

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**“OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL  
SEMIRREMOLQUE USANDO ACERO DE ALTA  
RESISTENCIA PARA EL TRANSPORTE DE GLP”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO MECÁNICO**

**TESISTAS:**

**Bach. VELASQUEZ AGUILAR, Herlin Pepe**  
**Bach. ROJAS VELEZMORO, Bryan Jaime Luigi**

**ASESOR:**

**Msc. Ing. CALDERÓN RODRÍGUEZ, Luis Carlos**

**NUEVO CHIMBOTE - PERÚ**  
**2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**“OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SEMIRREMOLQUE  
USANDO ACERO DE ALTA RESISTENCIA PARA EL TRANSPORTE  
DE GLP”**

**PRESENTADO POR:**

Bach. Herlin Pepe Velasquez Aguilar

Bach. Bryan Jaime Luigi Rojas Velezmoro

**ASESOR:**

Msc. Ing. Luis Carlos Calderón Rodríguez

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECÁNICO**

**Nuevo Chimbote -Perú  
2020**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**CONFORMIDAD DEL ASESOR**

El presente Informe de Tesis titulado:

**“OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SEMIRREMOLQUE USANDO ACERO DE ALTA RESISTENCIA PARA EL TRANSPORTE DE GLP”** elaborado por los bachilleres.

**BRYAN JAIME LUIGI ROJAS VELEZMORO**  
**HERLIN PEPE VELASQUEZ AGUILAR**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico. Han cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa.

En señal de conformidad, firmo el presente trabajo en calidad de asesor.

---

Msc. ING. LUIS CARLOS CALDERÓN RODRÍGUEZ  
**ASESOR**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR**

El presente informe de tesis titulado "OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SEMIRREMOLQUE USANDO ACERO DE ALTA RESISTENCIA PARA EL TRANSPORTE DE GLP" elaborado por los bachilleres BRYAN JAIME LUIGI ROJAS VELEZMORO Y HERLIN PEPE VELASQUEZ AGUILAR Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.

Fue Revisado y Aprobado por el siguiente Jurado Evaluador

  
Ms. NELVER J. ESCALANTE ESPINOZA  
PRESIDENTE

  
Ing. RUSBEN A. RISCO OJEDA  
SECRETARIO

  
M.Sc. LUIS C. CALDERÓN RODRÍGUEZ  
INTEGRANTE



## ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

Siendo las 11:00 a.m. del 19 de octubre del año dos mil veinte, el Jurado Evaluador integrado por los docentes: Ms. Nelver Javier Escalante Espinoza (Presidente), Ing. Rusber Alberto Risco Ojeda (Secretario), Ms. Luis Carlos Calderón Rodríguez (Integrante), en cumplimiento a la Resolución N° 122-2020-UNS-CFI, mediante la plataforma virtual ZOOM, en concordancia con la Directiva N° 003-2020-UNSVRAC, aprobada con Resolución N° 306-2020-CU-R-UNS de fecha 12.06.2020, se da inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **“OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SEMIRREMOLQUE USANDO ACERO DE ALTA RESISTENCIA PARA EL TRANSPORTE DE GLP”**, presentado por los Bachilleres: **ROJAS VELEZMORO BRYAN JAIME LUIGI, con código N° 0201116003 y VELASQUEZ AGUILAR HERLIN PEPE, con código N° 0201116007**, quienes fueron asesorados por el MS. LUIS CARLOS CALDERON RODRIGUEZ según T/R.D N° 665-2018-UNS-FI, de fecha 12.10.2018.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran aprobar:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
VELASQUEZ AGUILAR HERLIN PEPE	18	MUY BUENO

Siendo las 13:00 horas del mismo día, se dio por terminado el Acto de Sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 19 de Octubre del 2020.

  
\_\_\_\_\_  
Ms. Nelver Javier Escalante Espinoza  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Rusber Alberto Risco Ojeda  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
Ms. Luis Carlos Calderón Rodríguez  
Integrante

## **ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS**

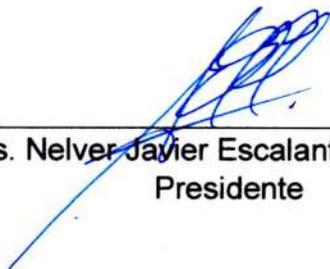
Siendo las 11:00 a.m. del 19 de octubre del año dos mil veinte, el Jurado Evaluador integrado por los docentes: Ms. Nelder Javier Escalante Espinoza (Presidente), Ing. Rusber Alberto Risco Ojeda (Secretario), Ms. Luis Carlos Calderón Rodríguez (Integrante), en cumplimiento a la Resolución N° 122-2020-UNS-CFI, mediante la plataforma virtual ZOOM, en concordancia con la Directiva N° 003-2020-UNSVRAC, aprobada con Resolución N° 306-2020-CU-R-UNS de fecha 12.06.2020, se da inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **“OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SEMIRREMOLQUE USANDO ACERO DE ALTA RESISTENCIA PARA EL TRANSPORTE DE GLP”**, presentado por los Bachilleres: **ROJAS VELEZMORO BRYAN JAIME LUIGI, con código N° 0201116003 y VELASQUEZ AGUILAR HERLIN PEPE, con código N° 0201116007**, quienes fueron asesorados por el MS. LUIS CARLOS CALDERON RODRIGUEZ según T/R.D N° 665-2018-UNS-FI, de fecha 12.10.2018.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran aprobar:

<b>BACHILLER</b>	<b>PROMEDIO VIGESIMAL</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
<b>ROJAS VELEZMORO BRYAN JAIME LUIGI</b>	<b>18</b>	<b>MUY BUENO</b>

Siendo las 13:00 horas del mismo día, se dio por terminado el Acto de Sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 19 de Octubre del 2020.



Ms. Nelder Javier Escalante Espinoza  
Presidente



Ing. Rusber Alberto Risco Ojeda  
Secretario



Ms. Luis Carlos Calderón Rodríguez  
Integrante



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Bryan Rojas Velezmoro Herlin Velas...

Título del ejercicio: TESIS

Título de la entrega: OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRUCTU...

Nombre del archivo: TESIS\_BRYAN\_ROJAS\_Y\_HERLIN...

Tamaño del archivo: 9.12M

Total páginas: 139

Total de palabras: 19,272

Total de caracteres: 103,196

Fecha de entrega: 12-feb-2020 01:40p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1256264088



### FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SEMIRREMOLQUE  
USANDO ACERO DE ALTA RESISTENCIA PARA EL TRANSPORTE  
DE GLP

Tesis para optar el título de INGENIERO MECÁNICO, que  
presentan los bachilleres:

Herlin Pepe Velasquez Aguilar  
Bryan Jaime Luigi Rojas Velezmoro

Asesor:  
Msc. Ing. Luis Carlos Calderón Rodríguez

Nuevo Chimbote 2020

## **Dedicatoria**

A Dios:

Por darnos esa fe inquebrantable de seguir adelante a pesar de las dificultades, porque cada vez que queríamos tirar la toalla, con una vista al cielo recordábamos que teníamos su bondad y no estábamos solos por ningún motivo.

A nuestros padres:

Por su inconmensurable esfuerzo, por que pudo más sus ganas de vernos grandes profesionales, que las de seguir disfrutando de sus propias vidas, ellos que se privaron de tantas cosas ahora son nuestro motor y motivo para continuar avanzando en este sendero de la vida.

A nuestros hermanos y familiares:

Que no solo por ser familia, sino también amigos incondicionales que nos alentaron y apoyaron a lograr nuestros objetivos.

A todos ellos va dedicado el presente trabajo de investigación.

## **Agradecimiento**

Nuestro mayor reconocimiento y agradecimiento a todos y cada uno de los ingenieros de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica, que siempre quisieron acortar esa brecha que existe entre la parte teórica y el trabajo real, con sus conocimientos, ejemplos y casos reales de sus propios trabajos en diferentes proyectos.

El agradecimiento a nuestro asesor de tesis, por su colaboración y apoyo en el presente trabajo de investigación, ya que nos supo orientar con sus bastos conocimientos en la materia.

De igual modo también el agradecimiento a los ingenieros que están haciendo posible que nuestra escuela avance cada día, por realizar un esfuerzo que no es recompensado materialmente, pero sí con el reconocimiento de los alumnos que pasamos, que están pasando y que pasarán por las aulas de nuestra alma mater.

## INDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. ANTECEDENTES .....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. OBJETIVOS .....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	4
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.5.1. TÉCNICA.....	4
1.5.2. ECONÓMICA .....	5
1.5.3. INSTITUCIONAL.....	5
1.6. LIMITACIÓN DEL TRABAJO .....	6
<b>CAPÍTULO II</b> .....	7
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	7
2.1. DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	7
2.2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO .....	7
2.3. CÓDIGOS USADOS PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL .....	8
2.4. CÁLCULOS ANALÍTICOS EMPLEADOS EN UN MODELO MECÁNICO- ESTRUCTURAL .....	8
2.4.1. DIAGRAMAS DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR .....	9
2.4.2. TEORÍA DE EULER - BERNOULLI .....	11
2.5. TEORÍA DE FALLA Y ESFUERZO EQUIVALENTE PARA MATERIALES DÚCTILES .....	13
2.5.1. TEORÍA DEL ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO (ECM) .....	13
2.5.2. TEORÍA DE LA MÁXIMA ENERGÍA DE DISTORSIÓN (ESFUERZO DE VON MISSES).....	14
2.6. DISEÑO DE VIGAS SEGÚN NORMA AISC 360-16.....	17
2.6.1. RELACIÓN ANCHO-ESPESOR PARA ALAS (PERFIL I, CASO 11) .....	17
2.6.2. RELACIÓN ANCHO-ESPESOR PARA ALMAS (PERFIL I, CASO 11).....	18
2.6.3. RELACIÓN ANCHO-ESPESOR PARA ALAS (PERFIL T Y C, CASO 10).....	18
2.6.4. RELACIÓN ANCHO-ESPESOR PARA ALMAS (PERFIL T Y C, CASO 10)...	18
2.6.5. ESTADOS LÍMITES PARA DISEÑO POR FLEXIÓN .....	19

2.6.6.	FLUENCIA.....	19
2.6.7.	ESTADOS LÍMITES PARA DISEÑO POR CORTE .....	20
2.7.	CALCULO DE ESPESORES MÍNIMOS PARA RECIPIENTES A PRESIÓN (ASME SEC. VIII D. I).....	21
2.7.1.	UG-27 DISEÑO DE CASCO CILÍNDRICO.....	22
2.7.2.	UG-32 (F) DISEÑO DE TAPAS SEMI-ESFÉRICAS .....	22
2.8.	CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE SEMIRREMOLQUE (ASME SEC. XII).....	23
2.9.	SOBRE EL PROGRAMA SOLIDWORKS SIMULATION .....	25
2.9.1.	CREACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO. ....	25
2.9.2.	CREACIÓN DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS.....	26
2.9.3.	RESOLUCIÓN DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS.....	27
2.9.4.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	27
2.10.	SEMIRREMOLQUE.....	28
2.11.	TANQUES CISTERNA A PRESIÓN PARA TRANSPORTE DE GLP .....	29
2.12.	PESOS Y MEDIDAS VEHICULARES.....	30
2.13.	COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS EMPLEADOS.....	31
2.14.	SOLDABILIDAD DEL STRENX 700 MC .....	31
2.15.	CÁLCULOS FINANCIEROS PARA EL PROYECTO .....	33
2.15.1.	ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO DEL PROYECTO .....	33
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>36</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>		<b>36</b>
3.1.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
3.1.1.	TIPO DE ESTUDIO.....	36
3.1.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
3.1.3.	PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	37
3.1.4.	POBLACIÓN.....	37
3.1.5.	MUESTRAS SELECCIONADAS.....	38
3.1.6.	VARIABLES DE ESTUDIO.....	38
3.1.7.	PROPUESTA APLICADA .....	39
3.2.	MÉTODOS .....	39
3.3.	TÉCNICA .....	39
3.4.	MEDIOS Y MATERIALES .....	39
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>40</b>
<b>CÁLCULOS .....</b>		<b>40</b>
4.1.	SIMULACIÓN POR SOLIDWORKS .....	40
4.1.1.	PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SEMIRREMOLQUE .....	40

4.1.2.	CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS DEL SEMIRREMOLQUE..	41
4.1.3.	DISEÑO POR SOLIDWORKS SIMULATION .....	44
4.1.4.	MEMORIA DE CÁLCULO DE VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL DEL CHASIS Y BASTIDOR DEL KING-PIN MATERIAL STRENX 700 MC:.....	56
4.1.5.	CÁLCULO POR AISC 360-16.....	72
4.1.6.	CÁLCULO DE LA SOLDADURA EN LA ESTRUCTURA .....	74
4.1.7.	VARIACIÓN DE PESO Y COSTO DE DISEÑO .....	75
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>79</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>		<b>79</b>
5.1.	RESULTADOS.....	79
5.1.1.	ESPEORES OPTIMOS, VERIFICADOS PARA STRENX 700MC.....	79
5.1.2.	RESULTADOS BRINDADOS POR LAS SIMULACIONES EN SOLIDWORKS Y CÁLCULOS ANALÍTICOS .....	79
5.1.3.	COMPARATIVO DE PESO ACTUAL VS MEJORADO.....	81
5.1.4.	ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO .....	82
5.2.	DISCUSIÓN .....	83
<b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>85</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>85</b>
6.1.	CONCLUSIONES.....	85
6.2.	RECOMENDACIONES.....	87
<b>CAPÍTULO VII.....</b>		<b>88</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>88</b>
<b>CAPÍTULO VIII.....</b>		<b>91</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>91</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Características de situaciones de diseño. ....	8
Tabla 2.2: Propiedades mecánicas del acero ASTM A-36. ....	31
Tabla 2.3: Propiedades mecánicas del acero ASTM SA-414G. ....	31
Tabla 2.4: Propiedades mecánicas del acero STRENX 700 MC. ....	31
Tabla 2.5: Material de relleno para aceros Strenx. ....	31
Tabla 2.6: Material de relleno para aceros Strenx. ....	32
Tabla 2.7: Soldadura equivalente a emplear. ....	32
Tabla 3.1: Órdenes de trabajo (O.T.) de tanques cisterna a presión para transporte de GLP fabricados en los años 2017 y 2018. ....	38
Tabla 3.2: Tanques cisternas a presión para transporte de GLP seleccionadas para muestra. ....	38
Tabla 4.1: Parámetros de diseño. ....	40
Tabla 4.2: Peso seco del semirremolque. ....	41
Tabla 4.3: Carga útil en el semirremolque. ....	41
Tabla 4.4: Peso bruto máximo distribuido en el semirremolque. ....	41
Tabla 4.5: Peso máximo en los ejes, según el RNV. ....	42
Tabla 4.6: Materiales usados para el chasis y king-pin del caso 1. ....	45
Tabla 4.7: Materiales usados para el chasis y king-pin del caso 2. ....	47
Tabla 4.8: Materiales usados para el chasis y king-pin del caso 3. ....	47
Tabla 4.9: Esfuerzo cortante – Plano XY. ....	52
Tabla 4.10: Esfuerzo cortante – Plano XZ. ....	52
Tabla 4.11: Esfuerzo cortante – Plano YZ. ....	52
Tabla 4.12: Desplazamiento-Chasis. ....	53
Tabla 4.13: Factor de Seguridad-Chasis. ....	54
Tabla 4.14: Esfuerzo máximos y mínimos- King Pin. ....	54
Tabla 4.15: Desplazamiento-King Pin. ....	55
Tabla 4.16: Diseño por flexión y corte en las vigas del Chasis. ..	72
Tabla 4.17: Diseño por flexión y corte en las vigas del King Pin. ....	73
Tabla 4.18: Comparación de las cargas de las cisternas. ....	75
Tabla 4.19: Comparación del costo de fabricación de las cisternas. ....	75
Tabla 4.20: Costo de traslado del tanque cisterna. ....	76
Tabla 4.21: Costos de traslado de GLP tanque 14500 gln. ....	77
Tabla 4.22: Costos de traslado de GLP tanque 15300 gln. ....	77
Tabla 4.23: Costos de fabricación de las cisternas. ....	78
Tabla 5.1: Espesores óptimos para Strenx 700MC. ....	79

Tabla 5.2: Cargas a ingresar para la simulación. ....	79
Tabla 5.3: Resultados por Solidworks Simulation. ....	80
Tabla 5.4: Resultados por cálculo analítico. ....	80
Tabla 5.5: Resultado por AISC 360-16. ....	81
Tabla 5.6: Resumen de pesos. ....	81
Tabla 5.7: Análisis financiero. ....	82
Tabla 5.8: Distancia a recorrer para recuperar la inversión. ....	82
Tabla B.1: Memoria de cálculo de espesores del recipiente a presión. ....	95
Tabla B.2: Resistencia de diseño de soldaduras. ....	96
Tabla B.3: Tamaños mínimos para las soldaduras de filete. ....	97
Tabla B.4: Pesos comparativos de tanque 14500gal y 15300 gal. ....	97
Tabla B.5: Análisis de flujo de caja por mes. ....	98
Tabla B.6: Análisis de flujo de caja por año. ....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Fases del proceso de diseño. ....	7
Figura 2.2. Diagrama de fuerza cortante y momento flector. ....	9
Figura 2.3. Viga de Euler-Bernoulli. ....	11
Figura 2.4. Desplazamientos de la sección de una viga. ....	12
Figura 2.5. Convenio de signos para los esfuerzos y el momento flector M. ....	13
Figura 2.6. Teoría del esfuerzo cortante máximo en esfuerzo plano. ....	14
Figura 2.7. La teoría de la energía de distorsión representación triaxial. ....	15
Figura 2.8. La teoría de la energía de distorsión estados de esfuerzo plano. ....	16
Figura 2.9. Representación esquemática de los esfuerzos. ....	22
Figura 2.10. Casco cilíndrico. ....	22
Figura 2.11. Parámetros de tapa Semi-esférica. ....	23
Figura 2.12. Semirremolque para Gas de alta presión. ....	24
Figura 2.13. Condiciones de carga en el semirremolque según Asme Sección XII, ed. 2017. ....	24
Figura 2.14. Las cargas dinámicas en el semirremolque según Asme Sección XII, ed. 2017. ....	25
Figura 2.15. Creación del modelo matemático. ....	26
Figura 2.16. Creación del modelo de elementos finitos. ....	27
Figura 2.17. Proceso de fabricación de un semirremolque. ....	29
Figura 3.1. Relación de las variables. ....	36
Figura 4.1. Diagrama de cuerpo libre del semirremolque y tracto. ....	43
Figura 4.2. Representación en conjunto. ....	44
Figura 4.3. Representación del chasis (bougúie). ....	45
Figura 4.4. Representación del king-pin. ....	46
Figura 4.5. Sección del chasis trasero original. ....	46
Figura 4.6. Discretización de las solicitaciones en los apoyos. Consideración estática. ....	48
Figura 4.7. Discretización de las solicitaciones en los apoyos. Consideración dinámica. ....	49
Figura 4.8. Las solicitaciones en los apoyos de volteo. ....	49
Figura 4.9. Esfuerzos cortantes en el chasis. ....	51
Figura 4.10. Ubicación del esfuerzo cortante en el chasis. ....	51
Figura 4.11. Ubicación del desplazamiento máximo en el chasis. ....	53
Figura 4.12. El factor de seguridad en el chasis. ....	53
Figura 4.13. Esfuerzo máximo en el king-pin. ....	54
Figura 4.14. El desplazamiento máximo en el king-pin. ....	55
Figura 4.15. Factor de seguridad en el king-pin. ....	55
Figura 4.16. Distribución de carga total. Caso de cargas dinámicas. ....	56

Figura 4.17. Modelo de chasis-estructural.....	56
Figura 4.1. Aplicación de cargas distribuidas en largueros (plano X-Y). .....	57
Figura 4.2. Aplicación de las cargas distribuidas en transversales. ....	57
Figura 4.3. Aplicación de cargas distribuidas en largueros (plano X-Z).....	58
Figura 4.21. Características del larguero - Chasis.....	58
Figura 4.22. Características del transversal - Chasis.....	59
Figura 4.23. Área de aplicación de la carga distribuida en chasis. ....	59
Figura 4.24. Características del larguero – King Pin. ....	60
Figura 4.25. Características del transversal – King Pin.....	61
Figura 4.26. Área de aplicación de la carga distribuida en el King-pin. ....	61
Figura 4.27. Diagrama de cargas para largueros (plano Z-X) . ....	62
Figura 4.28. Diagramas de esfuerzos y momentos en largueros (plano Z-X) . ....	62
Figura 4.29. Diagramas de esfuerzos y momentos en largueros (plano Y-X) . ....	63
Figura 4.30. Diagramas de esfuerzos y momentos en largueros (plano Z-Y) . ....	64
Figura 4.31. Diagrama nodal de la deformación en el chasis. ....	65
Figura 4.32. Diagrama grafica de la deformación en el chasis. ....	65
Figura 4.33. Diagrama de cargas en larguero de King Pin. Plano Z-X.....	66
Figura 4.34. Diagramas de esfuerzos y momentos en King Pin (plano Z-X) . ....	66
Figura 4.35. Diagramas de esfuerzos y momentos en King Pin (plano Y-X) . ....	67
Figura 4.36. Diagramas de esfuerzos y momentos en King Pin (plano Z-Y) . ....	67
Figura 4.37. Diagrama nodal de la deformación en el chasis king-pin. ....	68
Figura 4.38. Diagrama grafica de la deformación en el chasis king-pin.....	68
Figura 4.39. Momento Máximo Chasis.....	69
Figura 4.40. Ubicación del factor de seguridad en el chasis.....	70
Figura 4.41. Momento Máximo King Pin. ....	70
Figura 4.42. Factor de seguridad en el transversal King pin. ....	71
Figura 4.43. Detalle de diseño de cordón de soldadura.....	74
Figura A.1: Ficha técnica del Tracto Volvo FH 6X4T para el semirremolque. ....	92
Figura A.2: Pesos y medidas máximas permitidas según configuración vehicular del MTC. ....	93
Figura A.3: Peso máximo por eje o en conjunto de ejes. ....	94
Figura A.4: Esfuerzo máximo en el King Pin A-36 (15.21 Mpa).....	100
Figura A.5: Desplazamiento máximo en el King Pin A-36 (0.36 mm).....	100
Figura A.6: Factor de Seguridad promedio en el King Pin A-36 (13.23). ....	101
Figura A.7: Esfuerzo máximo en el Chasis A-36 (15.02 Mpa). ....	101
Figura A.8: Desplazamiento máximo en el Chasis A-36 (0.085 mm). ....	102

Figura A.9: Factor de Seguridad promedio en el Chasis A-36 (17.4).....	102
Figura A.10: Esfuerzo máximo en el King Pin A-414 G (4.15 Mpa). ....	103
Figura A.11: Desplazamiento máximo en el King Pin A-414 G (0.44 mm). ....	103
Figura A.12: Factor de Seguridad promedio en el King Pin A-414 G (3.5).....	104
Figura A.13: Esfuerzo máximo en el Chasis A-414 G (16.51Mpa).....	104
Figura A.14: Desplazamiento máximo en el Chasis A-414 G (0.27 mm).....	105
Figura A.15: Factor de Seguridad promedio en el Chasis A-414 G (18). ....	105
Figura A.16: Esfuerzos máximos en el tanque en conjunto con Strenx 700 Mc. ....	106
Figura A.17: Esfuerzos máximos en los rompeolas internas con Strenx 700 Mc.....	106
Figura A.18: Esfuerzos máximo puntual en la unión cabezal y cuerpo con Strenx 700 Mc.....	106
Figura A.19: Esfuerzos máximo puntual en la unión chasis y sacrificio con Strenx 700 Mc. ....	107
Figura A.20: Desplazamiento máximo puntual en el tanque en conjunto con Strenx 700 Mc....	107
Figura A.21: Factor de seguridad promedio en el tanque en conjunto con Strenx 700 MC (3.5)108	

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: FIGURAS COMPLEMENTARIAS .....	92
ANEXO 2: TABLAS COMPLEMENTARIAS .....	95
ANEXO 3: ANALISIS COMPLEMENTARIOS POR ELEMENTOS FINITOS .....	100
ANEXO 4: RESOLUCION MANUAL DE LA FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR .....	109

## RESUMEN

En la presente tesis se optimiza la estructura del semirremolque de un tanque cisterna para transportar 15300 galones de GLP realizando cálculos bajo el código ASME BPVC sección XII y ANSI/AISC 360-16, mediante el método de elementos finitos en el software SolidWorks Simulation, usando 3 tipos de acero: ASTM A-36, ASTM SA 414 grado G y Strenx 700 MC, siendo este último, el más favorable. El chasis tiene espesores de 6.35, 3.2, 3.2 y 6.35 mm para el ala superior e inferior de largueros, alma de largueros, alma transversal central y ala superior de transversal respectivamente y se redujo la altura de alma de tranversales de chasis en 260 mm; para el king-pin, un espesor de 6.35 mm para los largueros y transversales y una altura desde 136 a 231 mm.

Usando acero ASTM A-36, el king-pin soporta un esfuerzo máximo de  $1.241 \cdot 10^8$  Pa con deformación de 0.5 mm, el chasis,  $5.679 \cdot 10^7$  Pa con 0.311 mm; con acero ASTM SA 414 grado G, el king-pin,  $4.153 \cdot 10^6$  Pa con 0.4455 mm y el chasis,  $1.651 \cdot 10^7$  Pa con 0.2743 mm; con acero Strenx 700 MC, el king-pin,  $5.698 \cdot 10^7$  Pa con 0.08572 mm y el chasis,  $6.941 \cdot 10^7$  Pa con 0.7938 mm. El factor de seguridad de toda la estructura supera el 3.5 recomendado por Tresca, en consecuencia, no falla.

Se logra optimizar teóricamente la carga útil de GLP en 27700 kg sin restringir la norma peruana D.S. N° 058-2003-MTC, siendo la distancia a recorrer para recuperar la inversión inicial de 69569.48 km en aproximadamente 53 viajes.

Palabras Claves: optimización, estructura, semirremolque, transporte.

## ABSTRACT

In this thesis, the structure of the semitrailer of a tanker tank is optimized to transport 15300 gallons of LPG by processing under the ASME code BPVC section XII and ANSI/ AISC 360-10, using the finite element method in the SolidWorks Simulation software, using 3 Steel types: ASTM A-36, ASTM SA 414 grade G and Strenx 700 MC, the latter being the most favorable. The chassis has thicknesses of 6.35, 3.2, 3.2 and 6.35 mm for the upper and lower wing of stringers, stringers, central transverse core and upper transverse wing respectively and the height of the stringers is reduced by 260 mm; for the king-pin, a thickness of 6.35 mm for the stringers and crossbars and a height between 136 to 231 mm.

Using ASTM A-36 steel, the kingpin withstands a maximum stress of  $1,241 * 10^8$  Pa with 0.5 mm deformation, the chassis,  $5,679 * 10^7$  Pa with 0.311 mm; with ASTM SA 414 grade G steel, the kingpin,  $4,153 * 10^6$  Pa with 0.4455 mm and the chassis,  $1,651 * 10^7$  Pa with 0.2743 mm; with Strenx 700 MC steel, the king-pin,  $5,698 * 10^7$  Pa with 0.08572 mm and the chassis,  $6,941 * 10^7$  Pa with 0.7938 mm. The safety factor of the entire structure exceeds the 3.5 recommended by Tresca, therefore, it does not fail.

It is possible to theoretically improve the LPG payload by 27700 kg without restricting the Peruvian norm D.S. No. 058-2003-MTC, being the distance to travel to recover the initial investment of 69569.48 km in approximately 53 trips.

Keywords: optimization, structure, semi-trailer, transport.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día somos conscientes que en nuestro país uno de los mayores desafíos en la industria de fabricación de carrocerías de semirremolques, es resolver la demanda creciente de este tipo de estructuras a partir de nuevos diseños, buscando fabricar semirremolques más livianos y resistentes que permitan tener una mayor carga útil, reduciendo los costos de fabricación, producción y el consumo de combustible, cumpliendo con los estándares adecuados de fabricación, sin sobrepasar el peso máximo permitido según el reglamento D.S. N° 058-2003 MTC.

En el presente trabajo de investigación se llega a optimizar la parte estructural del semirremolque de un tanque cisterna para transportar 15300 galones de GLP, realizando los cálculos bajo el código ASME BPVC sección XII y ANSI/AISC 360-10 Construcciones en acero, se emplea luego el método de elementos finitos haciendo uso del software solidworks simulation, para ello se utiliza 3 tipos de acero para la estructura los cuales fueron: ASTM A-36, ASTM SA 414 grado G y Strenx 700 MC, siendo este último, el más favorable, tales resultados se comparan con los obtenidos mediante el cálculo analítico-estructural. Estos valores encontrados y validados con el software, pueden proponer que el semirremolque para transportar 15300 galones tiene viabilidad y sustento ingenieril, de tal manera que se deja establecida una metodología de cálculo adecuada y válida para el diseño de estructuras de semirremolque en beneficio de las empresas nacionales del sector hidrocarburos.

## 1.1. ANTECEDENTES

Fuentes & Jácome (2017), en su estudio analizaron los parámetros de funcionamiento tanto para el recipiente como para el bastidor, mediante el uso de las normas ASME y AISC respectivamente, para ser usados en el desarrollo de cada elemento que constituirá el autotanke. Usó el método de elementos finitos por medio del software ANSYS WORKBENCH, analizando los 2 apoyos principales del recipiente, el bastidor y la base del King pin, determinando una deformación máxima de 0.320 mm y 0.15 mm y un factor de seguridad de 8.75 y 6.04 respectivamente.

Ledesma (2014), optimizó el peso seco del semirremolque, reemplazando el material A-36 por aceros de alta resistencia. Analizó el uso del material DOMEX 700 a la viga principal (ala de 8.00 mm y alma de 4.00 mm) y la base del King pin por medio de cálculos analíticos, para luego corroborar estos análisis por el método de elementos finitos en el programa Solidworks, comprobándose satisfactoriamente que la selección realizada de los materiales y espesores en el diseño fueron los adecuados. La variación de costo de un semirremolque volquete de 22 m<sup>3</sup> fabricado en acero de alta resistencia y otro de acero estructural ASTM A-36 fue de \$1584, los cuales son recuperables a 8500 km de recorrido con un flete aproximado de \$ 0.000103 \$/ (kg x km).

Patel (2012), realizó un análisis estructural de un chasis frame automotriz y una modificación del diseño para reducir peso. Logró reducir el peso total en un 6.68%, de donde concluye que, usando un software de simulación mediante el método de elementos finitos, se puede optimizar el peso, siendo posible analizar tal elemento modificado antes de su fabricación.

Vargas (2018), optimizó el peso de un semirremolque encapsulado por medio de cálculos analíticos y el método de elementos finitos usando el software SolidWorks 2012. Mediante el uso del acero de alta resistencia STRENX 700 MC, pudo optimizar la carga útil en 1251 kg con un factor de seguridad mínimo de 3.4 en comparación con una estructura con acero estructural ASTM A-36 con un factor de seguridad mínimo de 2.52, generando que la unidad sea más rentable y que tenga un impacto favorable en el medio ambiente por el menor consumo de combustible, neumáticos, aceites, etc.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo optimizar la estructura del semirremolque, haciendo uso de un acero de alta resistencia para el transporte de GLP que permita mayor carga útil y se pueda así obtener una mayor rentabilidad a mediano plazo en la empresa TANQUES y TAPAS S.A.C.?

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Optimizar la estructura del semirremolque usando acero de alta resistencia, para el transporte de GLP en la empresa Tanques y Tapas S.A.C.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Determinar el espesor óptimo utilizando un acero de alta resistencia en el diseño de la estructura del semirremolque para el transporte de GLP.
2. Analizar los puntos críticos de la estructura del semirremolque, comparando el acero estructural y el de alta resistencia mediante el método de elementos finitos y el método analítico-estructural.
3. Aumentar la carga útil de GLP, respetando los pesos máximos permitidos según la norma peruana D.S. N° 058-2003-MTC.
4. Realizar un análisis del costo-beneficio del semirremolque comparando el acero estructural y el de alta resistencia.

#### **1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Si usamos acero de alta resistencia para la fabricación del semirremolque utilizado en el transporte de GLP, se puede aumentar la capacidad de carga útil y reduciría costos del transporte del combustible a mediano plazo en la empresa TANQUES y TAPAS S.A.C.

#### **1.5. JUSTIFICACIÓN**

La importancia de esta investigación radica en satisfacer tanto a los antiguos y futuros clientes de la empresa TANQUES y TAPAS S.A.C. y a la misma empresa, obteniendo un desarrollo tecnológico y económico para ambos y que permita lograr el desarrollo sostenible del país.

Esta investigación se justifica en los ámbitos siguientes:

##### **1.5.1. TÉCNICA**

Los diseños actuales de semirremolques para el transporte a presión de GLP, se fabrican de acero estructural ASTM A-36, teniendo propiedades estándar del material originando, a posterior, fallas en la estructura (accesorios y autopartes) por sus inferiores propiedades mecánicas del material originando desgaste y ciclos cortos de vida útil. Investigar e innovar en el uso de nuevos materiales tecnológicos para la fabricación de semirremolques y aplicarlos a estos, se hace necesario por lo descrito anteriormente. Este proyecto aportará un plus tecnológico en la industria metalmecánica al usar aceros de elevada resistencia, que frente al acero estructural ASTM A-36, tiene mejores propiedades mecánicas, mecanizado y soldabilidad del material.

### **1.5.2. ECONÓMICA**

Los tanques cisternas a presión para GLP, en su mayoría, se ven afectados por un elevado peso neto del sistema semirremolque-tracto, lo que origina una disminución en la carga útil de GLP, mayor contaminación por el elevado uso de consumibles para la fabricación y mayor número de viajes por recorrido, gastos por mantenimiento constante del desgaste la estructura del semirremolque. Esta investigación pretende aumentos los ingresos económicos del cliente mejorando su competitividad frente a sus contendientes.

### **1.5.3. INSTITUCIONAL**

La realidad económica de la empresa TANQUES y TAPAS SAC se ha visto afectado por la inconsistencia política y administrativa del país, originando una inseguridad en los inversionistas nacionales y extranjeros. Cada empresa del rubro metalmecánico, busca mejorar sus productos frente a sus competidores, ocasionando un decline en la cartera de clientes. Al fabricar semirremolques para transporte a presión de GLP más livianos, estándar, más resistentes que sus antecesores y con mayor capacidad de carga útil, generara un plus en los ingresos económicos en la empresa TANQUES y TAPAS SAC, siendo una empresa más competitiva que busca el desarrollo sostenible del país.

Para la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA, este trabajo de investigación dejará como base la propuesta de nuevas alternativas tecnológicas para la fabricación de estructuras metálicas vinculadas al transporte de GLP, bajo las recomendaciones del MTC, elevando los altos estándares de seguridad y reducción de emisiones de CO2 frente a estándares de fabricación obsoletos, aumentando la confiabilidad y competitividad a nivel nacional e internacional.

## **1.6. LIMITACIÓN DEL TRABAJO**

El alcance de esta tesis de investigación se centrará únicamente en la optimización de la estructura del semirremolque usando acero de alta resistencia para el transporte de G.L.P.

El desarrollo de esta tesis abarcará el diseño óptimo de la estructura del semirremolque, la cual permitirá aprovechar en incrementar la carga útil del transporte de GLP. en la empresa TANQUES y TAPAS SAC.

## CAPÍTULO II

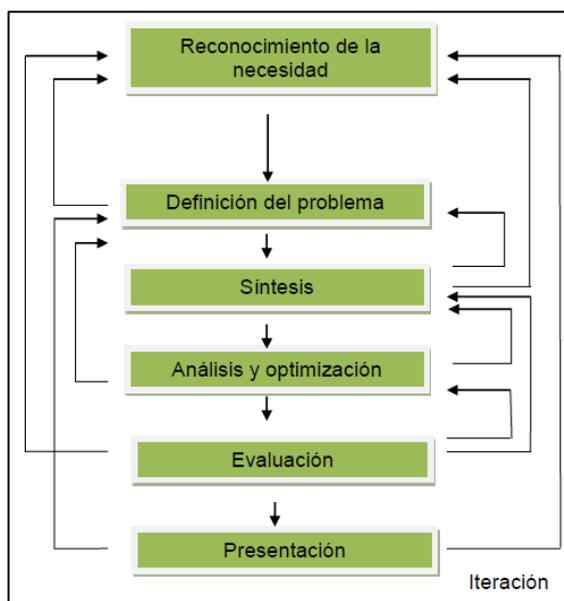
### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Las herramientas de la ingeniería (como las matemáticas, la estadística, la computación, las gráficas y el lenguaje) se combinan para producir un plan, que cuando se lleva a cabo crea un producto funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que se pueda fabricar y comercializar, sin importar quien lo construya o lo use. (Budynas & Nisbett, 2008)

**Figura 2.1**

*Fases del proceso de diseño.*



Fuente: Budynas & Nisbett (2008)

#### 2.2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Algunas veces la resistencia que requiere el elemento de un sistema significa un factor importante para determinar su geometría y dimensiones. En esa situación se dice que la resistencia es una consideración de diseño importante.

La expresión “consideración de diseño” involucra de manera directa alguna característica que influye en el diseño del elemento, o tal en todo el sistema.

“A menudo se debe considerar muchas de esas características en una situación de diseño dada”. (Budynas & Nisbett, 2008, p.8)

Entre las más importantes se pueden mencionar (no necesariamente en orden de importancia).

**Tabla 2.1**

*Características de situaciones de diseño.*

1. Funcionalidad	2. Ruido
3. Resistencia/esfuerzo	4. Estilo
5. Distorsión/reflexión/rigidez	6. Forma
7. Desgaste	8. Tamaño
9. Corrosión	10. Control
11. Seguridad	12. Propiedades térmicas
13. Confiabilidad	14. Superficies
15. Manufacturabilidad	16. Lubricación
17. Utilidad	18. Comercialización
19. Costo	20. Mantenimiento
21. Fricción	22. Volumen
23. Peso	24. Responsabilidad legal
25. Vida	26. Capacidad de reciclado

Fuente: Budynas & Nisbett (2008)

### **2.3. CÓDIGOS USADOS PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL**

Se emplean como complemento para el presente informe lo siguiente:

1. Código de Calderas y recipientes a presión. (BPVC Sección II, VIII y XII)
2. DS N° 058-2003-MTC. Reglamento Nacional de Vehículos (RNV)
3. ANSI / AISC 360 – 16. Construcciones en Acero

### **2.4. CÁLCULOS ANALÍTICOS EMPLEADOS EN UN MODELO MECÁNICO-ESTRUCTURAL**

Se consideran las siguientes hipótesis de fondo para el modelo a calcular:

- a) Características en los miembros estructurales: homogeneidad, isotropía y continuidad.
- b) Modelo de viga Euler - Bernoulli para el cálculo de la deflexión.

