que es necesario analizar su resistencia por aplastamiento flexión y fatiga.

Para el diseño del plato de giro es necesario establecer las siguientes consideraciones:

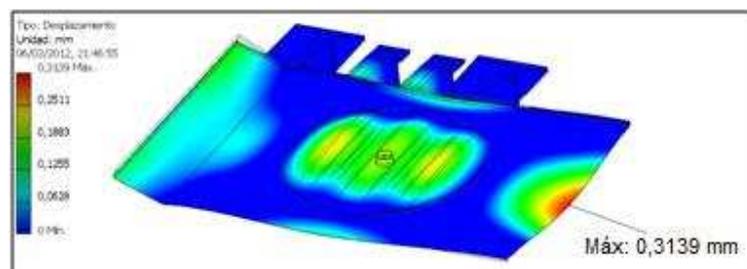
- El material empleado es acero ASTM A- 36.
- La sección de la placa que estará expuesta directamente a las cargas tendrán una dimensión de 150 x 100 x 1.2 cm y tendrá en el centro un agujero de 7.6 cm de diámetro para el ensamble con el king pin.
- El diámetro promedio de una quinta rueda es de 80 cm y esta estará en contacto con el palto de giro.

- Diseño estático del plato de giro

El diseño estático del plato de giro se procede de forma similar que para el diseño estático de las placas de encajonamiento. Los valores de las cargas que intervendrán sobre el plato de giro serán tomados de las reacciones resultantes de SAP2000, en la condición más crítica.



**Figura 5.43** Tensión máxima en plato de giro



**Figura 5.44** Desplazamiento máximo en plato de giro

El factor de seguridad se calcula con la ecuación 3.32, en el que esfuerzo Von Mises es de 80 MPa , dando como resultado:

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$n = \frac{250 \text{ MPa}}{80 \text{ MPa}}$$

$$n = 3.1$$

**OK**

- Diseño por resistencia a la fatiga

Del mismo modo se procede que para el diseño por resistencia a la fatiga de las placas de encajonamiento.

El esfuerzo normal máximo es tomado de la simulación estática, mientras que el esfuerzo normal mínimo por sus condiciones de servicio se asume como un valor nulo.

$$\sigma_{m\acute{a}x} \approx 80 \text{ MPa} = 816 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{min} \approx 0$$

Los esfuerzos amplitud y medio serán determinados mediante las ecuaciones 3.33 y 3.34 respectivamente.

$$\sigma_m = \sigma_a = \frac{816 \text{ kgf/cm}^2}{2} = 408 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

El límite de resistencia a la fatiga de acuerdo con la ecuación 3.35 es:

$$S_e = S'_e k_a k_b k_c k_d k_e k_f$$

Donde:

$$S'_e = 0.5S_{ut}$$

$$k_a = 0.7 \text{ (A-36 laminado en caliente)}$$

$$k_b = 0.6 \text{ (cuando no se realizan pruebas)}$$

$$k_c = 1 \text{ (con 50% de confiabilidad)}$$

$$k_d = 1 \text{ (para temperaturas menores a } 450^\circ \text{ C)}$$

$$k_e = \frac{1}{K_f} \text{ (A 36 con ranura de diámetro 7.6 cm)}$$

$$q = 0.79$$

$$d/w = 76/1000 = 0.076$$

$$d/h = 76/12 = 6.3$$

$$K_T = 1.6$$

$$K_f = 1 + q(K_T - 1) = 1 + 0.79(1.6 - 1) = 1.47$$

$$k_e = \frac{1}{1.47} = 0.68$$

$k_f = 1$  (sin mayor información)

Entonces se tiene:

$$S_e = 0.5(4080)(0.7)(0.6)(1)(1)(0.68)(1)$$

$$S_e = 582.6 \frac{kgf}{cm^2}$$

Mediante la Línea modificada de Goodman se cumplirá la ecuación 3.36:

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

$$S_m = \frac{582.6 \text{ kgf/cm}^2}{1 + \frac{582.6 \text{ kgf/cm}^2}{4080 \text{ kgf/cm}^2}}$$

$$S_m = 515.3 \frac{kgf}{cm^2}$$

Para el factor de seguridad por resistencia a la fatiga mediante la ecuación 3.37 se tendrá:

$$n = \frac{S_m}{\sigma_m}$$

$$n = \frac{515.3 \text{ kgf/cm}^2}{408 \text{ kgf/cm}^2}$$

$$n = 1.3$$

**OK**

## 5.6 SELECCIÓN DE ACCESORIOS

### 5.6.1 SELECCIÓN DEL KING PIN

Estos elementos son totalmente estandarizados y fabricados con los más altos estándares de calidad, con elevadas resistencias al impacto, desgaste y a fatiga.

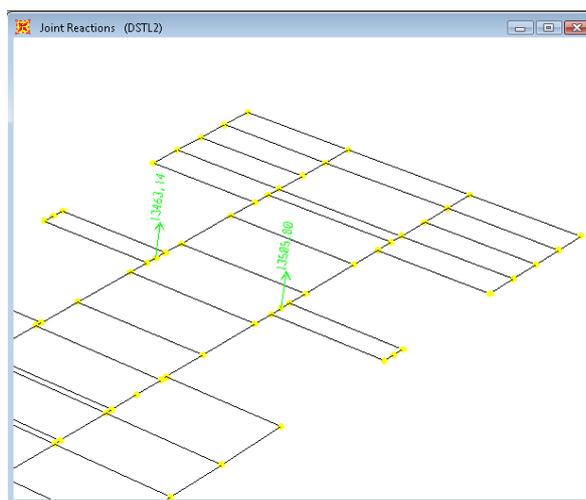
Su selección se realiza de acuerdo con la disponibilidad en el mercado local y del espesor del plato de giro, que para este caso es de 1.2 cm.

Del catálogo presentado en el anexo F se selecciona el king pin de las siguientes características:

- marca JOST
- material AISI 8630H
- tipo KZ-T5
- espesor del acoplador de ½" (Bolster plate thickness)

### 5.6.2 SELECCIÓN DE LA SUSPENSIÓN

La suspensión será seleccionada en base a las reacciones que se presentan en los puntos de apoyo, en las condiciones más desfavorables de operación. Así las reacciones máximas que se obtienen mediante el programa Sap2000 en estos puntos son en la hipótesis 2.



**Figura 5.45** Reacciones máximas resultantes

Co lo que se tiene una reacción total de:

$$R_t = 26968.9 \text{ kgf}$$

El valor calculado es el parámetro para la selección de una adecuada suspensión. De acuerdo con el catálogo que se muestran en el anexo F se selecciona la suspensión de las siguientes características:

- marca SCHULZ IBERICA
- modelo europa II 216EMH450/136
- tipo de eje cuadrado
- capacidad de 32000 kgf

### 5.6.3 SELECCIÓN DE EJES

Los ejes deben ser lo suficientemente robustos para que soporten en conjunto con la suspensión la reacción máxima.

$$R_e = \frac{R_t}{\#ejes} = \frac{26968.94}{2} = 13484.5 \text{ kgf}$$

Con valor de esta carga se selecciona del anexo F el siguiente eje:

- marca HENDRICKSON
- modelo K30
- tipo eje cuadrado
- capacidad 30000 lbs (13636.4 kg)

#### 5.6.4 SELECCIÓN DE NEUMÁTICOS

Se dispondrá de ocho neumáticos que en conjunto tendrán que transferir la reacción resultante hacia el piso, con lo que se necesitará un tipo de neumático que resista una carga de:

$$R_n = \frac{R_t}{\#neumáticos} = \frac{26968.94}{8} = 3371.1 \text{ kgf}$$

Con esta carga se selecciona un tipo y medida de llanta que brinde la mejor capacidad para este caso y sea de fácil adquisición en el mercado nacional.

Del anexo F se selecciona el siguiente neumático:

- marca Continental Tires
- modelo HSR
- medidas 11.00R20
- capacidad de carga a presión mínima indicada 4380 *kg*

#### 5.6.5 SELECCIÓN DE LAS PATAS DE APOYO

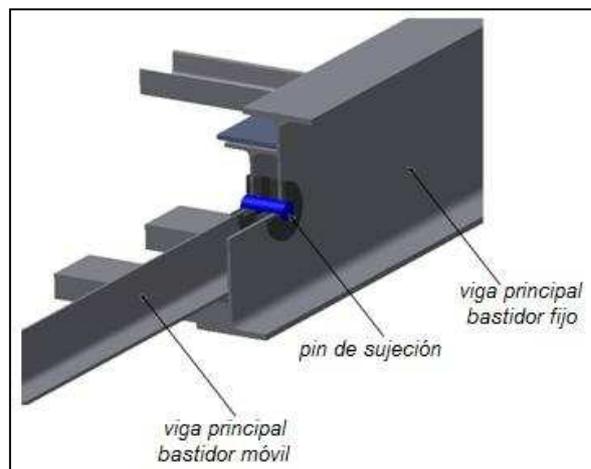
Existen diferentes modelos con distintas configuraciones, capacidades de carga y elevación pero en el mercado nacional las más comunes se muestran en el anexo F y del cual se selecciona el siguiente:

- marca Jost
- modelo CF 14341
- apoyo tipo S
- carrera telescópica

## 5.7 DISEÑO DE CONEXIONES

### 5.7.1 DISEÑO DE LA CONEXIÓN POR PASADOR

La conexión entre las vigas principales que conforman tanto el bastidor móvil como el bastidor fijo será a través de un pasador. Con lo que es necesario el diseño del mismo y la comprobación de la resistencia de los elementos conectados.



**Figura 5.46** Disposición del pasador

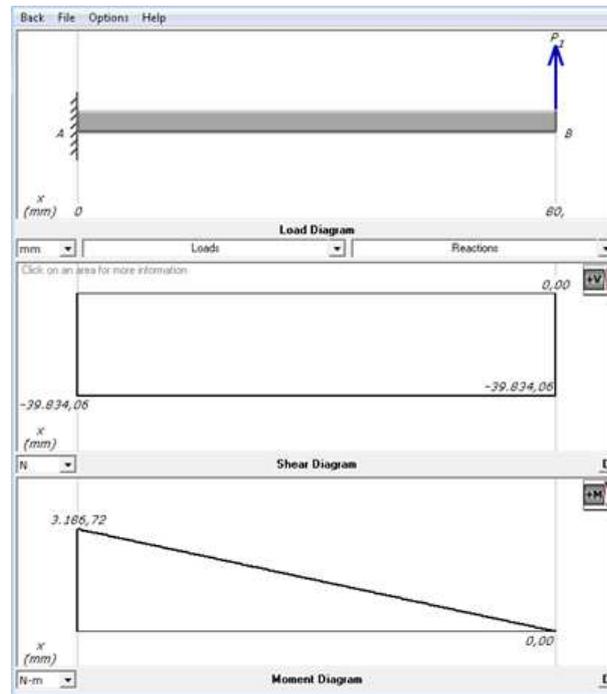
#### 5.7.1.1 Diseño del pasador

El diseño del pasador se lo realiza tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- La carga diseño sobre los pasadores es la fuerza de tiro.
- El número de pasadores es igual a 2.
- La distancia entre elementos conectados es 8 cm.

Los diagramas de momento y cortante se determinan a continuación:

$$P_1 = \frac{F_t}{2} = \frac{8129.4 \text{ kgf}}{2} = 4064.7 \text{ kgf}$$



**Figura 5.47** Diagramas de momento y corte

Los valores máximos de los diagramas son:

$$V_u = 39834.1 \text{ N} = 4064.7 \text{ kgf}$$

$$M_u = 3186.7 \text{ N} - \text{m} = 32517.6 \text{ kgf} - \text{cm}$$

- Diseño para resistencia a flexión

La resistencia a flexión de un pasador está determinada por el estado de límite de fluencia según las especificaciones LRFD 360/05, ya que el estado límite de pandeo lateral con torsión no es aplicable para perfiles redondos<sup>53</sup>.

Despejando el diámetro de en la ecuación 3.21 se tiene:

<sup>53</sup> CAORI, Patricia. Conexiones en Estructuras Metálicas, 1ra. Ed., Colombia, 2002, Unidad de Publicaciones de Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia, 77pg.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M_n}{1.5\phi_t F_y \pi}}$$

Con:

$$M_u = \phi_b M_n$$

$$\phi_b = 0.9$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32(32517.6 \text{ kgf} - \text{cm})}{1.5\pi \left(2550 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right) (0.9)}}$$

$$d = 4,58 \text{ cm}$$

Con lo cual se tiene que el pasador debe tener un diámetro mínimo de 4.58 cm, por lo que se escoge un pasador con un diámetro de 5 cm y se comprueba su resistencia nominal a flexión, siendo:

$$\phi_b M_n = \frac{(0.9)(1.5)(2550)\pi(5)^3}{32}$$

$$\phi_b M_n = 46939.8 \text{ kgf} - \text{cm}$$

$$M_u \leq \phi_b M_n$$

Con lo que se determina que el pasador no fallará por flexión.

- Diseño para resistencia a corte

Mediante la ecuación 3.22 debe cumplirse:

$$V_n = 0.6F_y A$$

$$\phi_v V_n = 0.9(0.6) \left( 1479 \frac{kgf}{cm^2} \right) (19.63 cm^2) = 15677.7 kgf$$

$$V_u \leq \phi_v V_n$$

Con lo que se determina que el pasador no fallará por corte.