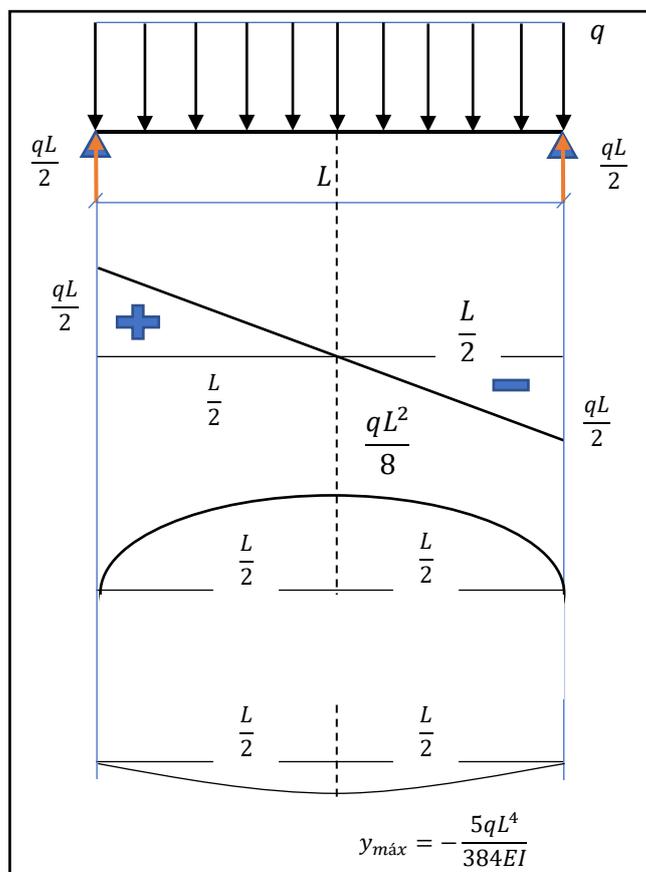
Se aborda el fenómeno de flexión que experimentan elementos estructurales denominados vigas, basado en las hipótesis de Euler - Bernoulli, el cual desprecia el efecto del esfuerzo cortante generado por la deformación de corte de la Sección en estudio. Luego, aspectos interesantes de los elementos finitos tipo viga, como las condiciones de continuidad de las funciones de forma que tienen que satisfacer una continuidad de clase C1 y los puntos óptimos para el cálculo de los esfuerzos.

#### 2.4.1. DIAGRAMAS DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR

A continuación, se muestra la resolución manual de las ecuaciones de fuerzas cortantes, momentos flectores y la deflexión. (Nash, 1972)

**Figura 2.2**

*Diagrama de fuerza cortante y momento flector.*



Fuente: Nash, 1972

Haciendo un corte y formulando las ecuaciones de fuerzas cortantes, momentos flectores y la deflexión, respectivamente:

$$0 \leq x < L$$

$$V_{(x)} = \frac{qL}{2} - qx \quad (2.1)$$

$$M_{(x)} = \frac{qL}{2}x - \frac{q}{2}x^2 \quad (2.2)$$

Empleando el método de doble integración en la ecuación 2.2:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M_{(x)} = \frac{qL}{2}x - \frac{q}{2}x^2$$

$$EI\theta = \frac{qL}{4}x^2 - \frac{q}{6}x^3 + C_1$$

$$EIy = \frac{qL}{12}x^3 - \frac{q}{24}x^4 + C_1x + C_2$$

Si:  $x = 0$ , entonces:  $y = 0$ , Luego:  $C_2 = 0$

Si:  $x = \frac{L}{2}$ , entonces:  $\theta = 0$ , Luego:  $C_1 = -\frac{1}{24}qL^3$

La ecuación de la elástica:

$$y_{(x)} = \frac{q}{EI} \left( \frac{L}{12}x^3 - \frac{1}{24}x^4 - \frac{L^3}{24}x \right) \quad (2.3)$$

Si:  $x = \frac{L}{2}$ , entonces:  $y_{\text{máx}} = -\frac{5qL^4}{384EI}$

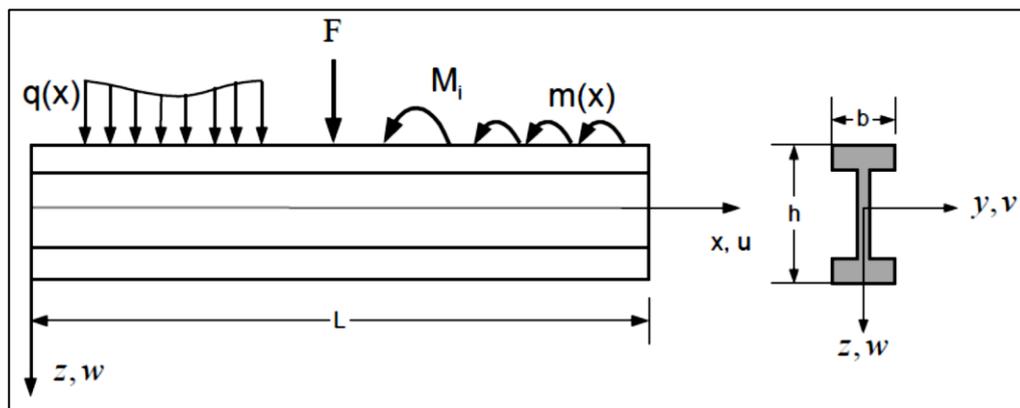
$$\theta_{(x)} = \frac{q}{EI} \left( \frac{L}{4}x^2 - \frac{1}{6}x^3 - \frac{1}{24}L^3 \right) \quad (2.4)$$

### 2.4.2. TEORÍA DE EULER - BERNOULLI

Consideremos una viga, de longitud  $L$ , sección transversal de área  $A$  y módulo de inercia  $I$ . Sobre dicha viga actúan fuerzas distribuidas, fuerzas puntuales, así como momentos distribuidos y momentos puntuales en un plano  $xz$ . (Figura 2.2)

**Figura 2.3**

*Viga de Euler-Bernoulli.*



Fuente: Adaptado de Budynas, R. & Nisbett, J. (2008).

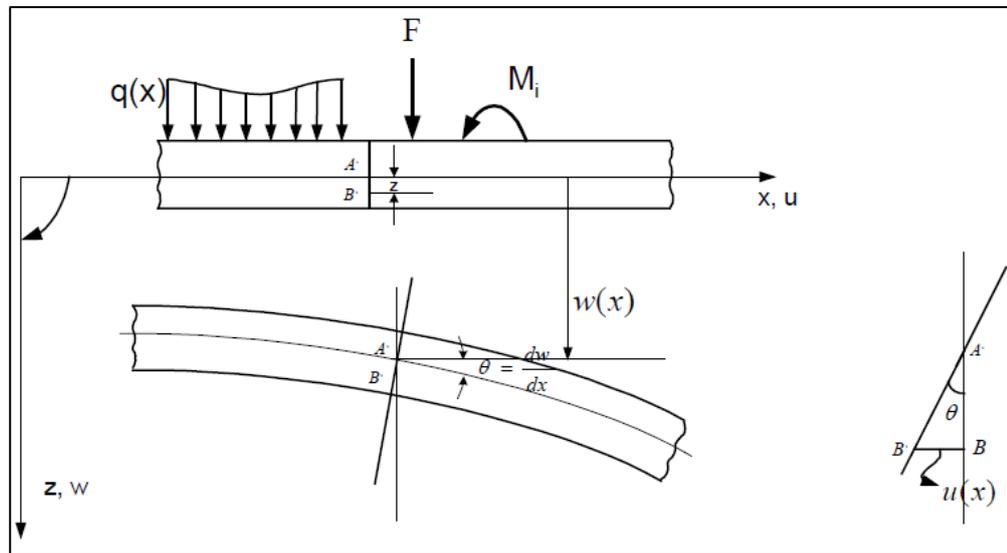
*Diseño en Ingeniería Mecánica de SHIGLEY.* México: Mc Graw-Hill.

La teoría de vigas clásicas de Euler - Bernoulli, se basa en tres hipótesis, además despreciaremos para este estudio la acción de los momento distribuidos  $m(x) = 0$ , las hipótesis son las siguientes:

- Los desplazamientos verticales de todos los puntos de una sección transversal son pequeños e iguales a los del eje neutro de la viga.
- El desplazamiento lateral (según eje  $y$  de la Figura 2.3) es nulo.
- Las secciones transversales normales al eje de la viga permanecen planas antes y después de la deformación.

**Figura 2.4**

Desplazamientos de la sección de una viga



Fuente: Adaptado de Budynas, R. & Nisbett, J. (2008).

*Diseño en Ingeniería Mecánica de SHIGLEY*. México: Mc Graw-Hill.

Según las hipótesis establecidas el campo de desplazamiento de un punto cualquiera se puede escribir como:

$$\begin{aligned} u(x, y, z) &= -z \frac{dw}{dx} \\ v(x, y, z) &= 0 \\ w(x, y, z) &= w(x) \end{aligned} \quad (2.5)$$

La deformación en un punto material se obtiene por las respectivas definiciones:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{du}{dx} = -z \frac{d^2w}{dx^2} \\ \varepsilon_y &= \varepsilon_z = \gamma_{xy} = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0 \end{aligned} \quad (2.6)$$

El único esfuerzo no nulo  $\sigma_x$  se relaciona con su correspondiente deformación  $\varepsilon_x$  por:

$$\sigma_x = E \varepsilon_x = -zE \frac{d^2w}{dx^2} \quad (2.7)$$

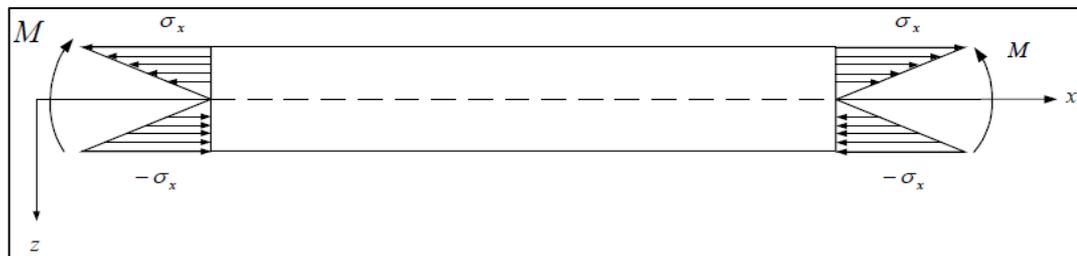
Se define el momento flector positivo  $M$  (según Figura 2.4) de una sección como:

$$M = - \iint z \sigma_x dA = \iint z^2 E \frac{d^2 w}{dx^2} dA = EI \frac{d^2 w}{dx^2} = EI \chi \quad (2.8)$$

Donde  $I$  es el momento de inercia de la sección transversal con respecto al eje  $y$  y siendo  $\chi$  la curvatura del eje de la viga.

**Figura 2.5**

*Convenio de signos para los esfuerzos y el momento flector  $M$ .*



Fuente: Adaptado de Budynas, R. & Nisbett, J. (2008).

*Diseño en Ingeniería Mecánica de SHIGLEY*. México: Mc Graw-Hill.

## 2.5. TEORÍA DE FALLA Y ESFUERZO EQUIVALENTE PARA MATERIALES DÚCTILES

### 2.5.1. TEORÍA DEL ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO (ECM)

La teoría del esfuerzo máximo estipula que la fluencia comienza cuando el esfuerzo cortante máximo de cualquier elemento iguala al esfuerzo cortante máximo en una pieza de ensayo a tensión del mismo material cuando esa pieza comienza a fluir. La teoría del ECM también se conoce como la teoría de Tresca o Guest. (Budynas & Nisbett, 2008)

La hipótesis del esfuerzo cortante máximo produce la fluencia cuando:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \geq \frac{S_y}{2} \quad \text{ó} \quad \sigma_1 - \sigma_3 \geq S_y \quad (2.9)$$

Esto implica que la resistencia a la fluencia en cortante está dada por:

$$S_{sy} = 0,5 \cdot S_y \quad (2.10)$$

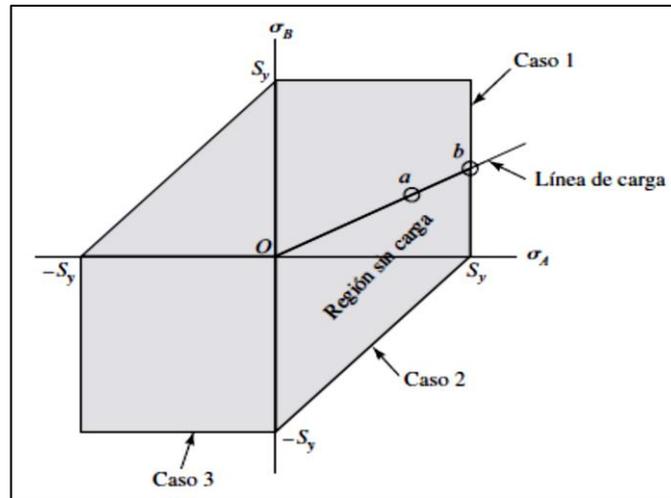
Lo cual es un valor conservador (es baja en alrededor de 15 %).

Para propósitos de diseño, se incorpora un factor de seguridad ( $n$ )

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{S_y}{2n} \quad \text{ó} \quad \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{S_y}{n} \quad (2.11)$$

**Figura 2.6**

*Teoría del esfuerzo cortante máximo en esfuerzo plano.*



Fuente: Budynas & Nisbett (2008)

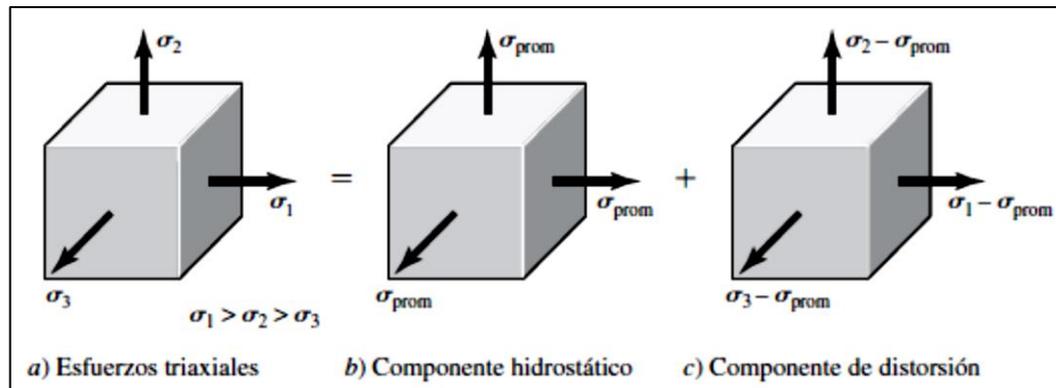
### 2.5.2. TEORÍA DE LA MÁXIMA ENERGÍA DE DISTORSIÓN (ESFUERZO DE VON MISSES)

La teoría de la energía de deformación máxima predice que la falla por fluencia ocurre cuando la energía de deformación total por unidad de volumen alcanza o excede la energía de deformación por unidad de volumen correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión o en compresión del mismo material.

La teoría de la energía de distorsión se originó debido a que se comprobó que los materiales dúctiles sometidos a esfuerzos hidrostáticos (esfuerzos principales iguales) presentan resistencias a la fluencia que exceden en gran medida los valores que resultan del ensayo de tensión simple. Por lo tanto, se postuló que la fluencia no era un fenómeno de tensión o compresión simples, sino más bien, que estaba relacionada de alguna manera con la distorsión angular del elemento esforzado. (Budynas & Nisbett, 2008)

**Figura 2.7**

La teoría de la energía de distorsión representación triaxial.



Fuente: Budynas & Nisbett (2008)

El esfuerzo promedio:

$$\sigma_{prom} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (2.12)$$

Las deformaciones principales:

$$u = \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)] \quad (2.13)$$

La energía de distorsión:

$$u_d = u - u_v = \frac{1 + \nu}{3E} \left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right] \quad (2.14)$$

Observe que la energía de distorsión es cero si:  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ .

Para el ensayo simple, en la fluencia,  $\sigma_1 = S_y$  y  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ .

La energía de distorsión es:

$$u_d = \frac{1 + \nu}{3E} S_y^2 \quad (2.15)$$

En el caso general:

$$\left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \geq S_y \quad (2.16)$$

Se puede considerar el lado izquierdo de la ecuación (2.16) como un esfuerzo simple, equivalente o efectivo del estado general del esfuerzo dado por  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$ .

Por lo general este esfuerzo efectivo se llama esfuerzo de von Mises,  $\sigma'$ .

$$\sigma' \geq S_y$$

Donde el esfuerzo de von Mises es: (2.17)

$$\sigma' = \left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \quad (2.18)$$

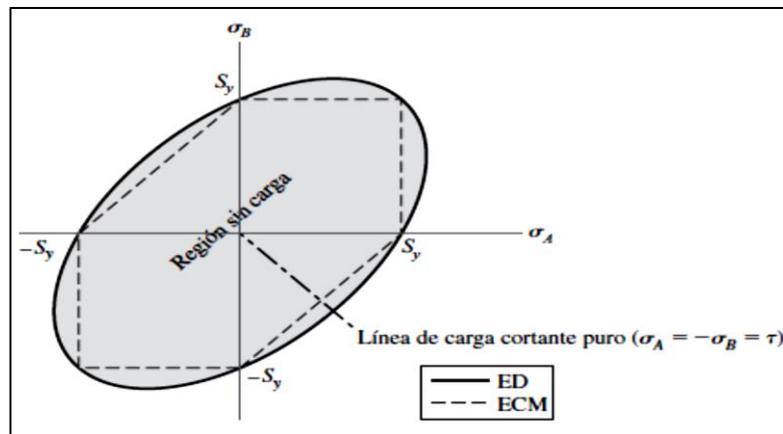
Para un esfuerzo plano, sean  $\sigma_A$  y  $\sigma_B$  los dos esfuerzos principales diferentes de cero, se obtiene:

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A \sigma_B + \sigma_B^2)^{1/2} \quad (2.19)$$

Siendo la ecuación (2.19), la representación de una elipse rotada.

**Figura 2.8**

*La teoría de la energía de distorsión estados de esfuerzo plano.*



Fuente: Budynas & Nisbett (2008)

Empleando las componentes  $xyz$  del esfuerzo tridimensional, el esfuerzo von Mises es:

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]^{1/2} \quad (2.20)$$

y para un esfuerzo plano:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2} \quad (2.21)$$

## 2.6. DISEÑO DE VIGAS SEGÚN NORMA AISC 360-16

De acuerdo a la especificación AISC 360-16, indica las condiciones para el diseño que tiene que cumplir los perfiles. Para el diseño de la viga del larguero y transversal respecto al chasis y King pin, se utiliza los capítulos B, F y G.

En el capítulo B facilita los requisitos para el diseño de la viga, en la sección B4.1 establece las dimensiones que tiene que cumplir el perfil. Los perfiles en I, T y C tienen que cumplir la relación ancho-espesor para las alas y almas para indicar si el perfil es compacto, no compacta o esbelta según los casos 10 y 11. (AISC, 2016)

### 2.6.1. RELACIÓN ANCHO-ESPESOR PARA ALAS (PERFIL I, CASO 11)

$$\text{Compacta: } \frac{bf}{tf} < \lambda_p \quad (2.22)$$

$$\text{No compacta: } \frac{bf}{tf} > \lambda_p < \lambda_r \quad (2.23)$$

$$\text{Esbelta: } \frac{bf}{tf} > \lambda_r \quad (2.24)$$

Donde:

bf = Ancho de ala

tf = espesor de ala

$\lambda_p$  = Parámetro limitante de esbeltez para elementos compactos

$$\lambda_p = 0.38x \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.25)$$

$\lambda_r$  = Parámetro limitante de esbeltez para elemento no compacto

$$\lambda_r = 0.95x \sqrt{\frac{K_c x E}{F_y}} \quad (2.26)$$

E = Módulo de elasticidad del acero = 200000 Mpa (29000 ksi)

$k_c$  = Coeficiente para elementos esbeltos no atiesados

$F_y$  = Tensión mínima de fluencia especificado para el tipo de acero empleado.

### 2.6.2. RELACIÓN ANCHO-ESPESOR PARA ALMAS (PERFIL I, CASO 11)

$$\text{Compacta: } \frac{bw}{tw} < \lambda_P \quad (2.27)$$

$$\text{No compacta: } \frac{bw}{tw} > \lambda_P < \lambda_r \quad (2.28)$$

$$\text{Esbelta: } \frac{bw}{tw} > \lambda_r \quad (2.29)$$

Donde:

$bw$  = Ancho de alma

$tw$  = espesor de alma

### 2.6.3. RELACIÓN ANCHO-ESPESOR PARA ALAS (PERFIL T Y C, CASO 10)

$$\text{Compacta: } \frac{bf}{tf} < \lambda_P$$

$$\text{No compacta: } \frac{bf}{tf} > \lambda_P < \lambda_r$$

$$\text{Esbelta: } \frac{bf}{tf} > \lambda_r$$

Donde:

$$\lambda_P = 0.38x \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.30)$$

$$\lambda_r = 1.0x \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.31)$$

### 2.6.4. RELACIÓN ANCHO-ESPESOR PARA ALMAS (PERFIL T Y C, CASO 10)

$$\text{Compacta: } \frac{bw}{tw} < \lambda_P$$

$$\text{No compacta: } \frac{bw}{tw} > \lambda_P < \lambda_r$$

$$\text{Esbelta: } \frac{bw}{tw} > \lambda_r$$

Donde:

$bw$  = Ancho de alma

$tw$  = espesor de alma

### 2.6.5. ESTADOS LÍMITES PARA DISEÑO POR FLEXIÓN

En el capítulo F (AISC 360-16) es para el diseño de vigas a flexión, en la tabla F1.1 ubicamos el perfil requerido según sus características de esbeltez. En esta sección el análisis se enfoca en los estados de límite.

### 2.6.6. FLUENCIA

Predominan las siguientes ecuaciones:

$$M_n = 1,5 * M_y \quad (2.32)$$

$$M_y = F_y * S_x \quad (2.33)$$

$$S_x = \frac{I_x}{c_y} \quad (2.34)$$

Dónde:

$M_n$  = Momento teórico

$F_y$  = Tensión mínima de fluencia del material

$I_x$  = Momento de inercia

$S_x$  = Módulo elástico de sección.

$M_y$  = Momento de fluencia sobre el eje de flexión

$c_y$  = Centro de gravedad respecto al eje y.

#### a. LTB PANDEO LATERAL TORSIONAL

No se aplica este estado de límite por que la condición exige que no tiene que existir restricción continua al pandeo lateral torsional a lo largo de su longitud.

La viga se encuentra arriostrada para el chasis y el King pin.

**b. LLB PANDEO LOCAL DE ALA**

No se aplica este estado de límite por que la condición exige que en el borde extremo del ala se encuentre en compresión. La viga se encuentra generando corte en su extremó para el chasis y el King pin.

**2.6.7. ESTADOS LÍMITES PARA DISEÑO POR CORTE**

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v \quad (2.35)$$

$$A_w = b t \quad (2.36)$$

$$C_v = 1$$

Dónde:

$V_n$  = Corte teórico

$A_w$  = Área del alma

$C_v$  = Coeficiente de corte del alma

**a. COMBINACIÓN DE CARGAS MUERTAS Y VIVAS PARA CORTE.**

$$V_u = 1,2D + 1,6L \quad (2.37)$$

**b. COMBINACIÓN DE CARGAS MUERTAS Y VIVAS PARA MOMENTO.**

$$M_u = 1,2D + 1,6L \quad (2.38)$$

**c. VERIFICACIÓN DE SI VA A FALLAR LAS VIGAS POR CORTE Y MOMENTO.**

$$\sqrt{\left(\frac{M_u}{\phi_b M_n}\right)^2 + \left(\frac{V_u}{\phi_b V_n}\right)^2} \leq 1 \quad (2.39)$$

Dónde:

$\phi_b = 0,90$ , para todos los estados de limite.

## 2.7. CALCULO DE ESPESORES MÍNIMOS PARA RECIPIENTES A PRESIÓN

### (ASME SEC. VIII D. I)

Los recipientes a presión están sujetos a diversas cargas, que causan esfuerzos de diferentes intensidades en los componentes del recipiente.

El tipo e intensidad de los esfuerzos es una función de la naturaleza de las cargas, de la geometría del recipiente y de su construcción.

Las fórmulas que presentamos a continuación están en base a las dimensiones interiores y la nomenclatura de las abreviaturas son:

- P = Presión de diseño, Lb/in<sup>2</sup>.
- S = Valor del esfuerzo del material, Lb/in<sup>2</sup>.
- E = Eficiencia de la junta.
- R = Radio interior, in.
- D = Diámetro interior, in.
- t = Espesor de la pared, in.
- C.A.= Margen de corrosión.

Esfuerzos de diseño a considerar:

La presión uniforme interna o externa induce en la costura longitudinal un esfuerzo unitario igual al doble del que obra en la costura circunferencial, por la geometría misma del cilindro.

- **Esfuerzo Circunferencial  $\sigma_c$**

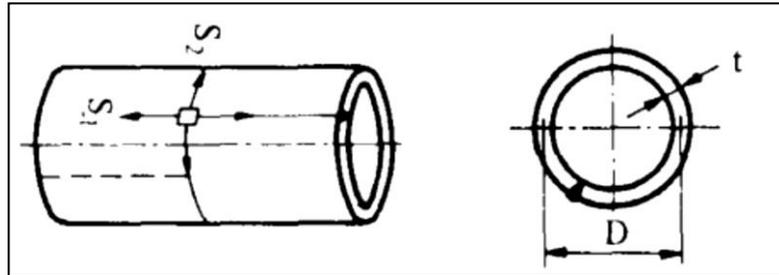
$$\sigma_c = S_1 = \frac{Pr}{2t} \quad (2.40)$$

- **Esfuerzo Longitudinal  $\sigma_L$**

$$\sigma_L = S_2 = \frac{Pr}{4t} \quad (2.41)$$

**Figura 2.9**

Representación esquemática de los esfuerzos.



Fuente: CODIGO ASME SECCIÓN VIII DIV.I, ED. 2017

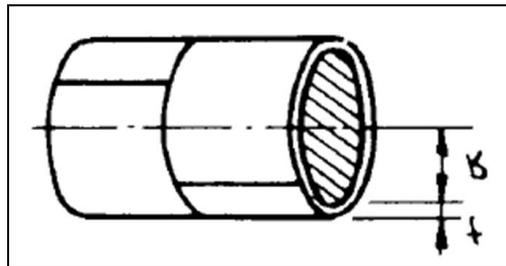
Donde: **P**: Presión, **r**: radio y **t**: espesor del cuerpo sin margen de corrosión.

### 2.7.1. UG-27 DISEÑO DE CASCO CILÍNDRICO

Para el espesor del cuerpo cilíndrico como la figura 2.9, se tiene:

**Figura 2.10**

Casco cilíndrico



Fuente: CODIGO ASME SECCIÓN VIII DIV.I, ED. 2017

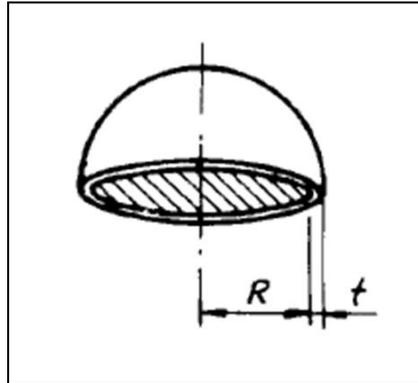
$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (2.42)$$

### 2.7.2. UG-32 (F) DISEÑO DE TAPAS SEMI-ESFÉRICAS

Calculo de espesor mínimo requerido para tapas semiesféricas, cuando **t < 0.356R**  
o **P < 0.665SE**.

En la figura 2.10 se puede observar 2 parámetros fundamentales.

Radio y espesor de material mínimo requerido que se calculará con la ecuación 2.43.

**Figura 2.11***Parámetros de tapa Semi-esférica.*

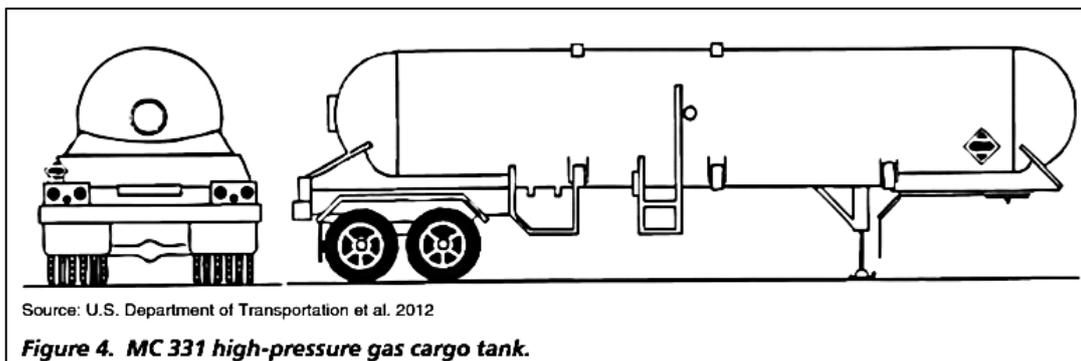
Fuente: CODIGO ASME SECCIÓN VIII DIV.I, ED. 2017

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P} \quad (2.43)$$

## 2.8. CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE SEMIRREMOLQUE (ASME SEC. XII)

Según el apéndice 1, Artículo 1 del código ASME BPVC Sec XII, se tiene que la clasificación del tanque por su presión de trabajo cumple la siguiente clasificación del tipo **categoría 331 (Cargo tanks)**.

La normativa ASME BPVC Sec XII, Apéndice A recomienda el soporte sobre mínimo en dos silletas las cuales pueden ser extendidas a lo largo del cuerpo. Bajo estos soportes se debe analizar la deformación producida y la necesidad de rigidización en estos sectores.

**Figura 2.12***Semirremolque para Gas de alta presión.*

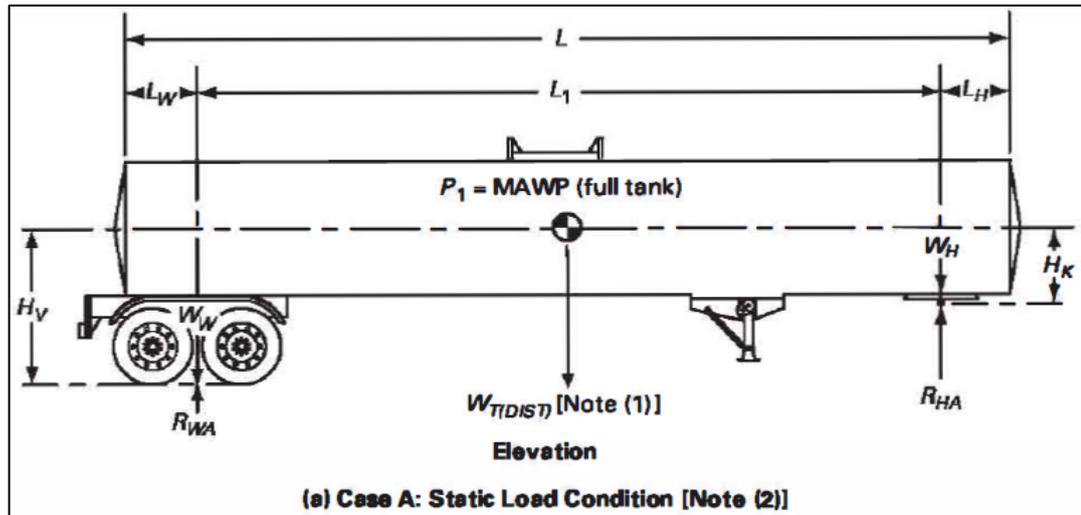
Fuente: ASME SECCIÓN XII, ED. 2017

El análisis para las condiciones de carga indicada, del semirremolque, en la normativa BPVC Sec XII, Modal appendix 1, Loading conditions.

- Análisis de cargas estáticas (peso de tanque y GLP):

**Figura 2.13**

*Condiciones de carga en el semirremolque*

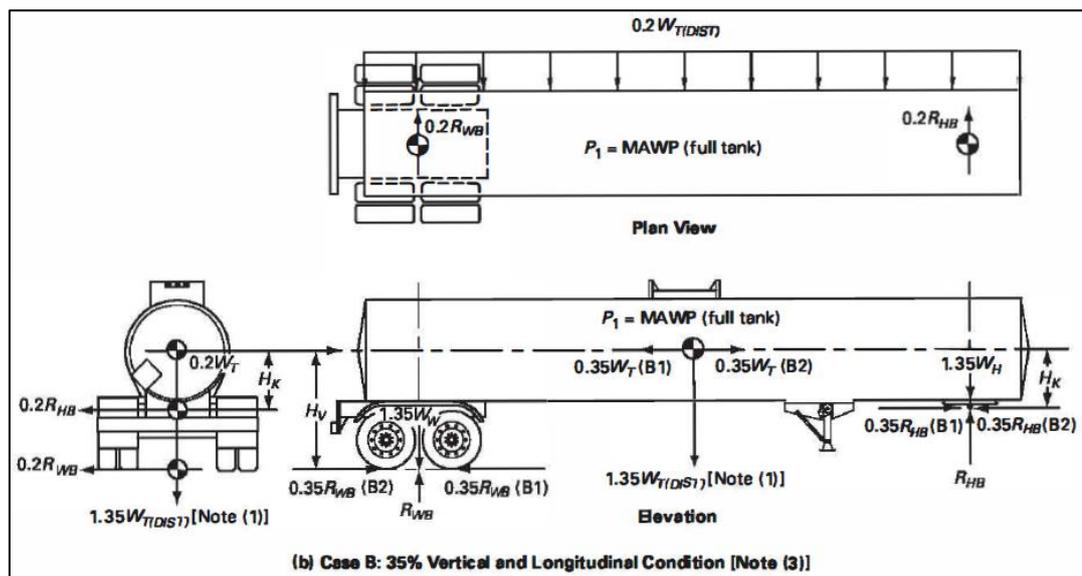


Fuente: ASME SECCIÓN XII, ED. 2017.

- Análisis de cargas dinámicas Caso B (tanque completamente lleno desplazando y generando un momento):

**Figura 2.14**

*Las cargas dinámicas en el semirremolque*



Fuente: ASME SECCIÓN XII, ED. 2017.

## **2.9. SOBRE EL PROGRAMA SOLIDWORKS SIMULATION**

Es una herramienta de análisis de diseño basada en una técnica numérica que se denomina Análisis por Elementos Finitos (Finite Element Analysis o FEA, por sus siglas en inglés). Solidworks Simulation pertenece a la familia de productos de software de análisis de ingeniería. (SOLIDWORKS, 2015)

En matemáticas, el FEA, también conocido como Método de elementos finitos, es una técnica numérica para resolver problemas de campo descrita como un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales. En ingeniería mecánica, el FEA se usa a menudo para resolver problemas estructurales, térmicos y de vibración. (SOLIDWORKS, 2015)

Los ingenieros de diseño usan el FEA durante el proceso de desarrollo del producto para analizar el progreso del diseño. Las restricciones de tiempo y la limitación de los datos de productos exigen una gran simplificación de los modelos de análisis. Los analistas especializados implementan el FEA para resolver problemas muy avanzados, como la dinámica de colisión de vehículos, el moldeo de metales o el análisis de bioestructuras. (SOLIDWORKS, 2015)

Desde la perspectiva metodológica del FEA, incluimos los siguientes pasos:

### **2.9.1. CREACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO.**

El análisis con Solidworks Simulation empieza con la geometría representada por un modelo de Solidworks de una pieza o un ensamblaje. Esta geometría se debe poder generar en una correcta malla de elementos finitos razonablemente pequeños. Con pequeño no nos referimos al tamaño del elemento, sino al número de elementos en la malla. Debemos asegurarnos de que se pueda generar una malla en la geometría de CAD y que la malla producida proporcione la solución correcta para los datos de interés, como los desplazamientos, tensiones, distribución de la temperatura, etc. (SOLIDWORKS, 2015)

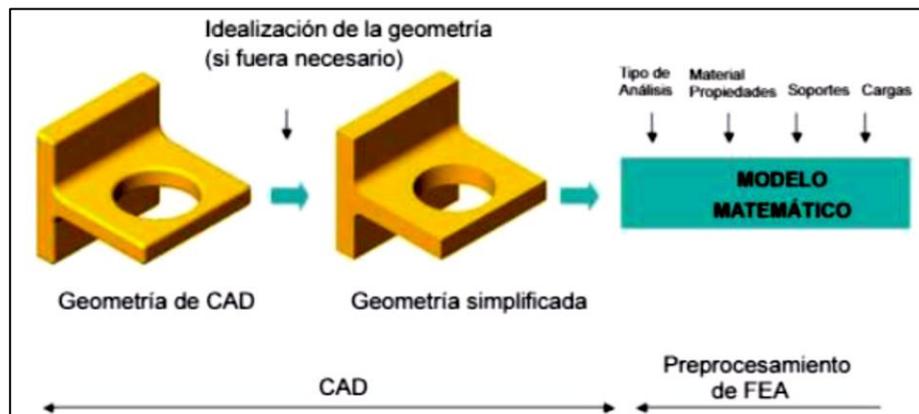
A menudo, aunque no siempre, esta necesidad de generar mallas implica modificaciones en la geometría del CAD. Estas modificaciones pueden significar la eliminación de operaciones, idealización y/o limpieza.

Una vez preparada la geometría con la que se puede generar la malla, definimos las propiedades de los materiales, cargas, soporte y restricciones, y proporcionamos información sobre el tipo de análisis que deseamos realizar.

Este procedimiento completa la creación del modelo matemático. Tenga en cuenta que el proceso de creación del modelo matemático no es específico de FEA. FEA todavía no ha entrado en juego. (SOLIDWORKS, 2015)

**Figura 2.15**

*Creación del modelo matemático.*



Fuente: (SOLIDWORKS, 2015)

## 2.9.2. CREACIÓN DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS.

Ahora dividimos el modelo matemático en elementos finitos mediante un proceso de individualización, más conocido como mallado. La individualización se manifiesta visualmente como el mallado de la geometría. Sin embargo, también se individualizan las caras y soportes y, cuando se ha generado la malla del modelo, se aplican nodos a las cargas y soportes individualizados de la malla de elementos finitos. (SOLIDWORKS, 2015)

**Figura 2.16**

*Creación del modelo de elementos finitos.*



Fuente: (SOLIDWORKS, 2015)

### 2.9.3. RESOLUCIÓN DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS.

Después de crear el modelo de elementos finitos, usamos un solver provisto en Solidworks Simulation para producir los datos de interés deseado.