### 5.7.1.2 Comprobación de elementos conectados por pasador

- Resistencia de rotura en tracción

Utilizando la ecuación 3.23 se tiene:

$$P_n = 2tb_{eff}F_u$$

Con:

$$t = 0.71 \text{ cm (para un perfil IPE 300)}$$

$$b_{eff} = 2t + 1.6$$

$$P_n = 2(0.71 \text{ cm})((2)(0.71) + 1.6)\text{cm})4080 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\phi_t P_n = 13122.5 kgf$$

- Resistencia de rotura en corte

Utilizando la ecuación 3.24 se tiene:

$$P_n = 0.6A_{sf}F_u$$

Con:

$$A_{sf} = 2t(a + d/2)$$

$$a = 42.5 \text{ cm}$$

$$d = 5 \text{ cm}$$

$$P_n = 2(0.6)(0.71 \text{ cm})((42.5 + 2.5)\text{cm})(4080 \frac{kgf}{cm^2})$$

$$\phi_{sf} P_n = 117320.4 \text{ kgf}$$

- Resistencia para aplastamiento

Utilizando la ecuación 3.25 se tiene:

$$R_n = 1.8 A_{pb} F_y$$

Con:

$$A_{pb} = d t$$

$$R_n = (1.8)(5 \text{ cm})(0.71 \text{ cm})(1480 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2})$$

$$\phi R_n = 7029.9 \text{ kgf}$$

- Fluencia en la sección bruta

Utilizando la ecuación 3.26 se tiene:

$$P_n = A_g F_y$$

Con:

$$A_g = 53.25 \text{ cm}^2$$

$$P_n = (53.25 \text{ cm}^2)(1480 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2})$$

$$\phi P_n = 66933 \text{ kgf}$$

El menor valor de resistencia determinado de acuerdo a los estados límites es el de aplastamiento:

$$\phi R_n = 7029.9 \text{ kgf}$$

$$P_1 \leq \phi R_n$$

Con lo que se comprueba que los elementos conectados resisten.

## 5.7.2 DISEÑO DE LAS CONEXIONES POR SOLDADURA

Para el diseño de las soldaduras de los diferentes elementos estructurales que forman parte de la plataforma se emplea los valores máximos de momento flector y fuerza cortante calculada por el programa SAP2000.

La soldadura empleado para la fabricación será una combinación de los procesos SMAW y GMAW, siendo estos los más empleados en el país ya que permite facilitar los procesos de fabricación, mantenimiento y reparación.

### 5.7.2.1 Material de aporte para la soldadura

En la soldadura el material del electrodo debe tener propiedades iguales o mayores que la del metal base. Si las propiedades son comparables se dice que el metal de aportación es compatible con el metal base (es decir sus resistencias nominales son semejantes).

El acero empleado para la fabricación de la plataforma es el A-36 y el material de aporte compatible con este metal base son los de la serie E60&& y ER70&-&<sup>54</sup>.

Para el pase de raíz y el segundo pase en caliente se selecciona el electrodo E6010 por las siguientes características:

- Fácil operación.
- Muy buena penetración debido a su revestimiento celulósico.
- Presenta bajas perdidas por chisporroteo.
- Fácil adquisición en el mercado nacional.

Para pases posteriores el electrodo ER70S-6 por las siguientes características:

- Produce soldaduras de óptima calidad libre de poros y rajaduras.
- Alta eficiencia de tasa de aportación.
- Arco sumamente estable.
- Buen acabado superficial.

---

<sup>54</sup> AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). Structural Welding Code - Steel, AWS D1.1/D1.1:M, United States of America, 2010, 64 pg.

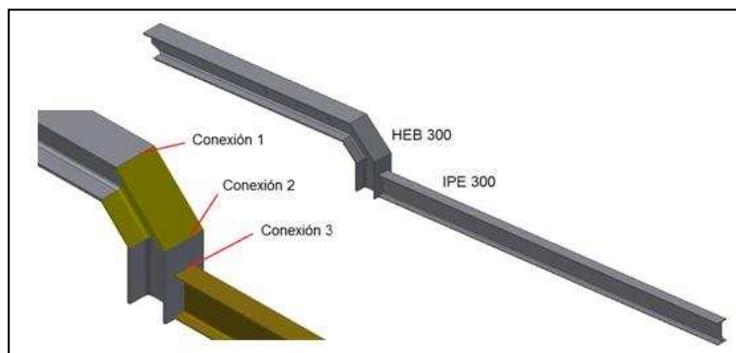
**Tabla 5.9** Propiedades de electrodos E-6010 y ER70S-6

<b>Electrodo</b>	<b>Resistencia a la tracción</b>	<b>Posiciones de soldadura</b>	<b>Corriente y polaridad</b>	<b>Escoria</b>	<b>Penetración</b>	<b>Gas de protección</b>
<b>E 6010</b>	60 ksi o (42.2 kg/mm <sup>2</sup> )	Todas	-, CC+	orgánica	alta	N/A
<b>ER70S-6</b>	70 ksi o (49,2 kg/mm <sup>2</sup> )	Todas	CA, CC+	básica	mediana	CO <sub>2</sub>

**Fuente:** Propia

### 5.7.2.2 Soldadura en las vigas principales de bastidor móvil

Está se encuentran constituidas por dos perfiles estructurales que forman el gancho y el sistema extensible.



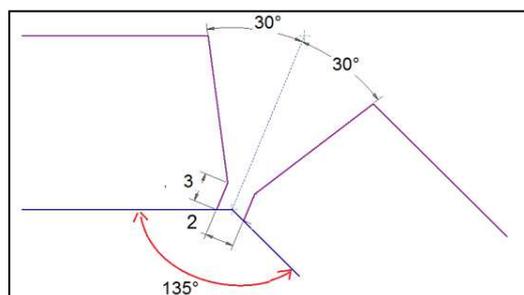
**Figura 5.48** Ubicación de conexiones 1, 2 y 3

**Fuente:** Propia

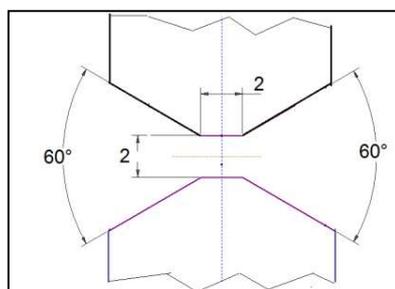
La conexión 1 y 2 es entre perfiles similares y el cálculo se realiza para la conexión que presente las condiciones más críticas, se utilizará juntas de ranura de tipo “V” para las alas y para las almas una de doble bisel en “V”, de penetración completa precalificados<sup>55</sup>.

<sup>55</sup> AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). Structural Welding Code - Steel, AWS D1.1/D1.1:M, United States of America, 2010, 107 pg.

Las dimensiones seleccionadas de las juntas se indican a continuación:



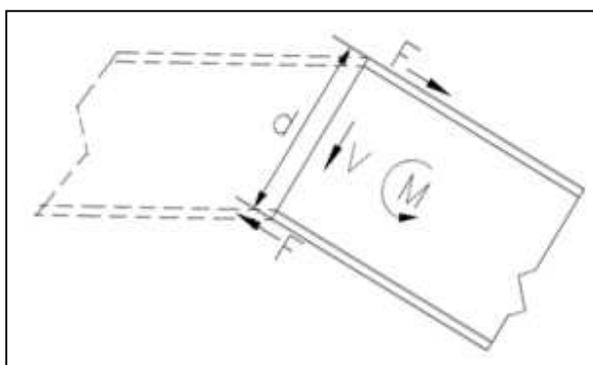
a) junta ala-ala



b) junta alma-alma

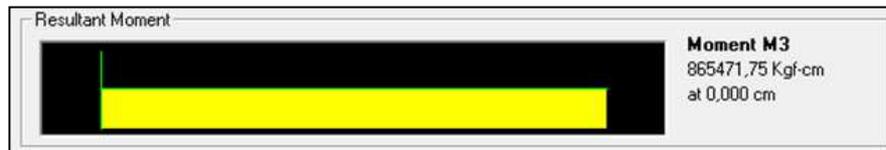
**Figura 5.49** Dimensiones de juntas 1 y 2

La distribución de cargas en este tipo de juntas se muestra en la siguiente figura.



**Figura 5.50** Distribución de cargas en la conexión 1 y 2

El momento máximo que se presenta en estas conexiones es en la hipótesis 5.



**Figura 5.51** Momento máximo en la conexión 1 y 2

Los esfuerzos en las alas se determinan mediante la ecuación 3.29 con especificaciones del perfil HEB 300 del anexo E:

$$R_u = \frac{865471.75 \text{ kgf} - \text{cm}}{28.1 \text{ cm}} = 30799.71 \text{ kgf}$$

De acuerdo con la tabla 3.3 este tipo de junta esta contralado por el metal base mediante la ecuación 3.27:

$$R_u = \phi F_{MB} A_{MB}$$

$$A_{MB} = \frac{30799.71 \text{ kgf}}{0.9 * 2550 \text{ kgf/cm}^2} = 13.42 \text{ cm}^2$$

$$l_{MB} = \frac{A_{MB}}{t_f} = 7.1 \text{ cm} < 30 \text{ cm}$$

El cortante máximo de estas conexiones se presenta en la hipótesis 4.



**Figura 5.52** Cortante máximo en la conexión 1

La resistencia a corte de junta esta contralada por el metal base de acuerdo con la tabla 3.3, mediante la ecuación 3.14:

$$V_u = \phi_v V_n$$

$$V_n = 0.6 F_{MB} A_{MB} C_v$$

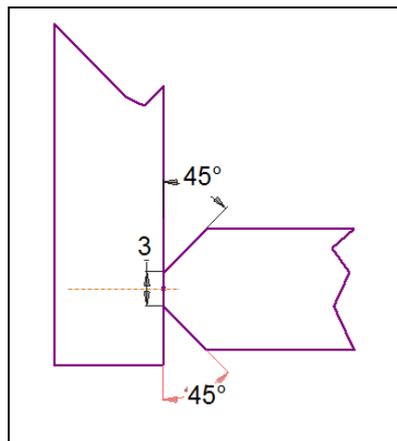
Con:

$$C_v = 1 \text{ (perfiles laminados)}$$

$$A_{MB} = \frac{11657.79 \text{ kgf}}{(0.9)(0.6)\left(\frac{2550 \text{ kgf}}{\text{cm}^2}\right)} = 8.46 \text{ cm}^2$$

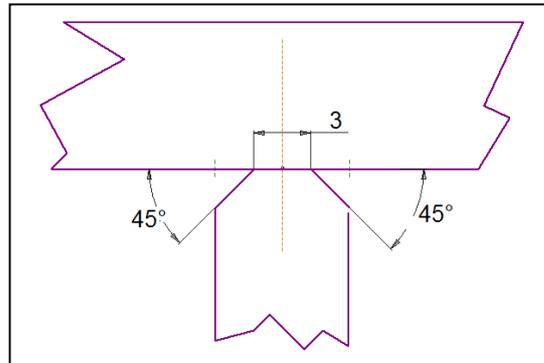
$$l_{MB} = \frac{A_{MB}}{t_w} = 7.85 \text{ cm} < 20.8 \text{ cm}$$

En la conexión 3 se presenta una unión en “T” y se selecciona una junta de doble bisel en “V” de penetración completa precalificada<sup>56</sup>, tanto para las alas como para el alma del perfil IPE 300. Las dimensiones seleccionadas se muestran en la siguiente figura.



a) junta viga-ala

<sup>56</sup> AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). Structural Welding Code - Steel, AWS D1.1/D1.1:M, United States of America, 2010, 112 pg.



b) junta viga-alma

**Figura 5.53** Dimensiones de la junta 3

El momento máximo de esta junta se presenta en la hipótesis 5.



**Figura 5.54** Momento máximo en la conexión 3

Los esfuerzos en las alas se determinan mediante la ecuación 3.29 con especificaciones del perfil IPE 300 del anexo E:

$$R_u = \frac{866195.16 \text{ kgf} - \text{cm}}{28.93 \text{ cm}} = 29941.1 \text{ kgf}$$

$$A_{MB} = \frac{14020.61}{0.9 * 2550} = 13.05 \text{ cm}^2$$

$$l_{MB} = \frac{13.05}{1.07} = 12.2 \text{ cm} < 15 \text{ cm}$$

El cortante máximo de estas conexiones se presenta en la hipótesis 4.



**Figura 5.55** Cortante máximo en la conexión 3

La resistencia a corte de junta esta contralada por el metal base de acuerdo con la tabla 3.3, mediante la ecuación 3.14:

$$V_u = \phi_v V_n$$

$$V_n = 0.6 F_{MB} A_{MB} C_v$$

Con:

$$C_v = 1 \text{ (perfiles laminados)}$$

$$A_{MB} = \frac{6867.86 \text{ kgf}}{(0.9)(0.6)\left(\frac{2550 \text{ kgf}}{\text{cm}^2}\right)} = 5 \text{ cm}^2$$

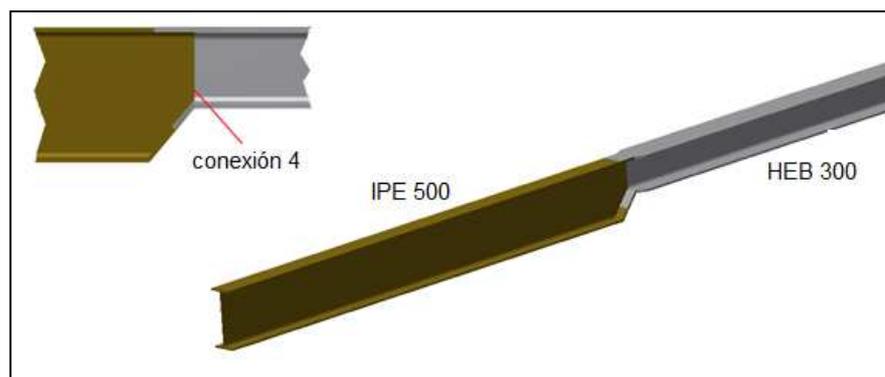
$$l_{MB} = \frac{A_{MB}}{t_w} = 7.04 \text{ cm} < 24.8 \text{ cm}$$

Por la presencia de cargas cíclicas en este tipo de conexiones es necesario reforzar la soldadura de ranura con una soldadura de filete<sup>57</sup>, seleccionando un valor de 6 mm como lado de la soldadura de filete.

<sup>57</sup> AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). Structural Welding Code - Steel, AWS D1.1/D1.1:M, United States of America, 2010, 77 pg.

### 5.7.2.3 Soldadura en las vigas principales del bastidor fijo

Esta conexión esta conformadas por dos vigas que se encuentran niveladas horizontalmente en el ala superior.

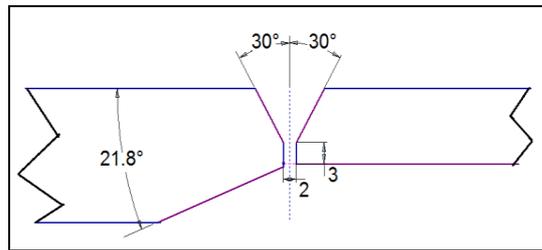


**Figura 5.56** Ubicación de la conexión 4

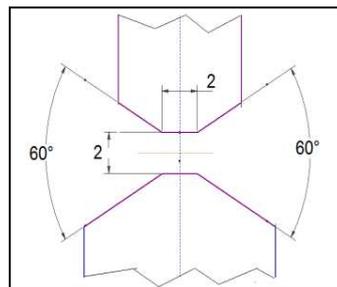
Para la fabricación se realizará el corte de las alas superior e inferior del perfil IPE 500 y de alma del HEB 300 con una profundidad de 25 cm. Además se utiliza un ángulo de  $130^\circ$  con respecto a la horizontal para el ensamble de viga que presentan diferencias entre alturas, todo esto con el fin de evitar posibles fallas por cargas cíclicas.

Para la preparación de las juntas entre las alas se utiliza la transición de espesores mostradas en la figura 3.5, mientras que para las almas de los perfiles no se tomará esta disposición ya que la diferencia entre espesores es despreciable.

Las dimensiones seleccionadas de la junta precalificadas se muestran a continuación:



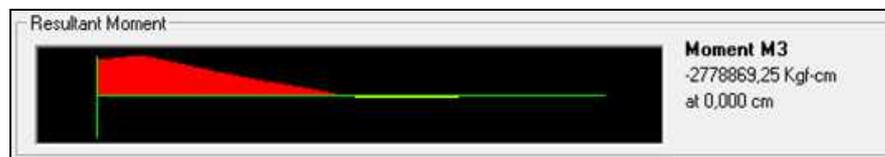
a) junta ala-ala



b) junta alma-alma

**Figura 5.57** Dimensiones de la junta 4

El momento máximo de esta junta se presenta en la hipótesis 2.

**Figura 5.58** Momento máximo en la conexión 4

Los esfuerzos en las alas se determinan mediante la ecuación 3.29 con especificaciones del perfil IPE 500 del anexo E:

$$R_u = \frac{2778869.25 \text{ kgf} \cdot \text{cm}}{48.4 \text{ cm}} = 57414.7 \text{ kgf}$$

$$A_{MB} = \frac{57414.7 \text{ kgf}}{0.9 * 2550 \text{ kgf/cm}^2} = 25.01 \text{ cm}^2$$

$$l_{MB} = \frac{25.01 \text{ cm}^2}{1.6 \text{ cm}} = 15.63 \text{ cm} < 20 \text{ cm}$$

El cortante máximo de estas conexiones se presenta en la hipótesis 5.



**Figura 5.59** Cortante máximo en la conexión 4

La resistencia a corte de junta esta controlada por el metal base de acuerdo con la tabla 3.3, mediante la ecuación 3.14:

$$V_u = \phi_v V_n$$

$$V_n = 0.6 F_{MB} A_{MB} C_v$$

Con:

$$C_v = 1 \text{ (perfiles laminados)}$$

$$A_{MB} = \frac{19617.2 \text{ kgf}}{(0.9)(0.6)\left(\frac{2550 \text{ kgf}}{\text{cm}^2}\right)} = 14.25 \text{ cm}^2$$

$$l_{MB} = \frac{A_{MB}}{t_w} = 14 \text{ cm} < 20.8 \text{ cm}$$

#### 5.7.2.4 Soldaduras diversas

Para la soldadura del resto de elementos estructurales no se requieren cálculos adicionales ya que la AWS permite aplicar el mismo procedimiento de soldaduras precalificadas para un rango de hasta el doble del espesor de la junta calificada.

Para el resto de soldaduras de filete se considera las situaciones expuestas en la figura 3.5.

Las soldaduras de accesorios como king pin, suspensión y patas de apoyo, vienen especificadas en sus respectivos catálogos con sus propios procedimientos de acuerdo con el fabricante y las cuales se muestran en los planos respectivos.

## **CAPÍTULO 6**

### **PROCEDIMIENTOS DE FABRICACIÓN, MONTAJE Y ANÁLISIS DE COSTOS**

#### **6.1 FABRICACIÓN Y MONTAJE**

La fabricación es el conjunto de actividades destinadas a la realización efectiva del producto, mientras que el montaje es el proceso mediante el cual se emplaza cada pieza en su posición definitiva dentro de una estructura.

##### **6.1.1 DETALLES DE FABRICACIÓN**

Para la fabricación del semirremolque extensible se tomarán las siguientes consideraciones:

- Todas las piezas individuales deben fabricarse como se indica en los planos de taller, marcándose sus respectivos códigos con tiza para facilitar el montaje en etapas posteriores.
- Se debe iniciar la fabricación a partir de las vigas principales del bastidor fijo y móvil.

##### **6.1.2 ESPECIFICACIONES DE MONTAJE**

El montaje constituye la parte más interesante e importante de todo el proceso de construcción, ya que al final del mismo se puede apreciar en toda su magnitud el proyecto final. Este está conformado por un sin número de subprocesos los cuales son indispensable para que el proceso completo sea totalmente satisfactorio.

Previo al montaje del semirremolque se clasificará en la zona de trabajo los elementos que conforman el bastidor fijo y móvil. Las tolerancias de montaje se mostrarán en los respectivos planos, los mismos que deben cumplirse para garantizar un correcto ensamblaje del semirremolque.

El montaje de las vigas principales tanto del batidor fijo como del móvil, debe realizarse de forma rigurosa ya que estas son las encargadas de soportar las cargas de trabajo y del resto de elementos que conforman el semirremolque.

Una vez terminado el proceso de montaje es necesario realizar el pulido y limpieza para eliminar cualquier tipo de defecto y darle a la estructura un acabado satisfactorio. Para posteriormente aplicar un recubrimiento protector para evitar problemas de oxidación y corrosión.

### **6.1.3 ELABORACIÓN DE PLANOS DE MONTAJE Y DE TALLER**

Los planos son el instrumento para definir de una manera exacta, unívoca y completa todos y cada uno de los elementos de un proyecto, tanto en formas, dimensiones y características esenciales.

En los planos se refleja la información de la estructura y sus elementos, que permita ejecutar el proyecto de la forma más concreta posible sin dar información inútil o innecesaria.

- Planos de montaje

En el diseño de una estructura es necesario realizar un plano de montaje para visualizar claramente el funcionamiento, la forma y las holguras entre las diferentes piezas. A partir de los planos de montaje se hacen los planos de detalle o de taller de cada pieza que forman parte de dicha estructura.

- Planos de taller

En este tipo de planos se encuentran dibujadas las piezas aisladas una por una, con su respectivo código, además se encuentra la información necesaria para la correcta fabricación del elemento, tales como dimensiones, procesos de maquinado, tolerancias dimensionales y geométricas.

## **6.2 COSTOS**

Costo es el conjunto de valores que se aplican en la elaboración de un producto.

Aquí se recopilará toda la información técnica de los gastos obtenida en el desarrollado de los capítulos anteriores. Ésta información permitirá expresar la magnitud de los recursos materiales y laborales necesarios para la construcción de la plataforma extensible.

### **6.2.1 ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS**

Son los cargos por concepto de material, de mano de obra y de gastos correspondientes directamente a la fabricación y producción de un artículo determinado o de un proceso de manufactura.

Los rubros que intervienen en la fabricación de la plataforma extensible son:

- Materiales y accesorios
- Fabricación y montaje
- Diseño

#### **6.2.1.1 Materiales y accesorios**

Son todos los elementos estructurales y normalizados necesarios para la fabricación de la plataforma, los mismos que serán detallados en las siguientes tablas según el anexo G.

**Tabla 6.1** Costos de perfiles y planchas

COSTO DE LISTA DE PERFILES Y PLANCHAS PARA PLATAFORMA EXTENSIBLE								
DESCRIPCIÓN	LARGO	ANCHO	CANT.	Lt	PRECIO/L	PRECIO	PESO/U	PESO
Material	(mm)	(mm)	(U)	(m)	(USD/m)	(USD)	(kg/m)	(kg)
<b>Bast. Fijo</b>								
HEB 300	3875		2	7.75	171.34	1327.89	117.00	906.75
IPE 500	4950		2	9.90	129.35	1280.57	90.70	897.93
IPE 270	7715		2	15.43	52.87	815.78	36.10	557.02
IPE 200	749		24	17.98	32.8	589.61	22.40	402.66
	939		3	2.82	32.8	92.40	22.40	63.10
IPE 120	939		6	5.63	16.02	90.26	10.40	58.59
	749		6	4.49	16.02	71.99	10.40	46.74
UPN 180	940		22	20.68	32.22	666.31	22.00	454.96
L 25x25x3	500		12	6.00	1.32	7.92	6.74	40.44
PL e=6	4950	750	1	3.71	54.2	201.22	49.25	182.84
	3485	650	1	2.27	54.2	122.78	49.25	111.56
	2430	540	1	1.31	54.2	71.12	49.25	64.63
PL e=12	18360	170	1	3.12	111.02	346.52	94.19	293.99
<b>Bast. Móvil</b>								
HEB 300	4855		2	9.71	171.34	1663.71	117.00	1136.07
	764		2	1.53	171.34	261.81	117.00	178.78
IPE 300	5350		2	10.70	61.8	661.26	42.20	451.54
IPE 270	4295		2	8.59	52.87	454.15	36.10	310.10
IPE 200	839		2	1.68	32.8	55.04	22.40	37.59
	768		10	7.68	32.8	251.90	22.40	172.03
IPE 120	764		6	4.58	16.02	73.44	10.40	47.67
	837		16	13.39	16.02	214.54	10.40	139.28
IPE 100	2581		3	7.74	11.86	91.83	8.10	62.72
L 40X40X4	764		1	0.76	1.32	1.01	6.74	5.15
	837		2	1.67	1.32	2.21	6.74	11.28
UPN 180	2472		1	2.47	32.22	79.65	22.00	54.38
PL e=6	2581	106	1	0.27	54.2	14.83	49.25	13.47
	1105	628	2	1.39	54.2	75.22	49.25	68.35
PL e=12	1075	1725	1	1.85	111.02	205.87	94.19	174.66
	150	150	14	0.32	111.02	34.97	94.19	29.67
					SIN I.V.A.	9825.80	<b>Peso total=</b>	<b>6973.96</b>
					*12%	1179.10		
					<b>Subtotal 1</b>	<b>11004.90</b>		

**Tabla 6.2** Costos de accesorios

<b>ELEMENTOS NORMALIZADOS</b>		
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad (U)</i>	<i>Valor (USD)</i>
<i>Suspensión</i>	1	1606.14
<i>Ejes</i>	2	2321.42
<i>Patas de apoyo</i>	1	390
<i>King ping</i>	1	165.18
<i>Tanque de aire</i>	1	133.93
<i>Válvula principal</i>	1	44.65
<i>Válvula chillona</i>	1	12.5
<i>Acoples de manos de aire</i>	2	23.22
<i>Acoples eléctricos</i>	1	13.4
<i>Mangueras de aire</i>	4	83.94
<i>Pulmones simples</i>	4	100
<i>Pulmones dobles</i>	2	100
<i>Kit de luces laterales</i>	1	138.32
<i>Kit de luces posteriores</i>	1	32.16
<i>Aros</i>	8	857.2
<i>Llantas</i>	8	4864
	<b>Subtotal 2</b>	<b>10886.06</b>

### 6.2.1.2 Fabricación y montaje

Son los rubros que intervienen en la transformación y ensamblaje de un producto.

El semirremolque al ser un sistema estructural que no requiere de procesos especiales o complejos de fabricación, sus costos referenciales serán tomados de la cámara de la construcción de Quito para estructuras metálicas en función de su peso, según el anexo G.

**Tabla 6.3** Costos de fabricación y montaje

<b>COSTOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE</b>			
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD Kg</i>	<i>P. UNITARIO USD/kg</i>	<i>COSTO USD</i>
<i>Fabricación</i>	6973.96	0.56	3905.42
<i>Montaje</i>	6973.96	0.56	3905.42
<b>Subtotal 3</b>			<b>7810.84</b>

**6.2.1.3 Diseño**

Este rubro se determinara en función del tiempo empleado en el desarrollo de este proyecto, los mismo que se especifican a continuación.

**Tabla 6.4** Costos de diseño

<b>DISEÑO ESTRUCTURAL</b>				
<i>PERSONAL</i>	<i>USD/HORA</i>	<i>HORAS X MES</i>	<i>MESES</i>	<i>VALOR (USD)</i>
2	8	160	2	5120
<b>Subtotal 4</b>				<b>5120</b>

**6.2.2 ANÁLISIS DE COSTOS INDIRECTOS**

Son aquellos costos que no se puede identificar o cuantificar plenamente con el producto a realizarse, al conjunto de rubros que conforman este elemento se les conoce también como carga fabril.

Para este tipo de costos solo se tomará en cuenta los costos por imprevistos para un proyecto en general, este valor es el 2% de los costos directos.

### 6.2.3 COSTO TOTAL

Es la suma de todos los rubros mencionados anteriormente, requeridos para la construcción de la plataforma cama baja con sistema de extensión de 4 m y una capacidad de carga de 25 toneladas totalmente abierta.