### 2.9.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

El análisis de resultados es a menudo el paso más difícil. Proporciona datos y resultados muy precisos que se pueden presentar prácticamente en cualquier formato. Una interpretación correcta de éstos requiere que tengamos en cuenta las suposiciones, simplificaciones del modelo matemático, construcción del modelo de elementos finitos y resolución del modelo de elementos finitos. (SOLIDWORKS, 2015)

#### a. ERRORES EN EL FEA

El proceso de creación de un modelo matemático y de individualización en un modelo de elementos finitos introduce errores que no se pueden evitar. La formulación de un modelo matemático introduce errores de modelado, también llamados errores de idealización. La individualización del modelo matemático

introduce errores de individualización y la solución introduce errores numéricos.  
(SOLIDWORKS, 2015)

De estos tipos de errores, sólo los errores de individualización son errores específicos del Método de Elementos Finitos, por tanto, sólo los errores de individualización se pueden controlar con los métodos de elementos finitos. Los errores de modelado, que afectan al modelo matemático, se introducen antes de usar el MEF y sólo se pueden controlar usando técnicas de modelado correctas. Los errores de solución, que son errores de redondeo acumulados por el módulo de cálculo, resultan difíciles de controlar al ser un proceso gestionado en su totalidad por la aplicación, pero afortunadamente suelen ser muy pequeños.  
(SOLIDWORKS, 2015)

## **2.10. SEMIRREMOLQUE**

Es un vehículo no motorizado con uno o más ejes, que se apoya en otro vehículo acoplándose a este y transmitiéndole parte de su peso mediante la quinta rueda. (Ver figura A.2 y A.3 del Anexo 1. Definiciones, DS N° 058-2003-MTC).

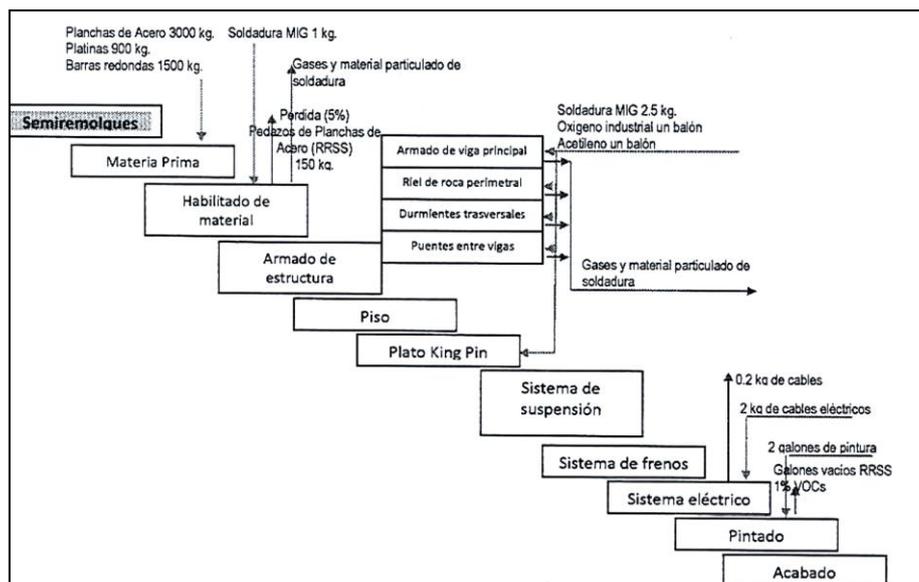
El semirremolque está constituido por las siguientes partes principales:

- El bastidor o chasis.
- Sistema de suspensión.
- Sistema de ejes.
- Sistema de frenos.
- Llantas.
- King-pin.
- Gata para soporte.
- Accesorios de seguridad.

El proceso de fabricación consta de varios subprocesos divididos en partes del semirremolque, por ejemplo, la empresa Leciñena empresa líder en la fabricación de remolques y semirremolques en ESPAÑA nos describe el procedimiento de la fabricación de estos. (Leciñena, 2018)

**Figura 2.17**

*Proceso de fabricación de un semirremolque*



Fuente: RD-186-2016-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM

## 2.11. TANQUES CISTERNA A PRESIÓN PARA TRANSPORTE DE GLP

Es un recipiente que almacena GLP (constituido por dos cabezales, virolas y accesorios) que, unido al semirremolque y al tracto, transporta el gas desde las instalaciones de producción a las plantas de refinamiento del petróleo, así como el transporte desde las refinерías hacia las plantas de abastecimiento y por último desde éstas hacia toda la cadena de comercialización de GLP. (OSINERGMIN, 2018)

Los tanques de los camiones cisterna deberán ser diseñados, fabricados y probados de acuerdo con el código ASME, Sección VIII, División 1 o con códigos equivalentes. La inspección de las soldaduras deberá efectuarse mediante radiografías al 100%.

Cada camión cisterna deberá contar con los respectivos certificados otorgados por organismos acreditados por INDECOPI, en cuanto a (Decreto Supremo N° 27-94-EM).

## 2.12. PESOS Y MEDIDAS VEHICULARES

Las normas vehiculares nacionales indican que todos los vehículos que transitan por el territorio nacional, tienen un ancho, largo y alto máximo de las carrocerías. Capacidades de carga de acuerdo a sus configuraciones vehiculares, bonificaciones de carga y demás normas que se refieren al transporte terrestre peruano (DS N° 058-2003-MTC).

- a) Capacidad de carga útil: Carga máxima permitida por el presente Reglamento que puede transportar un vehículo sin que exceda el Peso Bruto Vehicular simple o combinado.
- b) Peso bruto vehicular (PBV): Peso neto (Tara) del vehículo más la capacidad de carga.
- c) Peso bruto vehicular combinado (PBVC): Peso bruto vehicular de la combinación camión más remolque(s) o tracto-camión más semirremolque(s).
- d) Peso neto (Tara): Peso del vehículo en orden de marcha, sin incluir la carga o pasajeros (incluye el peso del combustible con los tanques llenos, herramientas y rueda(s) de repuesto)

### **Dimensiones máximas**

- Altura máxima es de 4.1 m.
- Largo máximo entre el conjunto tracto camión y semirremolque es de 20.5m.
- Ancho máximo es de 2.6 m

### **Peso máximo**

El peso bruto vehicular máximo permitido es 48 toneladas (Ver figura A.2 de Anexo 1).

### **Bonificación del peso máximo**

Los vehículos, incluyendo las combinaciones vehiculares (camión más remolque y/o tracto más semirremolque), con suspensión neumática y/o neumáticos extra anchos se permitirán una bonificación adicional respecto de los pesos máximos por eje, (Ver Anexo 1), hasta un 10%.

## 2.13. COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS

### EMPLEADOS

**Tabla 2.2**

*Propiedades mecánicas del acero ASTM A-36.*

Esfuerzo de Fluencia		Esfuerzo a la Tracción		Elongación
$\left(\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}\right)$	MPa	$\left(\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}\right)$	MPa	%
25,5 (mín.)	250 (mín.)	40,8 (mín.)	400 (mín.)	20 (mín.)

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2.3**

*Propiedades mecánicas del acero ASTM SA-414G.*

Esfuerzo de Fluencia		Esfuerzo a la Tracción		Elongación
(ksi)	MPa	(ksi)	MPa	%
45 (mín.)	310 (mín.)	75 (mín.)	517 (mín.)	16 (mín.)

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2.4**

*Propiedades mecánicas del acero STRENX 700 MC.*

Esfuerzo de Fluencia		Esfuerzo a la Tracción		Elongación
(ksi)	MPa	(ksi)	MPa	%
102 (mín.)	700 (mín.)	109 (mín.)	750 (mín.)	10 (mín.)

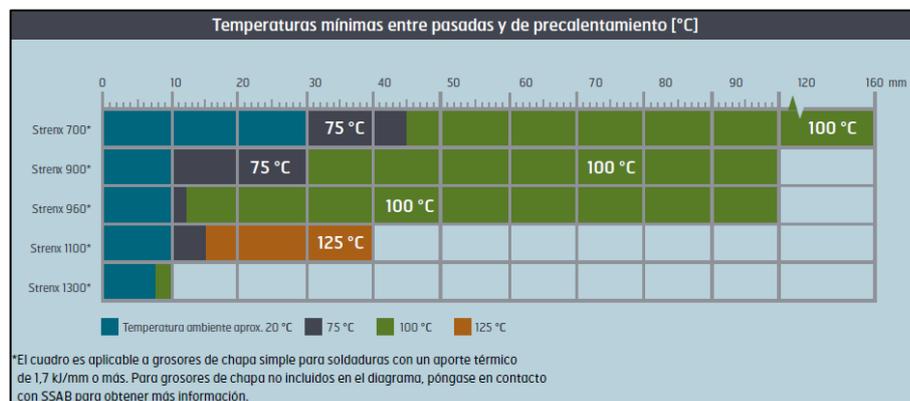
Fuente: Elaboración propia.

## 2.14. SOLDABILIDAD DEL STRENX 700 MC

La temperatura de precalentamiento usando Strenx lo veremos en el siguiente tabla 2.5:

**Tabla 2.5**

*Material de relleno para aceros Strenx.*



Fuente: (STRENX, 2019)

La soldadura que se recomienda para el acero Strenx, basado en la tabla 2.6.

**Tabla 2.6**

*Material de relleno para aceros Strenx.*

Steel Grade	MAG-welding (GMAW)	Submerged Arc Welding (SAW)
Strenx 700 MC	AWS: A5.28 ER100S-X AWS: A5.28 ER110S-X EN 12534: G Mn3Ni1CrMo EN 12543: G Mn4Ni2CrMo	AWS: A5.23 F10X AWS: A5.23 F11X EN ISO 26304-A S69X

Fuente: (ESAB, 2019)

Buscando la soldadura la cual sea equivalente a la recomendada, encontramos y está representada en la tabla 2.7, mostrado a continuación:

**Tabla 2.7**

*Soldadura equivalente a emplear.*

<b>Spoolarc 83</b>			
Spoolarc 83 contains 0.5% Mo to provide higher deposit strength in both the as welded and stress relieved conditions. It contains high levels of Manganese and Silicon to provide good wetting and good rust and scale tolerance. Spoolarc 83 is also used for all-position welding of high tensile pipe and tubing commonly found in earthmoving and construction equipment. It is available in forms suitable for MIG and TIG welding.			
<b>Classifications:</b>	AWS A5.28:ER80S-D2/ER90S-D2		
<b>Approvals:</b>	MIL-E-23765/2 80S-3, CWB CSA W48, CWB CAN/CSA-ISO14341, B-G 55A 3 G4M31 (ER80S-D2)		
<b>Industry or Segmentation:</b>	Industrial and General Fabrication, Mobile Equipment, Automotive, Ship/Barge Building		
<i>Approvals are based on factory location. Please contact ESAB for more information.</i>			
Typical Tensile Properties			
Condition	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
<b>100% CO2</b>			
As Welded	530 MPa (77 ksi)	635 MPa (92 ksi)	23 %
<b>98% Ar - 2% O2</b>			
As Welded	655 MPa (95 ksi)	750 MPa (110 ksi)	22 %

Fuente: (ESAB, 2019)

Por lo tanto:

Se soldará la estructura con alambre sólido de la marca SOLDEXA MIG SPORLAC 83 (ER80S-D2/ER90S-D2).

## 2.15. CÁLCULOS FINANCIEROS PARA EL PROYECTO

### 2.15.1. ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO DEL PROYECTO

El análisis económico en ingeniería es la aplicación de factores y criterios en donde tenemos que evaluar alternativas que consideran el valor del dinero con respecto al tiempo, y calcular una medida de valor económico específico de flujos de efectivo estimado durante un periodo de tiempo específico. (Mete, 2014)

#### a. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El Valor Actual Neto de un proyecto es el valor actual/presente de los flujos de efectivo netos de una propuesta, entendiéndose por flujos de efectivo netos la diferencia entre los ingresos periódicos y los egresos periódicos. Para actualizar esos flujos netos se utiliza una tasa de descuento denominada tasa de expectativa o alternativa/oportunidad, que es una medida de la rentabilidad mínima exigida por el proyecto que permite recuperar la inversión, cubrir los costos y obtener beneficios. (Mete, 2014)

Para su cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$VAN = \left[ \sum_{t=1}^n FE(t) * (1 + i)^{(0 - t)} \right] + I(0) \quad (2.44)$$

Donde:

**VAN:** Valor Actual Neto

**FE (t):** flujo de efectivo neto del período ti: tasa de expectativa o alternativa/oportunidad. n: número de períodos de vida útil del proyecto

**I (0):** inversión inicial (neta de ingresos y otros egresos)

Cabe destacar que el VAN así calculado traduce ingresos y egresos a su valor equivalente en el período 0. Si se quiere seleccionar otro período de referencia, deberá ajustarse la ecuación en la forma correspondiente. (Mete, 2014)

## b. CRITERIO DE ACEPTACIÓN

Si el Valor Actual Neto de un proyecto independiente es mayor o igual a 0 el proyecto se acepta, caso contrario se rechaza. Para el caso de proyectos mutuamente excluyentes, donde debo optar por uno u otro, debe elegirse el que presente el VAN mayor. En conclusión, podemos afirmar que el Valor Actual Neto, por la consistencia de sus supuestos, es el criterio que debe utilizarse para el análisis y evaluación de proyectos, ya sean independientes o mutuamente excluyentes. (Mete, 2014)

## c. TASA INTERNA DE RENDIMIENTO/RETORNO (TIR)

Al no depender de las condiciones que prevalecen en el mercado financiero, se la denomina tasa interna de rendimiento: es la cifra interna o intrínseca del proyecto, es decir, mide el rendimiento del dinero mantenido en el proyecto, y no depende de otra cosa que no sean los flujos de efectivo de aquel. (Mete, 2014)

Cálculo de la TIR El cálculo de la TIR puede resultar muy complejo si la vida útil del proyecto excede los dos períodos. En ese caso, la solución requiere considerar a la TIR como incógnita en la ecuación del Valor Actual Neto, ya que ella tiene la particularidad de ser la única tasa que hace que el resultado de aquel sea iguala 0:

$$\sum_{t=0}^n FE/(1 + TIR)^t = VAN = 0 \quad (2.45)$$

Donde:

TIR: Tasa Interna de Rendimiento/Retorno

VAN: Valor Actual Neto

FE (t): flujo de efectivo neto del período

tn: número de períodos de vida útil del proyecto

#### d. CRITERIO DE ACEPTACIÓN

**Proyectos independientes:** surge de la comparación entre la TIR y la tasa de expectativa o alternativa/oportunidad.

Si la TIR es mayor a la tasa de expectativa, el proyecto es financieramente atractivo ya que sus ingresos cubren los egresos y generan beneficios adicionales por encima de la expectativa o alternativa o Si la TIR es menor a la tasa de expectativa, el proyecto no es financieramente atractivo ya que hay alternativas de inversión que pueden generar mejores resultados. Dentro de este escenario se nos pueden presentar dos alternativas:

- TIR menor a la expectativa, pero mayor a 0: significa que los ingresos apenas cubren los egresos del proyecto y no se generan beneficios adicionales.
- TIR menor a 0: significa que los ingresos no alcanzan a cubrir los egresos, por ende, el proyecto genera pérdidas.
- Si la TIR es igual a la tasa de expectativa es indiferente realizar el proyecto o escoger las alternativas, ya que generan idéntico beneficio. En caso de no existir alternativas debería llevarse a cabo el proyecto ya que los ingresos cubren los egresos y generan beneficios. (Mete, 2014)

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. TIPO DE ESTUDIO

La metodología de investigación es tecnológica y aplicada porque se desarrollan los conocimientos adquiridos de diseño para la fabricación de semirremolques para tanques cisterna a presión para transporte de GLP.

El nivel de investigación es aplicado porque se está obteniendo resultados comprobados por medio de cálculos de resistencia de materiales hechas analíticamente y finalmente calculadas por el método de por elementos finitos.

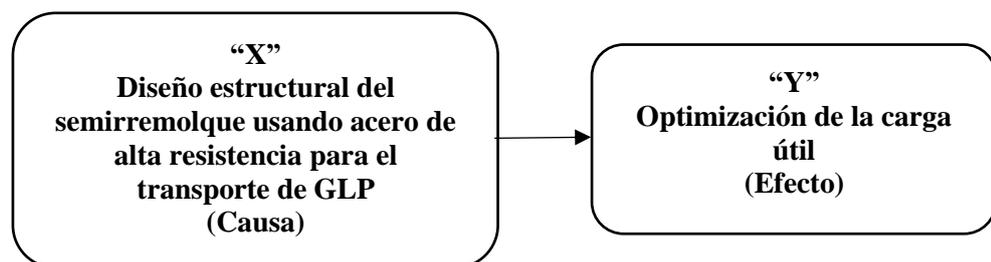
##### 3.1.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Investigación Tecnológica y aplicada.

Se recolectarán datos, se describirán y explicarán las relaciones entre variables en un único momento dado.

**Figura 3.1**

*Relación de las variables.*



Fuente: Elaboración propia.

Se muestra la variable independiente X y su relación causa-efecto con la variable dependiente Y, es decir expresada mediante la siguiente relación: X-Y.

### **3.1.3. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

Para poder lograr los objetivos planteados de esta investigación será necesario la ejecución de las siguientes etapas:

- a. Seleccionar información relevante y puntual sobre los diseños de semirremolques para tanques cisternas fabricados anteriormente en la empresa Tanques y Tapas S.A.C.
- b. Seleccionar información relevante y puntual de las planchas de acero de alta resistencia en el mercado nacional que favorezca al diseño requerido.
- c. Realizar los cálculos para el diseño del tanque cisterna a presión de 100 Psi y 15300 galones para transporte de G.L.P.
- d. Realizar los cálculos para el diseño estructural del semirremolque del tanque cisterna
- e. Simular el diseño en el Software Solidworks para verificar los puntos críticos de la estructura.
- f. Discutir y analizar la información por medio de graficas obtenidas de la simulación.
- g. Discutir y analizar los resultados para comprobar la hipótesis
- h. Redactar el informe de investigación.

### **3.1.4. POBLACIÓN**

La población serán los tanques cisterna para transporte de GLP fabricados en los años 2017 y 2018 en la empresa Tanques y Tapas S.A.C.

A continuación, se muestran los tanques cisternas a presión que se fabricaron y comercializaron en el año 2017.

**Tabla 3.1**

Órdenes de trabajo (O.T.) de tanques cisterna a presión para transporte de GLP fabricados en los años 2017 y 2018.

TIPO	N° O.T.	CAPACIDAD (G)	PESO BRUTO VEHICULAR (Kg)	PESO SECO VEHICULAR (Kg)	CARGA ÚTIL (Kg)	SUSPENSIÓN
TANQUES CISTERNA PARA TRANSPORTE DE GLP	00191	14500	48000	23910	24090	NEUMÁTICA
	00195	14500	48000	23650	24350	NEUMÁTICA
	00196	14500	48000	23650	24350	NEUMÁTICA
	00208	14500	48000	23450	24550	NEUMÁTICA

Fuente: Tanques y Tapas SAC.

### 3.1.5. MUESTRAS SELECCIONADAS

La muestra considerada serán 2 tanques cisterna para transporte de GLP a presión de 14500 galones fabricados en los años 2017 y 2018 en la empresa Tanques y Tapas S.A.C. En base a éstos se buscará hacer un rediseño de mejoramiento.

**Tabla 3.2**

*Tanques cisternas a presión para transporte de GLP seleccionadas para muestra.*

TIPO	N° O.T.	CAPACIDAD (G)	PESO BRUTO VEHICULAR (Kg)	PESO SECO VEHICULAR (Kg)	CARGA ÚTIL (Kg)	SUSPENSIÓN
TANQUES CISTERNA PARA TRANSPORTE DE GLP	00195	14500	48000	23650	24350	NEUMÁTICA
	00208	14500	48000	23450	24550	NEUMÁTICA

Fuente: Tanques y Tapas SAC.

### 3.1.6. VARIABLES DE ESTUDIO

a. Variable independiente

Diseño estructural del semirremolque usando acero de alta resistencia.

b. Variable dependiente

Optimización de la carga útil

### **3.1.7. PROPUESTA APLICADA**

La optimización de la estructura del semirremolque usando acero de alta resistencia, para el transporte de GLP; estará basado en los cálculos para el diseño del tanque y los cálculos para las partes de la estructura del semirremolque.

Se calculará el espesor óptimo de la estructura del semirremolque usando una plancha de acero de alta resistencia la cual nos permitirá reducir el peso de la estructura y aumentar la capacidad de carga útil. Asimismo, este nuevo diseño logrará reducir los costos de flete para transporte de GLP.

### **3.2. MÉTODOS**

Este trabajo de investigación se utilizará la síntesis bibliográfica a través de la búsqueda de la información.

### **3.3. TÉCNICA**

Se utilizará la sistematización bibliográfica a través del análisis de la información.

### **3.4. MEDIOS Y MATERIALES**

- Laptop (computadora) Workstation
- Catálogo de proveedores de los materiales utilizados según AISI/SAE y ASTM
- Norma de la MTC
- Software CAE (SolidWorks)
- Software CAD (AutoCAD)
- Norma ASME Sección II, VIII Div.1 y XII
- Método de cálculos analíticos.
- Norma AISC 360-16
- Tesis y bibliografía relacionada al tema en investigación.

## CAPÍTULO IV

### CÁLCULOS

#### 4.1. SIMULACIÓN POR SOLIDWORKS.

##### 4.1.1. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SEMIRREMOLQUE

**Tabla 4.1**

*Parámetros de diseño*

<b>Volumen y tipo de carrocería</b>	
- Capacidad volumétrica	: 15300 Galones
- Tipo de carrocería	: Semirremolque
Unidad tractora	
- Marca	: Tracto VOLVO FH 6X4T
- Peso aproximado	: 9550 Kg
- Potencia	: 460 HP
<b>Material a transportar</b>	
- Densidad aproximada	: 533 Kg/m <sup>3</sup>
Dimensiones aproximadas	
- Largo del casco	: 19254 mm
- Ancho exterior	: 2486 mm

Fuente: Elaboración propia.

Nota. Para mayores detalles acerca del tracto, ver figura A.1 del Anexo 1)

#### 4.1.2. CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS DEL SEMIRREMOLQUE

Para diseñar la estructura del chasis y del king-pin del semirremolque se debe calcular la situación de trabajo que realizan estos apoyos.

**Tabla 4.2**

*Peso seco del semirremolque.*

<b>Descripción</b>	<b>Masa (kg)</b>
Peso del tracto	9550
Peso permitido + 10 % (por bonificación)	52800
Peso máximo permitido en la cisterna	43250

Fuente: Elaboración propia.

La carga útil se encuentra repartida en el chasis y el king-pin del semirremolque y el peso se calcula con la densidad del GLP.

**Tabla 4.3**

*Carga útil en el semirremolque.*

<b>Densidad del GLP</b> <i>(kg/m<sup>3</sup>)</i>	<b>Volumen</b> <i>(Galones)</i>	<b>Peso útil</b> <i>(kg)</i>
533	15300	27700

Fuente: Elaboración propia.

El peso bruto máximo vehicular incluida la bonificación del 10% para semirremolques que con suspensión neumática se muestra en la tabla 4.4.

**Tabla 4.4**

*Peso bruto máximo distribuido en el semirremolque.*

<b>Descripción</b>	<b>Masa (kg)</b>
Peso del semirremolque	x
Carga útil	27700
Peso máximo permitido en la cisterna	43250

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular los esfuerzos en la viga principal se debe conocer las fuerzas como la carga útil, el peso seco del semirremolque y el peso de la estructura que son considerados como fuerzas distribuidas porque se encuentran repartidas en el chasis y en el king-pin, los demás componentes son accesorios del semirremolque como la porta llantas, porta extintor y otros son de peso despreciables para el análisis de las reacciones por tener poco peso, para el cálculo se considera los apoyos en una condición crítica se encuentra apoyada en el centro de los ejes posteriores del chasis y en la parte frontal del king-pin.

**Tabla 4.5**

*Peso máximo en los ejes, según el RNV.*

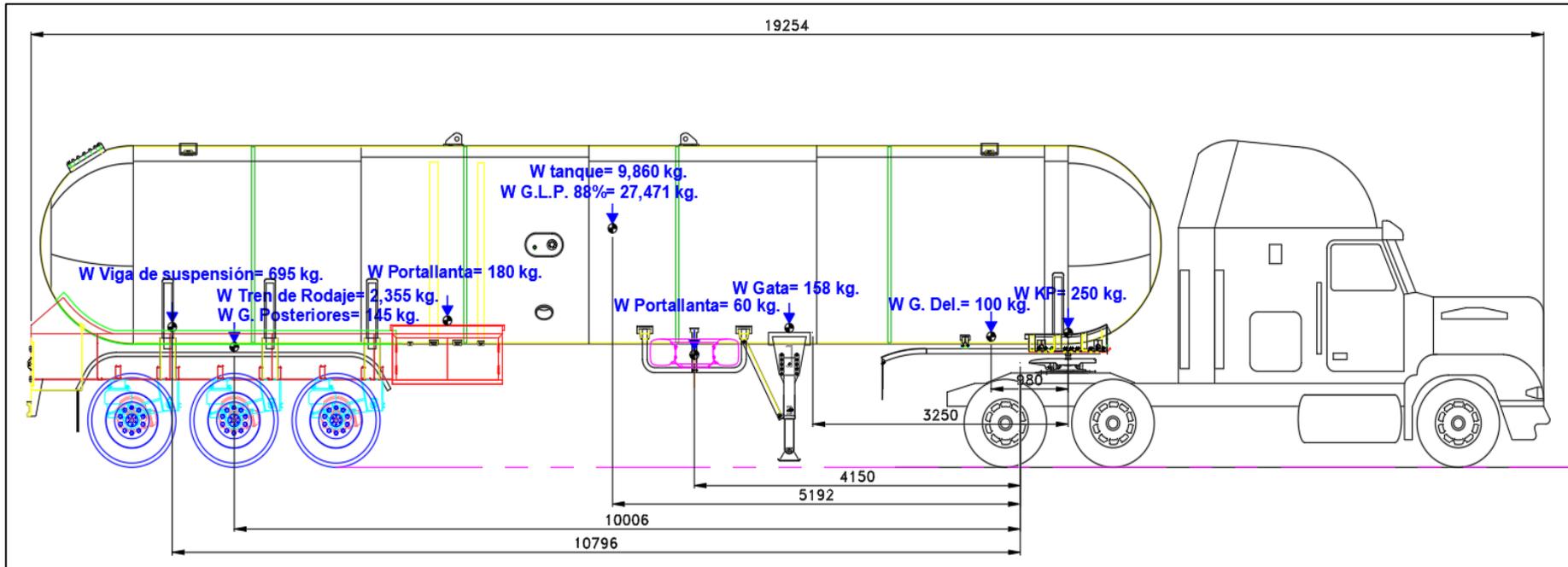
Descripción	King-pin (Kg)	Ejes posteriores (Kg)
Según RNV	18000	25000
Bonificación del 10 % (por RNV)	19800	27500

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.5 se muestra la reacción máxima legal para los ejes. Para determinar las reacciones se deben de realizar el diagrama de cuerpo libre del semirremolque con todas las fuerzas que actúan en el sistema, conocer los puntos de apoyo de la estructura y de esta manera se podrá realizar los cálculos correspondientes, en la figura 4.1 se muestra el diagrama de cuerpo libre del semirremolque.

Figura 4.1

Diagrama de cuerpo libre del semirremolque y tracto.



Fuente: Elaboración propia.

### 4.1.3. DISEÑO POR SOLIDWORKS SIMULATION

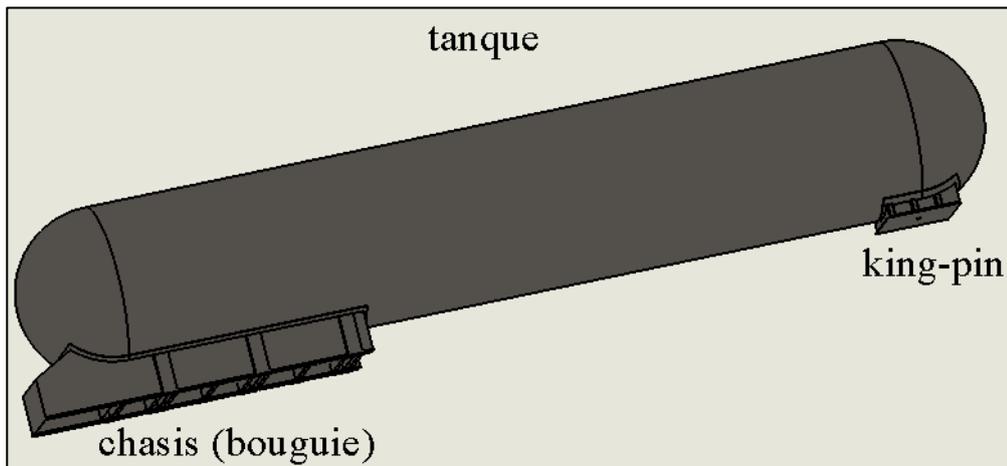
Los materiales y espesores seleccionados para la viga del semirremolque fueron obtenidos por medio de cálculos analíticos y estos resultados se muestran en la tabla 4.6.

En este capítulo se realizará el cálculo por elementos finitos para disminuir la incertidumbre del diseño, para ello nos valemos del software comercial de SolidWorks Simulation.

Se realiza el modelamiento en 3D del chasis (bougie), king-pin y del montaje en conjunto con el tanque, tal como como se muestra en la figura 4.2.

**Figura 4.2**

*Representación en conjunto.*



Fuente: Elaboración propia.

#### **a. CÁLCULO POR ELEMENTOS FINITOS DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS Y BASTIDOR DEL KING-PIN**

Mayores detalles en la memoria de cálculo del tanque. (Ver Anexo 3)

### Caso 1: Diseño de frame con ASTM A-36 (MODELO ORIGINAL)

**Tabla 4.6**

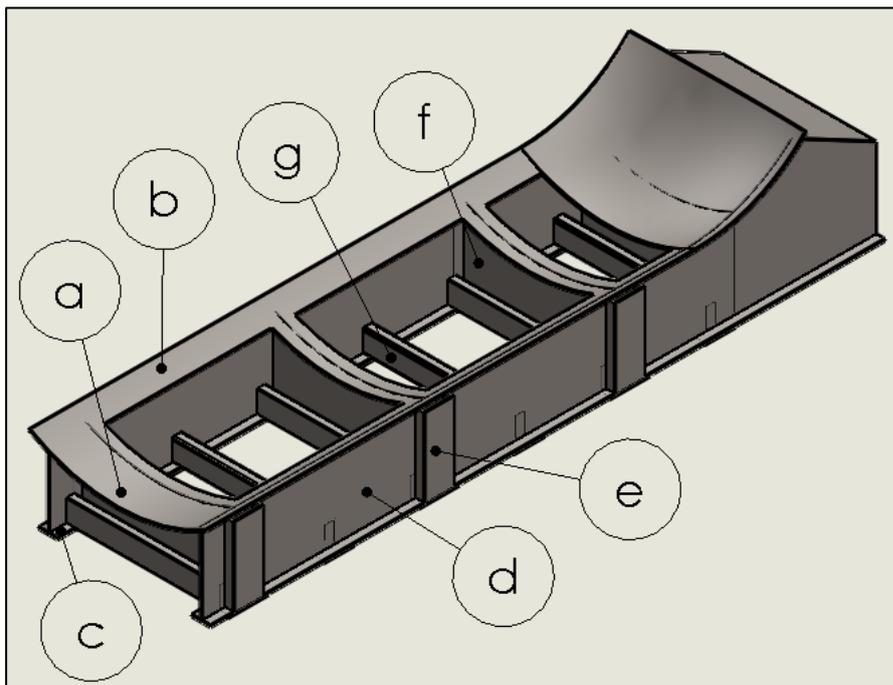
*Materiales usados para el chasis y king-pin del caso 1.*

<b>Materiales usados</b>	
<b>1. Chasis (bouguie)</b>	
(a) Espesor de plancha de sacrificio	PL 8.00 mm
(b) Espesor ala superior de largueros	PL 8.00 mm
(c) Espesor ala inferior de largueros	PL 12.00 mm
(d) Espesor de alma de largueros	PL 9.00 mm
(e) Altura de largueros	550 mm
(f) Espesor de alma viga transversal	PL 8.00 mm
(g) Tubo rectangular	70 mm x 150 mm x 8.00 mm
<b>2. King-pin</b>	
(a) Espesor de largueros (perfil L)	PL 9.00 mm
(b) Altura	170 mm a 270 mm
(c) Espesor de transversales (perfil L)	PL 9.00 mm

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.3**

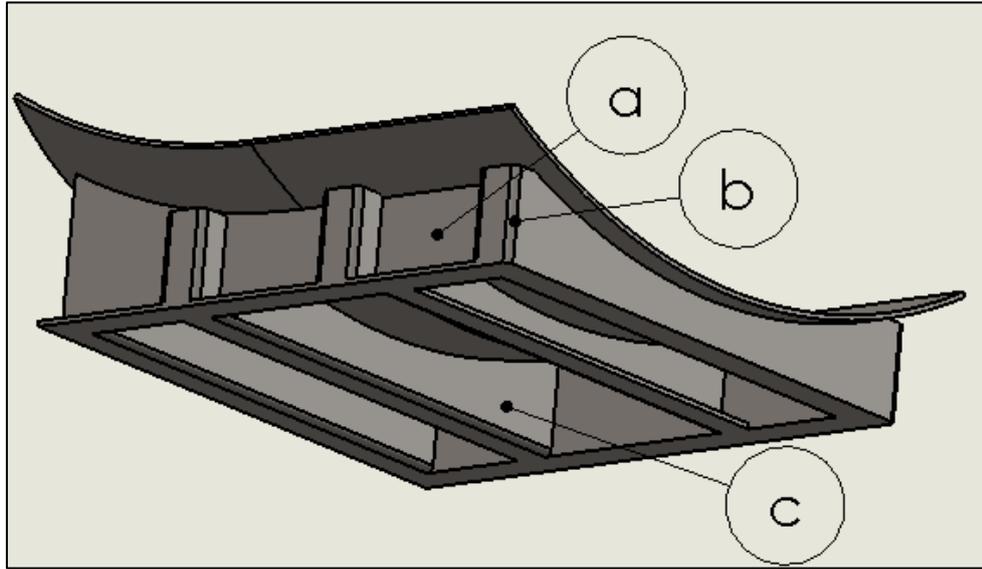
*Representación del chasis (bouguie).*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.4**

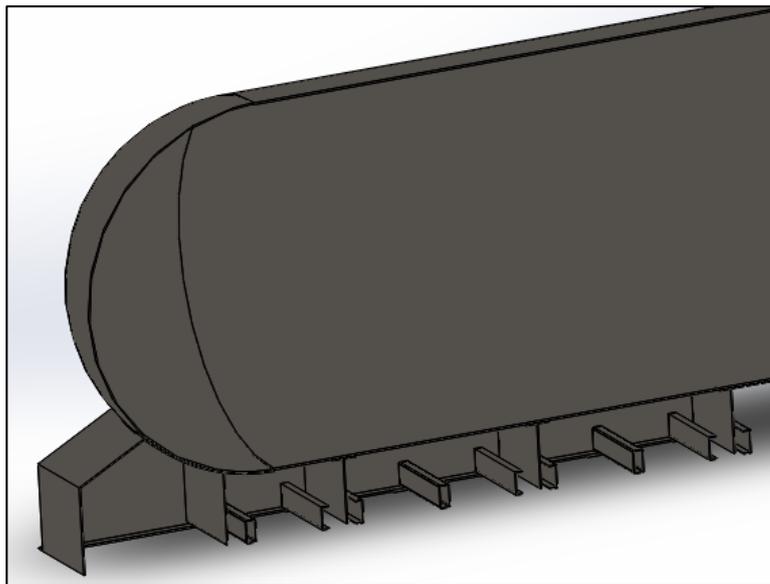
*Representación del king-pin.*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.5**

*Sección del chasis trasero original.*



Fuente: Elaboración propia.

Nota. Para mayores detalles ver Anexo 3.1

### **Caso 2: Diseño de frame con Material ASTM SA-414 grado G**

Haciendo la reducción de perfiles, se tiene la siguiente descripción de mejora.

**Tabla 4.7***Materiales usados para el chasis y king-pin del caso 2.*

<b>Materiales usados</b>	
Plancha de sacrificio y ala superior	PL 8.00 mm.
Espesor de alma de largueros	PL 6.35 mm
Espesor de alma transversales centrales	PL 6.35 mm
Espesor de ala inferior de largueros	PL 8.00 mm

Fuente: Elaboración propia.

Nota. Para mayores detalles ver Anexo 3.2

**Caso 3: Diseño de frame con material Strenx 700 MC.**

Para este caso analizaremos el recipiente a presión para el tanque de 15300 galones para evaluar los puntos críticos de dicha estructura. (Ver Anexo 3.3)

Posteriormente se hace la modificación de perfiles de acuerdo a las siguientes características.

**Tabla 4.8***Materiales usados para el chasis y king-pin del caso 3.*

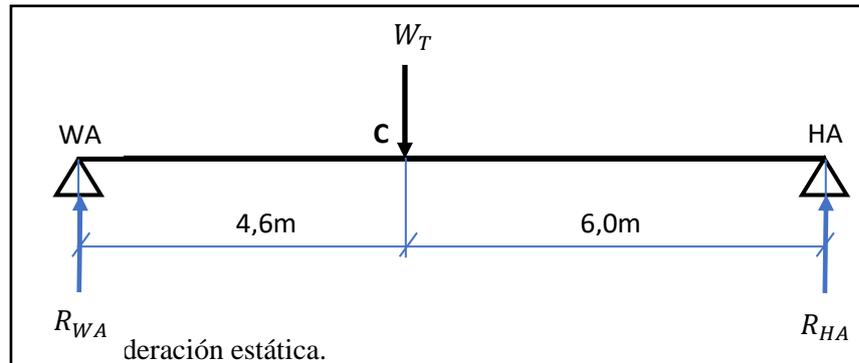
<b>Materiales usados</b>	
<b>1. Chasis (bouguie)</b>	
a) Espesor de plancha de sacrificio	PL 8.00 mm
b) Espesor de ala superior de largueros	PL 6.35 mm
c) Espesor de ala inferior de largueros	PL 6.35 mm
d) Espesor de alma de largueros	PL 3.20 mm
e) Altura de largueros	550 mm
f) Espesor de alma viga transversal	3.20 mm
g) Tubo rectangular	70 mm x 150 mm x3.2 mm
<b>2. King-pin</b>	
a) Espesor de largueros (perfil L)	6.35 mm
b) Altura	231 mm – 136 mm
c)Espesor de transversales (perfil L)	6.35 mm

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso estático se consideraron las siguientes cargas:

**Figura 4.6**

*Discretización de las solicitaciones en los apoyos.*



Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Apoyo WA: Chasis (bouguie)

Apoyo HA: King-pin

Peso total:  $W_T = 37716,1 \text{ kg} = 369994,94 \text{ N}$

Las reacciones en los apoyos:

$$R_{WA} = \frac{369994,94 \cdot 6}{10,6} = 209431,1 \text{ N}$$

$$R_{HA} = \frac{369994,94 \cdot 4,6}{10,6} = 160563,8 \text{ N}$$

Cargas adicionales a considerar:

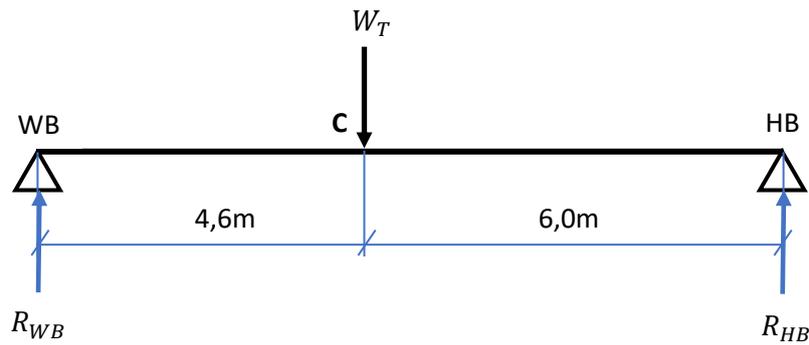
Para el chasis: 6704 N

Para el king-pin: 3352 N

Para el caso dinámico se consideraron las siguientes cargas:

**Figura 4.7**

*Discretización de las solicitaciones en los apoyos. (consideración dinámica)*



Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Apoyo WB: Chasis (bouguie)

Apoyo HB: King-pin

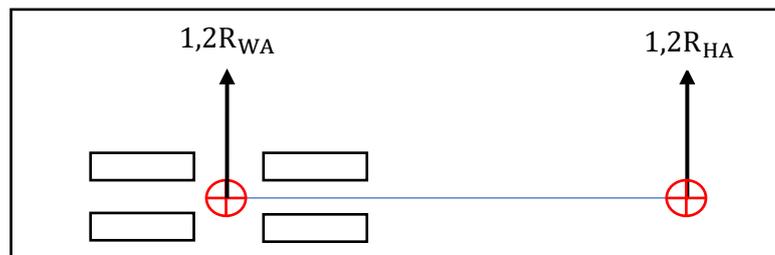
Las reacciones en los apoyos:

$$R_{WB} = 209431,1 * 1,35 = 282731,9 \text{ N}$$

$$R_{HB} = 160563,8 * 1,35 = 216761,1 \text{ N}$$

**Figura 4.8**

*Las solicitaciones en los apoyos de volteo.*

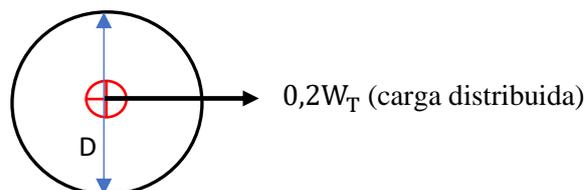


Fuente: Elaboración propia.

Las cargas de volteo:

$$1,2R_{WA} = 1,2 * 209431,1 = 251317,3 \text{ N}$$

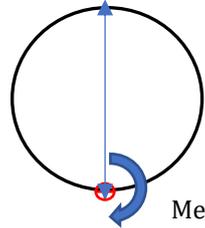
$$1,2R_{HA} = 1,2 * 160563,8 = 192676,6 \text{ N}$$



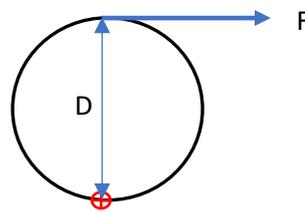
Donde:

$$D = 2,366 \text{ m}$$

El momento equivalente:



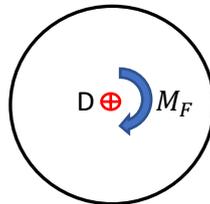
$$M_e = 369994,9 * \frac{2,366}{2} = 437703,9 \text{ Nm}$$



La fuerza tangencial:

$$F = \frac{437703,9}{2,366} = 184997,4 \text{ N}$$

El momento final que se aplica al tanque:

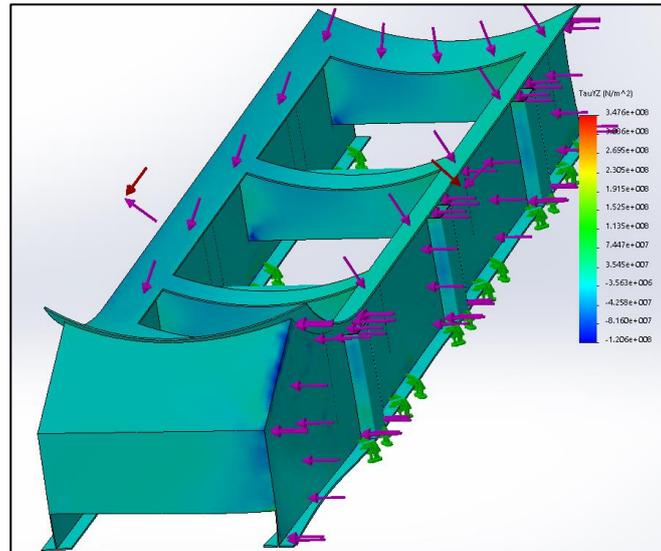


$$M_F = 184997,4 * \frac{2,366}{2}$$

$$M_F = 218851,9 \text{ Nm}$$

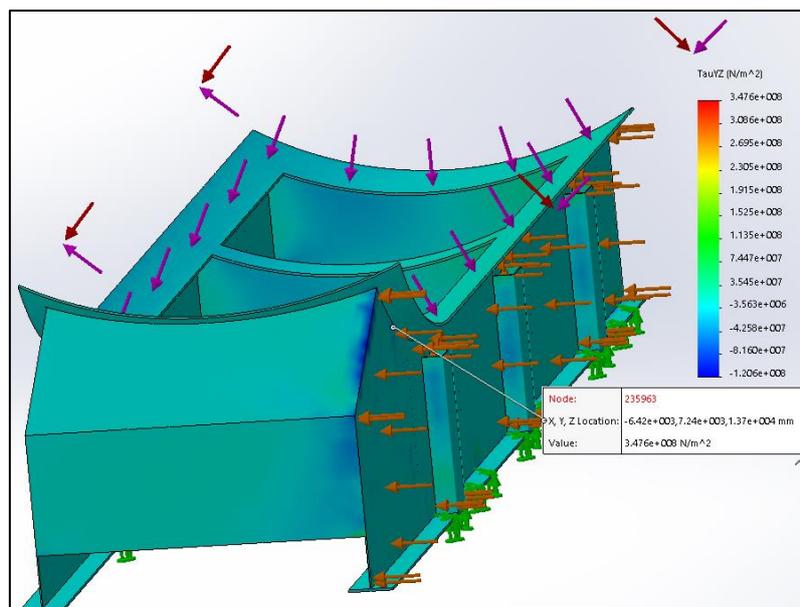
Las gráficas a continuación muestran algunos comentarios para el caso de análisis dinámico (caso C).

El análisis de elementos finitos sobre el chasis a través de Solidworks Simulation muestra que incluso habiendo reducido el alma a 3.2 mm genera una baja concentración de esfuerzo distribuida puntualmente en la zona de caja posterior, principalmente por las cargas transversales aplicadas.

**Figura 4.9***Esfuerzos cortantes en el chasis.*

Fuente: Elaboración propia.

El esfuerzo máximo se presenta en la parte inferior de ala plegada y tiene un valor de  $3.5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ , este valor se presenta abajo.

**Figura 4.10***Ubicación del esfuerzo cortante en el chasis.*

Fuente: Elaboración propia.

El resumen de esfuerzos es:

**Tabla 4.9**

*Esfuerzo cortante – Plano XY*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Sumatoria	$2.650 \times 10^{11}$	N/m <sup>2</sup>
Promedio	$4.076 \times 10^6$	N/m <sup>2</sup>
Máximo	$2.475 \times 10^8$	N/m <sup>2</sup>
Mínimo	$3.089 \times 10^8$	N/m <sup>2</sup>
RMS	$1.098 \times 10^7$	N/m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.10**

*Esfuerzo cortante – Plano XZ*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Sumatoria	$3.585 \times 10^9$	N/m <sup>2</sup>
Promedio	$5.514 \times 10^4$	N/m <sup>2</sup>
Máximo	$1.376 \times 10^8$	N/m <sup>2</sup>
Mínimo	$1.421 \times 10^8$	N/m <sup>2</sup>
RMS	$7.228 \times 10^6$	N/m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.11**

*Esfuerzo cortante – Plano YZ*

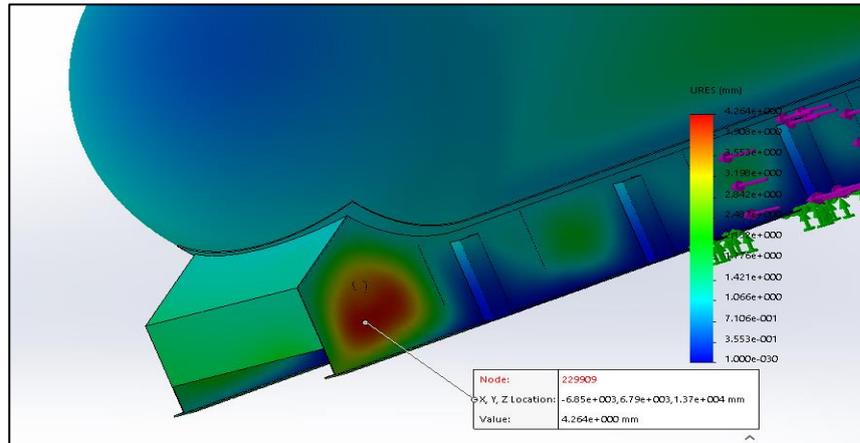
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Sumatoria	$-7.518 \times 10^{11}$	N/m <sup>2</sup>
Promedio	$1.156 \times 10^6$	N/m <sup>2</sup>
Máximo	$3.476 \times 10^8$	N/m <sup>2</sup>
Mínimo	$1.206 \times 10^8$	N/m <sup>2</sup>
RMS	$9.368 \times 10^6$	N/m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

El desplazamiento máximo se presenta justamente en la zona próxima a la de mayor esfuerzo sin embargo el valor es de 4 mm en el nodo 229909.

**Figura 4.11**

Ubicación del desplazamiento máximo en el chasis.



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.12**

Resumen de desplazamiento-Chasis

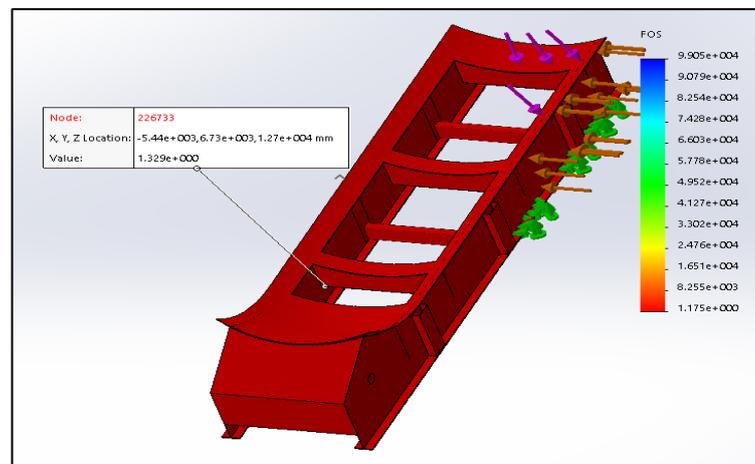
Descripción	Valor	Unidad
Sumatoria	$6.081 \times 10^4$	mm
Promedio	$9.184 \times 10^{-1}$	mm
Máximo	4.264	mm
Mínimo	$1 \times 10^{-30}$	mm
RMS	1.264	mm

Fuente: Elaboración propia.

El factor de seguridad mínimo se encuentra:

**Figura 4.12**

El factor de seguridad en el chasis.



Fuente: Elaboración propia.

Los resúmenes de los factores de seguridad son:

**Tabla 4.13**

*Factor de Seguridad-Chasis*

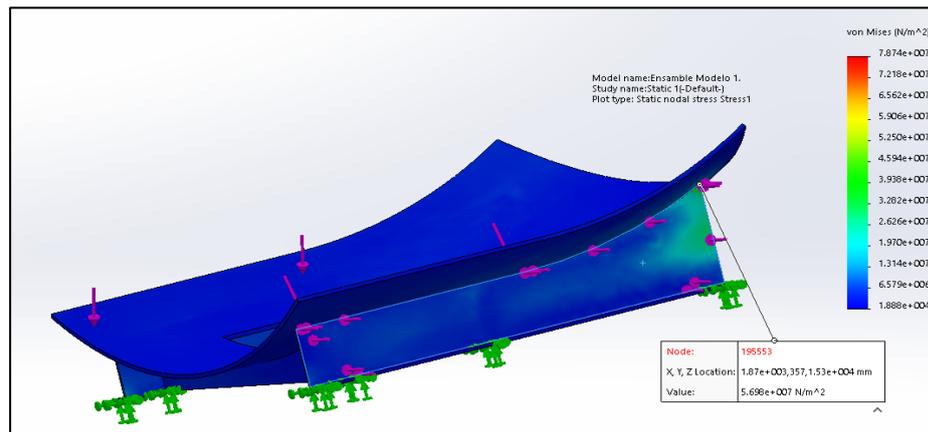
Descripción	Valor	Unidad
Sumatoria	$3.532 \times 10^6$	-
Promedio	$5.334 \times 10^1$	-
Máximo	$5.056 \times 10^3$	-
Mínimo	1.329	-

Fuente: Elaboración propia.

La deformación máxima ocurre en la parte trasera del King-pin y tiene un valor de  $5.7 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup>.

**Figura 4.13**

*Esfuerzo máximo en el king-pin.*



Fuente: Elaboración propia.

El resumen de los valores de esfuerzo máximo y mínimo presente en la cara más crítica.

**Tabla 4.14**

*Esfuerzo máximos y mínimos- King Pin*

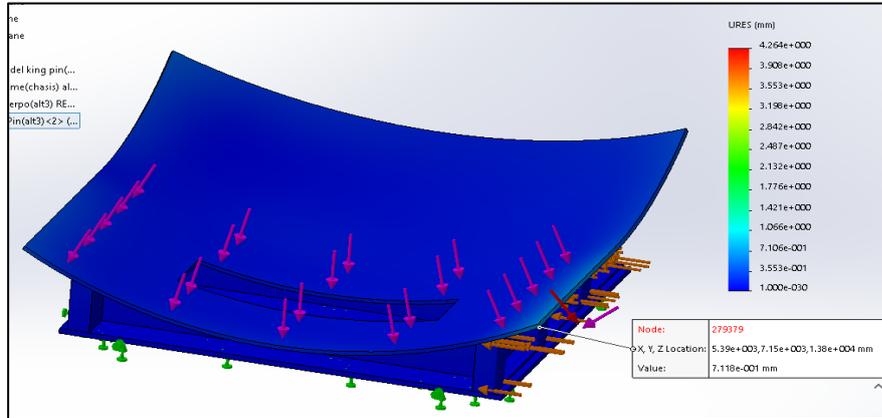
Descripción	Valor	Unidad
Sumatoria	$5.051 \times 10^9$	N/m <sup>2</sup>
Promedio	$3.547 \times 10^6$	N/m <sup>2</sup>
Máximo	$5.698 \times 10^7$	N/m <sup>2</sup>
Mínimo	$7.707 \times 10^5$	N/m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

El desplazamiento máximo se presenta en la zona semiesférica de unión con el tanque, pero es muy reducido en 0,7 mm.

**Figura 4.14**

*El desplazamiento máximo en el king-pin.*



Fuente: Elaboración propia.

El resumen de los desplazamientos en la zona crítica es:

**Tabla 4.15**

*Desplazamiento-King Pin*

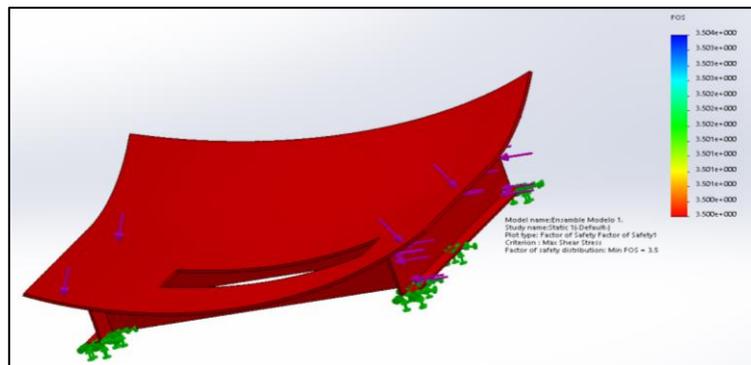
Descripción	Valor	Unidad
Sumatoria	$7.608 \times 10^2$	mm
Promedio	$8.286 \times 10^{-2}$	mm
Máximo	$7.118 \times 10^{-1}$	mm
Mínimo	$3.603 \times 10^{-5}$	mm

Fuente: Elaboración propia.

El factor de seguridad promedio es muy superior a 3.5.

**Figura 4.15**

*Factor de seguridad en el king-pin.*



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.4. MEMORIA DE CÁLCULO DE VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL DEL CHASIS Y BASTIDOR DEL KING-PIN MATERIAL STRENX 700 MC:

##### a. CONDICIÓN DE CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA

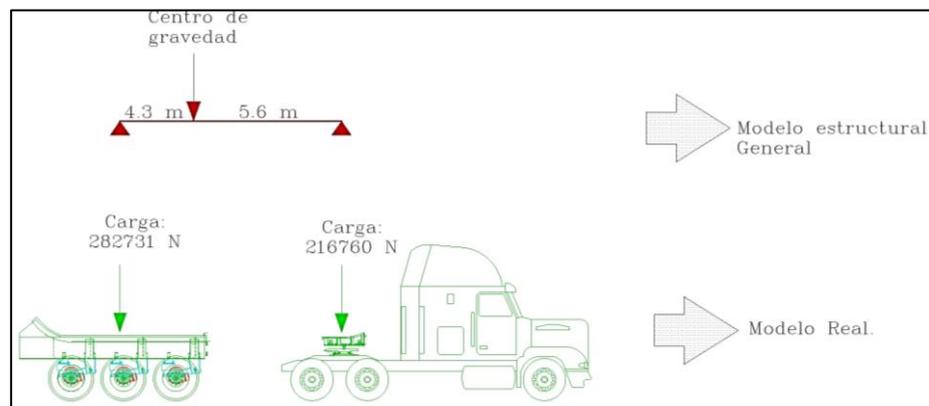
La carga dinámica total se distribuye de la siguiente manera sobre el chasis, así como el King pin. Nótese que la mayor carga la llega el chasis trasero.

##### b. CONDICIÓN DE CARGA EN CHASIS

a) Cargas dinámicas en dirección de la gravedad

**Figura 4.16**

*Distribución de carga total. Caso de cargas dinámicas.*

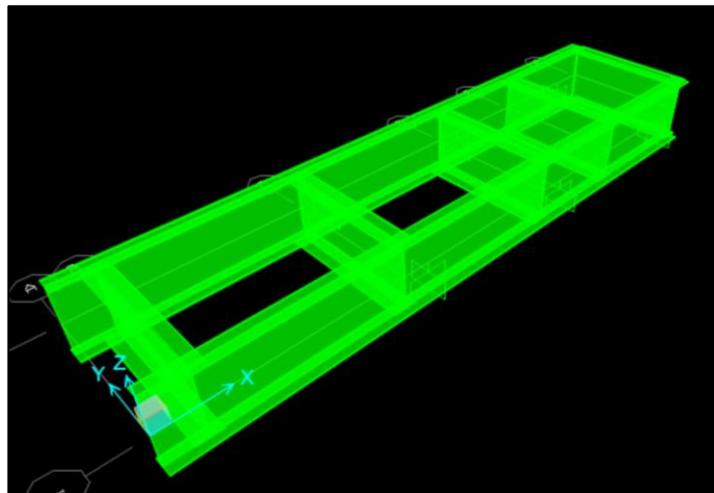


Fuente: Elaboración propia.

La carga final aplicada al modelo de estructura final será una carga distribuida. Se considera la siguiente estructura para el cálculo de áreas.

**Figura 4.17**

*Modelo de chasis-estructural.*



Fuente: Elaboración propia.

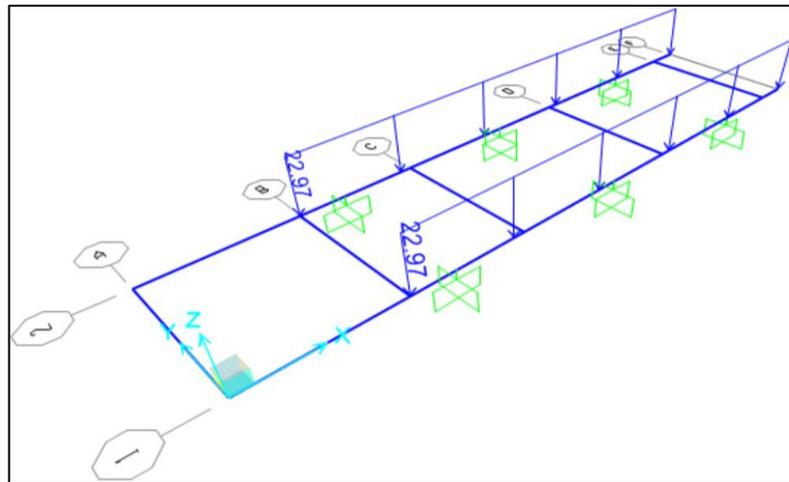
Nº	Elemento	Area	$m^2$
1	Largueros (02 und)	$0.130 \cdot (2 \cdot 3.636)$	0.945
2	Transversales (04 und)	$0.156 \cdot (4 \cdot 1.042)$	0.65
Total			1.6

$$Carga\ distribuida\ en\ superficie = \frac{282731}{1.6} = 176707 \frac{N}{m^2}$$

Nº	Elemento	Ancho de ala	Factor	Carga por longitud
1	Largueros	0.130	$176707 \cdot 0.130$	$22972 \frac{N}{m}$
2	Transversales	0.156	$176707 \cdot 0.156$	$27566 \frac{N}{m}$

**Figura 4.18**

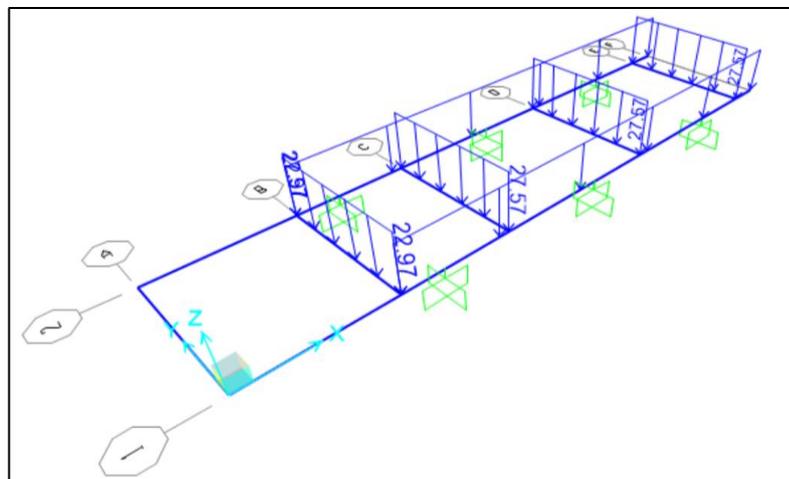
*Aplicación de cargas distribuidas en largueros (plano X-Y).*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.19**

*Aplicación de las cargas distribuidas en transversales.*



Fuente: Elaboración propia.

## b) Cargas dinámicas de volteo. (1.2 RWA)

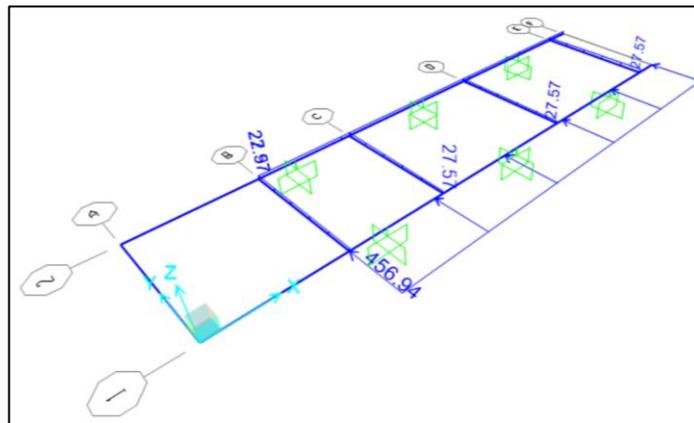
La carga dinámica de volteo es:

$$Fuerza\ volteo = 251317\ N$$

Nº	Elemento	Área	$m^2$
1	Largueros (01 und)	$\frac{251317}{0.550}$	$456940 \frac{N}{m}$

**Figura 4.20**

*Aplicación de cargas distribuidas en largueros (plano X-Z)*



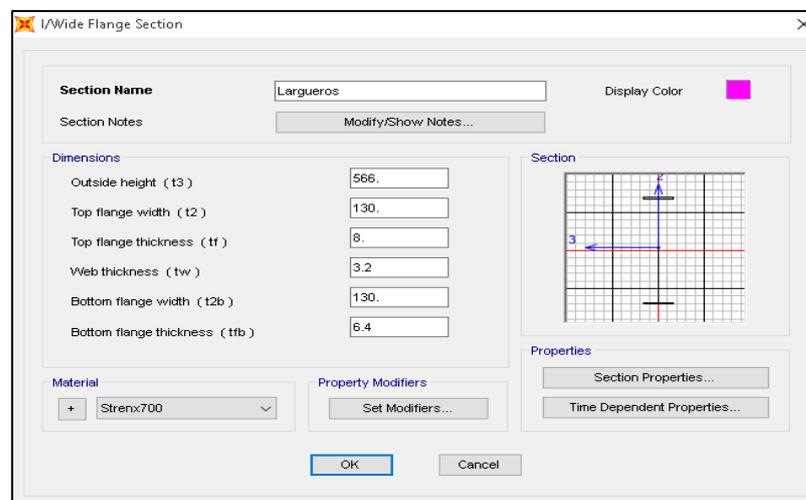
Fuente: Elaboración propia.

## c) Perfil del larguero empleado

Las siguientes son las características del larguero empleado para el cálculo del área de carga.

**Figura 4.21**

*Características del larguero - Chasis.*



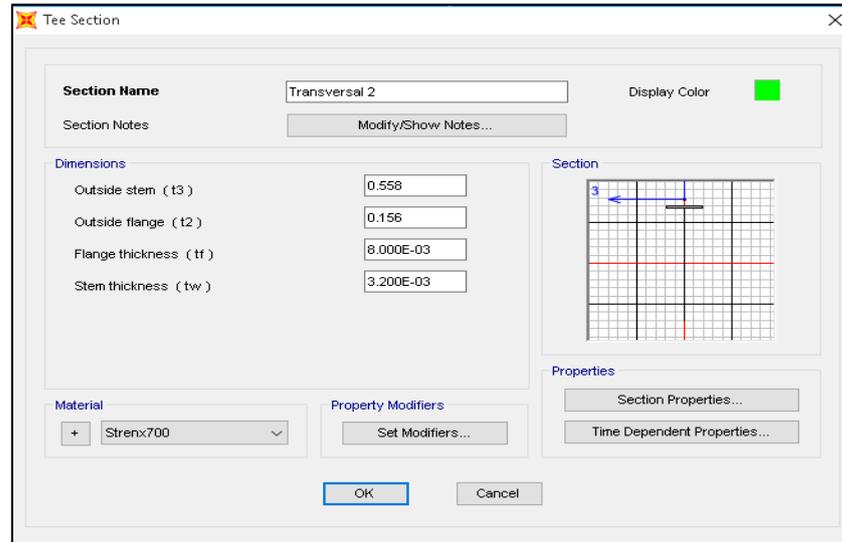
Fuente: Elaboración propia.

d) Perfil del transversal empleado

Las siguientes son las características del transversal empleado para el cálculo del área de carga.

**Figura 4.22**

*Características del transversal - Chasis.*



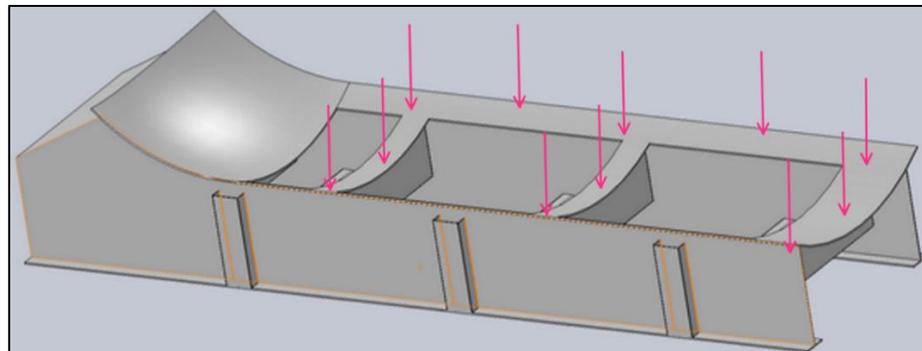
Fuente: Elaboración propia.

e) Zona de aplicación de carga distribuida

La zona esférica se ha considerado el lugar alejado de la aplicación de la carga directa del GLP como del peso del tanque. El siguiente dibujo muestra la zona a estudiar.

**Figura 4.23**

*Área de aplicación de la carga distribuida en chasis.*



Fuente: Elaboración propia.

### c. CONDICIÓN DE CARGA EN EL KING PIN

#### a) Cargas dinámicas en dirección de gravedad

Nº	Elemento	Área	$m^2$
1	Largueros (02 und)	$0.050 \cdot (2 \cdot 0.685)$	0.070
2	Transversales (03 und)	$0.166 \cdot (2 \cdot 0.890)$	0.295
Total			0.365

$$\text{Carga distribuida en superficie} = \frac{216760}{0.365} = 593863 \frac{N}{m^2}$$

Nº	Elemento	Ancho de ala	Factor	Carga por longitud
1	Largueros	0.050	$593863 \cdot 0.050$	$29693 \frac{N}{m}$
2	Transversales	0.166	$593863 \cdot 0.166$	$98581 \frac{N}{m}$

#### b) Cargas dinámicas de volteo. (1.2 RHA)

La carga dinámica de volteo es:

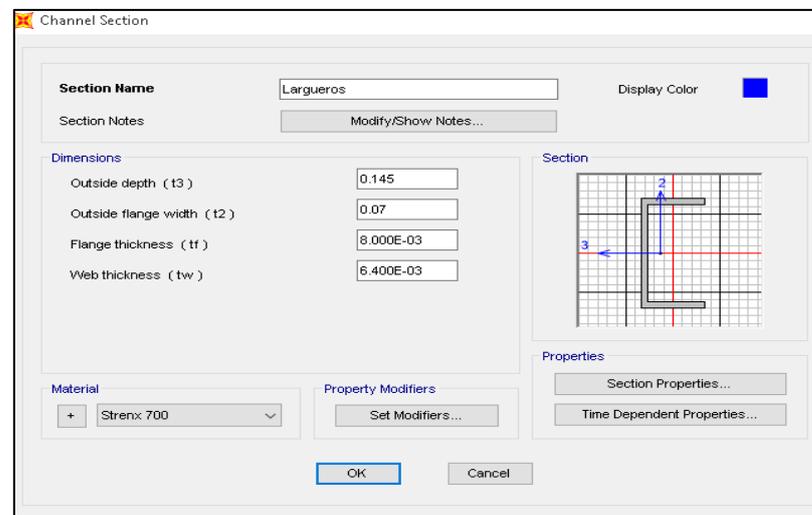
$$\text{Fuerza volteo} = 192677 N$$

Nº	Elemento	Área	Carga distribuida.
1	Largueros (01 und)	$\frac{192677}{0.145}$	$1328806.9 \frac{N}{m}$

#### c) Perfil del larguero empleado

**Figura 4.24**

*Características del larguero – King Pin.*

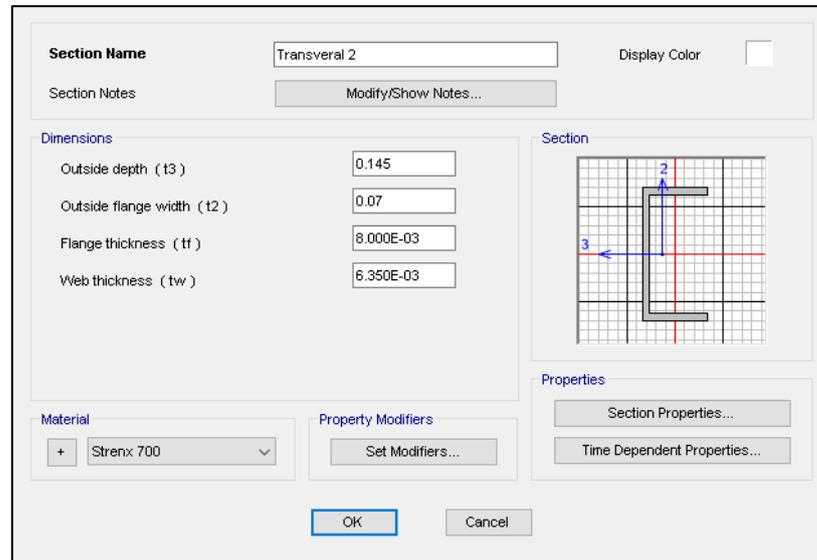


Fuente: Elaboración propia.

d) Perfil del larguero empleado

**Figura 4.25**

*Características del transversal – King Pin.*



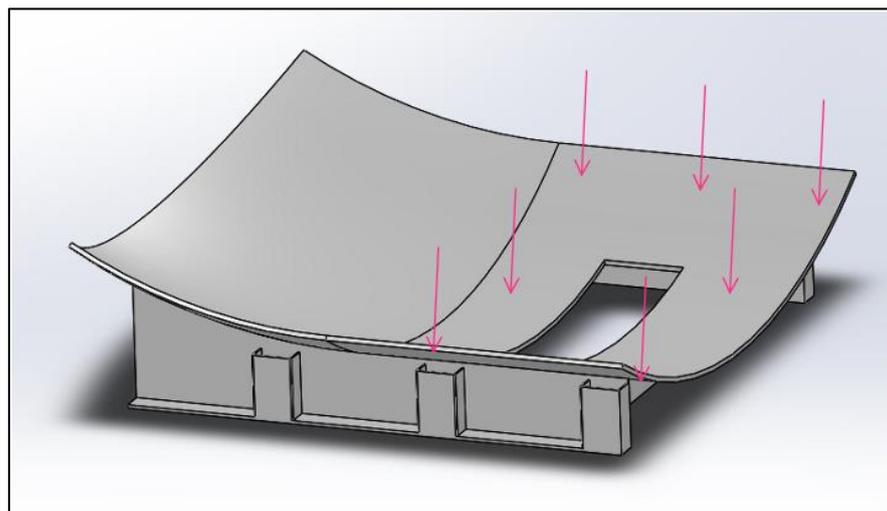
Fuente: Elaboración propia.

e) Zona de aplicación de carga distribuida

La carga se distribuye de la siguiente forma:

**Figura 4.26**

*Área de aplicación de la carga distribuida en el King-pin.*



Fuente: Elaboración propia.

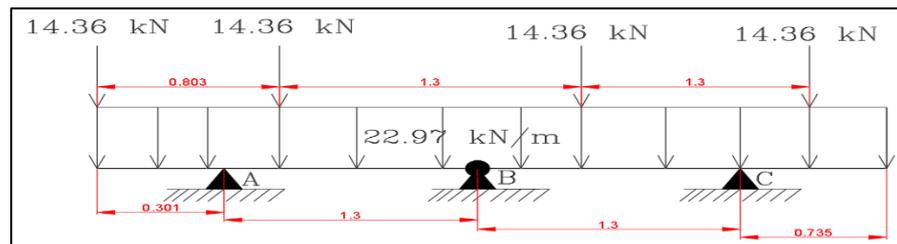
## d. DIAGRAMAS DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR EN EL CHASIS

Se realizará el cálculo de un larguero y transversal para efectos de indicar el procedimiento de cálculo. Todos los elementos se ejecutarán igual.

a) Largueros. (Plano Z-X)

**Figura 4.27**

*Diagrama de cargas para largueros (plano Z-X)*

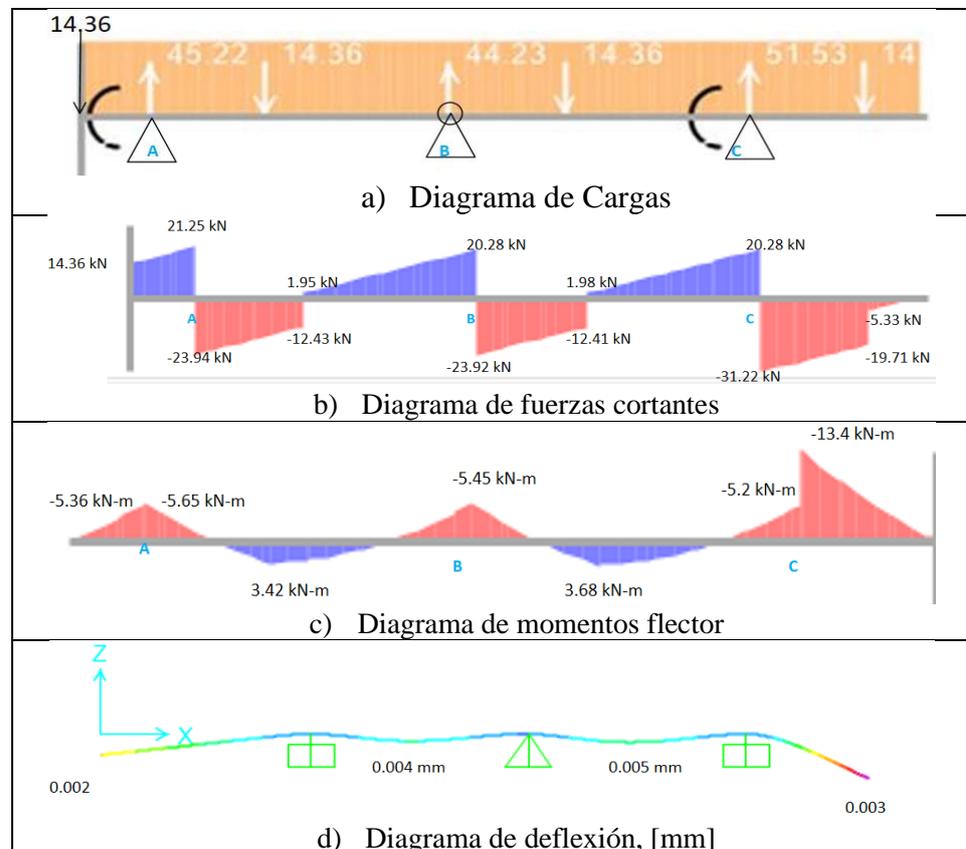


Fuente: Elaboración propia.