**Tabla 6.5 Costos totales**

<i>RESUMEN DE COSTOS</i>	
<i>DESIGNACIÓN</i>	<i>SUBTOTAL</i>
<i>Perfiles y planchas</i>	<i>11004.90</i>
<i>Elementos normalizados</i>	<i>10886.06</i>
<i>Fabricación y montaje</i>	<i>7810.84</i>
<i>Diseño</i>	<i>5120.00</i>
<i>Total</i>	<i>34821.80</i>
<i>Imprevistos 2%</i>	<i>696.44</i>
<b><i>TOTAL (USD)</i></b>	<b><i>35518.24</i></b>

El costo total del proyecto asciende a un valor de 35518.24 dólares americanos.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES

- Se ha conseguido cumplir con el objetivo principal del proyecto al diseñar un prototipo de plataforma cama baja extensible acoplable a cabezales de transporte pesado, dirigido para el transporte de carga sobredimensionada en longitud, con un funcionamiento simple, seguro y práctico.
- El diseño estructural fue desarrollado en conformidad a las especificaciones ANSI/AICS 360-05, método LRFD, ya que este proporciona diseños más realistas y su uso da como resultado estructuras más económicas.
- Es necesario una estimación conveniente de los diferentes tipos de cargas a los que se encuentra sometido este tipo de estructuras durante su vida útil para garantizar un correcto desempeño y resistencia.
- Un factor sumamente importante que rigió el diseño de la estructura es la seguridad, ya que sin la vasta experiencia en el diseño estructural lo más fiable es no arriesgar la integridad del sistema o de los usuarios.
- Una de las principales limitantes que tuvo el diseño de la plataforma fue el garantizar su circulación por la red vial nacional, sin embargo se logró diseñar un modelo versátil capaz de acoplarse a las diferentes circunstancias de movilidad.

- El análisis y diseño estructural realizado mediante los programas computacionales SAP2000 y Autodesk Inventor resultan una gran opción para este tipo de estructuras, teniendo en cuenta que es necesaria una correcta interpretación de los diferentes resultados obtenidos por los programas.
- La capacidad de carga de la plataforma se encuentra directamente relacionada con la longitud de extensión y esta se encuentra limitada por dimensiones geométricas de las vías.
- Se usó la soldadura como principal proceso para realizar las conexiones entre los diferentes elementos ya que es altamente confiable y se cuenta con la tecnología adecuada y personal calificado.
- Para este tipo de estructuras la perfilería y elementos normalizados requieren más del 70% de los recursos empleados para su fabricación. Debido a los altos precios del acero estructural y los distintos elementos constitutivos.
- La mayoría de los elementos constituyentes de la plataforma necesitan ser analizados individualmente, además de cómo un solo sistema, ya que muchos de estos cumplen con funciones específicas diferentes.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

- Es recomendable para este tipo de diseños cuando se requiera altos niveles de seguridad, la utilización de acero estructural laminado en caliente, ya que al poseer completa homogeneidad brindará óptimos beneficios.
- No es recomendable la fabricación de semirremolques basado solo en conocimiento empírico, ya que puede conllevar a la inseguridad de los

mismos, o en casos menos graves pero no menos importantes el sobredimensionamiento innecesario.

- Es aconsejable para la optimización de diseño de semirremolques la utilización correcta de atiesadores, planchas de ayuda, soportes u otros elementos que ayuden a aumentar el nivel de seguridad del sistema y que además tienen un costo relativamente bajo.
- Las consideraciones tomadas para la fabricación y el montaje de la plataforma son mínimas con lo que es recomendable que esto se lo haga con personal calificado tanto como soldadores, ingenieros y demás personal técnico.
- Se recomienda una verificación del correcto funcionamiento de los sistemas neumático y eléctrico ya que estos son parte indispensable de la seguridad del semirremolque.
- Para una adecuada utilización de plataforma en longitud abierta es necesario una logística previa para evitar cualquier tipo de inconvenientes que puedan presentarse.

## BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (ASSTHO), A police on geometric design of highways and streets, United States of America, 2001.
- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (AISC). Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-05, United States of America, 2005.
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS/STRUCTURAL ENGINEERING INSTITUTE (ASCE/SEI), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10, United States of America, 2010.
- AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). Structural Welding Code - Steel, AWS D1.1/D1.1:M, United States of America, 2010.
- CAORI, Patricia. Conexiones en Estructuras Metálicas, 1ra. Ed., Colombia, 2002, Unidad de Publicaciones de Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia.
- COLEGIO DE ARQUITECTOS DEL ECUADOR (CAE). Normas de arquitectura y urbanismo N°3457 y 3477.
- COMITÉ EJECUTIVO DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-1 , Capítulo 1, Ecuador, 2011.
- CUESTA, G. Camiones y vehículos pesados, Madrid, 2003.

- ESCALANTE, Víctor. Diseño de estructuras metálicas LRFD, 1ra. Ed., Republica Dominicana, 2003.
- McCORMAC, Jack. Diseño de Estructuras Metálicas de Acero LRFD, 2da. Ed., México, 2002, Alfaomega.
- MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PUBLICAS. Comunicado para transportistas de carga pesada y afines.
- MOTT, Robert. Diseño de Elementos de Máquinas, 4ta. Ed., México, 2006, Pearson.
- RIBA, Carles. Diseño Concurrente, España, 2002, Ediciones Upc, España.
- SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica, 4ta., México, 1983, McGraw-Hill.
- STANLEY, Crawley. Estructuras de Acero, Análisis y Diseño, 3ra Ed., México, 1992, Limusa.

# **ANEXOS**

## **ANEXO A**

**Valores de diseño recomendados para carreteras de dos carriles y caminos  
vecinales de construcción nueva**



NORMAS	CLASE I 3 000 - 8 000 TPDA <sup>(1)</sup>						CLASE II 1 000 - 3 000 TPDA <sup>(1)</sup>						CLASE III 300 - 1 000 TPDA <sup>(1)</sup>						CLASE IV 100 - 300 TPDA <sup>(1)</sup>						CLASE V MENOS DE 100 TPDA <sup>(1)</sup>					
	RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA		
	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M
Velocidad de diseño (K.P.H.)	110	100	80	100	80	60	100	90	70	90	80	50	80	60	40	80	60	40	60	50	40	60	50	40	50	40	30	40	30	20
Radio mínimo de curvas horizontales (m)	430	350	210	350	210	110	350	273	160	273	160	75	273	210	110	210	110	75	210	110	75	110	75	42	75	42	25	42	25	15
Distancia de visibilidad para parada (m)	380	160	110	160	110	70	160	133	80	133	80	33	133	110	70	110	70	40	110	70	40	70	55	40	55	40	35	40	35	25
Distancia de visibilidad para rebasamiento (m)	830	690	565	690	565	415	690	640	565	565	415	345	565	415	270	480	290	210	290	210	290	210	150	210	150	100	150	100	50	
Peralte	MÁXIMO = 10%																													
Coefficiente "K" para: <sup>(2)</sup>	MÁXIMO = 10%																													
Curvas verticales convexas (m)	80	60	28	60	28	12	60	43	19	43	28	7	43	28	12	28	12	4	28	12	4	12	7	2	12	7	4	7	4	3
Curvas verticales cóncavas (m)	43	38	24	38	24	13	38	31	19	31	24	10	31	24	13	24	13	6	24	13	6	13	10	5	10	6	5	6	5	3
Gradiente longitudinal <sup>(3)</sup> máximo (%)	3	4	6	3	3	3	4	3	4	3	4	6	4	6	7	6	7	9	7	9	5	6	8	12	5	6	8	8	6	14
Gradiente longitudinal <sup>(3)</sup> mínimo (%)	0,3%																													
Ancho de pavimento (m)	7,3	7,3		7,0		6,70		6,70		6,70		6,70		6,70		6,70		6,70		6,70		6,70		6,70		6,70		6,70		
Clase de pavimento	Carpetas Asfálticas y Homogén																													
Ancho de espaldones <sup>(4)</sup> estables (m)	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	0,5	2,0	1,5	1,0	1,0	0,5	D.T.S.B. Capa Granular o Empedrado						
Gradiente transversal para pavimento (%)	2,0																													
Gradiente transversal para espaldones (%)	2,0 <sup>(5)</sup> - 4,0																													
Curva de transición	2,0 <sup>(5)</sup> - 4,0																													
Carga de diseño	USENSE ESPECIALES CUANDO SEA NECESARIO																													
Ancho de la calzada (m)	HS - 30 - 44; HS - MOP; HS - 25'																													
Ancho de Aceras (m) <sup>(6)</sup>	0,50 m mínimo a cada lado																													
Mínimo derecho de vía (m)	SERÁ LA DIMENSION DE LA CALZADA DE LA VÍA INCLUIDOS LOS ESPALDONES																													
	Según el Art. 3° de la Ley de Caminos y el Art. 4° del Reglamento aplicativo de dicha Ley																													
	LL - TERRENO PLANO; O - TERRENO ONDULADO; M - TERRENO MONTAÑOSO																													

- 1) El TPDA indicado es el volumen promedio anual de tráfico diario proyectado a 15 - 20 años, cuando se proyecta un TPDA en exceso de 7 000 en 10 años debe investigarse la necesidad de construir una autopista. (Las normas para las secciones de la Clase I, con velocidad de diseño de 10 K.P.H. más para clase de terreno - ver secciones transversales típicas para más detalles. Para el diseño definitivo debe considerarse el número de vehículos equivalentes.
- 2) Longitud de las curvas verticales:  $L = K \cdot A$ , en donde K = coeficiente respectivo y A = diferencia algebraica de gradientes, expresado en tanto por ciento. Longitud mínima de curvas verticales:  $L_{mín} = 0,80 \cdot V$ , en donde V es la velocidad de diseño expresada en kilómetros por hora.
- 3) En longitudes cortas menores a 500 m, se puede aumentar el gradiente en 1% en terrenos ondulados y 2% en terrenos montañosos, solamente para las carreteras de Clase I, II y III. Para Caminos Vecinales (Clase IV) se puede aumentar el gradiente en 1% en terrenos ondulados y 3% en terrenos montañosos, para longitudes menores a 750 m.
- 4) Se puede adoptar un gradiente longitudinal de 0% en refuerzo de 1 m, a 8 m, de altura, previo análisis y justificación.
- 5) Espaldón pavimentado con el mismo material de la capa de rodadura de la vía. (Ver Secciones Típicas en Normas). Se ensanchará la calzada 0,50 m más cuando se prevé la instalación de guarda caminos.
- 6) Para espaldones pavimentados con el mismo material de la capa de rodadura de la vía.
- 7) En los casos en los que haya bastión de peñones, usense dos aceras completas de 1,20 m de ancho.
- 8) Para tramos largos con este ancho, debe ensancharse la calzada a intervalos para proveer refugios de encuentro vehicular.
- 9) Para los caminos Clase IV y V, se podrá utilizar  $V_0 = 20$  Km/h y  $R = 15$  m siempre y cuando se trate de aprovechar infraestructuras existentes y relieve difícil (escarpado).

NOTA: Las Normas anotadas "Recomendables" se emplearán cuando el TPDA es cerca al límite superior de las clases respectivas o cuando se puede implementar sin incurrir en costos de construcción. Se puede variar algo de las Normas Absolutas para una determinada clase, cuando se considere necesario el mejorar una carretera existente siguiendo generalmente el trazado actual.

MOP - Jss

## **ANEXO B**

**Unidad de pesos y dimensiones**

**Comunicado**



**MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS**  
**SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTE TERRESTRE Y FERROVIARIO**  
**UNIDAD DE PESOS Y DIMENSIONES**

**COMUNICADO A LOS SEÑORES TRANSPORTISTAS DE CARGA PESADA, EMPRESAS QUE GENERAN CARGA, PUERTOS MARÍTIMOS Y TERRESTRES, ADUANAS, ENCARGADOS DE CONTROL DE TRANSPORTE TERRESTRE Y AFINES.**

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas Informa a los Señores Transportistas de Carga Pesada, Empresas Generadoras de Carga y Público en General, que en cumplimiento a la Ley de Caminos y su Reglamento Aplicativo, que se encuentra efectuando el control de pesos y dimensiones a los vehículos que transportan carga pesada y hacen uso de las carreteras de la red vial del País.

En vista de que algunos vehículos de carga, Incumpelen lo tipificado en los documentos citados anteriormente, causando por este motivo la destrucción de la red vial nacional, y tomando en cuenta el proceso de socialización con los sectores productivos, se considera que **a partir del 30 de junio del 2009**, se realizará un estricto control a los vehículos de carga pesada en las estaciones de pesaje que tiene el MTOP en el País, de acuerdo al siguiente CUADRO DEMOSTRATIVO DE PESOS Y DIMENSIONES MÁXIMAS PERMITIDAS:

CUADRO DEMOSTRATIVO DE PESO BRUTO VEHICULAR Y LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS							
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESOS MÁXIMOS PERMITIDOS (T)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (m)			
				LARGO	ANCHO	ALTO	
20A			10	7,50	2,60	3,50	
20B			17	12,00	2,60	4,10	
3-A			26	12,20	2,60	4,10	
4-C			30	12,20	2,60	4,10	
4-0 OCTUBRES			32	12,00	2,60	4,10	
2S1			28	18,50	2,60	4,10	
2S2			37	18,50	2,60	4,10	
2S3			41	18,50	2,60	4,10	
3S1			37	18,50	2,60	4,10	
3S2			46	18,50	2,60	4,10	
3S3			48	18,50	2,60	4,10	
2R2			39	18,50	2,60	4,10	
2R3			48	18,50	2,60	4,10	



**MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS**  
**SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTE TERRESTRE Y FERROVIARIO**  
**UNIDAD DE PESOS Y DIMENSIONES**

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (t)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (m)		
				LARGO	ANCHO	ALTO
3R2			48	18,50	2,60	4,10
3R3			48	18,50	2,60	4,10

11-1000 kg

De igual manera el MTOP informa que se otorgará el **Certificado de Operación Especial por Dimensiones**, a los vehículos de carga pesada que excedan las siguientes dimensiones:

Ancho:	Longitud:	
2,60 m	Camión con 2 ejes	12,00m
	Camión con 3 y 4 ejes	12,20m
4,10 m	Combinaciones de bedo-camión y semi-remolque y de camión remolque independientemente del número de ejes y de su distribución.	18,50m
	Remolque (Carrocera)	10,00m
	Remolque balanceado (Carrocera)	10,00m
	Semi-Remolque (Carrocera)	13,00m

En caso de sobrepasar la carga permitida de 48 toneladas, por cada vehículo se tendrá que tramitar adicionalmente el **Certificado Especial por Carga**, el cual tendrá la duración de (8) días o en su caso (1) solo viaje

Costo por Certificado Especial (Carga o Dimensiones):	US \$ 100,00
Duración Certificado Especial por Dimensiones:	30 días
Duración Certificado Especial por exceso de carga:	8 días o 1 viaje

Las ciudades en donde se pueden realizar los trámites son las siguientes:

<b>Quito</b>	Edificio del MTOP, avenida Orfina y Juan León Mera, piso 14 Teléfono: (02) 227-453	<b>Portoviejo</b>	Subsecretaría MTOP, Andrés de Vesa - vía a Manta Teléfono: (05) 2939-535
<b>Guayaquil</b>	Subsecretaría MTOP, Ministerio del Interior, avenida Francisco de Orellana, piso 7. Teléfono: (04) 2684-481 Ext. 2718	<b>Machala</b>	Edificio del Correo, Juan Montalvo y Bolívar Teléfono: (07) 2930-526 Ext. 905
<b>Tulcan</b>	Edificio del CENAF, puente Rumsichaca (frontera norte) Teléfono: (06) 2986-588	<b>Cuenca</b>	Subsecretaría MTOP, Teléfono: (07) 2889-427 (Próximamente)

Los pesos y dimensiones normados deberán respetarse según el tipo de vehículo; las empresas que generen carga no pueden obligar al transportista a excederse en los pesos y dimensiones permitidas.

Atentamente,

Ing. Fernando Amador Arosemena  
 SUBSECRETARIO DE TRANSPORTE TERRESTRE Y FERROVIARIO

## **ANEXO C**

**Factores modificadores de la carga de viento**

Velocity Pressure Exposure Coefficients,  $K_h$  and  $K_z$

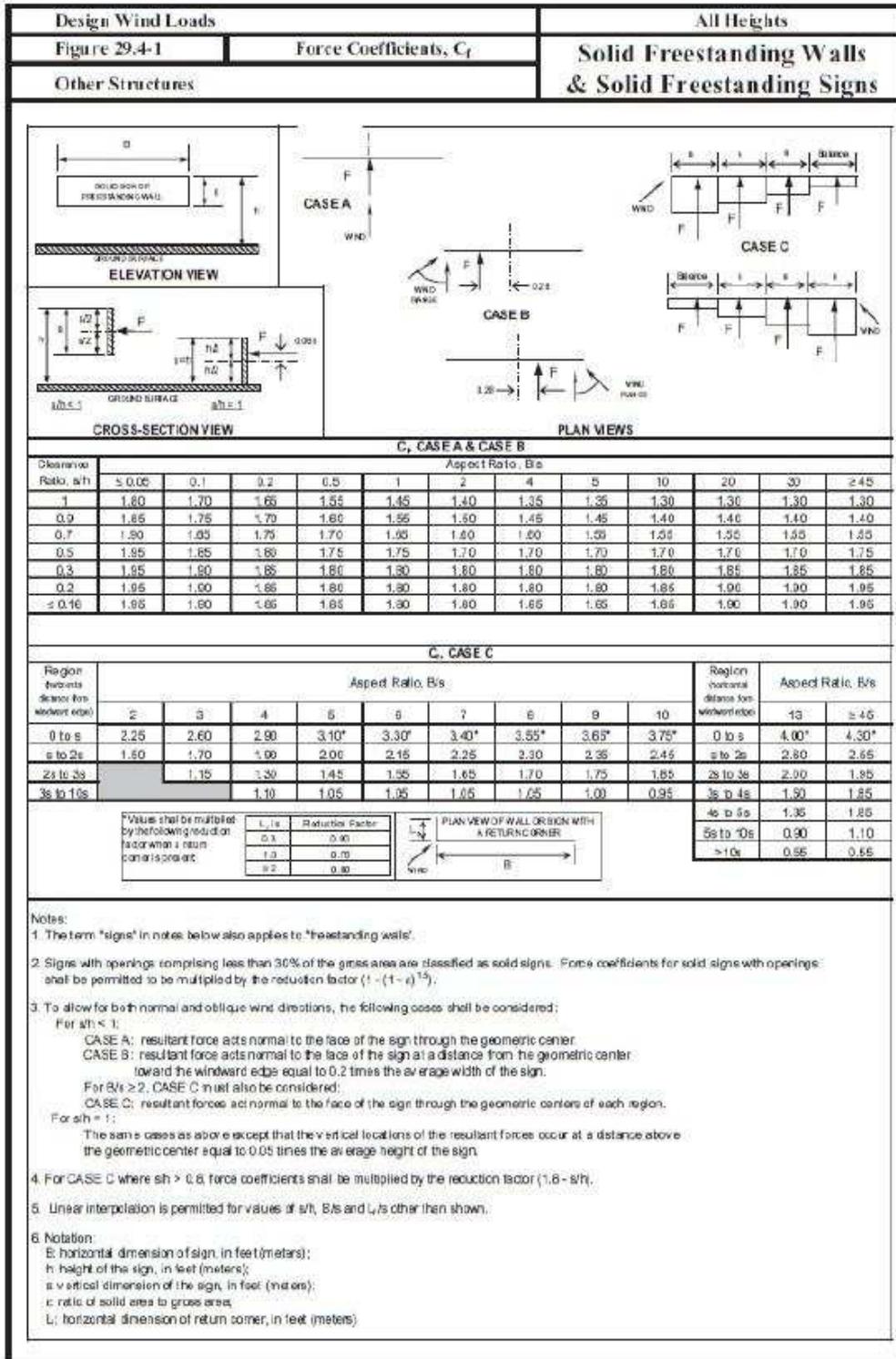
Table 29.3-1

Height above ground level, z		Exposure		
		B	C	D
ft	(m)			
0-15	(0-4.6)	0.57	0.85	1.03
20	(6.1)	0.62	0.90	1.08
25	(7.6)	0.66	0.94	1.12
30	(9.1)	0.70	0.98	1.16
40	(12.2)	0.76	1.04	1.22
50	(15.2)	0.81	1.09	1.27
60	(18)	0.85	1.13	1.31
70	(21.3)	0.89	1.17	1.34
80	(24.4)	0.93	1.21	1.38
90	(27.4)	0.96	1.24	1.40
100	(30.5)	0.99	1.26	1.43
120	(36.6)	1.04	1.31	1.48
140	(42.7)	1.09	1.36	1.52
160	(48.8)	1.13	1.39	1.55
180	(54.9)	1.17	1.43	1.58
200	(61.0)	1.20	1.46	1.61
250	(76.2)	1.28	1.53	1.68
300	(91.4)	1.35	1.59	1.73
350	(106.7)	1.41	1.64	1.78
400	(121.9)	1.47	1.69	1.82
450	(137.2)	1.52	1.73	1.86
500	(152.4)	1.56	1.77	1.89

Notes:

- The velocity pressure exposure coefficient  $K_z$  may be determined from the following formula:  
 For  $15 \text{ ft.} \leq z \leq z_g$  For  $z < 15 \text{ ft.}$   

$$K_z = 2.01 (z/z_g)^{2/\alpha}$$
  $K_z = 2.01 (15/z_g)^{2/\alpha}$
- $\alpha$  and  $z_g$  are tabulated in Table 26.9.1.
- Linear interpolation for intermediate values of height  $z$  is acceptable.
- Exposure categories are defined in Section 26.7.





## **ANEXO D**

**Resultados de la simulación estática en el programa Autodesk Inventor**

# Autodesk®

## Informe de análisis de tensión

### ▣ Propiedades físicas

Masa	9167,92 kg
Área	254406000 mm <sup>2</sup>
Volumen	3.5536E+009 mm <sup>3</sup>
Centro de gravedad	x=-474,623 mm y=87,7836 mm z=2779,72 mm

### Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de simulación	Análisis estático
Fecha de la última modificación	25/02/2012, 2:38
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	No
Separar tensiones en superficies de contacto	No
Análisis de cargas de movimiento	No

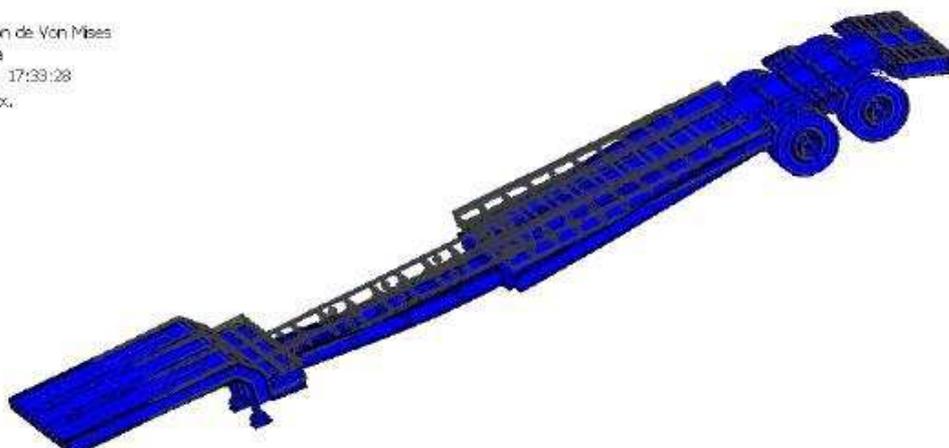
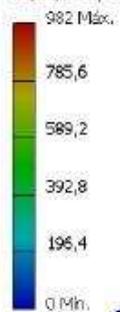
### Configuración avanzada:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

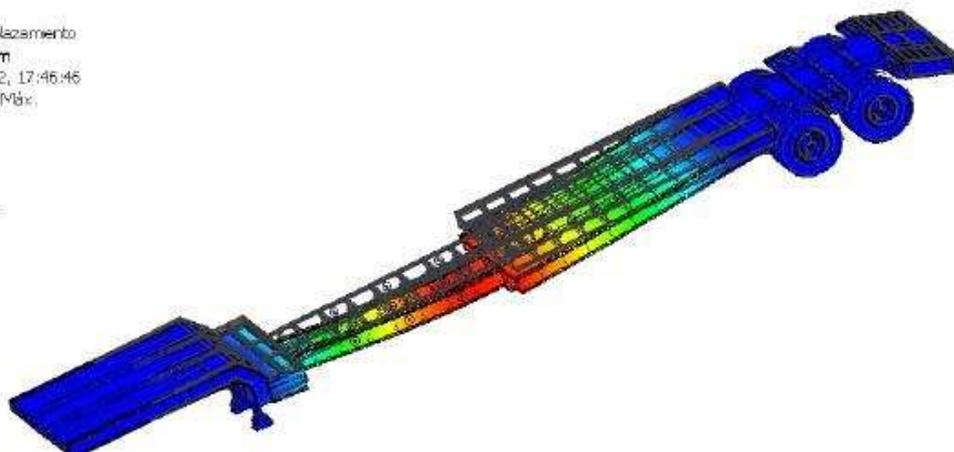
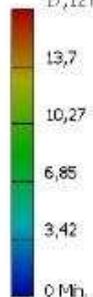
### ▣ Material(es)

Nombre	Acero dulce	
General	Densidad de masa	7,86 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	220 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,275 su
	Módulo cortante	86,2745 GPa
Tensión térmica	Coefficiente de expansión	0,000012 su/c
	Conductividad térmica	56 W/( m K )
	Calor específico	460 J/( kg c )

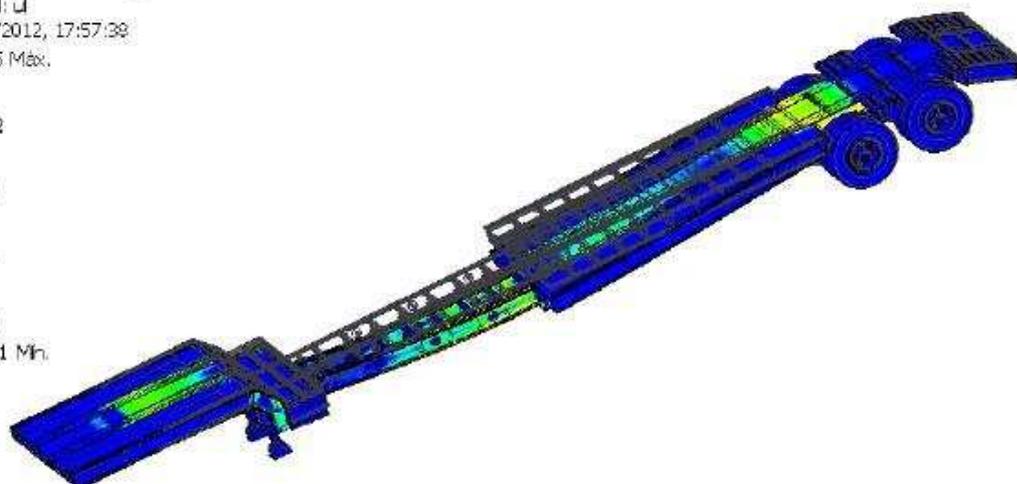
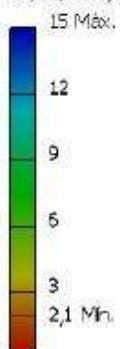
Tipo: Tensión de Von Mises  
Unidad: MPa  
08/04/2012, 17:33:28



Tipo: Desplazamiento  
Unidad: mm  
08/04/2012, 17:46:46  
17,12 Máx.