Nota. Ver resolución manual en el anexo 4.

**Figura 4.28**

*Diagramas de esfuerzos y momentos en largueros (plano Z-X).*



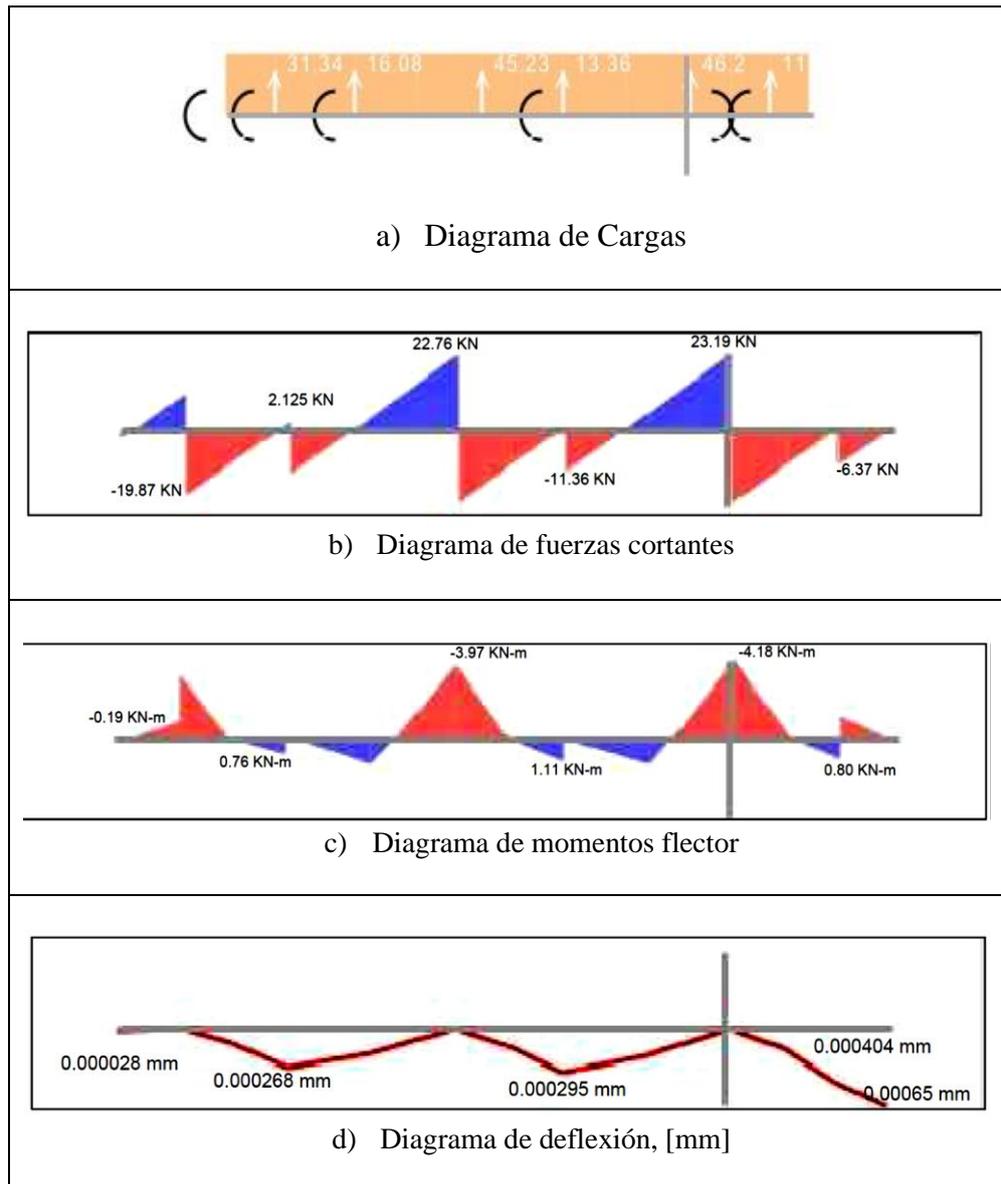
Fuente: Elaboración propia.

## b) Largueros (Plano Y-X). Volteo

Este plano no es tan relevante, como los diagramas presentados en el plano Z-X. Para efectos de una verificación minuciosa se adjuntan los valores máximos de momento en dicho plano.

**Figura 4.29**

*Diagramas de esfuerzos y momentos en largueros (plano Y-X).*



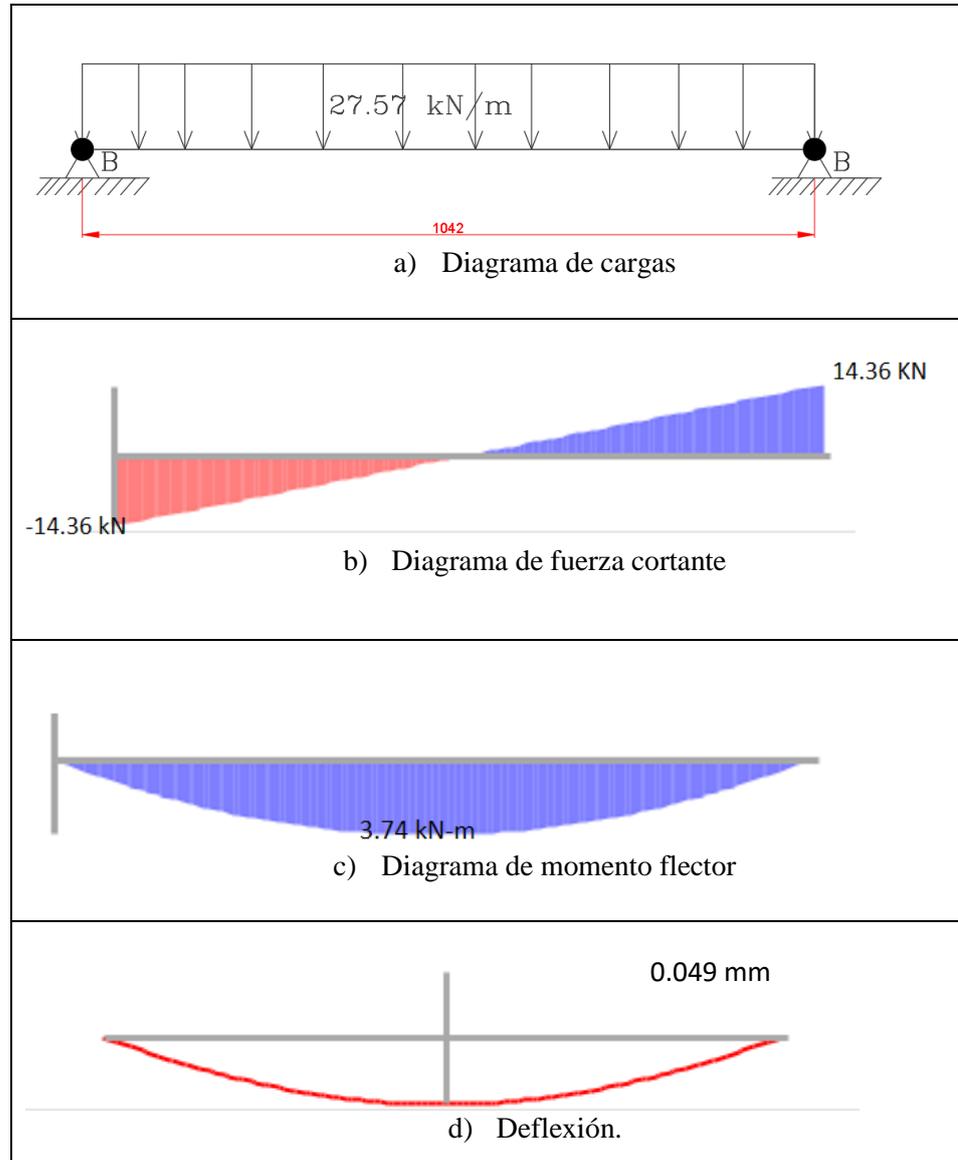
Fuente: Elaboración propia.

## c) Transversales (Plano Z-Y)

Los transversales (B-2;1), (C-2;1), (D-2;1), (E-2;1) tienen el mismo comportamiento como se indica líneas abajo.

**Figura 4.30.**

*Diagramas de esfuerzos y momentos en largueros (plano Z-Y).*

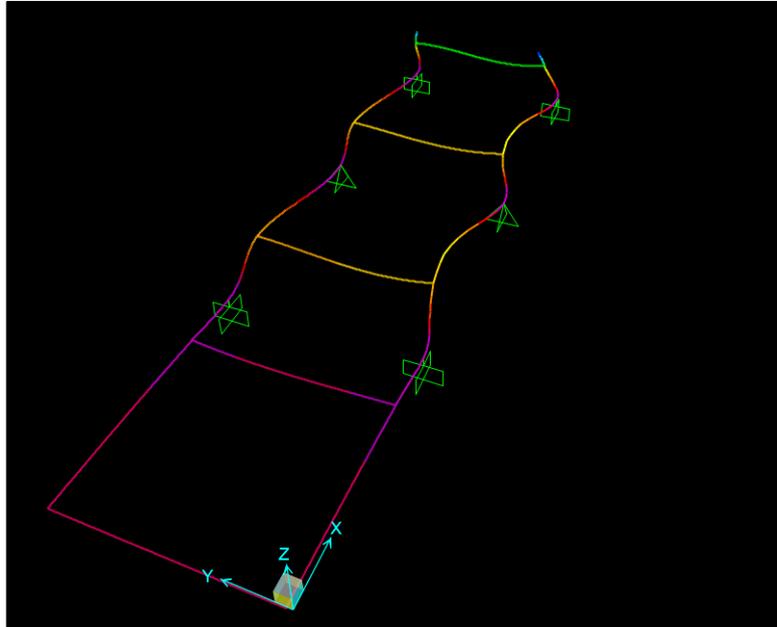


Fuente: Elaboración propia.

La deformación considerando todas las cargas en el chasis.

**Figura 4.31**

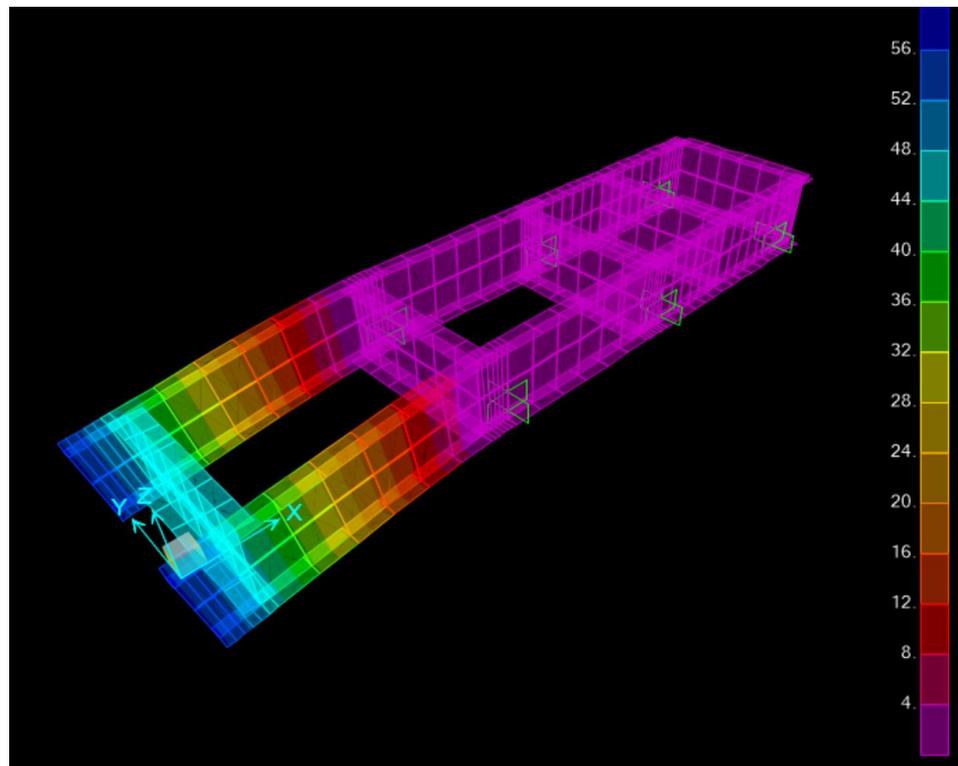
*Diagrama nodal de la deformación en el chasis.*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.32**

*Diagrama grafica de la deformación en el chasis.*



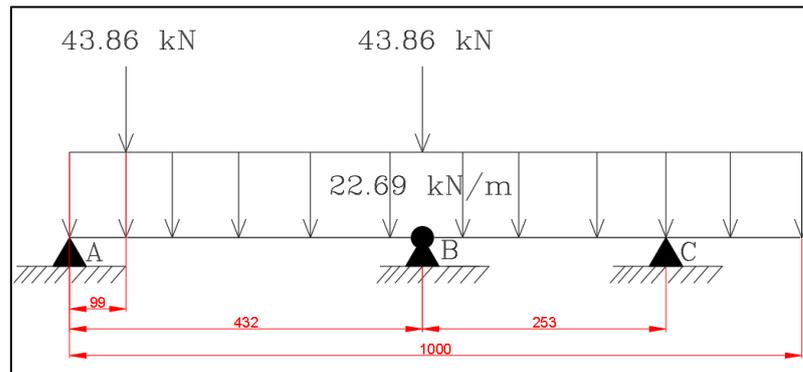
Fuente: Elaboración propia.

## e. DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR EN EL KING-PIN

a) Largueros (Plano Z-X)

**Figura 4.33**

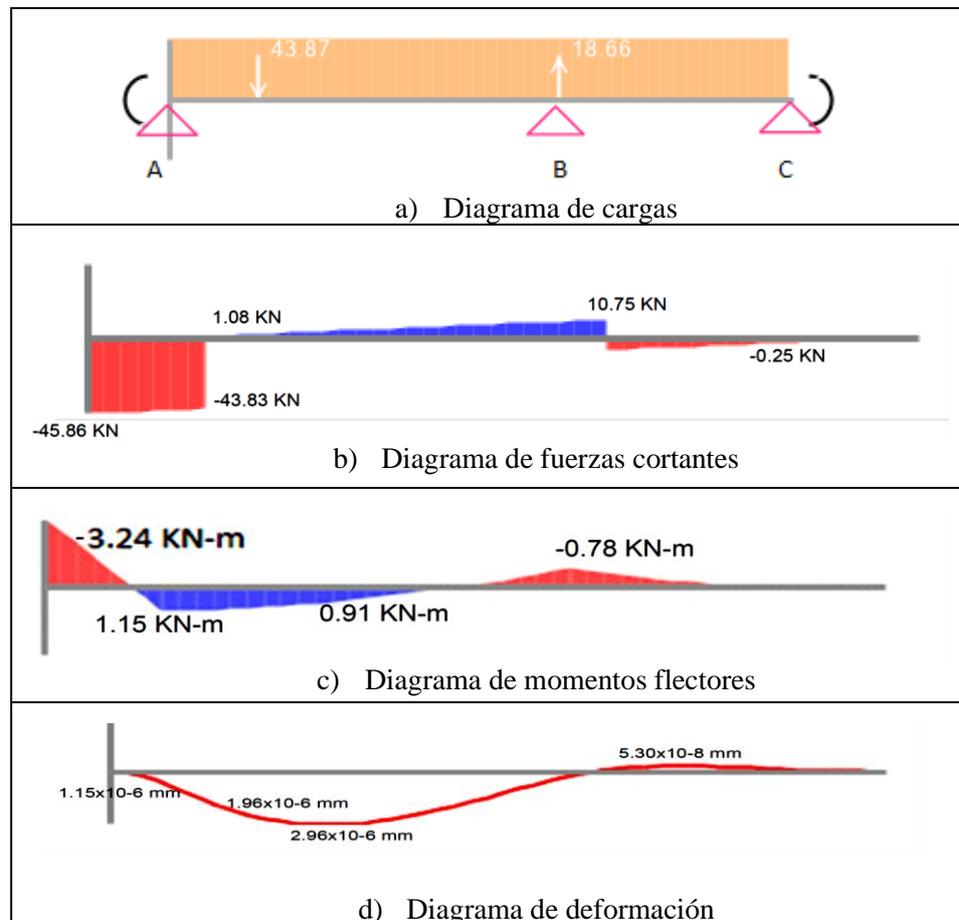
*Diagrama de cargas en larguero de King Pin. Plano Z-X.*



Fuente: Elaboración propia.

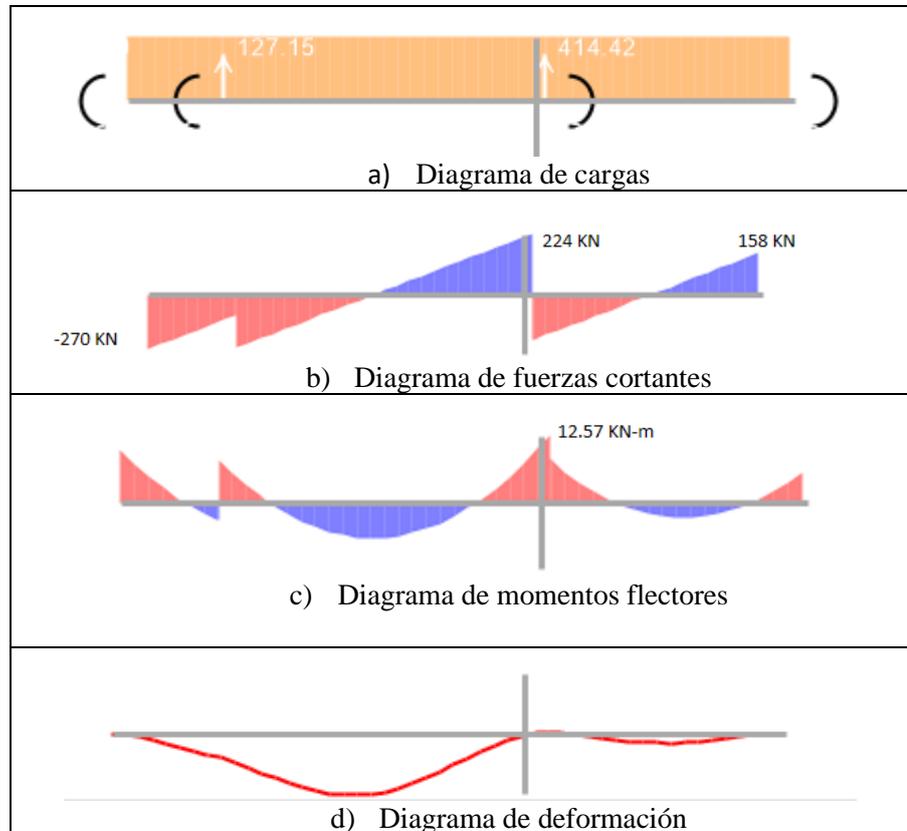
**Figura 4.34**

*Diagramas de esfuerzos y momentos en King Pin (plano Z-X).*



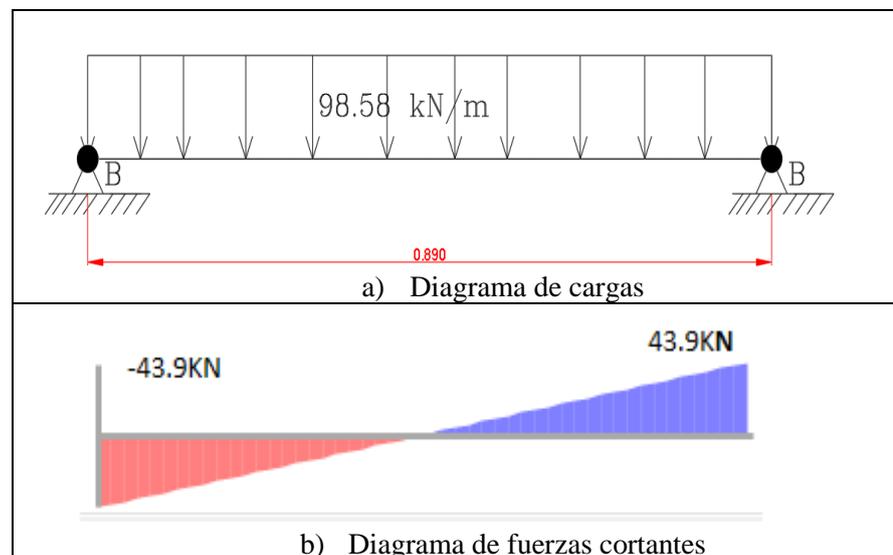
Fuente: Elaboración propia.

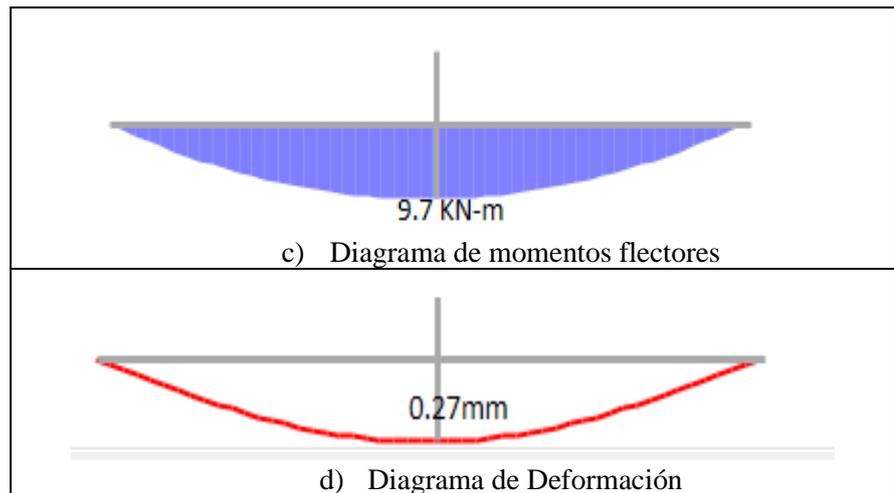
## b) Largueros (Plano Y-X)

**Figura 4.35***Diagramas de esfuerzos y momentos en King Pin (plano Y-X).*

Fuente: Elaboración propia.

## c) Transversales (Plano Z-Y)

**Figura 4.36***Diagramas de esfuerzos y momentos en King Pin (plano Z-Y).*

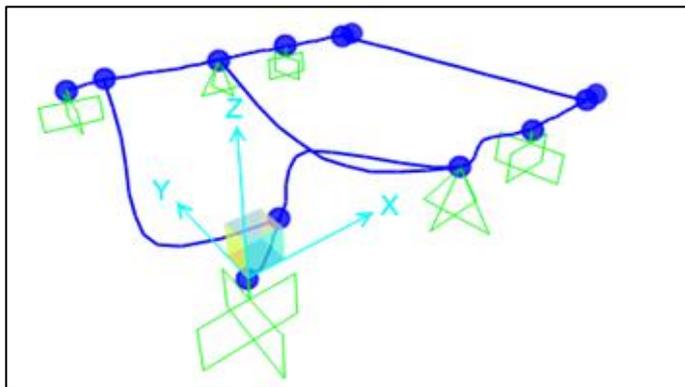


Fuente: Elaboración propia.

La deformación considerando todas las cargas en el King-pin.

**Figura 4.37**

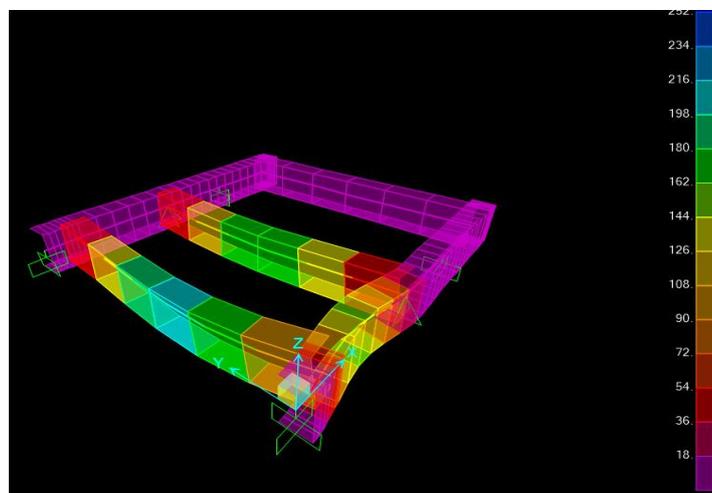
*Diagrama nodal de la deformación en el chasis king-pin.*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.38.**

*Diagrama grafica de la deformación en el chasis king-pin.*



Fuente: Elaboración propia.

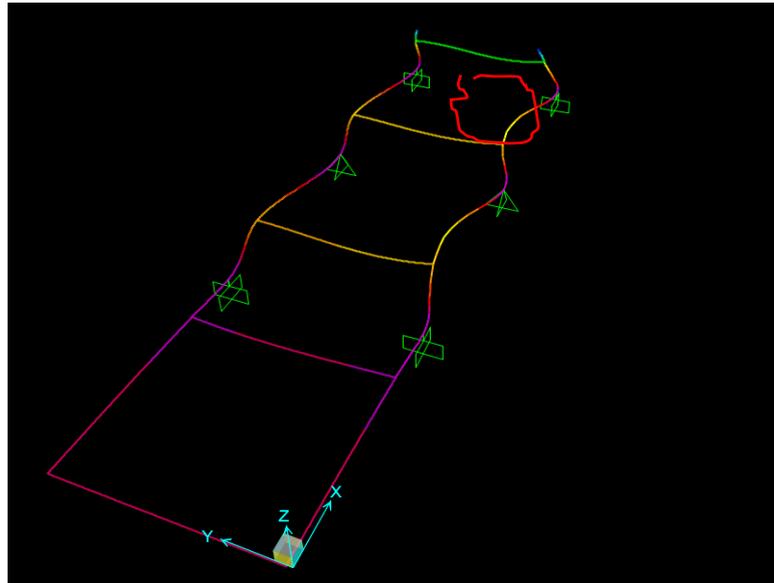
## f. CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD

a) Para el caso de las vigas larguero – Chasis.

El momento máximo presentado se da en la zona indicada en círculo.

**Figura 4.39**

Momento Máximo Chasis.



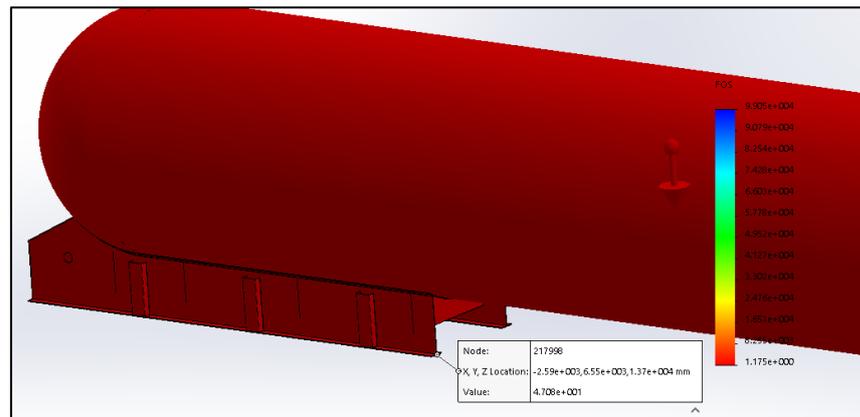
Fuente: Elaboración propia.

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot y}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{((13.47 \cdot 10^3)^2 + (4.18 \cdot 10^3)^2)^{0.5} \cdot 0.283}{1.9 \cdot 10^{-4}} = 21 \text{ Mpa.}$$

$$FS = \frac{700}{21} = 33.3$$

Comparando con el valor obtenido por elementos finitos que fue de 47 cercana a la zona de las alas.

**Figura 4.40***Ubicación del factor de seguridad en el chasis*

Fuente: Elaboración propia.

b) Para el caso de las vigas transversales – Chasis.

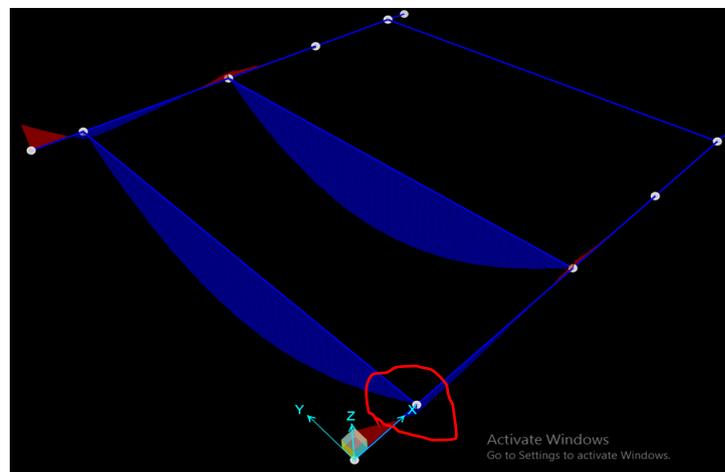
$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot y}{I}$$

La verificación en la fibra inferior, donde se tendrá una mayor distancia.

$$\sigma_{max} = \frac{3.77 \cdot 10^3 \cdot 0.202}{0.13 \cdot 10^{-4}} = 58.6 \text{ Mpa.}$$

$$FS = \frac{700}{58.6} = 11.9$$

c) Para el caso de las vigas largueras - King Pin.

**Figura 4.41***Momento Máximo King Pin*

Fuente: Elaboración propia.

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot y}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{((3.24 \cdot 10^3)^2 + (12.57 \cdot 10^3)^2)^{0.5} \cdot 0.068}{4.7 \cdot 10^{-6}} = 187.8 \text{ Mpa.}$$

$$FS = \frac{700}{187.8} = 3.7$$

d) Para el caso de las vigas transversales - King Pin.

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot y}{I}$$

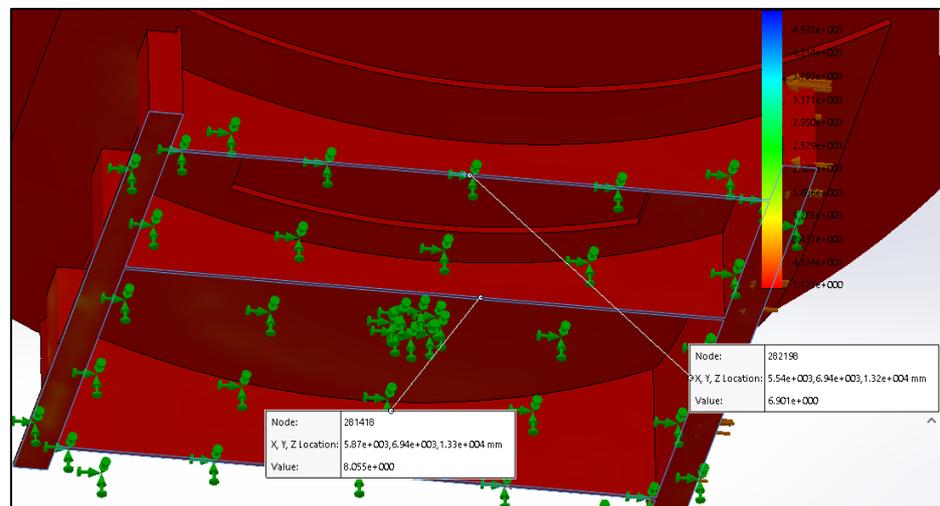
$$\sigma_{max} = \frac{9.7 \cdot 10^3 \cdot 0.068}{4.7 \cdot 10^{-6}} = 140.3 \text{ Mpa.}$$

$$FS = \frac{700}{140.3} = 4.9$$

Comparando con el valor obtenido por elementos finitos que fue de 6.9 cercana a la zona del transversal del King pin.

**Figura 4.42**

*Factor de seguridad en el transversal King pin.*



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.5. CALCULO POR AISC 360-16

##### 4.1.5.1. Análisis de las Vigas en el Chasis

**Tabla 4.16**

*Diseño por Flexión y Corte en las vigas del Chasis.*

<b>Perfil</b>	<b>Larguero</b>	<b>Transversal</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>b/t<sub>f</sub></b>	10.24	12.28	-
<b>h/t<sub>w</sub></b>	171.87	N/A	-
<b>λ<sub>p</sub></b>	6.42	6.42	-
<b>λ<sub>r</sub></b>	16.90	16.90	-
<b>ala</b>	No compacta	No compacta	-
<b>alma</b>	esbelta	N/A	-
<b>t<sub>w</sub></b>	3.20 mm	3.20 mm	-
<b>t<sub>f</sub></b>	6.35 mm	6.35 mm	-
<b>I<sub>x</sub></b>	172128791.23 mm <sup>4</sup>	12710286.45 mm <sup>4</sup>	-
<b>S<sub>x</sub></b>	611795.95 mm <sup>3</sup>	62803.49 mm <sup>3</sup>	-
<b>C<sub>y</sub></b>	281.35 mm	202.38 mm	-
<b>F<sub>y</sub></b>	700 N/mm <sup>2</sup>	700 N/mm <sup>2</sup>	-
<b>M<sub>y</sub></b>	428257166.74 N-mm	428257166.74 N-mm	-
<b>M<sub>n</sub></b>	642385750.11 N-mm	642385750.11 N-mm	-
<b>V<sub>n</sub></b>	739200 N	349440 N	-
<b>V<sub>u</sub></b>	104899.20 N	48249.60 N	-
<b>M<sub>u</sub></b>	45024000 N-mm	12566400 N-mm	-
<b>Verificación de falla</b>	<b>0.17 ≤ 1</b>	<b>0.15 ≤ 1</b>	<b>SI CUMPLE</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.5.2. Análisis de las Viga en el King Pin

**Tabla 4.17**

*Diseño por Flexión y Corte en las vigas del King Pin*

<b>Perfil</b>	<b>Larguero</b>	<b>Transversal</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>b/t<sub>f</sub></b>	11.02	11.02	-
<b>h/t<sub>w</sub></b>	21.42	21.42	-
<b>λ<sub>p</sub></b>	6.42	6.42	-
<b>λ<sub>r</sub></b>	16.90	16.90	-
<b>ala</b>	No compacta	No compacta	-
<b>alma</b>	esbelta	esbelta	-
<b>t<sub>w</sub></b>	6.35 mm	6.35 mm	-
<b>t<sub>f</sub></b>	6.35 mm	6.35 mm	-
<b>I<sub>x</sub></b>	4730746.26 mm <sup>4</sup>	4730746.26 mm <sup>4</sup>	-
<b>S<sub>x</sub></b>	69569.80 mm <sup>3</sup>	69569.80 mm <sup>3</sup>	-
<b>C<sub>y</sub></b>	68 mm	68 mm	-
<b>F<sub>y</sub></b>	700 N/mm <sup>2</sup>	700 N/mm <sup>2</sup>	-
<b>M<sub>y</sub></b>	48698858.58 N-mm	48698858.58 N-mm	-
<b>M<sub>n</sub></b>	73048287.88 N-mm	73048287.88 N-mm	-
<b>V<sub>n</sub></b>	362712 N	362712 N	-
<b>V<sub>u</sub></b>	154089.60 N	147604.80 N	-
<b>M<sub>u</sub></b>	9590400 N-mm	32760000 N-mm	-
<b>Verificación de falla</b>	<b>0.49 ≤ 1</b>	<b>0.49 ≤ 1</b>	<b>SI CUMPLE</b>

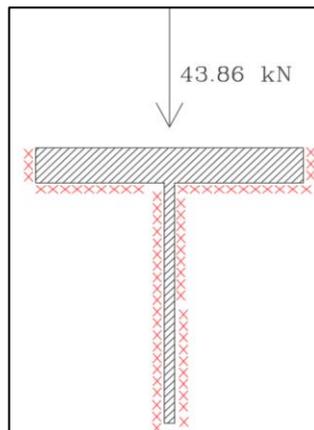
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.6. CÁLCULO DE LA SOLDADURA EN LA ESTRUCTURA

- Material base Strenx 700MC
- Soldadura: E90 (655 MPa)
- Diseño filete GMAW
- El diseño de la unión de un elemento transversal que soporte una carga cortante, define el siguiente detalle del diseño del cordón.

**Figura 4.43**

*Detalle de diseño de cordón de soldadura.*



Fuente: Elaboración propia.

- Diseño será por el método de LRFD

El tamaño definido de la soldadura será de 6 mm de cateto, mayor al mínimo recomendado por Norma AWS D1.1. (Ver tablas B.2 y B.3 del anexo 2)

Tomando como referencia:

Espesor de garganta efectiva =  $0.707 \cdot 6 = 4.24\text{mm}$

Longitud de cordón a tomar en cuenta = 0.290 (Cordon paralelo a carga)

$$\text{Resistencia de diseño} = \varphi \cdot F_w$$

$F_w$  se obtiene de la Tabla 4.9

$$\varphi = 0.75 \text{ (Segun LRFD)}$$

$$\text{Capacidad de la soldadura} = \varphi \cdot F_w \cdot \text{garganta} \cdot \text{Longitud}$$

$$\text{Capacidad de la soldadura} = 0.75 \cdot 0.6 \cdot (655 \cdot 10^3) \cdot 0.00424 \cdot 0.290$$

$$\text{Resistencia de diseño} = 362 \text{ KN}$$

La resistencia de soldadura es mayor que la carga aplicada. Por lo tanto, la soldadura es OK con un radio de 6mm para este elemento.

#### 4.1.7. VARIACIÓN DE PESO Y COSTO DE DISEÑO

Para optimizar la capacidad de carga útil en los tanques de las cisternas se hace necesario el empleo de nuevos materiales (en el chasis y king-pin) como es el acero de alta resistencia Strenx 700 MC, para reemplazar a los aceros ASTM A36, como podemos representarlo en la tabla 4.18, donde obtenemos una diferencia de carga total de 961 kg.

**Tabla 4.18**

*Comparación de las cargas de las cisternas.*

Ítem	Descripción	Peso GLP (kg)	Peso chasis + king-pin (kg)	Carga total (kg)
1	Cisterna material Strenx 700 MC	27700	596	28296
2	Cisterna material ASTM A-36	26000	1335	27335
	Diferencia			961

Fuente: Elaboración propia.

Representamos en la tabla 4.19 el costo de fabricación de las cisternas en ambos aceros empleados.

**Tabla 4.19**

*Comparación del costo de fabricación de las cisternas.*

Ítem	Descripción	Costo del chasis+king- pin (\$)	Costo otros componentes (\$)	Costo total (\$)
1	Cisterna material Strenx 700 MC	861.00	78659.20	79520.20
2	Cisterna material ASTM A-36	560.00	75402.50	75962.50
	Diferencia			3557.70

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.20***Costo de traslado del tanque cisterna.*

<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Capacidad (GLP)</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Costo de traslado (\$)</b>
1	Cisterna material Strenx 700 MC	15300	1332	1122.73
2	Cisterna material ASTM A-36	14500	1332	1034.09
Diferencia				88.64

Fuente: Elaboración propia.