Tipo: Coeficiente de seguridad  
Unidad: 1  
08/04/2012, 17:57:38

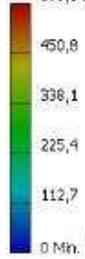


Tipo: Tensión de Von Mises

Unidad: MPa

08/04/2012, 18:37:11

563,5 Max.

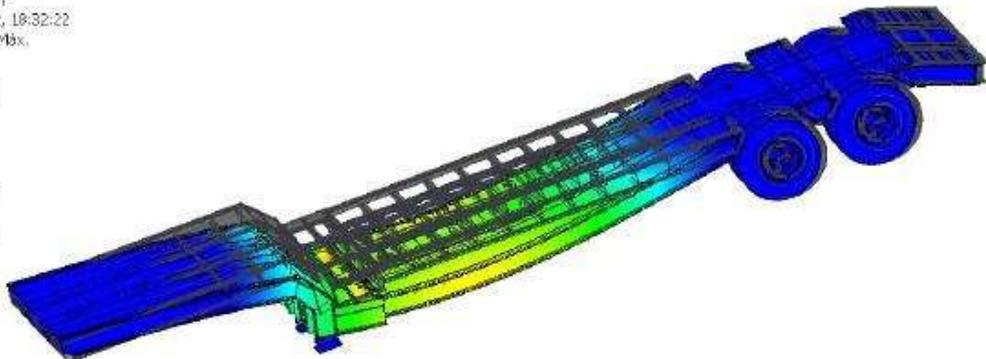
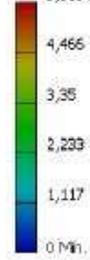


Tipo: Desplazamiento

Unidad: mm

08/04/2012, 18:32:22

5,583 Max.

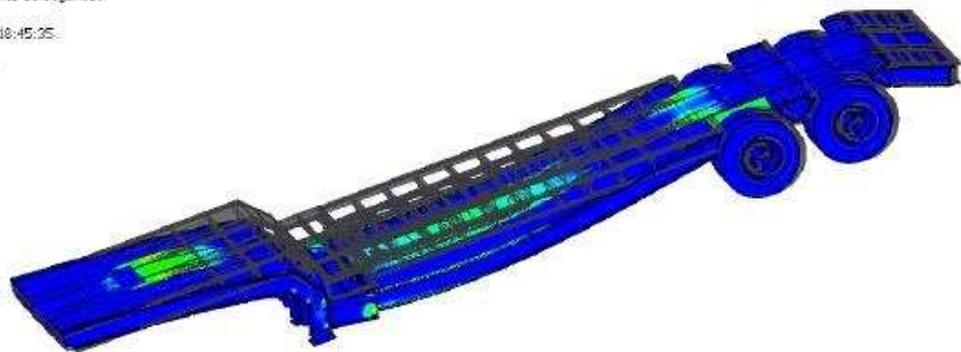
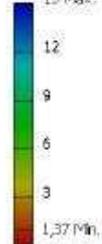


Tipo: Coeficiente de seguridad

Unidad: J

08/04/2012, 18:45:25

15 Max.



## **ANEXO E**

**Especificaciones de Perfiles, Ángulos y Planchas**


**ESPECIFICACIONES GENERALES**

Largo Standard: 6 m  
 Espesor: Según dimensiones  
 Recubrimiento: Negro  
 Calidad del acero: ASTM A-36  
 DIN 17100 ST 37.2

**APLICACIONES**

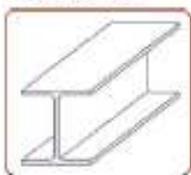
- Estructuras
- Soporte de polipaste en puentes grúas o techos
- Puentes
- Rieles

**NORMA INTERNA**

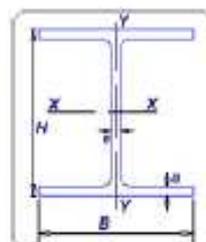
**UPN**  
 Longitud: -0  
 +100  
 Dimensiones acorde: DIN 1025

**HEB**  
 Longitud: -0  
 +100  
 Dimensiones acorde: DIN 1025-2

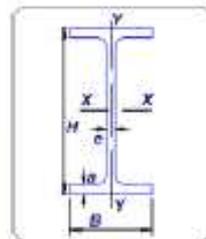
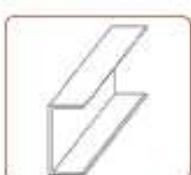
**IPE**  
 Longitud: -0  
 +100  
 Dimensiones acorde: DIN 1025-5

**VIGAS HEB**


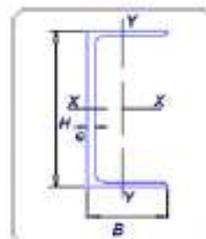
Descrip.	Altura	Ancho ala	Esp. ala	Esp. Alma	Peso	Peso	Wx	Wy
	H	B	e	e	P	P	cm3	cm3
	mm	mm.	mm.	mm.	kg/m	kg/6m		
HEB 100	100	100	10	6	20,4	122,4	90	33
HEB 160	160	160	13	8	42,6	255,6	311	111
HEB 200	200	200	15	9	61,3	367,8	570	200
HEB 240	240	240	17	10	83,2	499,2	938	327
HEB 300	300	300	19	11	117	702	1680	571


**VIGAS IPE**


Descrip.	Altura	Ancho ala	Esp. ala	Esp. Alma	Peso	Peso	Wx	Wy
	H	B	e	e	P	P	cm3	cm3
	mm	mm.	mm.	mm.	kg/m	kg/6m		
IPE 100	100	55	5,7	4,1	8,1	48,6	34,2	5,79
IPE 120	120	64	6,3	4,4	10,4	62,4	53	8,68
IPE 160	160	82	7,4	5	15,8	77,4	109	16,7
IPE 200	200	100	8,5	5,6	22,4	134,4	194	28,5
IPE 240	240	120	9,8	6,2	30,7	184,2	324	47,3
IPE 300	300	150	10,7	7,1	42,2	253,2	557	80,5

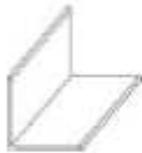

**VIGAS UPN**


Descrip.	Altura	Ancho ala	Esp. ala	Esp. Alma	Peso	Peso	Wx	Wy
	H	B	e	e	P	P	cm3	cm3
	mm	mm.	mm.	mm.	kg/m	kg/6m		
UPN 80	80	45		6	8,64	51,84	26,5	6,36
UPN 100	100	50		6	10,6	63,6	41,2	8,49
UPN 120	120	55		7	13,4	80,4	60,7	11,1
UPN 160	160	65		7,5	18,8	112,8	116	18,3
UPN 180	180	70		8	22	132	150	22,4
UPN 200	200	75		8,5	25,3	151,8	191	27
UPN 240	240	85		9,5	33,2	199,2	300	39,6
UPN 300	300	100		10	46,2	277,2	535	67,8





## Laminados: Angulos



### ESPECIFICACIONES GENERALES

Calidad del acero: DIN 17100  
 ST 37-2  
 ASTM A-36

Medidas: 20 - 100 mm  
 Espesor: 3 - 12 mm



### NORMA INTERNA

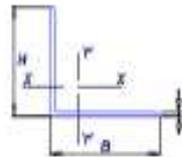
Dimensiones y Tolerancia:  
 Bajo Norma: DIN 1028  
 Longitud: -0 mm  
 +100 mm

Propiedades de Angulos Laminados

DESCRIPCION	PESO		AREA	
	kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>
Al 20x3	5.28	1.13		
Al 25x3	6.72	1.43		
Al 25x4	8.67	1.86		
Al 30x3	8.16	1.74		
Al 30x4	10.58	2.27		
Al 40x3	11.04	2.35		
Al 40x4	14.52	3.08		
Al 40x5	17.82	3.79		
Al 40x6	20.91	4.48		
Al 50x3	13.98	2.96		
Al 50x4	16.36	3.89		
Al 50x5	22.52	4.8		
Al 50x6	26.82	5.89		
Al 60x6	32.52	6.91		
Al 65x6	35.04	7.55		
Al 70x6	36.28	8.13		
Al 75x6	40.89	8.66		
Al 80x6	57.78	12.3		
Al 100x6	54.82	11.78		
Al 100x8	73.2	15.5		
Al 100x10	90	19.2		
Al 100x12	106.8	22.7		

### APLICACIONES

- Tonos metálicos
- Muebles metálicos
- Carpintería Metálica




**ESPECIFICACIONES GENERALES**

Laminado en caliente:  
 ASTM A 570 Gr 36  
 ASTM A 36  
 ASTM A 283 Gr C  
 ASTM A 588 Gr A  
 ASTM A 131 Gr A  
 ASTM A 516 Gr 70


**NORMA INTERNA**

Espesor: 2 mm - 75 mm  
 (laminado en caliente)  
 Desviación: 1,50 x e  
 Longitud: - 0 mm  
 + 10,00 mm  
 Ondulación: 10,00 mm de amplitud  
 máxima

**APLICACIONES**

- Conformación de estructuras en general con elementos de alma llena (Rejes)
- Fabricación de tanques
- Estructuras de puentes
- Estructuras de barcos
- Camisas de pilotes
- Encofrados
- Placas
- Contención de tierras
- Plataformas
- Calderos
- Tubería de grandes diámetros

**PROPIEDADES MECÁNICAS**

Calidad	Fy	Fu (mín-max)	Elong.
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
A-570 Gr. 36	250	400 - 550	20 / 21
A-36	250	400 - 550	20 / 21
A-283 Gr. C	205	380 - 515	22 / 25
A-131 Gr. A	235	400 - 490	21 / 24
A-588 Gr. A	345	485 - 580	18 / 21
A-516 Gr. 70	280	485 - 620	17 / 21

**PROPIEDADES QUÍMICAS**

Calidad	C	Mang.	Phosp	Sulfur	Silicon	Copper
	max.	max.	max.	max.	max.	min.
A-570 Gr. 36	0,25	0,80 - 1,20	0,04	0,05	0,4	0,02
A-36	0,25	0,80 - 1,20	0,04	0,05	0,4	0,02
A-283 Gr. C	0,24	0,9	0,04	0,04	0,15 - 0,40	0,02
A-131 Gr. A	0,23	0,80 - 1,10	0,04	0,04		
A-588 Gr. A	0,19	0,80 - 1,25	0,04	0,05	0,30 - 0,65	0,25 - 0,40
A-516 Gr. 70	0,27	0,85 - 1,20	0,04	0,04	0,15 - 0,40	

**TABLA DE PESOS APROXIMADOS**

ESPESOR	PLANCHAS (Kg)	
	mm	1,220 x 2,440 mm
2,00		46,74
3,00		70,10
4,00		93,47
5,00		116,84
6,00		140,21
8,00		186,94
10,00		233,68


**■ ESPECIFICACIONES GENERALES**

Laminado en frío: ASTM A 366 Tipo B  
 JIS G 3141 SPCC - 50  
 SAE 1010

Observaciones: Otras dimensiones previa consulta.


**■ NORMA INTERNA**

Espesor: 0.35 mm - 2.00 mm  
 Longitud: - 0 mm  
 + 3 mm  
 Descuadre:  $1.50 \times \text{diagonal nominal} > \text{diagonal mayor} - \text{diagonal menor}$   
 1000  
 Ondulamiento: 10 mm de amplitud máxima

**■ APLICACIONES**

- Muebles metálicos en general
- Puertas metálicas
- Carpintería metálica
- Tanque para almacenamiento de aceite
- Tanques de exportación de frutas
- Baldes para camionetas
- Partes y piezas metálicas (abrazaderas, de línea blanca, etc)
- Rótulos
- Señalización de tránsito
- Cajas fúnebres
- Autopartes

**■ TABLA DE PESOS APROXIMADOS**

ESPESOR mm	PESO APROX. POR PLANCHAS (Kg)	
	1,220 x 2,440 mm	1,000 x 2,000 mm
0.40	9.35	6.28
0.45	10.52	7.07
0.50	11.68	7.85
0.55	12.85	8.64
0.60	14.02	9.42
0.70	16.36	10.99
0.75	17.53	11.78
0.90	21.03	14.13
1.10	25.70	17.27
1.40	32.72	21.96

## **ANEXO F**

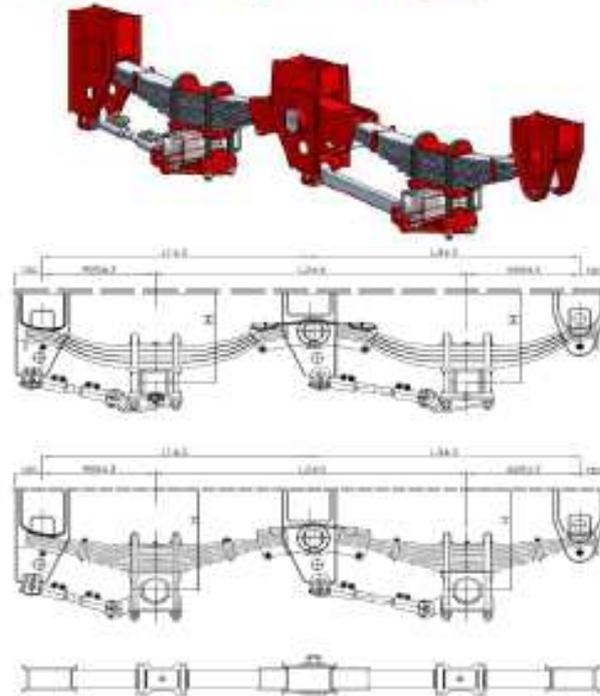
**Catálogos de accesorios seleccionados**