En base de la tabla 4.20, calculamos el costo del flete por concepto de traslado del GLP:

$$\text{Costo flete} = \frac{88.64}{1332 \times 961} = 0.0000692 \frac{\$}{\text{kg.km}}$$

Con los datos obtenidos, podemos calcular la distancia a recorrer para recuperar el costo invertido en la fabricación:

$$\text{distancia a recorrer} = \frac{3557.70}{0.0000692 * 739} = 69569.48 \text{ km}$$

La frecuencia de viajes:

$$\text{frecuencia de viajes} = \frac{69569.48}{1332} = 52.23$$

$$\text{frecuencia de viajes} \approx 53$$

Tabla 4.21

Costos de traslado de GLP tanque 14500 gln

<b>PLUS PETROL PISCO-CHIMBOTE (IDA Y VUELTA) - TK 14500gln</b>			
<b>UNIDAD</b>		<b>VOLVO FH-64T</b>	
Cantidad de ejes		5	
Costo de peaje por eje		S/. 7,00	
Cantidad de peajes por tramo		8	
Precio de Diesel B5S50		S/. 13,00	
Personal de traslado		2	
<b>DISTANCIA</b>	<b>Por Tramo</b>	<b>Total</b>	
	666	1332	
<b>PEAJE</b>	<b>Costo por peaje</b>	<b>Subtotal por tramo</b>	<b>Total</b>
	S/ 35,00	S/ 280,00	S/ 560,00
<b>COMBUSTIBLE</b>	<b>Cantidad de galones por tramo</b>	<b>Cantidad de galones total</b>	<b>Costo promedio en combustible</b>
	80	160	S/ 2.080,00
<b>CHOFERES</b>	<b>Pago</b>	<b>Total</b>	
	220	440	
<b>GASTO DE TRASLADO IDA Y VUELTA</b>		<b>S/. 3,520.00</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.22

Costos de traslado de GLP tanque 15300 gln

<b>PLUS PETROL PISCO-CHIMBOTE (IDA Y VUELTA) - TK 15300gln</b>			
<b>UNIDAD</b>		<b>VOLVO FH-64T</b>	
Cantidad de ejes		5	
Costo de peaje por eje		S/. 7,00	
Cantidad de peajes por tramo		8	
Precio de Diesel B5S51		S/. 13,00	
Personal de traslado		2	
<b>DISTANCIA</b>	<b>Por Tramo</b>	<b>Total</b>	
	666	1332	
<b>PEAJE</b>	<b>Costo por peaje</b>	<b>Subtotal por tramo</b>	<b>Total</b>
	S/ 35,00	S/ 280,00	S/ 560,00
<b>COMBUSTIBLE</b>	<b>Cantidad de galones por tramo</b>	<b>Cantidad de galones total</b>	<b>Costo promedio en combustible</b>
	91,5	183	S/ 2.379,00
<b>CHOFERES</b>	<b>Pago</b>	<b>Total</b>	
	220	440	
<b>GASTO DE TRASLADO IDA Y VUELTA</b>		<b>S/. 3,819.00</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de cambio 1USD = S/. 3.399 consultado el 03/12/2019. SUNAT



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1. RESULTADOS

##### 5.1.1. ESPESORES ÓPTIMOS, VERIFICADOS PARA STRENX 700MC.

**Tabla 5.1**

*Espesores óptimos para Strenx 700MC*

<b>1. Chasis (bougüe)</b>	<b>Espesor</b>
a) Espesor de ala superior de largueros.	6.35 mm
b) Espesor de ala inferior de largueros.	6.35 mm
c) Espesor de alma de largueros.	3.20 mm
d) Espesor de alma viga transversal.	3.20 mm
e) Espesor de ala superior de transversal.	6.35 mm
<b>2. King-pin</b>	
a) Espesor de largueros.	6.35 mm
b) Espesor de transversales.	6.35 mm

Fuente: Elaboración propia.

##### 5.1.2. RESULTADOS BRINDADO POR LAS SIMULACIONES EN SOLIDWORKS Y CÁLCULO ANALÍTICO

**Tabla 5.2**

*Cargas a ingresar para la simulación.*

<b>PARA EL CASO ESTÁTICO</b>			
WT	369994,94 N	Considerar cargas adicionales para el Chasis de 6704 N y para el King Pin de 3352, producto de los accesorios.	
RWA	209431,1 N		
RHA	160563,8 N		
<b>PARA EL CASO DINÁMICO</b>			
REACCIONES		CARGAS DE VOLTEO	
RWB	282731,9 N	RWA	251317,3 N
RHB	216761,1 N	RHA	192676,6 N
<b>RESULTADOS</b>			
Me	F	MF	
437703,9 Nm	184997,4 N	218851,9 Nm	

Fuente: Elaboración propia.

DONDE:

WT : Peso total

RWA : Reacción en el apoyo del chasis

RHA : Reacción en el apoyo del King Pin

RWB : Reacción en el apoyo del chasis, debido a carga por volteo.

RHB : Reacción en el apoyo del chasis, debido a carga por volteo.

Me : Momento equivalente.

F : Fuerza Tangencial.

MF : Momento Final

### 5.1.2.1. RESULTADOS BRINDADOS POR SOLIDWORKS SIMULATION

**Tabla 5.3**

*Resultados por Solidworks Simulation.*

MATERIAL	ASTM-A36		ASTM SA-414G		STRENX 700MC	
	CHASIS	KING PIN	CHASIS	KING PIN	CHASIS	KING PIN
Esfuerzo máximo.	15.02 Mpa	15.21 Mpa	16.51 Mpa	4.15 Mpa	350 Mpa	56.98 Mpa
Deformación máxima.	0.085 mm	0.36 mm	0.27 mm	0.44 mm	4 mm	0.7 mm
Factor de seguridad promedio.	17.4	13.23	18	3.5	53.3	3.5

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.2.2. RESULTADO BRINDADOS POR CÁLCULO ANALÍTICO

(MÉTODO CLÁSICO)

**Tabla 5.4**

*Resultados por cálculo analítico.*

MATERIAL	STRENX 700MC	
COMPONENTE	CHASIS	KING PIN
Momento máximo	58.6 Mpa	187.8 Mpa
Deformación máxima	0.049 mm	0.27 mm
Factor de seguridad promedio	33.3	3.7

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.2.3.RESULTADO BRINDADOS POR AISC 360-16

**Tabla 5.5**

*Resultados por AISC 360-16.*

MATERIAL	STRENX 700MC		
COMPONENTE	CHASIS	KING PIN	RESULTADO
Larguero	$0.17 \leq 1$	$0.49 \leq 1$	SI CUMPLE
Transversal	$0.15 \leq 1$	$0.49 \leq 1$	SI CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.3. COMPARATIVO DE PESOS ACTUAL VS MEJORADO.

**Tabla 5.6**

*Resumen de pesos.*

ITEM	DESCRIPCION	PESO (KG)			% MEJORA
		ACTUAL	MEJORADO	REDUCIDO	
1	Tanque cilíndrico horizontal	9528	10000	-472	-4.95%
2	Chasis	1025	425	600	58.54%
3	King pin	310	171	139	44.84%
4	Suspensión neumática	1074	1074	0	0%
5	Llantas y aros	1326	874	452	34.09%
6	Otros accesorios	1476	1476	0	0%
	TOTAL	14739	14020	719	4.88%

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.1.4. ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO

**Tabla 5.7**

*Análisis financiero.*

DESCRIPCION	VALOR
Inversión Inicial	\$ 300,000.00
Tasa de descuento	20.00%
VAN	\$3,202,393.88
TIR	326.86%
Flujo de caja 1° año	\$892,531.269
Periodo de retorno de inversión	0.336 años $\approx$ 4 meses

Fuente: Elaboración propia. (Se usan las tablas B.5 y B.6 del anexo 2.)

##### 5.1.4.1. RESUMEN DE FRECUENCIAS DE VIAJES:

**Tabla 5.8**

*Distancia a recorrer para recuperar la inversión.*

Precio del flete [\$/ (km.kg)]	Distancia a recorrer (km)	Precio total del flete (\$)	Frecuencia viajes
0.0000692	69569.48	3557.70	53

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2. DISCUSIÓN

1. El primer objetivo consiste en determinar el espesor óptimo para el diseño de la estructura del semirremolque para el transporte de GLP. Fuentes y Jácome (2017), por medio del software Solidworks Simulation y código AISC-360 obtuvieron espesores de 12,70mm y 9,53mm en material ASTM A-36 para el bastidor y King pin respectivamente, haciendo uso de perfiles L. En el presente proyecto se llega a optimizar la estructura del semirremolque usando acero Strenx 700MC obteniendo en el chasis los siguientes espesores: 6.35, 3.2, 3.2 y 6.35 mm para el ala superior e inferior de largueros, alma de largueros, alma transversal central, ala superior de transversal (perfil I, perfil T), respectivamente y para el King-pin se tiene para los largueros (perfil L) 6.35 mm y para los transversales (perfil L) 6.35 mm.
2. El segundo objetivo busca analizar los puntos críticos de la estructura del semirremolque. Fuentes y Jácome (2017), obtiene en su proyecto para el bastidor y King pin valores de deformación de 0,32mm y 0,15mm en tanto un factor de seguridad 8,75 y 6,04 respectivamente. Vargas (2018) en el análisis del bastidor obtiene una deformación de 0,98mm y un factor de seguridad de 3,4 usando Strenx 700MC, concluyendo ambos que hacer un análisis por medio del método de elementos finitos y posterior corroboración por cálculo analítico proporcionan datos satisfactorios. La presente investigación no es ajena a tales procedimientos, pues haciendo uso de los métodos mencionados previamente, se determina para el chasis usando STRENX 700 MC, una deformación de 0.9184 mm y un factor de seguridad de 53.34, luego para el King-Pin usando STRENX 700 MC, una deformación de 0.08286 mm y un factor de seguridad de 3.504. El valor del factor de seguridad calculado por el método analítico-estructural difiere del valor obtenido por elementos finitos en 17 %, esto porque se toman muchas suposiciones y reducciones de un modelo real para el primer método.
3. El tercer objetivo está orientado a aumentar la carga útil de GLP. Patel (2012) y Vargas (2018) reducen el peso de la estructura y este último haciendo uso del acero de alta resistencia STRENX 700 MC, optimiza la carga útil en 36551 kg, en comparación con una estructura de acero estructural ASTM A-36 con un valor de 35300 Kg. En la presente investigación se logra optimizar la carga útil en 27700 kg haciendo uso del STRENX 700 MC, mientras que para el acero ASTM A-36, 26000 kg de GLP.

4. El cuarto objetivo se basa en realizar un análisis del costo-beneficio del semirremolque. Ledesma (2014) concluye que la variación del costo de un semirremolque volquete de 22 m<sup>3</sup> fabricado en acero de alta resistencia y otro de acero estructural ASTM A-36 fue de \$ 1584, los cuales son recuperables a 8500 km de recorrido con un flete aproximado de \$ 0.000103 \$/ (kg x km). En la presente investigación se determina una variación del costo de \$ 3557.70 entre el acero STRENX 700 MC y el ASTM A-36, pudiendo ser recuperable en 69569.48 km, es decir 53 viajes en un periodo de tiempo aproximado de 4 meses, a un flete de 0.0000692 \$/ (kg x km). Siendo el uso de un acero de alta resistencia mucho más rentable en el tiempo.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. CONCLUSIONES

1. Al seleccionar el acero de alta resistencia Strenx 700 MC, se determinó en base del software solidworks simulation, que por sus propiedades mecánicas nos ayudó en reducir los espesores de la estructura del semirremolque, obteniendo para el chasis los siguientes espesores: 6.35, 3.2, 3.2 y 6.35 mm para el ala superior e inferior de largueros, alma de largueros, alma transversal central, ala superior de transversal, respectivamente y se redujo la altura de alma de largueros en 260 mm y tubo rectangular de 70 mm x 150 mm x 3.2 mm; para el king-pin tiene los siguientes espesores: largueros (perfil L) 6.35 mm, transversales (perfil L) 6.35 mm y altura entre 136 a 231 mm.
2. Según los análisis realizados por el método de elementos finitos y cálculo analítico-estructural, los puntos críticos obtenidos fueron los siguientes: En la alternativa caso 1(SA-36), para el boguie-chasis se determinó el desplazamiento en 0.0854 mm con un factor de seguridad promedio de 17.4. Para el King pin el desplazamiento fue de 0.03237 mm con un factor de seguridad promedio de 13.33. En la alternativa Caso 2(SA-414 Grado G), para el boguie-chasis se determinó el desplazamiento en 0.02771 mm con un factor de seguridad promedio de 3.502. Para el King pin el desplazamiento fue de 0.2739 mm con un factor de seguridad promedio de 3.53. En la alternativa Caso 3(STRENGTH 700 MC), para el boguie-chasis se determinó el desplazamiento en 0.9184 mm con un factor de seguridad promedio de 53.34. Para el King pin el desplazamiento fue de 0.08286 mm con un factor de seguridad promedio de 3.504.

3. Hemos llegado a optimizar teóricamente, la carga útil del semirremolque del tanque para transporte de GLP en 27700 kg en comparación con los 26000 kg del diseño anterior, sin restringir la norma peruana D.S. N° 058-2003-MTC (usando una bonificación del 10% del peso máximo permitido).
4. Se calculó que el costo del flete es de  $0.0000692 \frac{\$}{\text{kgxkm}}$ , la distancia a recorrer para recuperar la inversión inicial (para la estructura de material acero strenx 700 MC) es de 69569.48 km y en aproximadamente 53 viajes (aproximadamente 4 meses).

## 6.2. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda, enfocar el diseño basado principalmente en la facilidad de fabricación optimizando el tiempo final de trabajo y recursos económicos involucrados, precisamente es en este campo que se aborda, es posible mejorar el diseño cambiando el requisito de tener como mínimo 2 largueros a lo largo de la zona de contacto del Shell por uno solo, pero este cambio sería bajo condiciones de diseño fuera de la norma BPVC XII, y entra en el campo de diseños particulares que no podrán ser certificados por la autoridad competente.
2. Se sugiere, no disminuir el espesor de los perfiles a no menos de 3.20mm (1/8") debido a que espesores por debajo de este, se debería analizar con el código estructural de soldadura AWS D.1.3 (chapas metálicas).
3. En el método de cálculo analítico estructural, se despreció el análisis de los arriostres de la estructura del boguie chasis y del King pin, debido a que su análisis se haría más complejo demandando una mayor cantidad de recursos informáticos, tiempo, etc y su participación en dicha estructura solo es de rigidizar dichos elementos.
4. Se puede optimizar el peso del semirremolque, reduciendo el espesor de las tapas y cuerpo del tanque por medio del proceso de tratamientos térmicos, usando materiales calificados por el código ASME SECT. II D y bajo el procedimiento de acorde a la parte UHT del código ASME SECT. VIII DIV.I
5. Para tener un mejor resultado más realista a la estructura analizada, se recomienda seguir un enfoque más profundo en los análisis dinámicos como el de la fatiga del material vs tiempo y el análisis vibracional en las zonas con mayor afectación por las cargas actuantes en el sistema.

## CAPÍTULO VII

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, C. (2016). *Especificación ANSI/AISC 360-16 para Construcciones de Acero*. Chile: Asociación Latinoamericana del Acero.
- ASME. (2017). *BPCV. Section II: Materials. Part D: Properties*. New York, USA.
- ASME. (2017). *BPCV. Section VIII Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels*. New York, USA.
- ASME. (2017). *BPCV. Section XII: Rules for Construction and Continued Service of Transport Tanks*. New York, USA.
- Budynas, R. & Nisbett, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de SHIGLEY*. México: McGraw-Hill.
- ESAB. (2019). *Manual Welding*.  
Recuperado de: <https://www.esab.es/es/sp/support/documentation/manuals.cfm>
- Fuentes, C., & Jácome, J. (2017). *Diseño de un autotanque de cabeza semiesférica, de 8000 GLS para transporte de GLP, mediante la aplicación de software CAE* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Leciñena S.A. (2018). *Remolques y semiremolques*. Recuperado de: <http://www.lecinenena.com/ES/paglibre.asp?id=6&menu=1&submenu=4>
- Ledesma, J. (2014). *Diseño estructural de semirremolques volquetes Tridem para optimizar la capacidad de carga útil en RMB SATECI* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, Huancayo, Perú.
- Mete, M. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de Proyectos de inversión. *ISSN 2071 – 081 X, Vol. 7*. Bolivia, 67-85.

Ministerio de la Producción. (2016). *Aprobación del diagnóstico ambiental preliminar (DAP) para la empresa CORPORACION WRT S.A.C* (Resolución Directoral N° 186-2016-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM).

Recuperado de:

<http://www2.produce.gob.pe/portal/portal/apsportalproduce/dispositivoslegales/PortletDispositivosLegalesWindow?codigo=10&categoria=22&sPage=&tipo=4&action=e&windowstate=normal&textoBusqueda=WRT+SAC&mode=view>

Ministerio de Transporte y comunicaciones. (2015). *Reglamento de Seguridad para Instalaciones y Transportes de Gas Licuado de Petróleo* (Decreto supremo N° 27-94-EM).

Recuperado de:

<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/DECRETO%20SUPREMO%20No%2027-94-EM.pdf>

Ministerio de Transporte y comunicaciones. (2015). *Reglamento de Vehículos* (Decreto supremo N° 058-2003-MTC).

Recuperado de:

[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_1957.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_1957.pdf)

Nash, W. (1972). *Resistencia de Materiales*. USA: Mc Graw-Hill.

OSINERGMIN. (2018). *Transporte de Hidrocarburos*. Recuperado de <http://www.osinergmin.gob.pe/empresas/hidrocarburos/transporte>

Patel, V. (2012). Structural Analysis of Automotive Chassis Frame and Design Modification for Weigth Reduction. *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. (1), Issue 3: 1-6.

SOLIDWORKS. (2015). *Introducción a Solidworks*. Waltham, EE. UU: Dassault Systemes SolidWorks Corporation.

Strenx. (2019). *Acero estructural de alta resistencia de 700 MPa*. Recuperado de <https://www.ssab.es/products/brands/strenx/products/strenx-700-mc>

Vargas, H. (2018). *Mejora del diseño de un semirremolque volquete encapsulado para incrementar la carga útil en el transporte de mineral a granel* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, Huancayo, Perú.

# **CAPÍTULO VII**

## **ANEXOS**

**ANEXO 1: FIGURAS COMPLEMENTARIAS**

**Figura A.1**

*Ficha técnica del Tracto Volvo FH 6X4T para el semirremolque.*



## VOLVO FH 6X4T

### EVOLUTION

**420/460/500/540 CV**

**TCI**  
TECNOLOGIA DE CONSUMO INTELIGENTE



Volvo Trucks. Acelerando el futuro.

---

#### DATOS TECNICOS

**MOTOR**  
**Modelo:** VOLVO D13C Euro 5 SCR  
**Características:** 12,8 lts, 6 cilindros en línea y 4 válvulas por cilindro. Unidades individuales de inyector bomba. Sistema de inyección con gerenciamento electrónico.  
**Potencias:** 420 / 460 / 500 / 540 CV (1400 - 1900 rpm)  
**Torques:** 2.100 / 2.300 / 2.500 / 2.600 Nm (1000 - 1400 rpm)

**CAJA DE VELOCIDADES**  
**Modelo:** Volvo AT2612F  
**Tipo:** Automática sin sincronizados.  
**Sistema:** I-Shift  
**Marchas:** 12 velocidades (14,94:1)  
**Opcional:** I-Shift de 14 marchas: 12 + 2 súper reducidas (32,04/19,38:1)

**FRENOS**  
**Tipo:** Frenos a tambor con ABS.  
**Opcional:** Frenos a disco (EBS) c/Control de Tracción  
**Freno auxiliar:** Freno de motor VEB a través de las válvulas de 410 CV.  
**Opcional:** VEB + (610 CV)/Retarder

**TANQUES DE COMBUSTIBLE**  
**Combustible:** Aluminio D-Shape de 940 litros  
**Aditivo SCR:** Capacidad de 64 litros  
\* Para entre ejes 3.600 mm / suspensión parabólica

**DIFERENCIAL**  
**Modelo:** RTS2370 sin reductor de cubos  
**Relación de reducción:** de 3,09 :1 a 4,50 :1  
**Capacidad de arrastre (CMT):** 78 Ton  
**Opcionales:** Eje con red. de cubos RTH 2610 /3210/3312 con relación hasta 7,21:1 y 100 Ton de CMT\*, Eje elevable y desembragable.\*\*  
\* CVT mayores bajo consulta.  
 \*\* Solo con suspensión neumática / 21,28,26 Ton de carga con o sin reductor de cubos.

**SUSPENSIÓN DELANTERA**  
**Tipo:** Ballestas parabólicas con amortiguadores y barra estabilizadora.  
**Capacidad:** 7.100 a 9.000 Kg

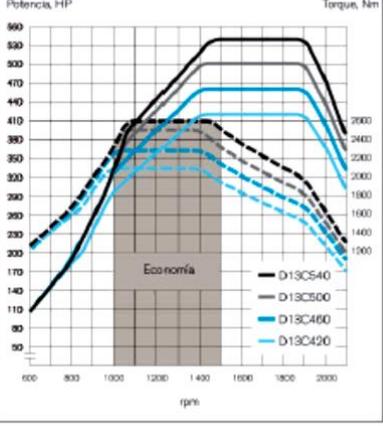
**SUSPENSIÓN TRASERA**  
**Tipo:** Ballestas parabólicas con amortiguadores y barra estabilizadora.  
**Opcional:** Semi-elíptica o neumática de 8 fuelles.  
**Capacidad:** de 21.000 a 32.000 Kg

**CHASIS**  
**Material:** Acero especial LNE60  
**Quinta rueda:** Jost JSK 37 CX-Z  
**Altura de quinta rueda:** 185 mm  
**Diámetro perno:** 50 mm (2")

**NEUMÁTICOS Y LLANTAS**  
**Neumáticos:** 295/80R22,5\*  
**Llantas:** Acero 9\*\*  
**Opcional:** Llantas de Aluminio  
\* Consultar por otras medidas

#### D13C Potencia/Torque

Potencia según ISO 1585, Dir. 89/491/EEC, ECE Reg 85

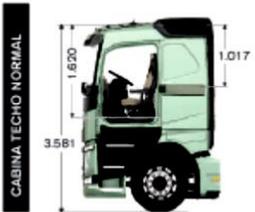


**PESOS Y CAPACIDADES (Kg)**

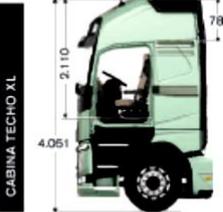
	Eje delantero	Eje trasero	Total
<b>Capac. técnica</b>	7.100 a 9.000	21.000 a 32.000	28.100 a 41.000
<b>Limite legal</b>	6.000	18.000	24.000
<b>Peso del chasis*</b>	5.244	4.205	9.449

\*Pesos estimados con 100 lts de combustible, sin chofer y con rueda de auxilio. Llantas de acero, frenos a tambor y cabina techo normal.

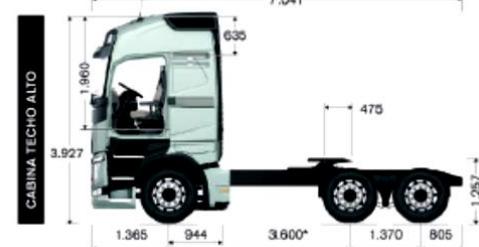
**CABINAS**



CABINA TECHO NORMAL



CABINA TECHO XL



CABINA TECHO ALTO

Fuente: Volvo Truck y Buses Argentina S.A.

**Figura A.2**

*Pesos y medidas máximas permitidas según configuración vehicular del MTC.*

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. ( m )	Peso máximo ( t )				Peso bruto máx. ( t )	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°		4°
T2S3		20,50	7	11	25	---	---	43
T2Se3		20,50	7	11	11 <sup>(4)</sup>	18	---	47
T3S1		20,50	7	18	11	---	---	36
T3S2		20,50	7	18	18	---	---	43
T3Se2		20,50	7	18	11	11	---	47
T3S3		20,50	7	18	25	---	---	48 <sup>(2)</sup>

Fuente: Reglamento nacional DS-058-2003-MTC





Tabla B.2

Resistencia de diseño de soldaduras.

Tipos de soldadura y esfuerzo [a]	Material	Factor $\phi$ de resistencia	Resistencia nominal $F_{BM}$ o $F_w$	Nivel de resistencia requerido [b,c]
Soldadura de ranura con penetración completa				
Tensión normal al área efectiva	Base	0.90	$F_y$	Debe usarse soldadura "compatible".
Compresión normal al área efectiva	Base	0.90	$F_y$	Puede usarse un metal de aportación (electrodo) con un nivel de resistencia igual o menor que el "compatible".
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura				
Cortante en el área efectiva	Base; electrodo de soldadura	0.9 0.80	$0.60F_y$ $0.60F_{EXX}$	
Soldaduras de ranura con penetración parcial				
Compresión normal al área efectiva	Base	0.90	$F_y$	Puede usarse un metal de aportación (electrodo) con un nivel de resistencia igual o menor que el "compatible".
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura [d]				
Cortante paralelo al eje de la soldadura	Base, electrodo de soldadura	0.75	[c] $0.60F_{EXX}$	
Tensión normal al área efectiva	Base, electrodo de soldadura	0.90 0.80	$F_y$ $0.60F_{EXX}$	
Soldaduras de filete				
Cortante en el área efectiva	Base; electrodo de soldadura	0.75	[c] $0.60F_{EXX}$	Puede usarse un metal de aportación (electrodo) con un nivel de resistencia igual o menor que el "compatible".
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura [d]	Base	0.90	$F_y$	
Soldaduras de tapón o muesca				
Cortante paralelo a las superficies de contacto (sobre el área efectiva)	Base, electrodo de soldadura	0.75	[c] $0.60F_{EXX}$	Puede usarse un metal de aportación (electrodo) con un nivel de resistencia igual o menor que el "compatible".

Fuente: American Institute of Steel Construction, *Manual of Steel Construction, Load & Resistance Factor Design*, 2a. ed., Chicago, AISC, 1994, tabla J2.25, pág. 6-78. Recimpreso con autorización del AISC.  
[a] Para la definición de área efectiva, vea la Sección J2.

Fuente: Código AWS D1.1 Ed. 2015.

**Tabla B.3**

Tamaños mínimos para las soldaduras de filete.

Espesor del material de la parte unida con mayor espesor (pulg)	Tamaño mínimo de la soldadura de filete <sup>a</sup> (pulg)
Hasta $\frac{1}{4}$ inclusive	$\frac{1}{8}$
Mayor de $\frac{1}{4}$ , hasta $\frac{1}{2}$ inclusive	$\frac{3}{16}$
Mayor de $\frac{1}{2}$ , hasta $\frac{3}{4}$ inclusive	$\frac{1}{4}$
Mayor de $\frac{3}{4}$	$\frac{5}{16}$

<sup>a</sup> Dimensiones de lado de los filetes. La soldadura debe ser de una sola pasada.

Fuente: Código AWS D1.1 Ed. 2015.

**Tabla B.4**

Pesos comparativos de tanque 14500gal y 15300 gal.

TK 14500GAL A-36		
DESCRIPCIÓN	PESO EN kg	
PESO TRACTO(Kg)	9550	VOLVO FH-64T
PESO PERMITIDO+5%(Kg)	50400	
PESO MAX CISTERNA(Kg)	40850	
PESO AL 90% GLP 14500G d(533Kg/m <sup>3</sup> )	26331	
PESO CISTERNA EN VACIO	14739	
PESO NETO(Kg)	24289	
CARGA UTIL(Kg)	26000	
PESO BRUTO(Kg)	50289	
TK 15300GAL STRENX 700MC		
	kg	
PESO TRACTO(Kg)	9550	VOLVO FH-64T
PESO PERMITIDO+10%(Kg)	52800	
PESO MAX CISTERNA(Kg)	43250	
PESO AL 90% GLP 15300G d(533Kg/m <sup>3</sup> )	27784	
PESO CISTERNA EN VACIO	14020	
PESO NETO(Kg)	23570	
CARGA UTIL(Kg)	27700	
PESO BRUTO(Kg)	51270	

PESO PERMITIDO MTC	48000
PESO + BONIFICACION NEUMATICA	50400
PESO + BONIFICACION NEUMATICA + L	52800

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla B.5***Análisis de flujo de caja por mes.*

I. ANALISIS DE INVERSION INICIAL	
DESCRIPCION	COSTO(US\$)
Semirremolque para transporte de GLP de 15300gal de capacidad	79520
Tracto Marca: VOLVO Modelo: FH6x4T	145000
<b>TOTAL:</b>	<b>224520</b>

II. ANALISIS DE COSTO POR TRANSPORTE DE GLP	
DESCRIPCION	COSTO(US\$)
Carga util transportada(Kg)	27700
Costo de transporte por Kg de GLP (US\$/Kg)	0.0921744
Costo de transporte de GLP(US\$)	2553.23088
Duración de viaje(Dias)	2
Viajes mensuales(viajes)	15
<b>Costo de transporte de GLP por mes(US\$/mes)</b>	<b>38298.4632</b>

III. ANALISIS DE COSTO SECUNDARIOS	
DESCRIPCION	COSTO(US\$)
mantenimiento mensual(US\$)	112.5
Depreciacion del producto mensual(US\$)	331.3333
PERSONAL	1886.409
<b>TOTAL:</b>	<b>2330.24233</b>

IV. ANALISIS DE COMPRA Y VENTA DE GLP	
DESCRIPCION	COSTO(US\$)
Compra de GLP (US\$/Kg)	0.51566
Total compra de GLP por mes (US\$)	214256.73
Venta de GLP* (US\$/Kg)	0.82244695
Total venta de GLP por mes (US\$)	341726.7077

Fuente: Elaboración propia.

Nota. Precio de venta de GLP (S/1.49 x lt) recuperado de:

<http://www.facilito.gob.pe/facilito/actions/PreciosGLPAction.do>

Tabla B.6

Análisis de flujo de caja por año.

RUBROS	2021	2022	2023	2024	2025	TOTAL
	<b>I INGRESOS DE OPERACIÓN</b>	<b>4,100,720</b>	<b>4,715,829</b>	<b>5,423,203</b>	<b>6,236,683</b>	<b>7,172,186</b>
Venta de bienes y servicios	4,100,720	4,715,829	5,423,203	6,236,683	7,172,186	27,648,621
Ingresos financieros	0	0	0	0	0	0
Ingresos por participaciones o dividendos						
Donaciones						
Ingresos extraordinarios	0	0	0	0	0	0
Retención de tributos	0	0	0	0	0	0
Otros	0	0	0	0	0	0
<b>II EGRESOS DE OPERACIÓN</b>	<b>2,874,084</b>	<b>3,447,697</b>	<b>4,135,266</b>	<b>4,960,350</b>	<b>5,885,422</b>	<b>21,302,819</b>
Compra de bienes	2,571,081	3,085,297	3,702,356	4,442,828	5,331,393	19,132,955
Gastos de personal	9,850	9,850	9,850	9,850	9,850	49,250
Servicios prestados por terceros	38,298	46,724	56,069	67,283	80,739	289,114
<b>Tributos</b>	<b>250,879</b>	<b>301,055</b>	<b>361,266</b>	<b>433,519</b>	<b>455,195</b>	<b>1,801,913</b>
Por cuenta propia	250,879	301,055	361,266	433,519	455,195	1,801,913
Gastos diversos de gestión	0	0	0	0	0	0
Egresos extraordinarios	0	0	0	0	0	0
Otros	3,976	4,771	5,725	6,871	8,245	29,588
<b>III SALDO OPERATIVO</b>	<b>1,226,636</b>	<b>1,268,132</b>	<b>1,287,936</b>	<b>1,276,334</b>	<b>1,286,764</b>	<b>6,345,802</b>
<b>IV INGRESOS DE CAPITAL</b>	<b>50,000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>50,000</b>
Aportes de capital	50,000	0	0	0	0	50,000
Ventas de activo fijo						0
Otros						0
<b>V GASTOS DE CAPITAL</b>	<b>224,520</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>224,520</b>
<b>Presupuesto de Inversiones</b>	<b>224,520</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>224,520</b>
Proyectos de inversión	224,520	0	0	0	0	224,520
Gastos de capital no ligados a proyectos	0	0	0	0	0	0
Otros	0	0	0	0	0	0
<b>VI TRANSFERENCIAS NETAS</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Ingresos por Transferencias	0	0	0	0	0	0
Egresos por Transferencias	0	0	0	0	0	0
<b>VII SALDO ECONOMICO</b>	<b>1,052,116</b>	<b>1,268,132</b>	<b>1,287,936</b>	<b>1,276,334</b>	<b>1,286,764</b>	<b>6,171,282</b>
<b>VIII FINANCIAMIENTO NETO</b>	<b>-159,585</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-159,585</b>
<b>Financiamiento externo neto</b>	<b>-159,585</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-159,585</b>
<b>Financiamiento largo plazo</b>	<b>-159,585</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-159,585</b>
Desembolsos						0
<b>Servicio de la deuda</b>	<b>159,585</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>159,585</b>
Amortización	145,045					145,045
Intereses y comisiones de la deuda	14,540					14,540
<b>SALDO NETO DE CAJA</b>	<b>892,531</b>	<b>1,268,132</b>	<b>1,287,936</b>	<b>1,276,334</b>	<b>1,286,764</b>	<b>6,011,697</b>
<b>SALDO INICIAL DE CAJA</b>	<b>300,000</b>	<b>1,192,531</b>	<b>2,460,663</b>	<b>3,748,599</b>	<b>5,024,933</b>	<b>6,311,697</b>
<b>SALDO FINAL DE CAJA</b>	<b>1,192,531</b>	<b>2,460,663</b>	<b>3,748,599</b>	<b>5,024,933</b>	<b>6,311,697</b>	<b>12,323,393</b>

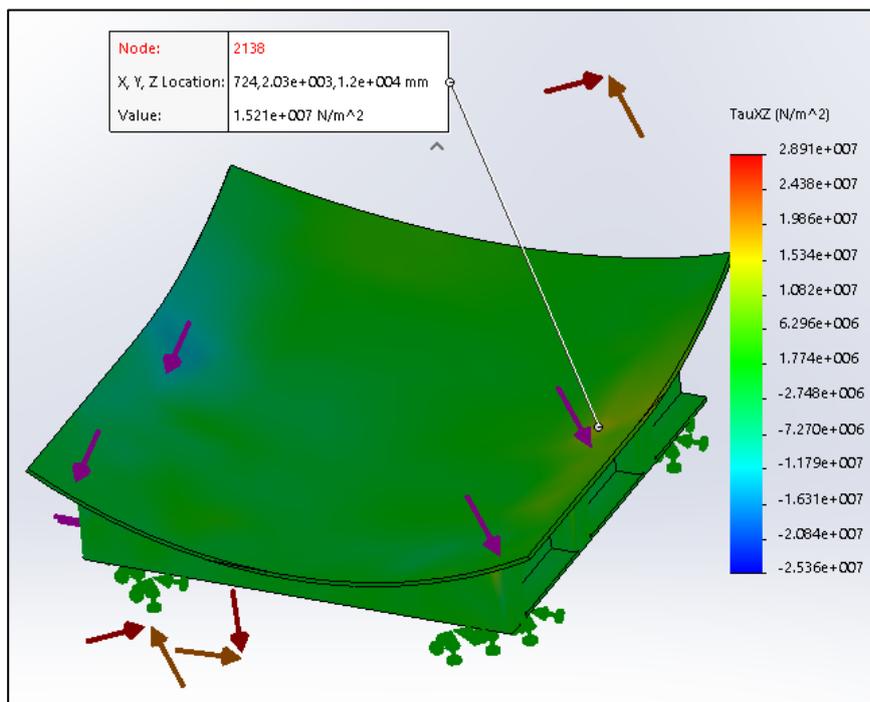
Fuente: Elaboración propia.