## SUSPENSIONES / SUSPENSIONS

**Susp. Mecánicas : Mod. Europa II 13-16 t**

*Susp. Mécaniques : Mod Europa II 13-16 t*



**Especificaciones suspensiones Mod. Europa II 13-16 t**

*Spécifications suspensions Mod. Europa II 13-16 t*

Modelo	105 (kn/A) Max. Capacidad(kg)	Distancia entre ejes L1 (mm.)	L1 (mm.)	L2 (mm.)	Altura sin Carga H (mm.)	Tipo de balancín	Peso (kg)
Modelo	105 (kn/A) Max. Capacidad(kg)	Distancia entre Ejes L2 (mm.)	L1 (mm.)	L2 (mm.)	Hauteur sans charge H (mm.)	Type de ressort	Poids (kg)
213EPH442/130	2 x 13000	1300	1130	1100	440	DP 4H 90x25	- 275
213EMH400/130	2 x 13000	1300	1130	1100	400	MULTI 104 90x13	- 275
213EPH442/136	2 x 13000	1300	1100	1190	440	DP 4H 90x25	- 275
213EMH400/136	2 x 13000	1300	1100	1190	400	MULTI 104 90x13	- 275
213EMH600/136	2 x 13000	1300	1100	1190	600	DP 4H 90x25	- 275
216EMH400/136	2 x 16000	1300	1100	1190	400	MULTI 121 90x13	- 275
216EMH600/136	2 x 16000	1300	1100	1190	600	MULTI 121 90x13	- 275

Todos los modelos están disponibles para vehículos de 1...2...3 ejes

Tous les modèles sont disponibles pour véhicules de 1...2...3 essieux

Todos los modelos están disponibles para ejes redondos o cuadrados de diferentes medidas

Tous les modèles sont disponibles pour essieux ronds ou carrés de différentes dimensions

Otras alturas, o distancias entre ejes: consultar el departamento técnico

Pour d'autres hauteurs de travail ou distances entre essieux : consulter le département technique

**H** **APPLICATION**  
**GUIDE**  
HENDRICKSON TRAILER AXLE

LIT NO: L980

DATE: August 2011

REVISION: B

---



---

**H** **HENDRICKSON**  
*The World Rides On Us®*



AXLE BEAM CAPACITIES

Table A

AXLE BEAM CAPACITIES IN POUNDS (unless otherwise noted)						
SPINDLE TYPE	SPINDLE GRAPHIC	RECOMMENDED AXLE USE	APPLICATION	SUSPENSION	AXLE DIAMETER	5/8" NOM. WALL 5/8" HD WALL 3/4" SOLID BAR
HN (D22)		On / Off Hwy	Dry Van, Reefers, Vocational (Flats, Dumps, Autohaulers, Tanks, Lowboys)	Mechanical Spring	5" round	Up to 22,500 Up to 25,000 Up to 25,400 Up to 27,000 N/A
				Air Ride	5" round	Not allowed Up to 22,500 Up to 23,000 Up to 25,000 N/A
HP (P22)		On / Off Hwy	Dry Van, Reefers, Vocational (Flats, Dumps, Autohaulers, Tanks, Lowboys), super singles w/ offset wheels	Mechanical Spring	5" round	Up to 22,500 Up to 25,000 Up to 25,400 Up to 27,000 N/A
				Air Ride	5" round	Not allowed Up to 22,500 Up to 23,000 Up to 25,000 N/A
K22		On / Off Hwy	Heavy Haul, Trunnion Applications, typically very long track or very short track lengths	Mechanical Spring	5" round	Up to 22,500 Up to 25,000 Up to 25,400 Up to 27,000 N/A
				Air Ride	5" round	Not allowed Up to 22,500 Up to 23,000 Up to 25,000 N/A
K30		On / Off Hwy	Mining, Oil Field, Logging, Off-Road	Walking beam	5" round	Up to 22,500 Up to 25,000 Up to 25,400 Up to 27,000 N/A
				Trunnion	5" round	Up to 22,500 Up to 25,000 Up to 25,400 Up to 27,000 N/A
A45 / A65		On / Off Hwy	Mining, Oil Field, Low Speed Transport (Steel yards, Meitras, etc.)	Mechanical Spring	LDA	N/A Up to 30,000 N/A
				Mechanical Spring, Walking Beam, Solid Mount	LDA / Solid	N/A N/A N/A N/A Up to 45,000
T24		On Hwy	Lift axles on Track Applications	Mechanical Spring	5" round	Up to 22,500 Up to 25,000 Up to 25,400 N/A
				Air Ride	5" round	Not allowed Up to 22,500 Up to 23,000 N/A
D10		On Hwy	Lift Suspensions for Pusher and Tog Axles (Single Wheel)	Mechanical Spring	5" round	N/A
				Air Ride	5" round	10,000 to 12,000 - based on Wheel End N/A
BENT		On Hwy	Liquid and Dry Bulk Tanks, Pusher Axles (ahead of Fixed Drive Axles)	Mechanical Spring	5" round	N/A Up to 20,000 Up to 20,000 N/A
				Air Ride	5" round	N/A Up to 20,000 Up to 20,000 N/A
Stub Axles D10 / T24 / HN / HP / K30		On / Off Hwy	Conveyor Systems, Wood Chippers, Log Chippers, Special Low Body Vehicles, Self-Steer Axles	Solid Mount	5" round	D10 - 5,000 to 6,000 - Based on Spindle / Wheel End HN / HP / T24 - 11,000 to 12,500 - Based on Spindle / Wheel End K30 - 12,500 to 15,000 - Based on Spindle / Wheel End
				Trunnion Mount Specialized	5" round	N/A



## BEARING INFORMATION

The table shown below provides a summary of the bearings used on Hendrickson trailer axles. Information also included in this table are bearing industry standard numbers and dimensional information.

AXLE MODEL	BEARING SURFACE	INDUSTRY STANDARD NUMBER CUP	INDUSTRY STANDARD NUMBER CONE	OVERALL WIDTH (in.)	OUTER DIAMETER (in.)	INSIDE BORE (in.)
A45	Inner	772	787	1.875	7.125	4.125
	Outer	6535	6580	2.125	6.375	3.500
A65	Inner	892	896	2.250	9.000	5.375
	Outer	6535	6580	2.125	6.375	3.500
D10	Inner	28920	28995	1.000	4.000	2.470
	Outer	25523	25580	1.063	3.625	1.750
HN (D22)	Inner	HM218210	HM218248	1.575	5.787	3.542
K22, S22	Outer	HM212011	HM212049	1.500	4.813	2.625
HP (P22)	Inner	HM518410	HM518445	1.563	6.000	3.501
	Outer	HM518410	HM518445	1.563	6.000	3.501
K30, S30	Inner	752	759	1.875	6.375	3.500
	Outer	742	740	1.750	5.909	3.188
T24	Inner	592A	594A	1.563	6.000	3.750
	Outer	572	580	1.438	5.512	3.250

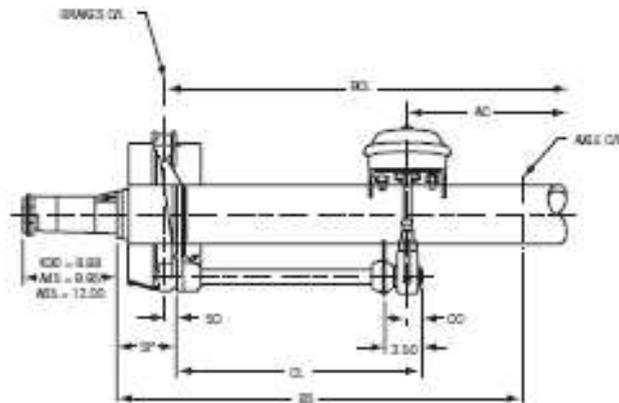
Table B

# HENDRICKSON TRAILER AXLE

## K30 / A45 / A65 SERIES TRAILER AXLE SPECIFICATIONS

LIT NO: L1113

DATE: December 2008



### WHERE

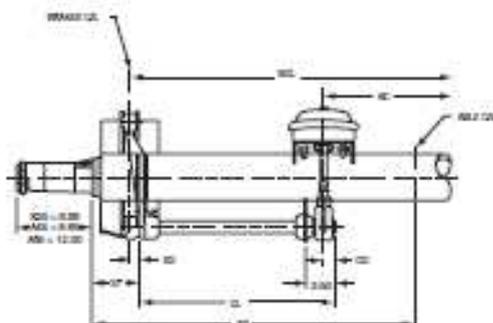
- |  |  |
|--|--|
| <b>AC</b> Air chamber centerline to centerline   | <b>SO</b> Spider offset (centerline of anchor pin holes to face of cam boss): 1.17" for the 16.5" and 18" brakes, 1.42" for the 20" brakes |
| <b>BCL</b> Brake centerline to brake centerline  | <b>SP</b> Spider placement (determines position of brake shoes in drum)  |
| <b>BS</b> Inner bearing shoulder to shoulder   | <b>SW</b> Spacer width (spoke wheels)  |
| <b>BW</b> Bearing width (cup and cone assembled)   | <b>TR</b> Track (centerline of left-hand tires to centerline of right-hand tires)  |
| <b>CL</b> Cam under head length  | <b>TW</b> Tire width (loaded)  |
| <b>CO</b> Distance from end of cam to slack centerline: 1.38" for 16.5" and 18" brakes, 1.62" for 20" brakes | <b>W</b> Tube wall thickness   |
| <b>DT</b> Wheel disc thickness   | <b>X</b> End of S-cam to mounting face of S-cam bracket: 3.50" for 16.5" and 18" brakes, 4.12" for 20" brakes                              |
| <b>HF</b> Hub face to hub face = $BS + 2(BW + B)$  |  |
| <b>ID</b> Inside of brake drum to brake drum dimension   |  |
| <b>OW</b> Overall width (outside left tire to outside right tire)  |  |
| <b>RO</b> Rim offset (negative for single inset wheels)  |  |

### WHEEL BEARINGS

Model	Location	Industry Part No. Cone / Cup	BW
K30	Inner	759/752	1.875"
	Outer	740/742	1.750"
A45	Inner	787/772	1.875"
	Outer	6580/6535	2.125"
A65	Inner	896/892	2.250"
	Outer	6580/6535	2.125"

**HENDRICKSON**  
*The World Rides On Us*

## K30/A45/A65 SERIES TRAILER AXLE SPECIFICATIONS



### CALCULATIONS

$$\text{Air Chamber CL to CL: } AC = BS - 2(SP + CL - CD)$$

$$\text{Spider Placement: } SP = D - BW + SD - (G/2)$$

$$\text{Cam Shaft Length: } CL = (BS - AC)/2 + CD - SP$$

$$\text{For Disc Wheels: } TR = BS + 2(BW + B + DT)$$

$$ID = TR - 2(DT + B + D)$$

$$\text{Dual OW} = TR + 2(RO) + TW$$

$$\text{Single OW} = HF + 2(RO) + TW$$

$$\text{For Spoke Wheels: } TR = BS + 2(BW + C)$$

$$ID = TR - 2(C+D)$$

$$\text{Dual OW} = TR + 2(RO) + TW + SW$$

$$\text{Single OW} = \text{Contact Hendrickson}$$

$$\text{Application Engineering}$$

Axle Model	Maximum Rating <sup>1</sup>	Tube Size and W	STD		Air Brake Size	SP	BCL <sup>3</sup>	Air Chamber CL/CL		Wheels	Hubs
			TR <sup>2</sup>	BS <sup>2</sup>				AC <sup>2</sup>	CL		
K30	30,000 lbs.	5.75 x .625	70.5"	62.75	16.5 x 7 18 x 7	4.62	55.85	21.02	17.625	N/A	10 stud-11 1/4" B.C. 10 stud (HD)-11 1/4" B.C. 10 stud-13 3/16" B.C. 10 stud (HD)-13 3/16" B.C.
					16.5 x 7 18 x 7	5.75	53.59	18.76	17.625	20" - 6 spk. 24" - 6 spk.	N/A
A45	45,000 lbs.	5.75 SOLID	88.0"	76.38	16.5 x 7 18 x 7 20 x 8	4.25	70.22	35.39	17.625	N/A	10 stud-11 1/4" B.C. 10 stud (HD)-11 1/4" B.C. 10 stud-13 3/16" B.C. 10 stud (HD)-13 3/16" B.C.
					16.5 x 7 18 x 7	5.00	68.72	33.89	17.625	24" - 6 spk.	
A65	65,000 lbs.	6.00 SOLID	88.0"	79.25	20 x 8 20 x 8	7.00 7.56	65.10 66.85	24.39 26.12	20.625 20.625	24" - 6 spk. N/A	N/A 10 stud (HD)-13 3/16" B.C.

### NOTES (all dimension in inches):

- Maximum rating is for on-highway use with standard spring suspensions and spring centers 33 inches less than track on K30 models and 38 inches less than track on A45 and A65 models combined with the maximum brake size. For ratings at other spring centers or smaller brake sizes, contact Hendrickson Application Engineering.
- Other track lengths available up to 120 inches.
- The dimensions are based on the standard track length. For tracks other than standard add or subtract the corresponding track difference to the stated dimension.