### ANEXO 3: ANALISIS COMPLEMENTARIOS POR ELEMENTOS FINITOS

#### 3.1. EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA CHASIS Y KING PIN USANDO ACERO ASTM A-36

**Figura A.4**

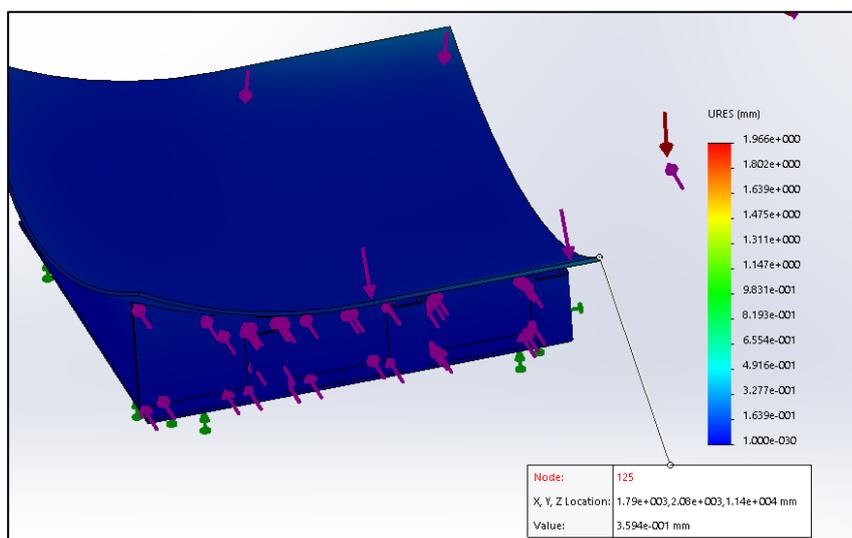
*Esfuerzo máximo en el King Pin A-36 (15.21 Mpa)*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura A.5**

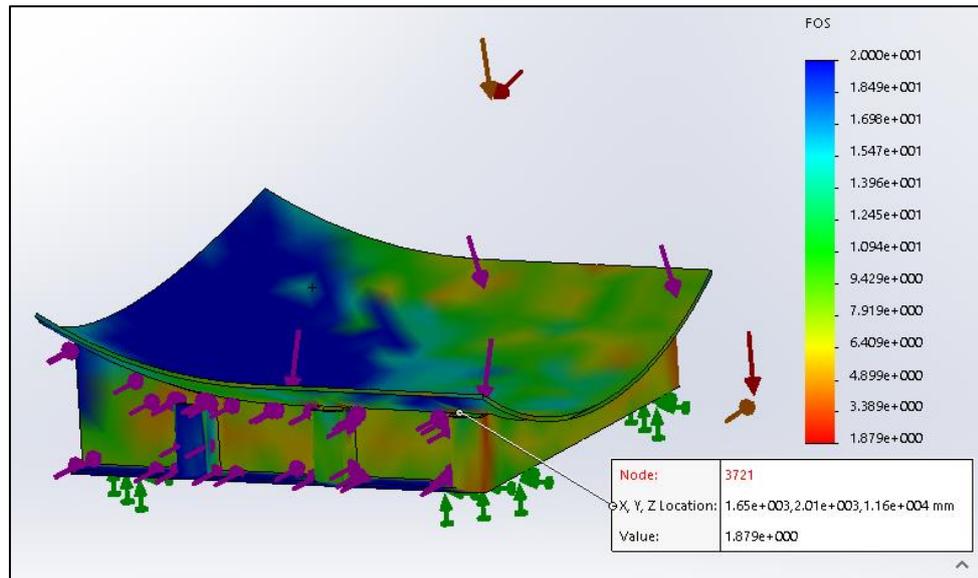
*Desplazamiento máximo en el King Pin A-36 (0.36 mm)*



Fuente: Elaboración

**Figura A.6**

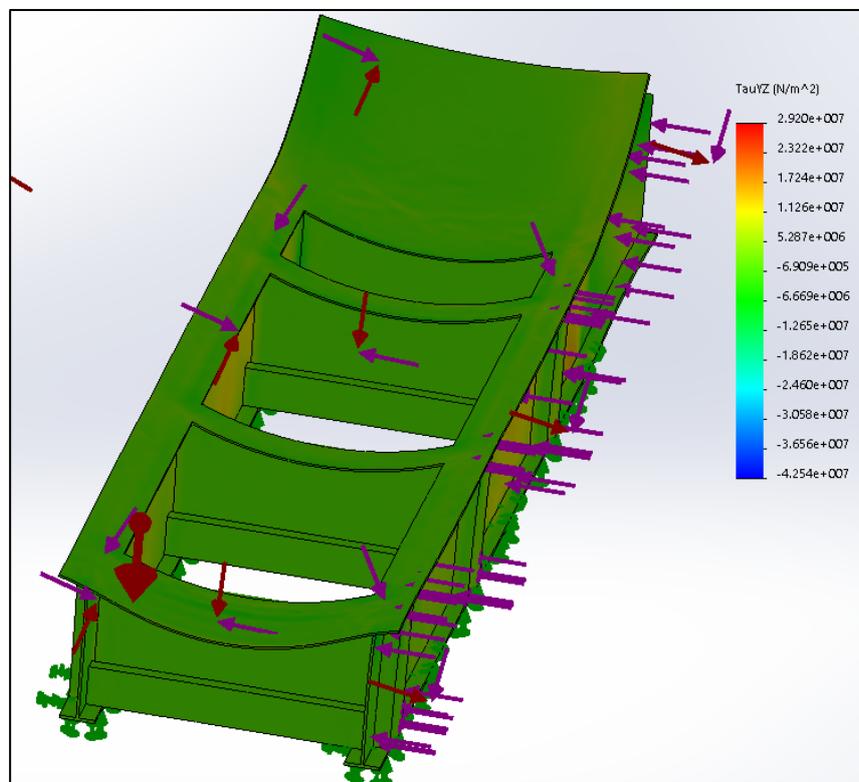
*Factor de Seguridad promedio en el King Pin A-36 (13.23)*



Fuente: Elaboración

**Figura A.7**

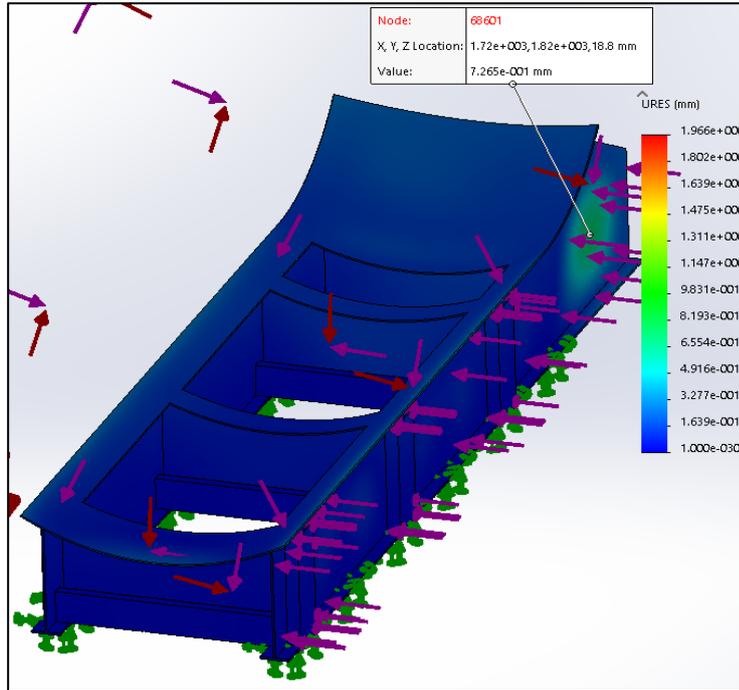
*Esfuerzo máximo en el Chasis A-36 (15.02 Mpa)*



Fuente: Elaboración

**Figura A.8**

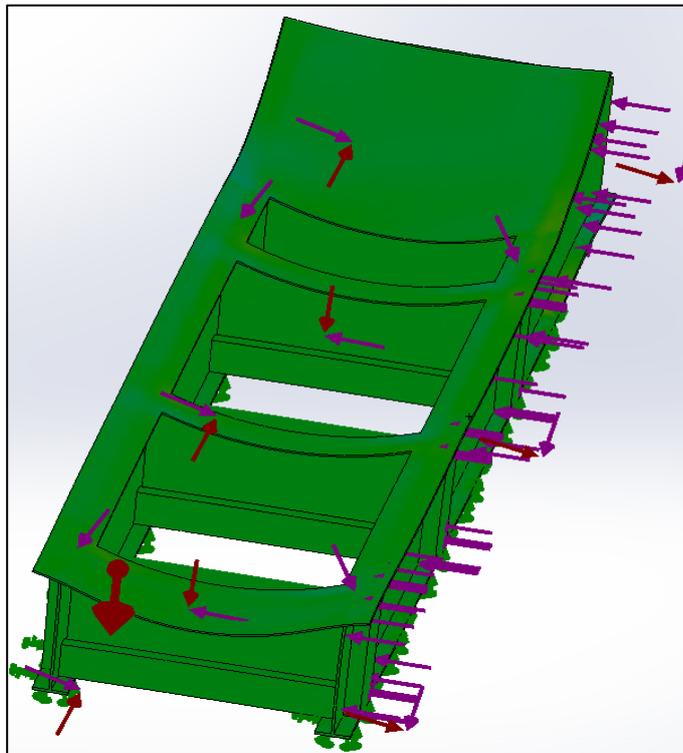
*Desplazamiento máximo en el Chasis A-36 (0.085 mm)*



Fuente: Elaboración

**Figura A.9**

*Factor de Seguridad promedio en el Chasis A-36 (17.4)*

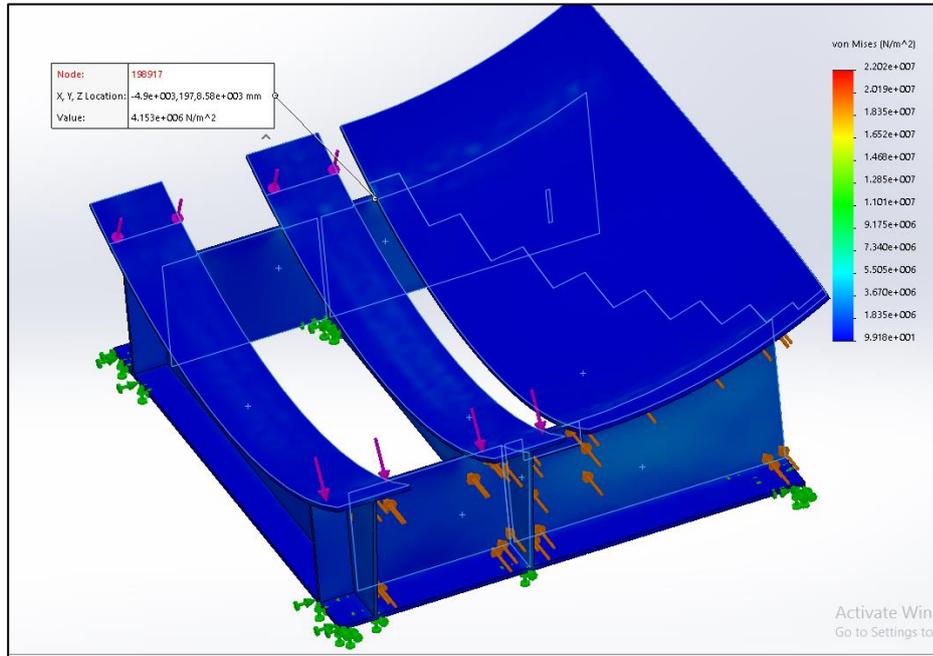


Fuente: Elaboración

### 3.2. EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA CHASIS Y KING PIN USANDO ACERO ASTM A-414 G

**Figura A.10**

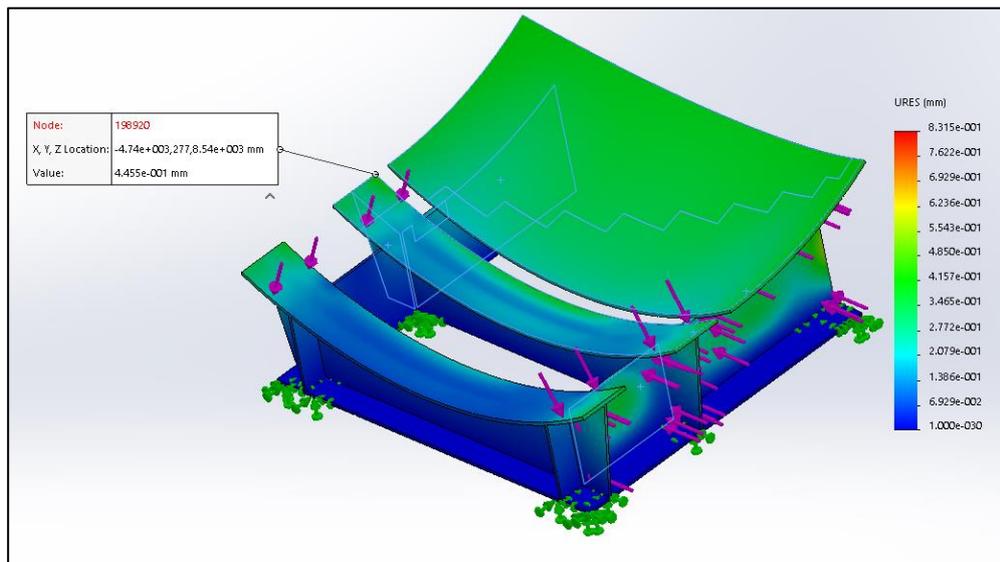
*Esfuerzo máximo en el King Pin A-414 G (4.15 Mpa)*



Fuente: Elaboración

**Figura A.11**

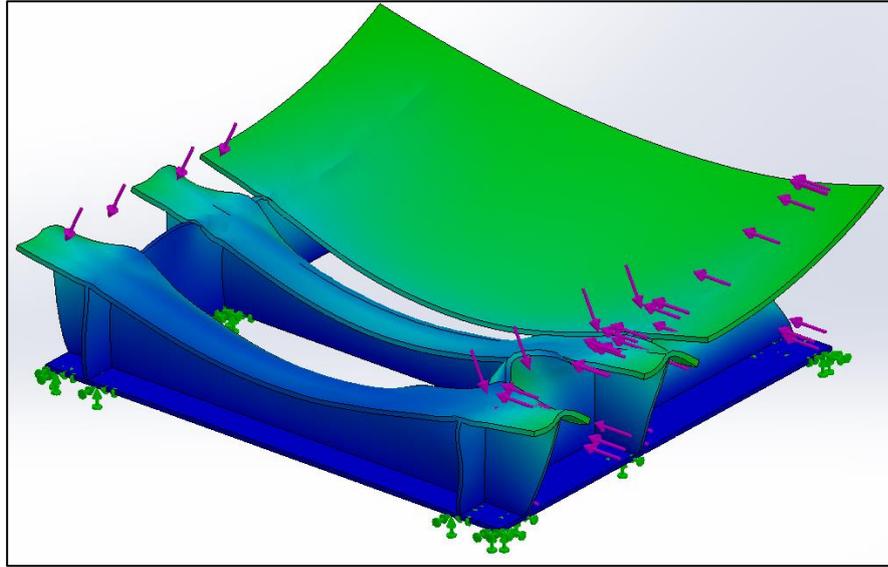
*Desplazamiento máximo en el King Pin A-414 G (0.44 mm)*



Fuente: Elaboración

**Figura A.12**

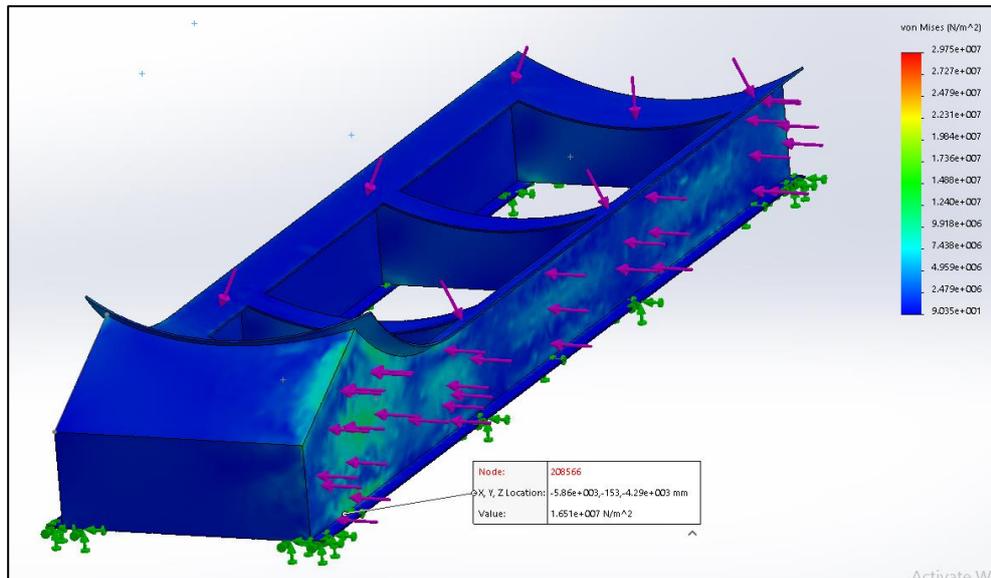
*Factor de Seguridad promedio en el King Pin A-414 G (3.5)*



Fuente: Elaboración

**Figura A.13**

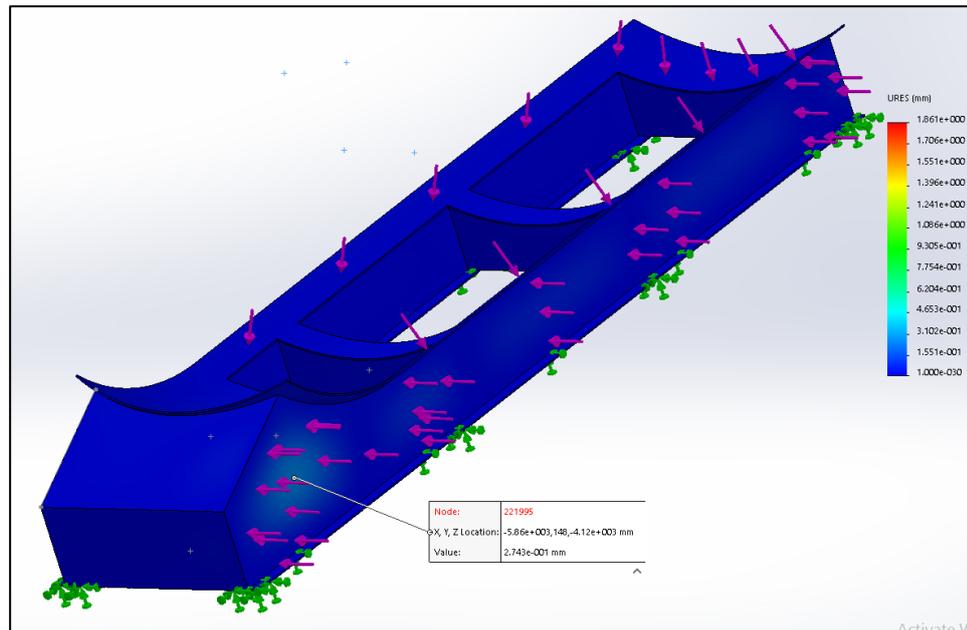
*Esfuerzo máximo en el Chasis A-414 G (16.51Mpa)*



Fuente: Elaboración

**Figura A.14**

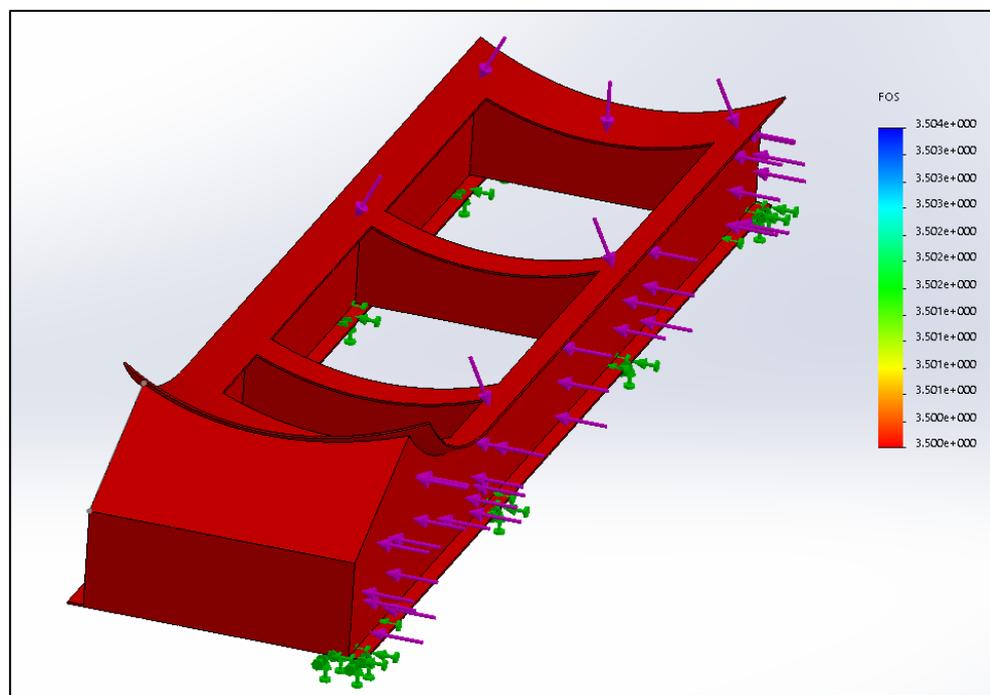
*Desplazamiento máximo en el Chasis A-414 G (0.27 mm)*



Fuente: Elaboración

**Figura A.15**

*Factor de Seguridad promedio en el Chasis A-414 G (18)*

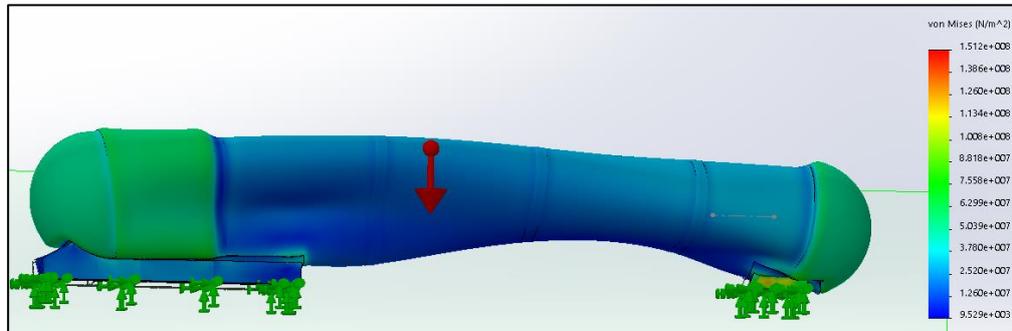


Fuente: Elaboración

### 3.3. EVALUACIÓN DEL CONJUNTO RECIPIENTE A PRESION Y ESTRUCTURA USANDO ACERO STRENX 700 MC

**Figura A.16**

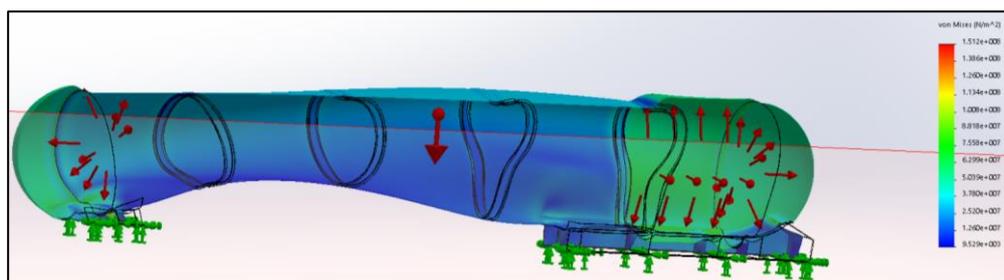
*Esfuerzos máximos en el tanque en conjunto con STRENX 700 MC*



Fuente: Elaboración

**Figura A.17**

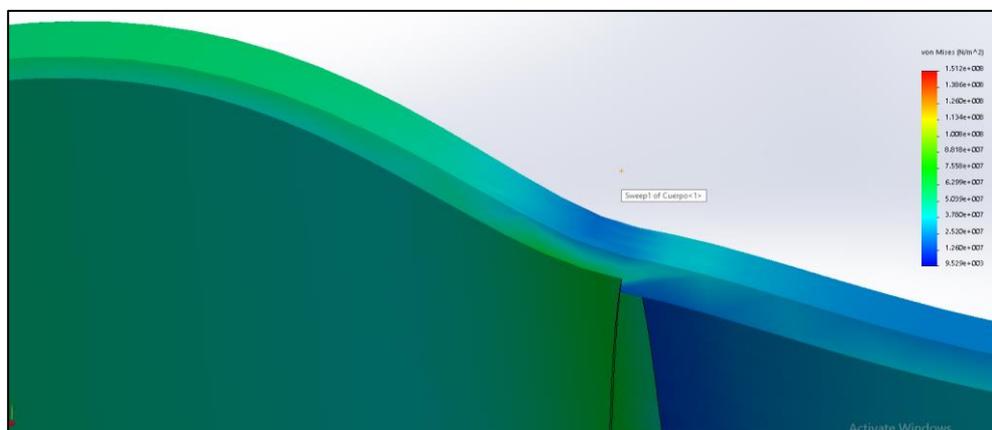
*Esfuerzos máximos en los rompeolas internas con STRENX 700 MC*



Fuente: Elaboración

**Figura A.18**

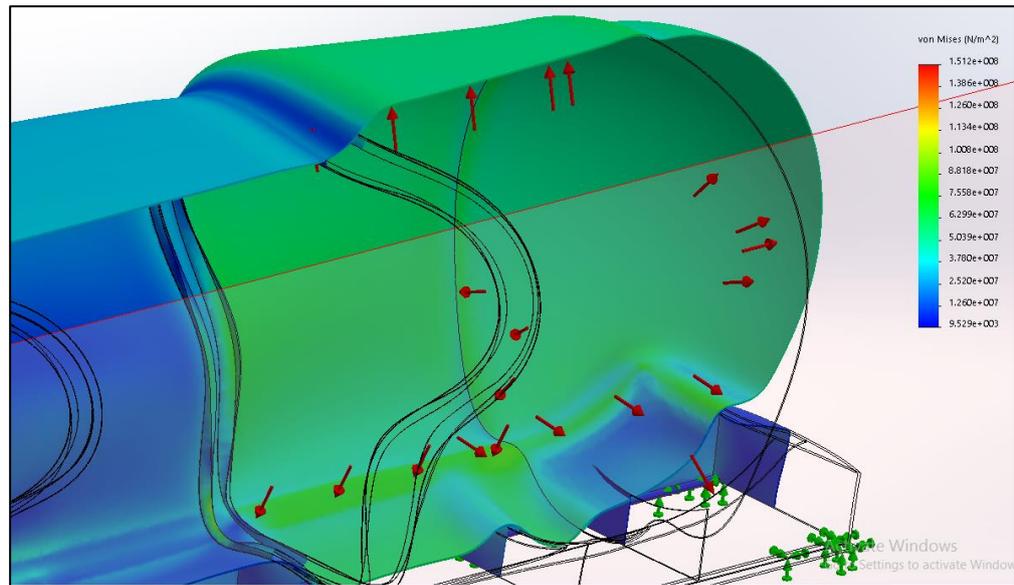
*Esfuerzos máximo puntual en la unión cabezal y cuerpo con STRENX 700 MC*



Fuente: Elaboración

**Figura A.19**

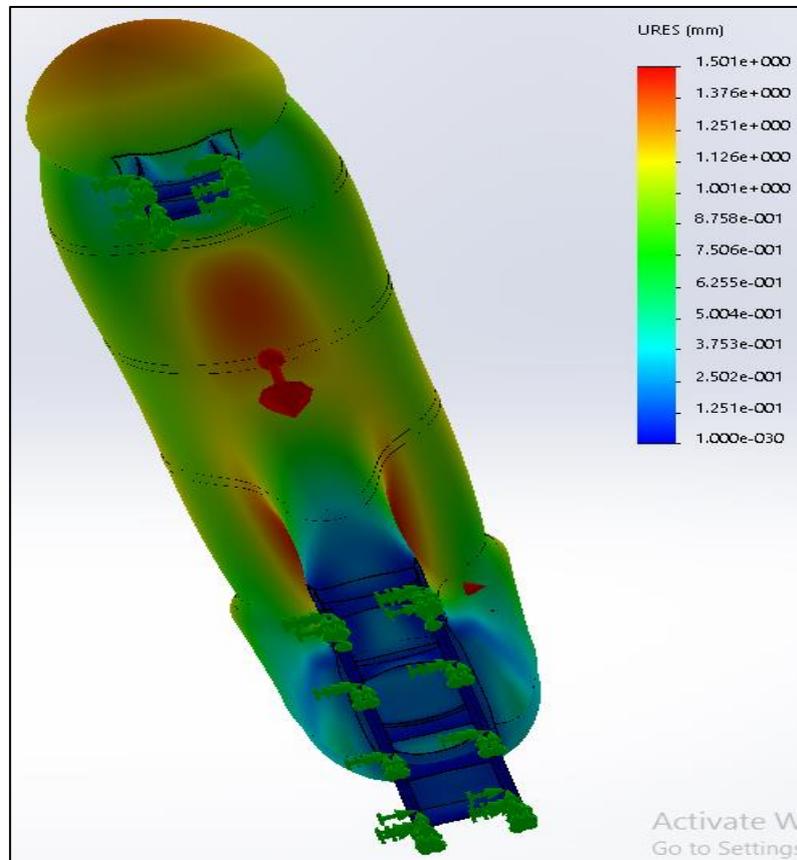
*Esfuerzos máximo puntual en la unión chasis y sacrificio con STRENX 700 MC*



Fuente: Elaboración

**Figura A.20**

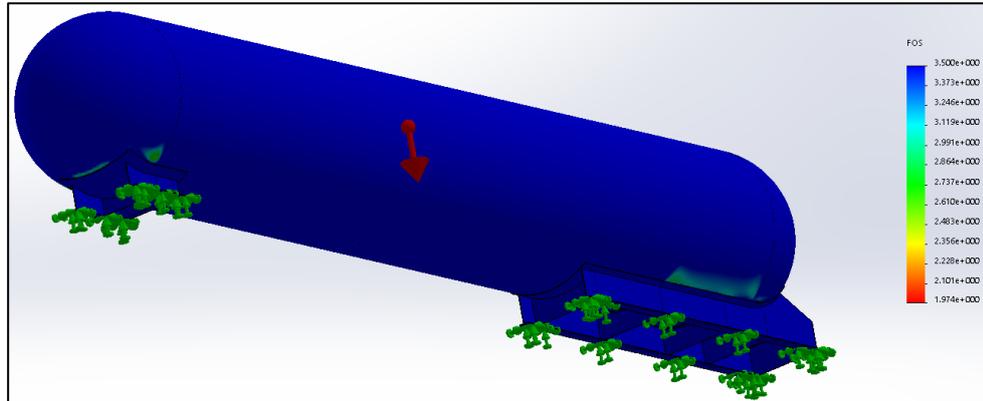
*Desplazamiento máximo puntual en el tanque en conjunto con STRENX 700 MC*



Fuente: Elaboración

**Figura A.21**

*Factor de seguridad promedio en el tanque en conjunto con STRENX 700 MC (3.5)*



Fuente: Elaboración

## ANEXO 4: RESOLUCION MANUAL DE LA FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR

### 4.1. CHASIS-LARGUERO

Aplicando las condiciones de equilibrio: (Plano Z-X)

$$\sum F_z = 0$$

$$R_A + R_B + R_C = 22.97 \cdot 3.636 + 4 \cdot 14.36$$

$$R_A + R_B + R_C = 140.96 \text{ kN}$$

$$\sum M_A = 0$$

Además, por las condiciones de borde, momento por izquierda de:

$$M_A = -14.36 \cdot 0.301 - 22.97 \cdot 0.301 \cdot \frac{0.301}{2} = -5.363 \text{ KN} - m$$

Momento por la derecha de:

$$M_C = +14.36 \cdot 0.502 + 22.97 \cdot \frac{0.735^2}{2} = 13.413 \text{ KN} - m$$

$$14.36(0.301 - 0.502 - 1.802 - 3.102) - 22.97 \cdot 3.636(1.517) + R_B \cdot 1.3 + R_C \cdot 2.6 + M_A + M_B + M_C = 0$$

$$14.36(0.301 - 0.502 - 1.802 - 3.102) - 22.97 \cdot 3.636(1.517) + R_B \cdot 1.3 + R_C \cdot 2.6 - 5.363 + M_b + 13.413 = 0$$

$$M_b + R_B \cdot 1.3 + R_C \cdot 2.6 = 191.956$$

$$\sum M_B = 0$$

$$14.36(1.601 + 0.798 - 0.502 - 1.802) - 22.97 \cdot 3.636(0.217) - R_{AZ} \cdot 1.3 + R_{CZ} \cdot 1.3 - 4.322 + M_b + 7.209 = 0$$

$$M_b + R_A \cdot 1.3 + R_C \cdot 2.6 = 13.872$$

Resolviendo las ecuaciones planteadas se obtiene las siguientes reacciones:

$$R_A = 45.8 \text{ kN}$$

$$R_B = 44.23 \text{ kN}$$

$$R_c = 50.95 \text{ kN}$$

**a) Ecuaciones de la fuerza cortante:**

$$0 < x < 0.301$$

$$V = (-14.36 - 22.97(x))KN$$

$$V_0 = -14.36 \text{ KN}$$

$$0.301 < x < 0.803$$

$$V = (-14.36 - 22.97(x) + 45.8)KN$$

$$V_{0.803} = 12.99 \text{ KN}$$

$$0.803 < x < 1.601$$

$$V = (-14.36 - 22.97(x) + 45.8 - 14.36)KN$$

$$V_{1.601} = -19.69 \text{ KN}$$

$$1.601 < x < 2.103$$

$$V = (-14.36 - 22.97(x) + 45.8 - 14.36 + 44.23)KN$$

$$V_{2.103} = 13 \text{ KN}$$

$$2.103 < x < 2.901$$

$$V = (-14.36 - 22.97(x) + 45.8 - 14.36 + 44.23 - 14.36)KN$$

$$V_{2.901} = -19.68 \text{ KN}$$

$$2.901 < x < 3.403$$

$$V = (-14.36 - 22.97(x) + 45.8 - 14.36 + 44.23 - 14.36 + 50.95)KN$$

$$V_{3.403} = 19.73 \text{ KN}$$

$$3.403 < x < 3.636$$

$$V = (-14.36 - 22.97(x) + 45.8 - 14.36 + 44.23 - 14.36 + 50.95 - 14.36)KN$$

$$V_{3.636} = 0 KN$$

**b) Ecuaciones del momento flector**

$$0 < x < 0.301$$

$$M = \left( -14.36(x) - \frac{22.97(x)(x)}{2} \right) KN - m$$

$$M_{0.301} = -5.36 KN - m$$

$$0.301 < x < 0.803$$

$$M = \left( -14.36(x) - \frac{22.97(x)(x)}{2} + 45.8(x - 0.301) \right) KN - m$$

$$M_{0.803} = 4.05 KN - m$$

$$0.803 < x < 1.601$$

$$M = \left( -14.36(x) - \frac{22.97(x)(x)}{2} + 45.8(x - 0.301) - 14.36(x - 0.803) \right) KN - m$$

$$M_{1.601} = -4.35 KN - m$$

$$1.601 < x < 2.103$$

$$M = \left( -14.36(x) - \frac{22.97(x)(x)}{2} + 45.8(x - 0.301) - 14.36(x - 0.803) + 44.23(x - 1.601) \right) KN - m$$

$$M_{2.103} = 5.07 KN - m$$

$$2.103 < x < 2.901$$

$$M = \left( -14.36(x) - \frac{22.97(x)(x)}{2} + 45.8(x - 0.301) - 14.36(x - 0.803) \right. \\ \left. + 44.23(x - 1.601) - 14.36(x - 2.103) \right) KN - m$$

$$M_{2.901} = -3.32 KN - m$$

$$2.901 < x < 3.403$$

$$M = \left( -14.36(x) - \frac{22.97(x)(x)}{2} + 45.8(x - 0.301) - 14.36(x - 0.803) \right. \\ \left. + 44.23(x - 1.601) - 14.36(x - 2.103) + 50.95(x - 2.901) \right) KN - m$$

$$M_{3.403} = 12.48 KN - m$$

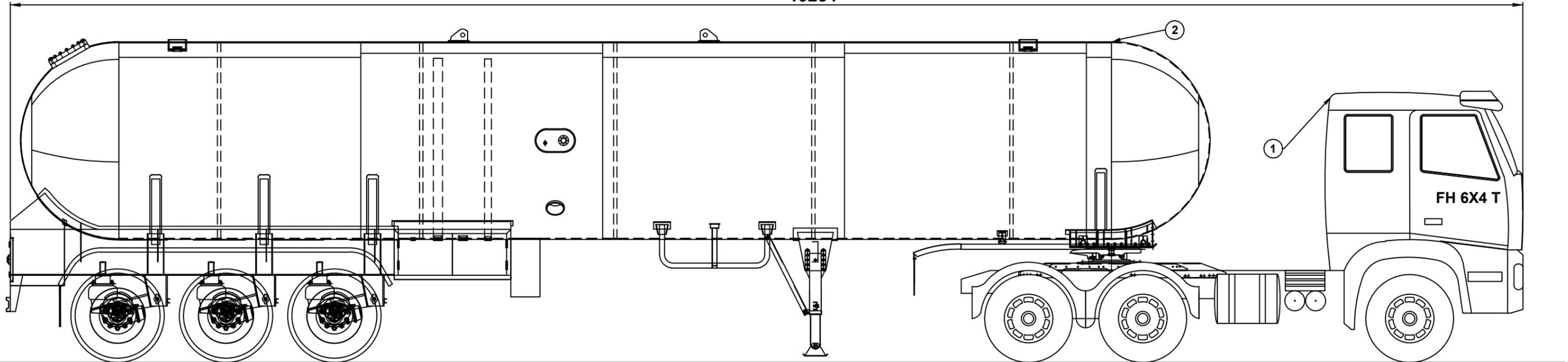
$$3.403 < x < 3.636$$

$$M = \left( -14.36(x) - \frac{22.97(x)(x)}{2} + 45.8(x - 0.301) - 14.36(x - 0.803) \right. \\ \left. + 44.23(x - 1.601) - 14.36(x - 2.103) + 50.95(x - 2.901) \right. \\ \left. - 14.36(x - 3.403) \right) KN - m$$

$$M_{3.636} = 10.11 KN - m$$

## VISTA FRONTAL

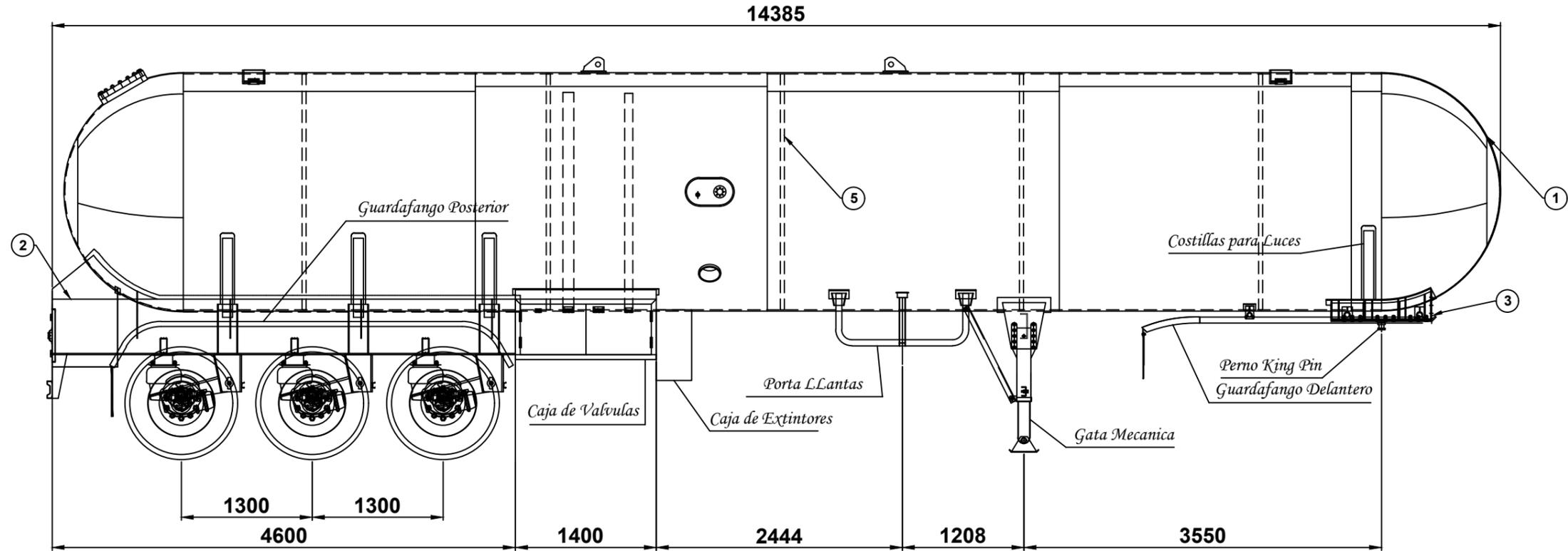
19254



ITEM	DESCRIPCION	PESO
1	PESO NETO	23570 Kg
2	CARGA UTIL	27700 Kg
3	PESO BRUTO	51270 Kg

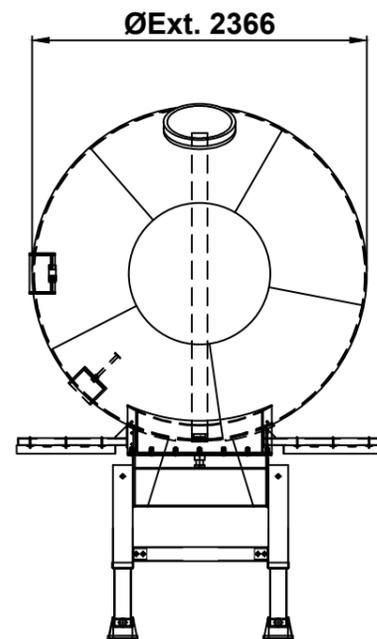
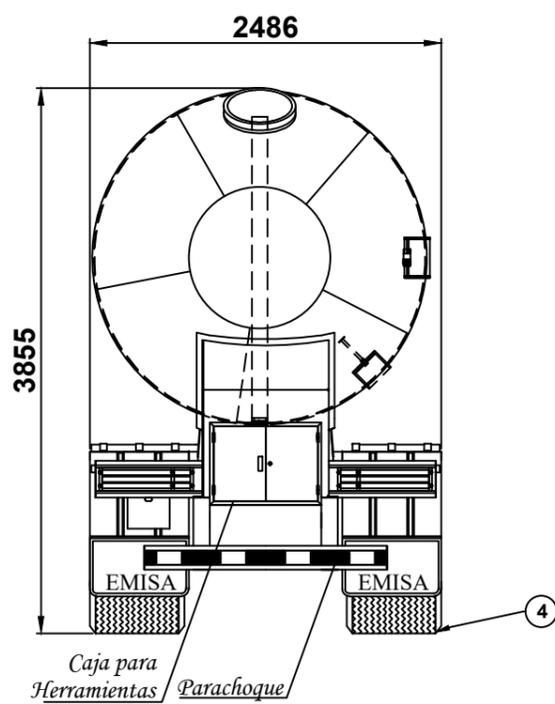
2	1	SEMIRREMOLQUE PARA TRANSPORTE DE GLP DE 15300 GAL	ASME SECC. VIII DIV. I/XII	VARIOS	9550 Kg											
1	1	TRACTO MARCA:VOLVO, MODELO FH-64T DE 460 HP	---	VARIOS	14020 Kg											
POSICION	CANTIDAD	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACION											
EMPRESA:		MÉTODO DE PROYECCION 	LONGITUD: $\frac{\text{min}}{\text{max}}$	$\frac{0}{6}$	$\frac{6}{30}$	$\frac{30}{120}$	$\frac{120}{315}$	$\frac{315}{1000}$	$\frac{1000}{2000}$	$\frac{2000}{4000}$	$\frac{4000}{8000}$	$\frac{8000}{12000}$	$\frac{12000}{15000}$	TAMAÑO DE FORMATO: A3		
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA			TOLERANCIA (mm)	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5			
ESCUELA PROFESIONAL:			CLASE DE RUGOSIDAD	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	FECHA DE REALIZACIÓN: 10/10/2019
INGENIERIA MECANICA			VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	.05	.025	
		DIBUJADO POR: -ROJAS VELEZMORO BRYAN -JAIME LUIGI -VELASQUEZ AGUILAR -HERLIN PEPE	REVISADO POR: -ING. LUIS CARLOS -CALDERÓN RODRIGUEZ	ESCALA 1:50	<b>SEMIRREMOLQUE Y TRACTO</b>								NÚMERO DE PLANO: UNS-001			