# Modul CF

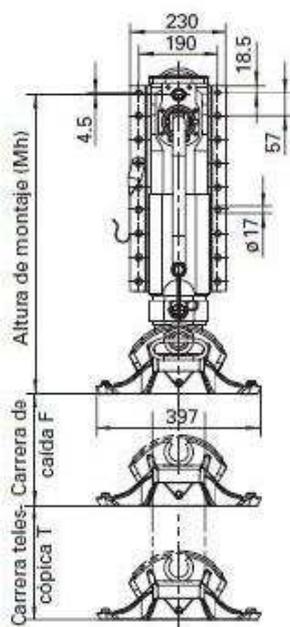
## Patas de caída con carrera telescópica

### Resumen de las principales ventajas

- Carrera máxima con altura de montaje reducida
- Diseño compacto

### Peculiaridades técnicas

- Carrera de caída adicional
- Placa de fijación continua
- Tubo exterior reforzado



### Tabla de selección

Nº de ref.	Mh	Carrera telescópica			Placa de fijación	Apoyo
		F	T	tot.		
CF142410000						S
CF142430000	92,5	470	430	900	continua	A
CF142440000						T
CF142460000	87,5					TC
CF143410000						S
CF143430000	87,5	420	400	820	continua	A
CF143440000						T
CF143460000	82,5					TC
CF144410000						S
CF144420000	82,5	370	380	750	continua	A
CF144440000						T
CF144460000	77,5					TC
CF145410000						S
CF145420000	77,5	320	330	650	continua	A
CF145440000						T
CF145460000	72,5					TC
CF146410000						S
CF146420000	72,5	270	280	550	continua	A
CF146440000						T
CF146460000	67,5					TC
CF147410000						S
CF147420000	67,5	220	230	450	continua	A
CF147440000						T
CF147460000	62,5					TC
CF148410000						S
CF148420000	62,5	170	180	350	continua	A
CF148440000						T
CF148460000	57,5					TC

### Datos de carga (por juego)

Modul CF	
Carga de elevación	24 t
Carga de prueba estática	50 t
Recorrido por cada vuelta de manivela	
- Marcha de carga	0,9 mm
- Marcha rápida	15,0 mm
Presión sobre cada manivela para una carga de elevación de 16 t	210 N

### Observación:

Les rogamos que soliciten por separado las manivelas y los árboles de transmisión (números de pedido en la página 2).

# HSR

## CARACTERÍSTICAS:

- Banda de rodamiento con canales anchos y abiertos.
- Láminas intermedias de estructura fina.
- Rib central doble estabilizador.
- Posee dos surcos circunferenciales.



## BENEFICIOS:

- La distribución de la presión de contacto permite el máximo rendimiento, y una alta resistencia a mayor carga.
- Neumático diseñado para soportar altas presiones.
- Mayor protección contra la incrustación de piedras.
- Mayor adherencia, óptima y segura.

### AROS Y DIMENSIONES PARA LLANTAS

Medida	Ancho Sección (mm)	Diámetro Externo (mm)	Profundidad de Diseño (mm)	Índice Carga/Vel.
9.00R20	258	1018	14	140/137 K
10.00R20	275	1052	14	146/143 K
11.00R20	286	1082	14	150/146 K
12.00R20	313	1122	14	154/150 K
11R22.5	271	1050	14	148/145 L
	279	1050	14	148/145 L
12R22.5	292	1084	14	152/148 L
	300	1084	14	152/148 L

### TABLA DE CARGA Y PRESIÓN DE AIRE

Medida Llanta	PR	Ind.Carga	ARO (pulg)	Presión de Aire (Lbs/pulg 2)									
				65	73	80	87	94	102	109	116	123	
900R20	14	140	7.00	3615	3900	4185	4460	4730	5000				
		137		6650	7180	7695	8205	8705	9200				
10.00R20	16	146	7.50	4120	4445	4770	5080	5390	5700	6000			
		143		7485	8075	8660	9230	9795	10350	10900			
11.00R20	16	150	8.00	4380	4730	5070	5405	5735	6060	6385	6700		
		146		7850	8470	9080	9680	10275	10855	11430	12000		
12.00R20	18	154	8.50	4905	5295	5675	6050	6420	6785	7145	7500		
		150		8765	9460	10140	10810	11470	12125	12765	13400		
11R22.5	18	148	7.50	3970	4120	4445	4770	5085	5395	5700	6000	6300	
		145	8.25	6975	7590	8190	8780	9370	9930	10380	10930	11600	
12R22.5	18	152	8.25	4230	4600	4965	5325	5730	6020	6365	6700	7100	
		148	9.00	7575	8240	8895	9535	10165	10785	11400	12000	12600	

IMPORTANTE:

La presión de aire indicada es la mínima para la carga a ser aplicada a la llanta.

Preparado por:  
Imagen Corporativa

Revisado por:  
Jefe Ing. Llantas

Aprobado por:  
VP Comercial

Código: 780.024  
Fecha: 28 / 04 / 2003  
Rev. N°: Original

**Continental**  
Neumáticos con Tecnología Alemana



## SAE KINGPINS



**JOIST** SAE kingpins are suitable for OEM and after market replacement. They are intended to be installed by welding, using a procedure published by the American Welding Society or other technical organization. When properly installed they will meet or exceed the performance requirements of the Society of Automotive Engineers (SAE) and the Truck and Trailer Manufacturers Association (TTMA).

### TECHNICAL SPECIFICATIONS

**MATERIAL** – AISI 8630H

**HEAT TREATMENT**

Through hardened using a quenched and temper process which produces a surface hardness of 302-363 BHN.

**STRENGTH**

At the above hardness the material will have an approximate 150,000 p.s.i. ultimate strength and 115,000 p.s.i. yield strength.

**IMPACT AND WEAR RESISTANCE**

The high nickel alloy and heat treat process provides a good balance between hardness (wear resistance) and low brittleness (good impact resistance).

**MADE IN U.S.A. – By **JOIST****

**QUALITY ASSURANCE**

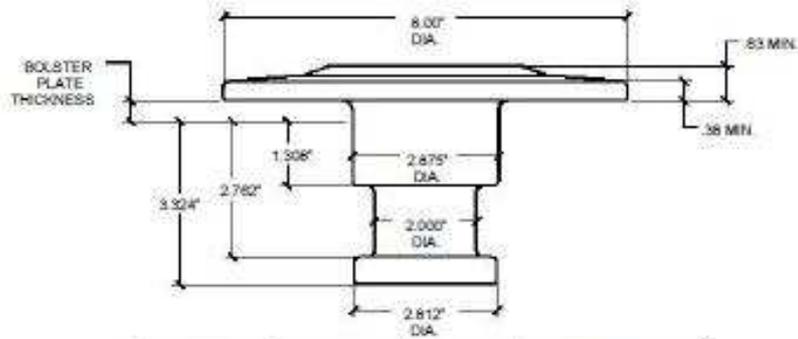
Rigid metallurgical cleanliness and quality standards including:

- 100% Brinell Hardness testing.
- 100% magnetic particle inspection.
- 100% ultrasonic testing (MS 105, tightened C = 0).

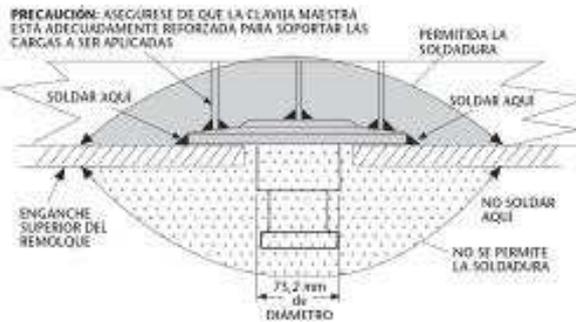
**AVAILABLE IN A VARIETY OF SIZES**

(See over).





PART NUMBER	BOLSTER PLATE THICKNESS	WEIGHT	SIMILAR TO HOLLAND™ PART NUMBER
KZ-T2	1/4"	14 lbs.	KP-T-809-CF
KZ-T3	5/16"	14 lbs.	KP-T-809-EF
KZ-T4	3/8"	14 lbs.	KP-T-809-F
KZ-T5	1/2"	14 lbs.	KP-T-809-BF



**ADVERTENCIA**

Al soldar, siga un procedimiento que asegure una sólida, buena calidad de soldadura que proteja al soldador y los demás. La soldadura excesiva puede causar distorsión y daño, y la soldadura insuficiente puede privar de la dureza suficiente. Se recomienda un proceso bajo en hidrógeno y un metal de rollo AWS E70XX. Tome precauciones para asegurarse que el sistema eléctrico del vehículo no esté dañado por la soldadura.

**MUSHROOM STYLE - 8630H STEEL FORGING**

## **ANEXO G**

### **Proformas**



 <b>VEHICULOS Y PARTES PARACAMIONES Cía. Ltda.</b> <i>Camión al Servicio</i> Eloy Alfaro 565-38 y Los Alamos (San Pedro del Inca) * Tel: (593-2) 2417-972 / 2407-002 / 2405-068 Fax: (593-2) 3392-857 * E-mail: paracamiones@andina.net / Quito - Ecuador	<b>PROFORMA</b>	
	<b>0000847</b>	
	R.U.C. 1791843649001	

SEÑOR(ES) <b>SFRUTROCK. Sr. Jorge CAIZA.</b>	FECHA		
TELÉFONO:	<b>28</b>	<b>10</b>	<b>2011</b>
DIRECCIÓN:	DÍA	MES	AÑO

ITEM	CANT.	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	1		Supresión 29ps Americana		1607,14
2	2		Fuji APADA	1160,71	2321,42
3	1		Plata de Apoyo		390,00
4	1		K.W. P.W.		165,18
5	1		TANQUE de AIRE		133,93
6	1		Valvula principal		44,65
7	1		Valvula chilloza		11,50
8	6		Malakofel		31,21
9	2		Angula MANOS A.P.E.	11,61	23,22
10	1		Hembra Eléctrica		134,00
11	4	(2 Juntas)	Manopuila de A.P.E (Aire-Comp)	41,97	83,94
12	2		Valvula simple T30	25,00	50,00
13	2		Valvula doble T30/20	50,00	100,00
14					
CONTADO			CREDITO	SIN I.V.A.	4976,63
ORDEN DE COMPRA			VENDEDOR	+ I.V.A.	597,20
RECIBI LA COTIZACIÓN CONFORME					<b>TOTAL 5.573,83</b>



VENICULOS Y PARTES  
**PARACAMIONES Cía. Ltda.**  
*Camino al Progreso*

Eloy Alfaro N°11 29 y Los Alamos (San Pedro del Inca) \* Telf: (593-2) 2417 972 / 2407 092 / 2429-068  
Fax: (593-2) 3262-897 \* E-mail: paracamiones@andeanet.net / Quito - Ecuador

**PROFORMA**  
**0000848**  
R.U.C. 1791843649001

SEÑORES: Servitruck Sr. Jorge C.A.I.A.      FECHA: 28 10 2011

TELÉFONO: \_\_\_\_\_      DIA    MES    AÑO

DIRECCIÓN: \_\_\_\_\_

ITEM	CANT.	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	6		Juntas laterales Polterizer	23,22	139,32
2	6		Juntas laterales kb	5,26	31,56
3	9		Apel 8,25 x 22,5 ARWA	107,15	964,35
4	1		Polterizer Simple DO	2	2,500
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					

CONTADO	CREDITO	SIN I.V.A.	1160,83
ORDEN DE COMPRA	VENDEDOR	+ I.V.A.	139,30
RECIBI LA COTIZACIÓN CONFORME		<b>TOTAL</b>	<b>1300,13</b>

MEGAPRINT, Tel: 2521879 • E.La. de 100 x 2 por 501 al 1001 • 06/0026 / Dupla Color

**Total : 6.873,96**

## NOTA DE PEDIDO Q21- 1248

POR LOS CAMINOS DEL ACERO

<b>Cliete:</b> 99999 1718397174 JORGE CAIZA <b>Dirección:</b> CARCELEN BAJO CASA 9024	<b>Vendedor:</b> VTA CONTADO QUITO <b>ranza:</b> QUITO
<b>Fecha:</b> 04/04/20	
<b>Enviar a:</b> MATRIZ <b>Dirección:</b>	<b>Ciudad:</b> GUAYAQUIL <b>Receptor:</b>
<b>Transportado por Cliente:</b> NO <b>Moneda:</b> DOLARES	<b>Compensa Flete:</b> <b>Cotización:</b> 25.000

Producto	Descripción	Bodega	Solicitado	Facturado	Reservado	Entregar el	Precio Neto	Importe
HEB3001210	HEB 300 X 12100	MATRIZ - PRINCIPAL	1.00	0.00	0.00	09/04/2012	2,073.20	2,073.20
IPE1000000	IPE 100X6000	MATRIZ - PRINCIPAL	1.00	0.00	0.00	09/04/2012	71.17	71.17
IPE2001200	IPE 200 X 12 MTS	MATRIZ - PRINCIPAL	1.00	0.00	0.00	13/05/2012	383.63	383.63
IPE2706000	IPE 270X6000	MATRIZ - PRINCIPAL	1.00	0.00	0.00	09/04/2012	317.19	317.19
IPE3012100	IPE 300X12100MM	MATRIZ - PRINCIPAL	1.00	0.00	0.00	13/05/2012	747.71	747.71
IPE6001200	IPE 600X12000	MATRIZ - PRINCIPAL	1.00	0.00	0.00	13/05/2012	1,552.25	1,552.25
PP01232460	PL PISO 1230X2440X6,0MM (IPAC)	MATRIZ - PRINCIPAL	1.00	0.00	0.00	13/05/2012	162.88	162.88
UPN1601200	UPN 160X12000	MATRIZ - PRINCIPAL	1.00	0.00	0.00	09/04/2012	366.50	366.50
PC01224120	PL 1220 X 2440 X 12.0MM LC	QUITO	1.00	0.00	0.00	11/04/2012	330.48	330.48

Observación:

Subtotal:	8,034
12 % I.V.A.	724
Flete:	0
<b>Total:</b>	<b>8,758</b>

### Forma de Pago...

Nº	Pago	Días Plazo	Porcentaje
1	EFFECTIVO	0	100
<b>Total:</b>			100

### Bitácora...

Fecha	Hora	Usuario	Observación
04/04/2012	08:54:18	MONICA AREQUIPA	DIGITA PEDIDO
04/04/2012	08:54:29	MONICA AREQUIPA	PROD. PP01232460 BOD. PR SOLICITA 1.00 RESERVA 0.00 PRODUCIR 1.00 PARA B
04/04/2012	08:55:59	MONICA AREQUIPA	CONSULTA PEDIDO

# PLANOS