# VISTA FRONTAL



# VISTA POSTERIOR LATERAL

# VISTA LATERAL DERECHA

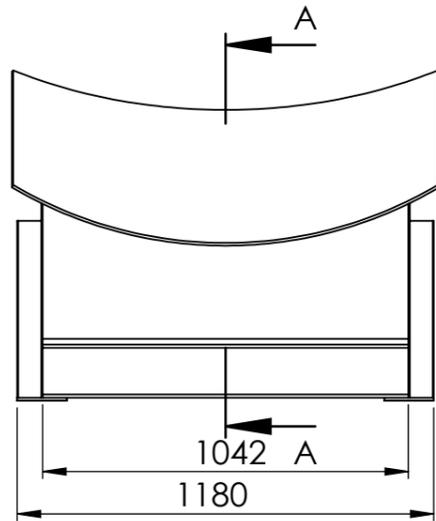


6	01	OTROS ACCESORIOS	---	VARIOS	2100 Kg
5	05	ROMPEOLAS	AWS D1.1	ASTM A-36	450 Kg
4	07	LLANTAS EXTRA ANCHAS	--	SEGUN CATALOGO	874 Kg
3	01	KING PIN	ASME SECC. XII/AWS D1.1	STRENX 700 MC	171 Kg
2	01	CHASIS - BOOGUIE	ASME SECC. XII/AWS D1.1	STRENX 700 MC	425 Kg
1	01	TANQUE PARA TRANSPORTE DE GLP	ASME SECC. VIII DIV.1	ASME SA-612	10000 Kg
POSICION	CANTIDAD	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACION
EMPRESA:		MÉTODO DE PROYECCION	LONGITUD: $\frac{\text{min}}{\text{max}}$	TAMAÑO DE FORMATO:	
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA			$\frac{0}{6}$	A3	
ESCUELA PROFESIONAL:			TOLERANCIA (mm)	±0.1	±0.2
INGENIERIA MECANICA		CLASE DE RUGOSIDAD	N12	N11	N10
DIBUJADO POR:		VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)	50	25	12.5
-ROJAS VELEZMORO BRYAN -JAIME LUIGI -VELASQUEZ AGUILAR -HERLIN PEPE		REVISADO POR:	6.3	3.2	1.6
		ING. LUIS CARLOS CALDERÓN RODRIGUEZ	0.8	0.4	0.2
		ESCALA 1:50	0.1	0.05	0.025
<b>SEMIRREMOLQUE PARA GLP</b>					NÚMERO DE PLANO:
					UNS-002

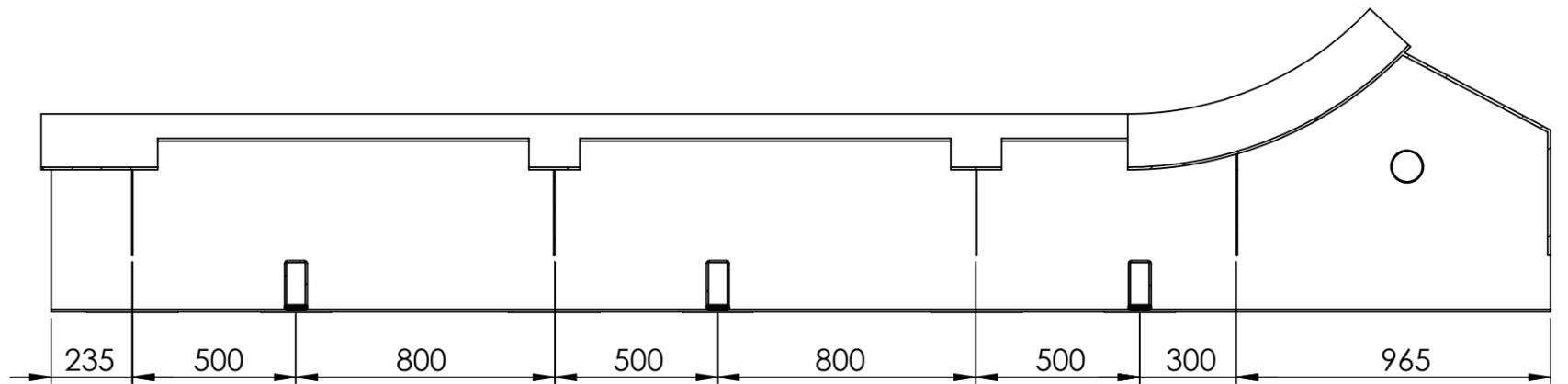
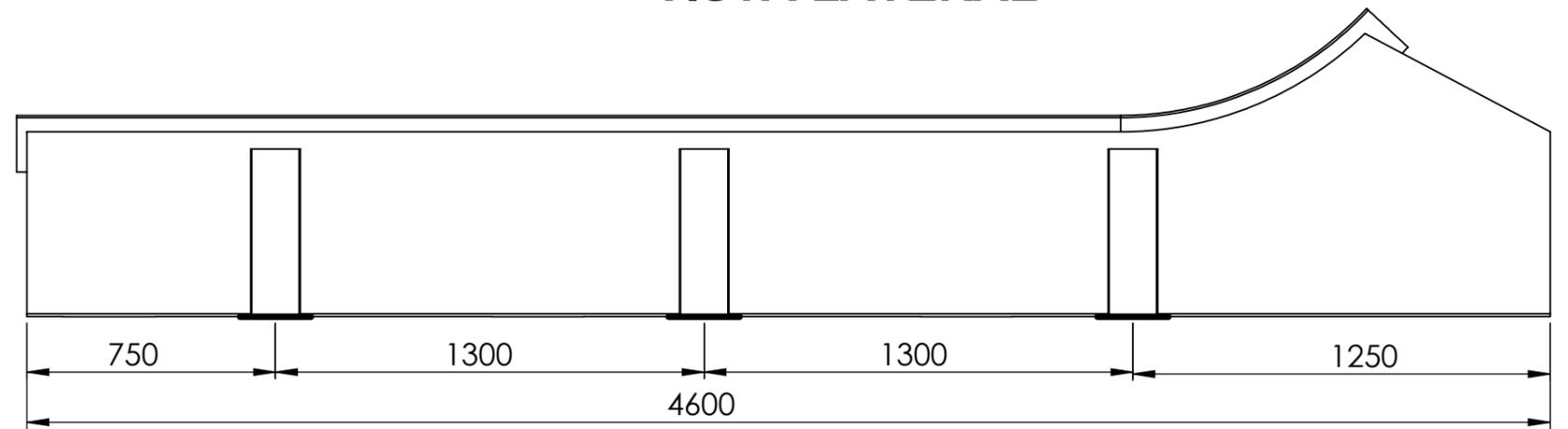
FECHA DE REALIZACIÓN:  
10/10/2019

NÚMERO DE PLANO:  
UNS-002

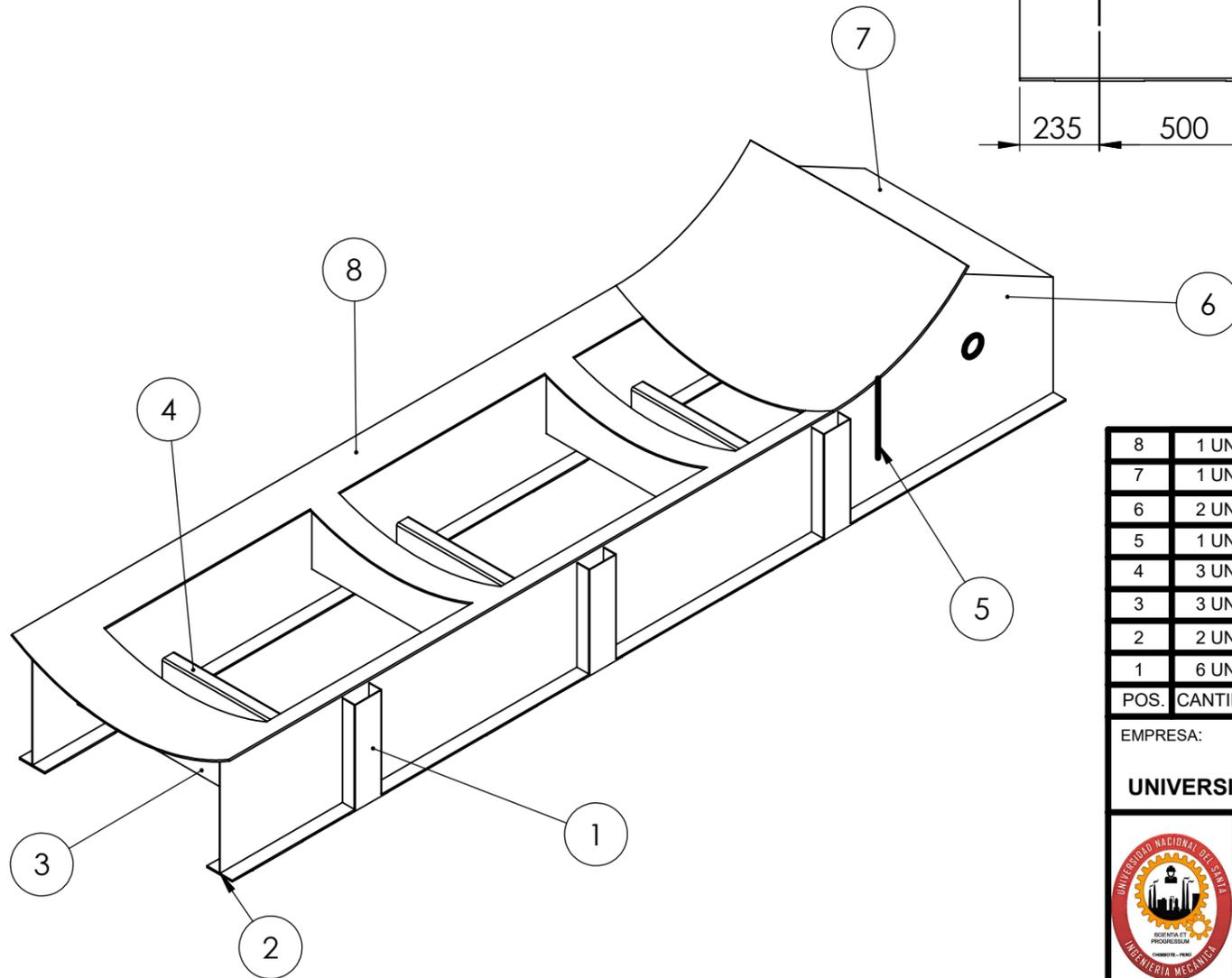
### VISTA FRONTAL



### VISTA LATERAL



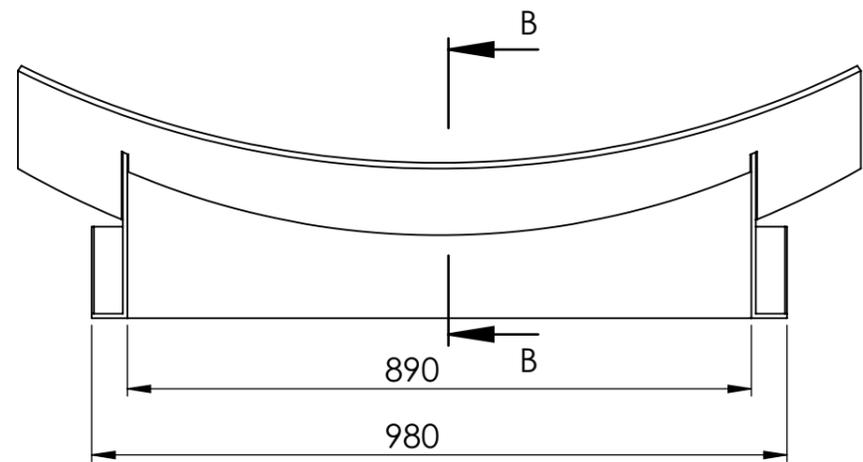
### SECCIÓN A-A



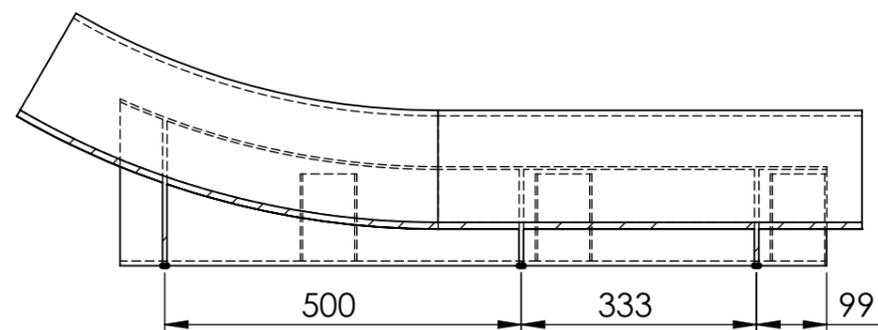
POS.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	AWS D1.1	MATERIAL	OBSERVACIÓN
8	1 UND	SACRIFICIO CHASIS - TANQUE, e= 8 mm	AWS D1.1	ASTM A-36	62 Kg
7	1 UND	TAPA POSTERIOR CHASIS, e= 3.20 mm	AWS D1.1	STRENX 700MC	12 Kg
6	2 UND	CURVATURA CHASIS LATERAL, e= 3.20 mm	AWS D1.1	STRENX 700MC	19 Kg
5	1 UND	TRANSVERSAL CAJA POSTERIOR CHASIS, e= 3.20 mm	AWS D1.1	STRENX 700MC	18 Kg
4	3 UND	TUBO CUADRADO BOLSA SUSPENSIÓN, e= 3.20 mm	AWS D1.1	STRENX 700MC	34 Kg
3	3 UND	PERFIL T TRANSVERSAL, e= 3.20 mm	AWS D1.1	STRENX 700MC	52 Kg
2	2 UND	VIGA LARGUEROS, alma= 3.20 mm y ala= 6.35 mm	AWS D1.1	STRENX 700MC	265 Kg
1	6 UND	CANAL U LATERAL CHASIS e= 3.20 mm	AWS D1.1	STRENX 700MC	25 Kg

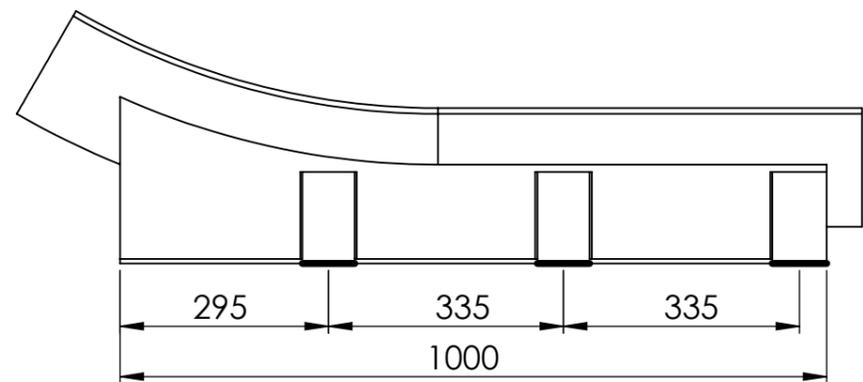
EMPRESA:	MÉTODO DE PROYECCIÓN:	LONGITUD:	TOLERANCIA (mm)												FECHA DE REALIZACIÓN: 10/10/2019
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA		min	0	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	25000		
		max	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	25000			
ESCUELA PROFESIONAL:		CLASE DE RUGOSIDAD	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	NÚMERO DE PLANO: UNS-003
INGENIERÍA MECÁNICA		VALOR DE LA RUGOSIDAD (micras)	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	
DIBUJADO POR:		VISTAS DE ESTRUCTURA CHASIS													
- ROJAS VELEZMORO BRYAN JAIME LUIGI - VELASQUEZ AGUILAR HERLIN PEPE		REVISADO POR:		ESCALA:											
		- ING. LUIS CARLOS CALDERÓN RODRIGUEZ		1:20											



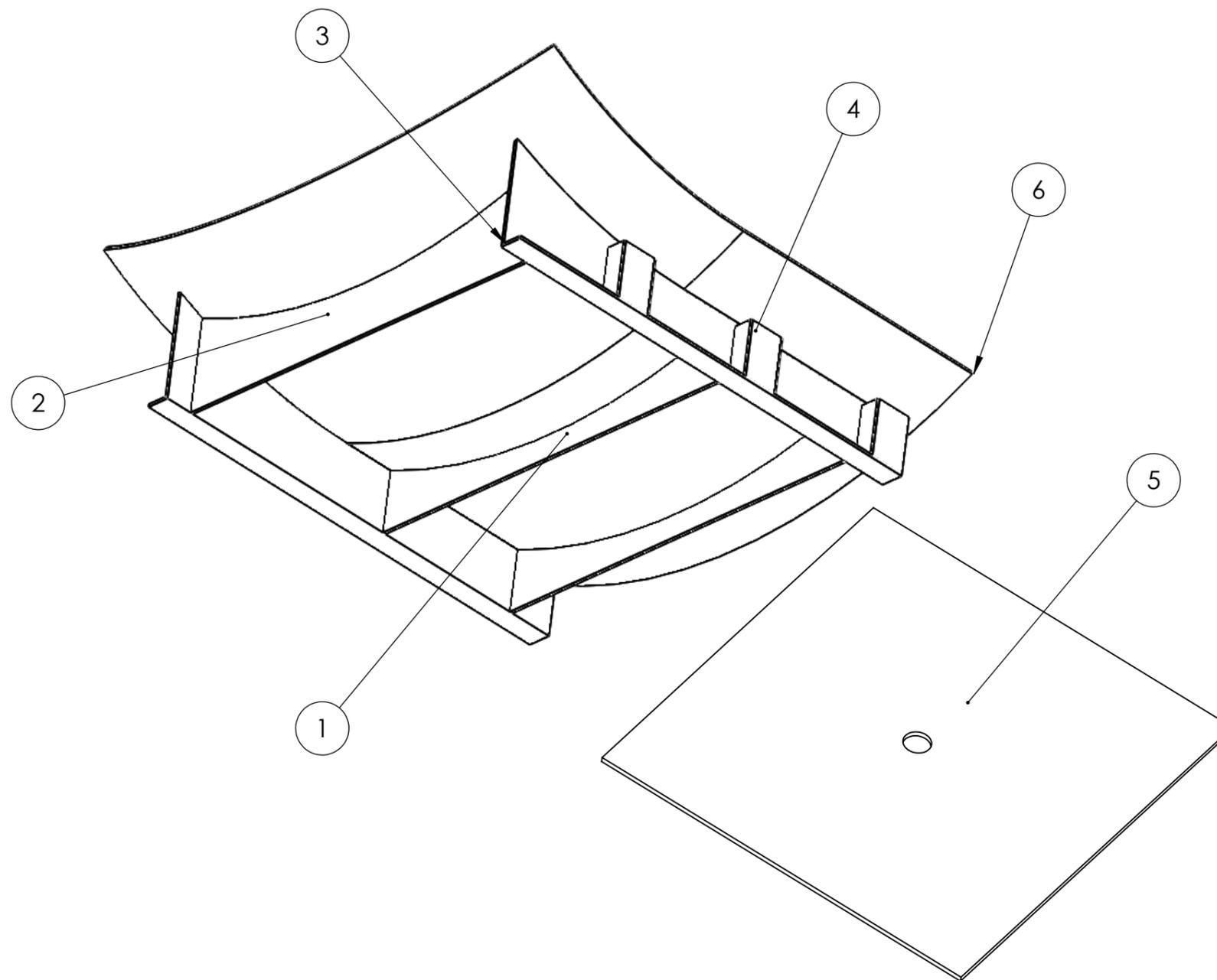
**VISTA FRONTAL KING PIN**



**SECCIÓN B-B**



**VISTA LATERAL KING PIN**



POS.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIÓN
6	1 UND	SACRIFICIO KING PIN, e= 8 mm	AWS D1.1	ASTM A-36	51 Kg
5	1 UND	PLATO KING PIN, e= 6.35 mm	AWS D1.1	STREX 700MC	64 Kg
4	6 UND	CANAL U KING PIN, e= 3.20 mm	AWS D1.1	STREX 700MC	8 Kg
3	2 UND	PERFIL L LARGUERO, e= 6.35 mm	AWS D1.1	STREX 700MC	38 Kg
2	1 UND	PERFIL L TRANSVERSAL TAPA, e= 6.35 mm	AWS D1.1	STREX 700MC	12 Kg
1	2 UND	PERFIL L TRANSVERSAL, e= 6.35 mm	AWS D1.1	STREX 700MC	25 Kg

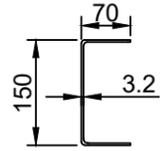
EMPRESA:	MÉTODO DE PROYECCIÓN:	LONGITUD:	TOLERANCIA (mm)	CLASE DE RUGOSIDAD	VALOR DE LA RUGOSIDAD (micras)	TAMAÑO DE FORMATO:	FECHA DE REALIZACIÓN:	NÚMERO DE PLANO:
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA		min	±0.1	N12	50	A3	10/10/2019	UNS-004
		max	±0.6	N11	25			
		0 - 6	±0.2	N10	12.5			
		6 - 30	±0.3	N9	6.3			
		30 - 120	±0.5	N8	3.2			
		120 - 315	±0.8	N7	1.6			
		315 - 1000	±1.2	N6	0.8			
		1000 - 2000	±2	N5	0.4			
		2000 - 4000	±3	N4	0.2			
		4000 - 8000	±4	N3	0.1			
		8000 - 12000	±5	N2	0.05			
		12000 - 25000		N1	0.025			

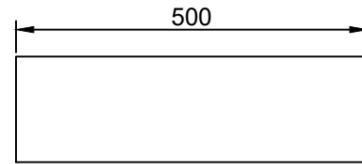
	ESCUELA PROFESIONAL: <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>	DIBUJADO POR: - ROJAS VELEZMORO BRYAN JAIME LUIGI - VELASQUEZ AGUILAR HERLIN PEPE	REVISADO POR: - ING. LUIS CARLOS CALDERÓN RODRIGUEZ	ESCALA: 1:10	<b>VISTAS DE ESTRUCTURA KING PIN</b>
--	--	---	---	-----------------	--------------------------------------

# 1. CANAL U LATERAL CHASIS

VISTA FRONTAL

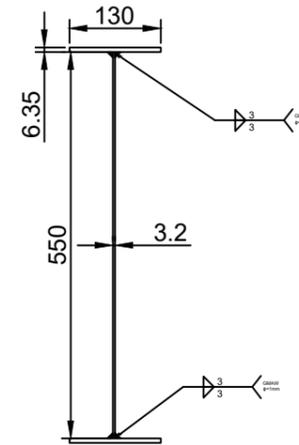


VISTA LATERAL

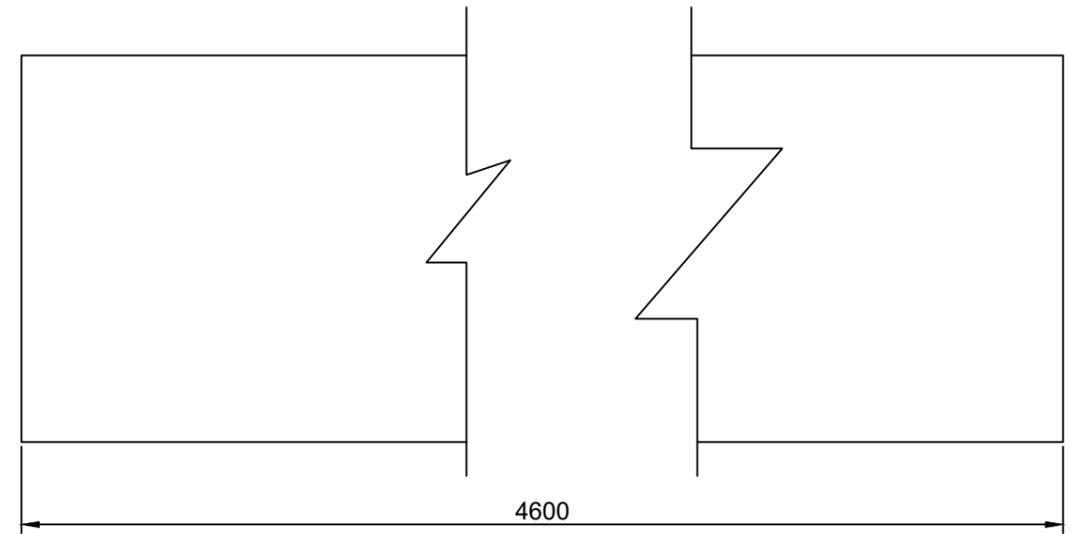


# 2. VIGA LARGUEROS

VISTA FRONTAL

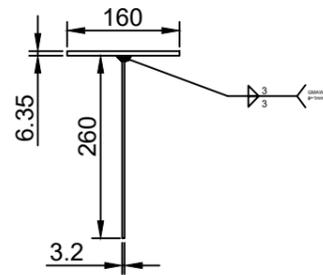


VISTA LATERAL

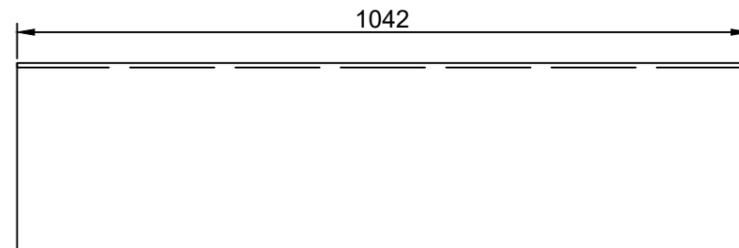


# 3. PERFIL T TRANSVERSAL

VISTA FRONTAL

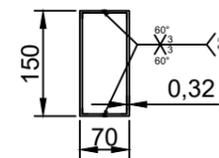


VISTA LATERAL

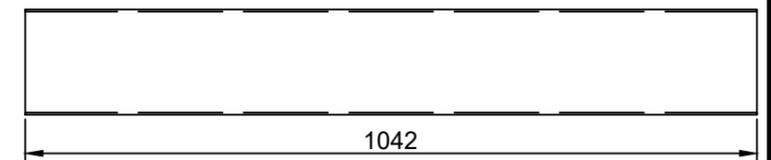


# 4. TUBO CUADRADO BOLSA SUSPENSION

VISTA FRONTAL



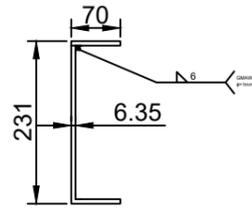
VISTA LATERAL



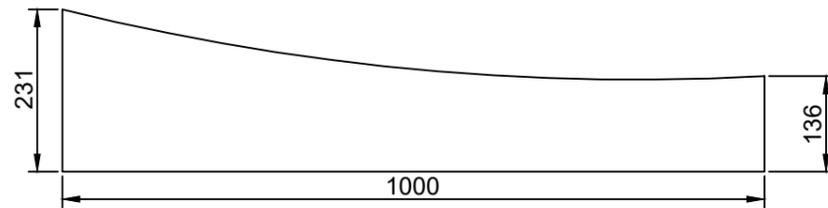
EMPRESA: <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b>		MÉTODO DE PROYECCION: 	LONGITUD: min max	0/6	6/30	30/120	120/315	315/1000	1000/2000	2000/4000	4000/8000	8000/12000	12000/15000	TAMAÑO DE FORMATO: <b>A3</b>	
ESCUELA PROFESIONAL: <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>			TOLERANCIA (mm)	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5	FECHA DE REALIZACIÓN: <b>10/10/2019</b>	
DIBUJADO POR: ROJAS VELEZMORO BRYAN JAIME LUIGI VELASQUEZ AGUILAR HERLIN PEPE			CLASE DE RUGOSIDAD	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1
REVISADO POR: -ING. LUIS CARLOS CALDERÓN RODRIGUEZ		ESCALA: 1:10	VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	.05	.025
			<b>PERFILES DE CHASIS</b>										NÚMERO DE PLANO: <b>UNS-005</b>		

### 1. PERFIL L TRANSVERSAL

VISTA FRONTAL

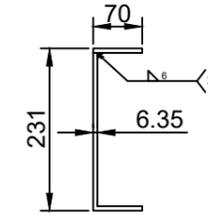


VISTA LATERAL

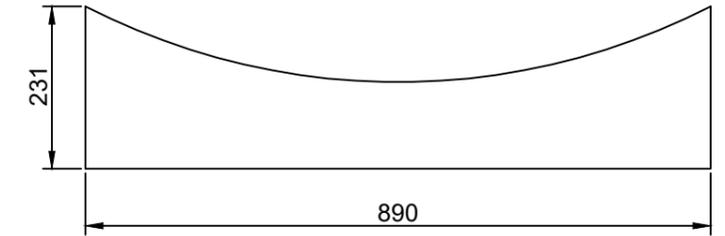


### 2. PERFIL L TRANSVERSAL TAPA

VISTA FRONTAL

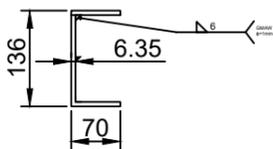


VISTA LATERAL

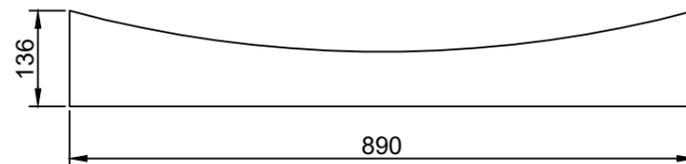


### 3. PERFIL L LARGUERO

VISTA FRONTAL

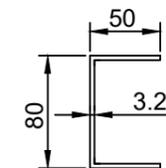


VISTA LATERAL

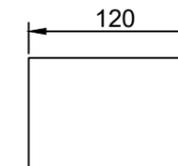


### 4. CANAL U KIN PING

VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



EMPRESA: <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b>		MÉTODO DE PROYECCION: 	LONGITUD: min max	0/6	6/30	30/120	120/315	315/1000	1000/2000	2000/4000	4000/8000	8000/12000	12000/15000	TAMAÑO DE FORMATO: <b>A3</b>	
ESCUELA PROFESIONAL: <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>			TOLERANCIA (mm)	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5	FECHA DE REALIZACIÓN: <b>10/10/2019</b>	
DIBUJADO POR: -ROJAS VELEZMORO BRYAN -JAIME LUIGI -VELASQUEZ AGUILAR -HERLIN PEPE			REVISADO POR: -ING. LUIS CARLOS CALDERÓN RODRIGUEZ	CLASE DE RUGOSIDAD	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2
ESCALA: 1:10		VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)											NÚMERO DE PLANO: <b>UNS-006</b>		
<b>PERFILES DE KING PIN</b>															

# OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SEMIRREMOLQUE USANDO ACERO DE ALTA RESISTENCIA PARA EL TRANSPORTE DE GLP

## INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

15%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[es.scribd.com](https://es.scribd.com)

Fuente de Internet

5%

2

[documentslides.org](https://documentslides.org)

Fuente de Internet

2%

3

[documentop.com](https://documentop.com)

Fuente de Internet

2%

4

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

2%

5

Submitted to Universidad Catolica De Cuenca

Trabajo del estudiante

1%

6

[www.scielo.org.bo](http://www.scielo.org.bo)

Fuente de Internet

1%

7

Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru

Trabajo del estudiante

1%

8

[www.revistasbolivianas.org.bo](http://www.revistasbolivianas.org.bo)

---

Fuente de Internet

1%

---

9

[myslide.es](https://myslide.es)

Fuente de Internet

1%

---

10

[www.notarioslalibertad.org](https://www.notarioslalibertad.org)

Fuente de Internet

1%

---

11

Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru

Trabajo del estudiante

<1%

---

12

[repositorio.upeu.edu.pe](https://repositorio.upeu.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

---

13

Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA

Trabajo del estudiante

<1%

---

14

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

<1%

---

15

Submitted to Escuela Politecnica Nacional

Trabajo del estudiante

<1%

---

16

[pt.scribd.com](https://pt.scribd.com)

Fuente de Internet

<1%

---

17

[studylib.es](https://studylib.es)

Fuente de Internet

<1%

---

18

[www.scribd.com](https://www.scribd.com)

Fuente de Internet

<1%

---

19

[repositorio.ute.edu.ec](http://repositorio.ute.edu.ec)

Fuente de Internet

<1%

20

Submitted to Escuela Superior Politécnica del Litoral

Trabajo del estudiante

<1%

21

Submitted to Universidad Ricardo Palma

Trabajo del estudiante

<1%

22

Submitted to Universidad Tecnológica del Peru

Trabajo del estudiante

<1%

23

Submitted to Corporacion Mexicana de Investigacion en Matriales S.A. de C.V. (COMMIMSA)

Trabajo del estudiante

<1%

24

[documents.mx](http://documents.mx)

Fuente de Internet

<1%

25

[tauja.ujaen.es](http://tauja.ujaen.es)

Fuente de Internet

<1%

26

Submitted to Universidad de Santiago de Chile

Trabajo del estudiante

<1%

27

Submitted to ECCL

Trabajo del estudiante

<1%

28

[pt.slideshare.net](http://pt.slideshare.net)

Fuente de Internet

<1%

29

[repositorio.espam.edu.ec](http://repositorio.espam.edu.ec)

Fuente de Internet

<1%

30

[creativecommons.org](https://creativecommons.org)

Fuente de Internet

<1%

31

Submitted to CONACYT

Trabajo del estudiante

<1%

32

181.65.200.104

Fuente de Internet

<1%

33

Submitted to Universidad Santo Tomas

Trabajo del estudiante

<1%

34

Submitted to Central Queensland University

Trabajo del estudiante

<1%

35

[www.buenastareas.com](http://www.buenastareas.com)

Fuente de Internet

<1%

36

[eva.fing.edu.uy](http://eva.fing.edu.uy)

Fuente de Internet

<1%

37

Submitted to Consorcio CIXUG

Trabajo del estudiante

<1%

38

[www.rogersbenefit.com](http://www.rogersbenefit.com)

Fuente de Internet

<1%

39

[fsab.org](http://fsab.org)

Fuente de Internet

<1%

40

Submitted to UTEC Universidad de Ingeniería &

<1%

# Tecnología

Trabajo del estudiante

---

41	Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León Trabajo del estudiante	<1%
42	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
43	<a href="http://www.promer.org">www.promer.org</a> Fuente de Internet	<1%
44	<a href="http://www1.lima.icao.int">www1.lima.icao.int</a> Fuente de Internet	<1%
45	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	<1%
46	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1%
47	<a href="http://repositorio.utp.edu.co">repositorio.utp.edu.co</a> Fuente de Internet	<1%
48	<a href="http://www.irjet.net">www.irjet.net</a> Fuente de Internet	<1%
49	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<1%
50	<a href="http://www.iup.mx">www.iup.mx</a> Fuente de Internet	<1%

---

51	Submitted to University of Huddersfield Trabajo del estudiante	<1%
52	Submitted to Universidad Estatal de Milagro Trabajo del estudiante	<1%
53	www.ciruy.com Fuente de Internet	<1%
54	ecovarna.org Fuente de Internet	<1%
55	Park, Taisoo. "Calanoid copepods of the family Phaennidae from Antarctic and Subantarctic waters", Antarctic Research Series, 1983. Publicación	<1%
56	Submitted to UISEK Trabajo del estudiante	<1%
57	Submitted to Engineers Australia Trabajo del estudiante	<1%
58	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1%
59	Submitted to Jose Maria Vargas University Trabajo del estudiante	<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo