

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**DISEÑO DE UNA CISTERNA DE 6 000 GALONES PARA
TRANSPORTAR DIESEL 2, NORMADO POR LOS MINISTERIOS
DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES – ENERGIA Y MINAS**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

OMAR BEJARANO GRANDEZ

PROMOCION 2008-1

LIMA-PERU

2009

Dedico este estudio a mis padres el Ing. Rubén Bejarano y la Ing. Luz Marina Grández los cuales me ayudaron con su apoyo para estar más cerca de mis metas profesionales.

Al Dr. Julio Amalfi Bejarano quien me ayudó a continuar y terminar este trabajo.

INDICE

PROLOGO	01
SIMBOLOGÍA	05
CAPITULO I	
INTRODUCCION	10
1.1 Antecedentes	10
1.2 Objetivo	11
1.3 Alcance	11
1.4 Limitaciones	12
CAPITULO II	
GENERALIDADES SOBRE EL TRANSPORTE DE COMBUSTIBLES	
2.1 Uso del petróleo y derivados	13
2.2 Características físicas y químicas de los combustibles	16
2.2.1 Densidad	16
2.2.2 Punto de inflamación	17
2.2.3 Viscosidad	17
2.2.4 Contenido de cenizas	18
2.2.5 Contenido de agua y sedimentos	18
2.2.6 Poder calorífico	18
2.2.7 Contenido de Carbon Conradson	19

2.2.8 Destilación	19
2.2.9 Contenido de azufre	20
2.3 Método de transporte de combustibles	22
2.4 Tipos de semi-remolques empleados	27
2.4.1 Tipos de cisternas	30
2.5 Requisitos técnicos que deberán cumplir los tanques de combustibles	34
2.6 Seguridad en el transporte de combustibles	36

CAPITULO III

PARAMETROS DE DISEÑO

3.1 Normas técnicas a usar	42
3.2 Determinación de capacidades	43
3.3 Dimensionamiento general	44
3.4 Criterios de cálculo	53

CAPITULO IV

DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CISTERNA

4.1 Diseño estructural de la cisterna	56
4.2 Método por análisis de elementos finitos	57
4.2.1 Cómo trabaja el Método de los Elementos Finitos	59
4.2.2 Opciones de los elementos finitos	61
4.2.3 Resultados del MEF	63
4.3 Formulación del elemento finito	63
4.3.1 Calculo de los esfuerzos	71

4.3.2	Diseño de la malla	72
4.3.3	Elementos hexaédricos y elementos de orden superior	75
4.4	Modelamiento de fuerzas y presiones aplicadas a la estructura de la cisterna	78
4.4.1	Modelamiento Fisicomatemático del tanque y chasis	79
4.4.2	Modelamiento Fisicomatemático de la plancha King Pin	85
4.4.3	Modelamiento fisicomatemático de las mamparas y tapas	88
4.5	Teoría de fallo por el método de Von Mises	89
4.6	Software para análisis de elementos finitos	93
4.7	Simulación de la estructura del tanque con el SolidWorks Simulation	95
4.7.1	Geometría del modelo	96
4.7.2	Ejecución del análisis del Tanque y chasis	101
4.7.3	Ejecución del análisis de la plancha King Pin	109
4.7.4	Ejecución del análisis de Mamparas o rompeolas	117
4.7.5	Ejecución del análisis en las tapas	123
4.8	Parámetros para el diseño de soldadura	127
4.8.1	Soldabilidad de los aceros al carbono	127

CAPITULO V

DISEÑO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

5.1	Definición de suspensión	137
5.2	Diseño estructural de la suspensión	138
5.3	Clases de suspensión para semi-remolques	138
5.3.1	Suspensión neumática	139
5.3.2	Suspensión mecánica	140

5.4	Parámetros de diseño bajo normas MTC	142
5.5	Fuerzas actuantes en la suspensión	145
5.6	Análisis de la suspensión	147
5.7	Análisis de soldadura	152
5.7.1	Soldabilidad de los aceros	153
5.7.2	Tipos de juntas soldadas	154
5.7.3	Especificaciones AISC-LRFD para soldaduras	156

CAPITULO VI

DISEÑO DEL SISTEMA DE DESCARGA BOTTOM LOADING

6.1	Definición	160
6.2	Partes del sistema Bottom Loading	161
6.2.1	Válvula de carga	162
6.2.2	Válvula recuperadora de gases	164
6.2.3	Válvula interna de emergencia	166
6.2.4	Sensor óptico	168
6.2.5	Tapa manhole	170
6.2.6	Sockets y adaptador de descarga	172
6.3	Procedimiento para la descarga de camiones cisterna	173

CAPITULO VII

ANALISIS DE COSTOS

7.1	Consideraciones	176
7.2	Metrado del tanque chasis	177

7.2.1 Materiales	177
7.2.2 Mano de obra	178
7.2.3 Otros gastos generales	178
7.3 Metrado de la suspensión	179
7.3.1 Materiales	179
7.3.2 Mano de obra	180
7.3.3 Otros gastos generales	180
7.4 Sistema Bottom Loading	181
7.4.1 Componentes sistema Bottom Loading	181
7.4.2 Mano de obra	181
7.4.3 Otros gastos generales	182
7.5 Costo total de la cisterna	182
CONCLUSIONES	183
BIBLIOGRAFIA	184

PROLOGO

El petróleo, generalmente se suele encontrar en lugares lejos de los puntos de consumo de la población, por lo que el transporte del crudo es muy importante en la industria petrolera, la cual exige una gran inversión, tanto si el transporte se realiza mediante oleoductos o en buques petroleros.

En los inicios la industria del petróleo, este se refinaba en lugares cerca de su extracción, a medida que la demanda aumento, se considero más viable transportar el crudo a las refinerías situada en los países consumidores, por este motivo el papel del transporte en la industria petrolífera es muy importante, hay que tener en cuenta que el Perú importa gran parte de su petróleo principalmente del medio oriente.

Los países que se auto abastecen también necesitan disponer de redes de transportes eficaces, puesto que mayormente los yacimientos se encuentran a cientos de kilómetros de los puntos de tratamientos y consumos.

Los medios de transporte son buenos para conducir el petróleo y sus derivados, ya sea en barcos de cabotaje, vagones cisterna o camiones cisterna, entre otros, es por esta ventaja del petróleo, que su fluidez permite el transporte a granel, lo que reduce los gastos al mínimo y permite una automatización casi completa del proceso.

Cuando se trata de movilizar un volumen considerable de petróleo refinado, en este caso diesel, el uso de un semi-remolque conectado a un tracto, es una buena solución por permitir un transporte eficiente y eficaz, considerando las redes viales existentes en el país.

El transporte de combustible es crucial en desarrollo nacional ya sea para abastecer a la fabricas, las cuales necesitan petróleo para generar energía para distintos tipos de maquinas como calderas, hornos, motores de combustión interna o como materia prima para producir nuevos productos como solventes, asfaltos, bencina industrial etc., y para el uso de la población en general como la gasolina ,el diesel o biodiesel para los automóviles y camiones los cuales transforman la energía de estos productos para hacer funcionar los motores.

El presente trabajo está enmarcado dentro de la importancia que debe tener el transporte de combustibles, es que la fabricación y puesta en marcha de una cisterna de transporte de diesel debe realizarse bajo los más altos estándares existentes, para ello el uso de las normas técnicas como la LVD-004, exigida por OSINERGMIN.

En el Primer capítulo se expone una introducción señalando los antecedentes, el objetivo de la tesis, alcances, limitaciones y metodología de trabajo.

En el segundo capítulo, generalidades sobre el transporte de combustibles, se señala las características físicas y químicas del diesel, los diferentes métodos de transportes, la variedad en la configuración de un semi-remolque desde el punto de vista de la suspensión, las distancias entre ejes para una repartición de la carga exigida por el MTC, en los controles de: Corcona, Bujama y Ancón entre otros; así mismo se detalla una breve lista de materiales seleccionados para el uso de fabricación de cisternas.

En el tercer capítulo, parámetros de diseño, se realiza la descripción de las normas técnicas (LVD-004 y DS 034-2004-MTC) a emplear. El dimensionamiento básico general de la cisterna y los criterios dentro del diseño a usar para su fabricación.

En el cuarto capítulo, comprende el diseño estructural propiamente de la cisterna, desarrollando procedimientos de diseño para obtener el más óptimo de los resultados y luego determinar las dimensiones de la estructura.

En el quinto capítulo, se detalla el diseño del sistema de suspensión, determinar las dimensiones de los balancines, muelles, ejes y soportes, por ser en estos elementos donde se producen la mayor cantidad de fallas por esfuerzos producidos debido a las carga de impacto.

En el sexto capítulo el diseño del sistema de descarga Bottom Loading (sistema con recuperación de gases), se explica el tipo de descarga del diesel, consideraciones y pautas a tener en cuenta al instalar este sistema en la cisterna.

En el séptimo capítulo, se muestra un cuadro de costos de los distintos sistemas que contiene el semi-remolque, para poder determinar el costo de producción.

Las conclusiones son presentadas al final del trabajo, así como los planos, que complementan el presente estudio.

SIMBOLOGÍA

Símbolo	Definición
L_1	Longitud del contorno de la Sección A.
L_2	Longitud del contorno de la Sección B.
L_3	Longitud del contorno de la Sección C.
A_1	Área transversal de la Sección A.
A_2	Área transversal de la Sección B.
A_3	Área transversal de la Sección C.
$Volumen_{total}$	Volumen de carga hasta el techo de la cisterna.
$Volumen_{efectivo}$	Volumen de carga a la cual está diseñado el tanque.
$Volumen_{muerto}$	Volumen vacío entre el nivel del líquido hasta el techo de la cisterna.
V_1	$Volumen_{total}$
V_2	$Volumen_{efectivo}$
V_3	$Volumen_{muerto}$
α	Relación de esbeltez de la Sección A.
β	Relación de esbeltez de la Sección C.
$A_{Sector\ abc}$	Área del sector circular ABC.
$A_{Sector\ aoc}$	Área del sector circular AOC.
$A_{Triangulo\ aoc}$	Área de triángulo AOC.
α	Angulo entre las líneas AO y OD.

AC	Distancia del punto A al punto C.
DO	Distancia del punto D al punto O.
AD	Distancia del punto A al punto D.
R	Radio de curvatura del techo de la cisterna
h	Longitud de vacío entre el líquido y el techo.
\cos	Función coseno.
\cos^{-1}	Función arco coseno.
W_c	Masa de diesel que ocupa un volumen de 6 000 galones.
W_e	Masa de la cisterna sin carga.
W_d	Masa de la cisterna cargada con diesel.
q_n	Grado de libertad n en el nodo local i.
Q_n	Grado de libertad n en el nodo local I.
N_i	Función de Lagrange.
ξ	Eje de un sistema de coordenadas (ξ, η, ζ) .
η	Eje de un sistema de coordenadas (ξ, η, ζ) .
ζ	Eje de un sistema de coordenadas (ξ, η, ζ) .
u	Desplazamiento nodal.
x	Eje de un sistema de coordenadas (x, y, z) .
y	Eje de un sistema de coordenadas (x, y, z) .
z	Eje de un sistema de coordenadas (x, y, z) .
J	Jacobiano.
V_e	Volumen de un elemento finito.
det	Determinante de una matriz.

A	Inversa de la matriz jacobiana.
ϵ	Deformación unitaria.
B	Matriz de constantes en función de los desplazamientos nodales.
U_e	Energía de deformación unitaria del elemento finito.
k^e	Matriz de rigidez.
f^e	Vector fuerza del cuerpo del elemento finito.
A_e	Superficie de frontera.
T^e	Vector de carga de tracción en el elemento finito.
σ	Esfuerzo en el elemento finito.
I_i	Invariante del tensor de esfuerzos.
K	Matriz de rigidez
F	Matriz del vector de fuerzas.
σ_i	Esfuerzos principales.
p	Presión hidrostática en un punto dentro del tanque.
p_o	Presión atmosférica a nivel del mar.
γ	Peso específico del fluido.
Z'	Longitud vertical desde la superficie hacia un punto del tanque.
A	Área
C	Centro
y^*	Distancia vertical del centro de área al centro de presión.
z^*	Distancia z del centro de área al centro de presión

I_{yc}	El momento de inercia de las áreas.
I_{ycz_c}	El producto de inercia de las áreas.
p_c	La presión en el centro del área.
Z_c	Distancia inclinada de la superficie del agua al centro de área.
sin	Función seno.
F	Fuerza ejercida por el fluido al tanque.
p_1	Presión en el borde superior de la placa.
p_2	Presión en el borde inferior de la placa.
A_v	Vertical proyección de la placa.
V_f	Volumen de la columna del fluido encima de la placa.
γ_f	Volumen específico del fluido.
g	Aceleración de la gravedad
ρ	Densidad del diesel 2.
$F(x')$	Fuerza ejercida por el diesel 2 en función de la distancia x' .
P	Presión hidrostática.
Pa	Pascales.
M_i	Momento.
F_i	Fuerza.
μ	Coefficiente de rozamiento caucho – asfalto.
F_{R1}	Fuerza actuante en el primer eje.
F_{R2}	Fuerza actuante en el segundo eje.

R_1	Fuerza en la plancha King originada por el arrastre del tanque.
R_2	Fuerza de rozamiento en las llantas del primer eje.
R_3	Fuerza de rozamiento en las llantas del segundo eje.
N	Newton.
Δvol	Cambio de volumen.
ϵ_i	Deformación unitaria a tensión.
E	Modulo de elasticidad.
u	Energía de de deformación
u_V	Energía de cambio de volumen
u_D	Energía de distorsión
S_y	Esfuerzo al punto de fluencia
σ_e	Esfuerzo equivalente.
τ_c	Esfuerzo cortante.
PSI	Unidad de presión 1 Libra/pulgada cuadrada
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
DOT	Department of Transportation.
AISC	American Institute of Steel Construction.
ASME	American Society of Mechanical Engineers.
AWS	American Welding Society.
ASTM	American Society for Testing Materials.
SAE	Society of Automotive Engineers.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

El transporte de combustible, incluye muchos factores a tener en cuenta para poder efectuar una tarea eficiente, como es el tipo de combustible a transportar, la ruta a seguir y la seguridad, por este motivo una falla de fabricación por un mal diseño, causa pérdidas tiempo y dinero, este tipo de problemas hay que tratar de evitar.

El transporte de combustible por el sistema de semi-remolque/cisterna es de gran interés, sobre todo cuando se trata de movilizar grandes volúmenes de combustible a lugares muy distantes en el menor tiempo posible, así como las características que se deben de cumplir como son por ejemplo las normas de pesos y medidas implementadas por el ministerio de transportes, y por la maniobrabilidad, el cual determinara la facultad de giro de todo el conjunto, y esta a su vez determinara un parámetro muy importante conocido como “anchura de banda libre”, por lo que todo el conjunto semi-remolque/cisterna puede girar, cuando mayor es la distancia entre los ejes

del remolque y más lejos sale el punto de enganche, tanto mayor es el desplazamiento de la trayectoria del remolque, este parámetro, conocido como radio de giro limita el ancho disponible de la vía, pista o carretera en una curva; es importante entonces que la distancia entre los ejes del remolque sea determinada de acuerdo a los requerimientos del cliente.

1.2 OBJETIVO

En la fabricación de tanques cisternas, no existen técnicas de diseño, este trabajo tiene como objetivo dar las bases para elaborar un plan de procedimientos para su fabricación y primordialmente proporcionar la información de diseño.

El presente estudio trata sobre el diseño de una cisterna de 6,000 galones para transportar Diesel 2, bajo la norma LVD-004, considerando que en la actualidad la construcción de semi-remolques cisternas comúnmente carecen de criterios técnicos para su fabricación, este trabajo tratara de sentar un precedente para poder minimizar las fallas que ocurren en una cisterna y extender su vida útil.

1.3 ALCANCE

Dado que en la industria nacional el diseño, fabricación y puesta en funcionamiento de un tanque cisterna, está mayormente ejercida por personal que se basa en forma artesanal, es por esto que se tiene poca

información técnica especificada de los diferentes criterios y procedimientos utilizados en el diseño.

El método de trabajo es teórico-práctico. La teoría para poder seguir una secuencia didáctica y académica, la cual nos ayuda a comprender la gran cantidad de variables que intervienen, el uso de relaciones empíricas, la necesidad de asumir valores de algunos parámetros, la realización de iteraciones sucesivas que nos conducen a resultados que nos sirvan como base del proyecto para sus posteriores fines, que se ajusten a los límites normalizados de los institutos que rigen el diseño y construcción de los diversos elementos constitutivos de una cisterna: Chasis, sistema de suspensión, y sistema de descarga Bottom Loading.

1.4 LIMITACIONES

En la actualidad no existe una norma nacional para la construcción de cisternas, el uso de normas internacionales como es la del Department of Transportation DoT (Departamento de Transportes de los Estados Unidos de América) y las normas del AISC, son la base de este estudio.

CAPITULO II

GENERALIDADES SOBRE EL TRANSPORTE DE COMBUSTIBLES

2.1 USOS DEL PETRÓLEO Y DERIVADOS

Los siguientes son los diferentes productos derivados del petróleo y su utilización:

- **Gasolina para motor: 84, 90, 94 y 97 octanos** - Para consumo en los vehículos automotores de combustión interna, entre otros usos.
- **Turbo combustible o turbosina** - Combustible para aviones jet, también conocida como Jet-A.
- **Gasolina de aviación JP-40** - Para uso en aviones con motores de combustión interna.
- **Diesel 2 (BIODIESEL 2)** - De uso común en camiones y buses.
- **Gas propano o GLP** - Se utiliza como combustible doméstico, automotriz e Industrial.
- **Bencina industrial** - Se usa como materia prima para la fabricación de disolventes alifáticos o como combustible doméstico.

- **Combustóleo o Fuel Oil** - Es un combustible pesado para hornos y calderas industriales. En nuestro país se le denomina Petróleos Industriales de Alta Viscosidad o Residuales (PI -6 y R-500).

Disolventes alifáticos - Sirven para la extracción de aceites, pinturas, pegantes y adhesivos; para la producción de thinner, gas para quemadores industriales, elaboración de tintas, formulación y fabricación de productos agrícolas, de caucho, ceras y betunes, y para limpieza en general.

- **Asfaltos** - Se utilizan para la producción de asfalto y como material sellante en la industria de la construcción.

Bases lubricantes - Es la materia prima para la producción de los aceites lubricantes.

- **Ceras parafinicas** - Es la materia prima para la producción de velas y similares, ceras para pisos, fósforos, papel parafinado, vaselinas, etc.

- **Poliétileno** - Materia prima para la industria del plástico en general

Alquitrán aromático (Arotar) - Materia prima para la elaboración de negro de humo que se usa en la industria de llantas. También es un diluyente.

- **Acido nafténico** - Sirve para preparar sales metálicas tales como naftenatos de calcio, cobre, zinc, plomo, cobalto, etc., que se aplican en la industria de pinturas, resinas, poliéster, detergentes, tensoactivos y fungicidas

- **Benceno** - Sirve para fabricar ciclohexano.

- **Ciclohexano** - Es la materia prima para producir caprolactama y ácido adípico con destino al nylon.
- **Tolueno** - Se usa como disolvente en la fabricación de pinturas, resinas, adhesivos, pegantes, thinner y tintas, y como materia prima del benceno.
- **Xilenos mezclados** - Se utilizan en la industria de pinturas, de insecticidas y de thinner.
- **Ortoxileno** - Es la materia prima para la producción de anhídrido ftálico.
- **Alquilbenceno** - Se usa en la industria de todo tipo de detergentes, para elaborar plaguicidas, ácidos sulfónicos y en la industria de curtientes. El azufre que sale de las refinerías sirve para la vulcanización del caucho, fabricación de algunos tipos de acero y preparación de ácido sulfúrico, entre otros usos. En Colombia, de otro lado, se extrae un petróleo pesado que se llama Crudo Castilla, el cual se utiliza para la producción de asfaltos y/o para mejoramiento directo de carreteras, así como para consumos en hornos y calderas.

La familia del petróleo

Gracias a los conocimientos generados por la química, se pueden obtener del petróleo numerosos y variados elementos, fundamentalmente combustibles, que usamos a diario y que han revolucionado al mundo moderno. La separación y transformación de estos derivados se realiza al interior de una refinería.

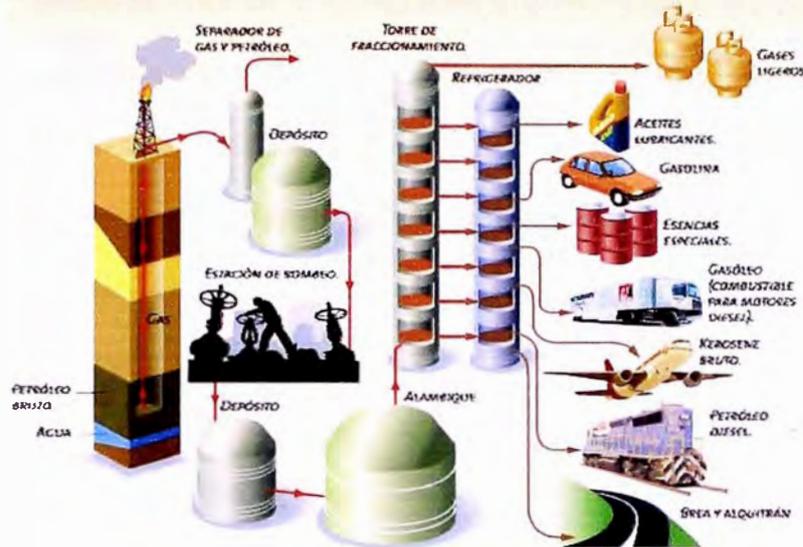


Figura 2.1 La familia del petróleo

2.2 CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LOS COMBUSTIBLES

Las más importantes son:

2.2.1 Densidad

Define la relación entre la masa del combustible y el volumen que ocupa a una determinada temperatura y presión.

Se expresa el grado API, los cuales presentaran valores más altos para combustibles livianos y bajos para los pesados.

La relación entre grado API y gravedad específica es la siguiente:

$$GRAVEDAD ESPECIFICA = \frac{141,5}{131,5 + API}$$

2.2.2 Punto de inflamación

Indica el valor de la temperatura a la cual cada combustible emite suficiente vapor para que pueda inflamarse la mezcla aire-gases, provocada por el calentamiento. Los combustibles líquidos podrán manipularse sin grave riesgo de explosión o incendio, siempre y cuando pertenezcan a temperaturas inferiores a las correspondientes a su punto de inflamación.

2.2.3 Viscosidad

Para los efectos de su combustión, la viscosidad de los combustibles industriales resultan de gran importancia, por constituir un criterio particularmente y valedero para las posibilidades de bombeo y atomización en forma adecuada y conveniente para cada tipo de quemador.

Se expresa en unidades prácticas: Segundos Saybolt Universal (SSU) a 100 °F para combustible liviano y Segundo Saybolt Furol (SSF) a 122 °F para combustible pesado, los cuales se miden en viscosímetros que registran el tiempo (en segundos) que se demora un volumen determinado en pasar a través de un capilar característico estandarizadas.

Para unificar criterios de expresión, existe la tendencia de utilizar valores en centistokes que miden la velocidad cinemática (relación entre viscosidad absoluta y su densidad).

Para convertir Segundos Saybolt Universal y Furol a centistokes, puede utilizarse los siguientes valores:

$$\text{S.S.U (100 °F) / 4.6320 = CENTISTOKES}$$

$$\text{S.S.F (122 °F) / 0.4717 = CENTISTOKES}$$

2.2.4 Contenido de cenizas

Las cenizas son impurezas formadas por acción de las sales metálicas propias de los petróleos.

2.2.5 Contenido de agua y sedimentos

Son impurezas propias del petróleo y es una especificación que determina la calidad de un combustible.

2.2.6 Poder calorífico

Es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación (quedan excluidas las reacciones nucleares, no químicas, de fisión o fusión nuclear).

El poder calorífico expresa la energía máxima que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible, menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formada en la combustión. La magnitud del poder calorífico puede variar según como se mida. Según la forma de medir se utiliza la expresión Poder calorífico superior (abreviadamente, PCS) y Poder calorífico inferior (abreviadamente, PCI).

EL Poder Calorífico Inferior es el calor producido sin aprovechar la energía de la condensación del agua, y el Poder Calorífico Superior tiene en cuenta el calor de la condensación.

2.2.7 Contenido de Carbón Conradson

Es una medida para determinar la tendencia del combustible a formar depósitos de carbón durante la vaporización en los quemadores.

2.2.8 Destilación

Mide la cantidad de producto que se evapora cuando la temperatura de éste, "que se haya en un balón de destilación", es aumentada. Este tipo de prueba es aplicado a productos livianos, como la gasolina, el kerosene, el diesel, etc. para determinar su calidad.

2.2.9 Contenido de azufre

El azufre es un contaminante del petróleo. Su presencia es indeseable, ya que es formador de cenizas, dañando los equipos que trabajan a altas temperaturas. También son formadores de ácidos, causando la corrosión a bajas temperaturas.

Tabla 2.1 Características típicas de los combustibles industriales

TIPO DE PETROLEO	DIESEL N°1	DIESEL N°2	PETROLEO N°4	PETROLEO N°5	PETROLEO N°6	PETROLEO N°500
Gravedad API @ 60°F	42.0	33.3	25.5	22.5	15.2	0.9705
Gravedad específica 60/60°F	0.8156	0.8586	0.9013	0.9188	0.9646	0.9699
Densidad @ 15°C	0.816	0.8592	0.9008	0.9183	0.964	3.6661
Peso en Kgs/Gln. Americano	30800	3.2429	3.4042	3.4706	3.6436	
Color ASTM	1.0	1				230
Punto de Inflamación °F	115	132.8	170.6	199.4	221	110
Punto de Inflamación °C	46	56	77	93	105	60.8
Punto de fluidez °F	-0.4	15.8	17.6	41	59	16
Punto de fluidez °C	-18	-9	-8	5	15	
Viscosidad SSU @ 100°F	31	41.8	96	695	2840	500
Viscosidad SSF @ 122°F				38	290	
Viscosidad cSt @ 50°C		3.8	13.3	80	278	
Viscosidad cSt @ 100°F	1.78	4.6	19.5	150	615	1.2
Azufre % peso	0.02	0.4	0.5	0.6	1	0.08
Cenizas % peso	0	0.002	0.01	0.05	0.007	0.1
Residuos de Carbón Conradson	0	0	0.02	0.05	0.1	
Agua y sedimentos % Volumen	0	0.03				
Corrosión a la lamina de cobre	1 a	1 a				
Índice de Cetano	46.5	51				
Destilación 50% @ °F	430	582.8				
Destilación 90% @ °F	510	669.2				
Punto final de ebullición °F	550	717.8				
Poder calorífico BTU/lb	19810	19540	19310	19032	18580	18350
Poder calorífico BTU/Gln-Neto	126200	131200	135400	138000	142800	143500
Poder calorífico BTU/Gln-bruto	134510	139700	144650	146500	151000	151700
Contenido en p.p.m Vanadio					177.70	
Contenido en p.p.m Niquel					7.70	
Contenido en p.p.m Calcio					65.10	
Contenido en p.p.m Hierro					4.00	
Contenido en p.p.m Cobre					7.90	
Contenido en p.p.m Sílice					2.40	
Contenido en p.p.m Aluminio					4.00	
Temperatura de bombeo min °F					7.40	
Temperatura de atomización: Tiro Forzado °F			23	56	113	122
Temperatura de atomización: Tiro Forzado °C			50/68	140/158	212/230	230/248
Temperatura de atomización: Tiro Natural °F			10/20	60/70	100/110	110/120
Temperatura de atomización: Tiro Natural °C						248/266

2.3 METODOS DE TRANSPORTE DE COMBUSTIBLES

Dado que los combustibles fósiles son fundamentales en la economía mundial, puesto que aproximadamente el 60% de la energía que se consume en el planeta se obtiene de ellos, el proceso de distribución cuenta con el desarrollo de una extensa red logística para llevar los combustibles desde la refinería hasta los centros de consumo.

Este proceso de distribución usa instalaciones y vehículos para el transporte y almacenamiento. En el caso de combustibles de amplia utilización como la gasolina, el gas, el combustible para aviación, etc. este complejo sistema incluye a los poliductos, terminales de despacho, camiones de transporte especiales y estaciones de servicio. Las tecnologías de estas instalaciones son diversas y permanentemente actualizadas procurando la llegada de los combustibles a sus usuarios en los lugares, momentos y cantidades requeridas, con el mínimo riesgo ambiental.

Ciertos clientes importantes pueden ser servidos por las refinerías de manera directa. Así es como una central eléctrica recibirá su petróleo directamente por poliducto o por camiones cisternas.

Los poliductos son sistemas de cañerías destinados al transporte de hidrocarburos o productos terminados. A diferencia de los oleoductos convencionales -dedicados exclusivamente al transporte de petróleo crudo-, los poliductos transportan una gran variedad de combustibles ya procesados

en la refinería. A través de ellos pueden trasladarse principalmente kerosene, combustibles para aviación, gasolina, diesel y gases. Sucede normalmente que un poliducto de grandes dimensiones contenga cuatro o cinco productos diferentes en distintos puntos de su recorrido, que son entregados en la terminal de recepción o en estaciones intermedias ubicadas a lo largo de la ruta. Para esta operación se programan los envíos: las presiones y la velocidad de desplazamiento de cada producto son controladas por medio de centros de cómputo. A condición de que se cumplan ciertas normas, el nivel de mezcla de los sucesivos productos que pasan por el poliducto alcanza sólo a pocas decenas de metros cúbicos. Esto permite recuperar esta mínima fracción que pasó por el poliducto como producto de menor calidad, sin que se afecte la calidad final del producto. Las terminales de despacho son plantas de almacenamiento, donde se acopian los combustibles enviados desde las refinerías, a la espera de su carga en los camiones cisterna que abastecen a las estaciones de servicio. Además de los grandes tanques de almacenaje, un elemento central de estas terminales es el Laboratorio de Control de Calidad. Este permite asegurar que todas las partidas de combustible que se despachan en la planta estén dentro de las especificaciones requeridas.

Para llevar los combustibles desde las plantas de despacho hasta las estaciones de servicio, se utilizan camiones cisterna, especialmente diseñados y equipados con las últimas tecnologías. Los modernos camiones pueden transportar aproximadamente 10.000 galones de combustible,

contando además con dispositivos electrónicos que miden permanentemente la carga recibida, en tránsito y despachada. Utilizan un sistema de carga ventral -esto es, el líquido ingresa por la parte inferior del tanque-. De esta manera no se genera electricidad estática y se recuperan los gases que se encuentran dentro del receptáculo, evitando que sean liberados a la atmósfera.

Las estaciones de servicio están integradas a la experiencia diaria de los habitantes de las ciudades y viajeros de las rutas. Estas instalaciones son complejas, capacitadas para brindar múltiples servicios bajo estrictas normas de seguridad y ambientales. Las estaciones de servicio cuentan con depósitos subterráneos, donde se almacena el combustible que llega en los camiones cisterna. Estos tanques son de acero recubierto de materiales sintéticos, que aseguran su hermeticidad y la calidad del producto.

METODOS DE TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE



Figura 2.2 El transporte de petróleo por rutas transoceánicas

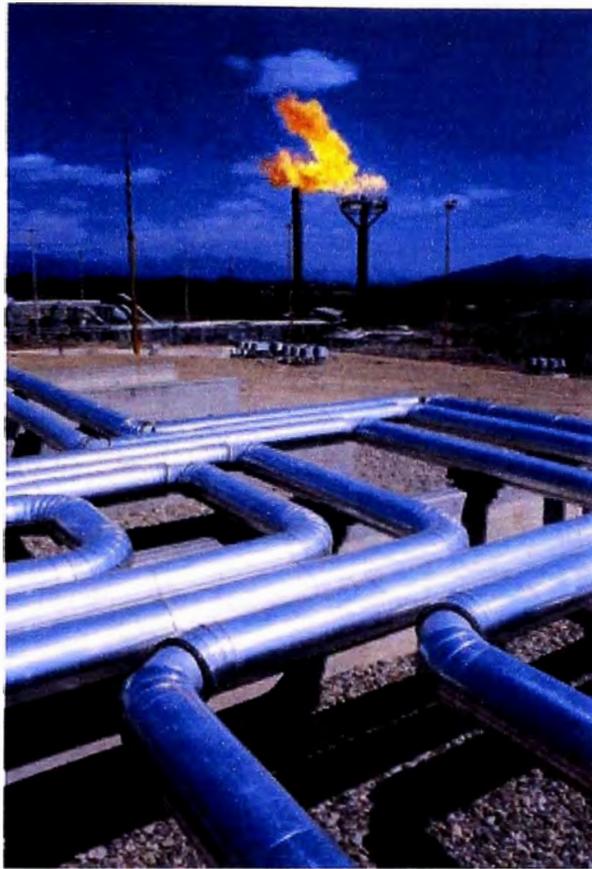


Figura 2.3 El transporte del petróleo por oleoductos.



Figura 2.4 El transporte de petróleo terrestre

2.4 TIPOS DE SEMI-REMOLQUES EMPLEADOS

Las cisternas son básicamente recipientes cerrados; montados sobre el chasis de un camión se llama camión tanque C/T o montado sobre los bastidores de un remolque o semirremolque.

En el caso de cisternas sobre semiremolques, este conjunto debe estar apoyado sobre un tren de rodadura, el cual incluye el sistema de suspensión y ejes, el número de ejes y la distancia de los mismos varían según la carga, los cual esta detallado en la tabla de pesos y medidas del Ministerio de Transportes (MTC) según D.S 034-2001-MTC. Es de gran importancia considerar el sistema de frenos en el tanque cisterna.

En los casos de semirremolques hay que tener en cuenta un dispositivo de enganche para permitir el apoyo de este al camión, debe permitir un fuerte alabeo del grupo al circular por las vías y un giro máximo.

El sistema de carga-descarga, utiliza el Bottom Loading ya que aumenta la seguridad del proceso de carguío porque elimina el contacto del operador con el producto y con los gases, el sistema posee un sensor óptico de nivel que bloquea inmediatamente el carguío cuando detecta que el producto sobrepasó el nivel máximo de seguridad, en caso de incendio, el sistema apaga inmediatamente, aislando el producto en el interior del tanque. En caso de accidente, la válvula de fondo y la válvula recuperadora de gases

rompen la tubería, protegiendo el tanque y aislando el contenido, evitando incendios o derrames en el medio ambiente.



Figura 2.5 *Sistema Bottom Loading*

La estructura de los tanques cisternas se hacen planchas de acero estructural ASTM A-36, por la resistencia mecánica, estas se refuerzan con perfiles longitudinales, llamado comúnmente puentes a lo largo de chasis para así poder resistir los esfuerzos producidos cuando está plenamente cargada.

Los perfiles para el chasis son dos, ubicados simétricamente respecto al eje axial de la cisterna, son de sección transversal en forma de “L”, este tipo de perfil será usado como viga del tanque, son de vital importancia ya que son las vigas que soportaran la mayor fuerza cortante y momento flexionante.

En resumen, un tanque cisterna consta de:

Un tanque cerrado por planchas roladas, la cual consta en su estructura de:

- Puentes.
- Perfiles de retuerzo para las mamparas.
- Vigas de sección transversal "L".
- Planchas estructurales.
- Cubierta lateral.
- Cubierta de techo y de fondo.
- Ejes.
- Suspensión.
- Ruedas.
- Dispositivo de enganche al tracto-camión (eje King Pin caso semirremolque).
- Sistema de descarga (Bottom Loading).
- Sistema de freno neumático.

Desde el punto de vista del diseño las características más resaltantes son:

1. Peso propio del remolque o semirremolque cisterna.
2. Dimensiones generales.
3. Tiempo completo de carga y descarga del diesel.
4. Forma de la sección transversal de la cisterna.
5. Espesor de las planchas que forman la estructura, tanto como las cubiertas laterales, el chasis y los componentes de la suspensión.

6. Construcción de los puentes.
7. Tipos de ruedas, dimensiones y número de neumáticos.
8. Instalación del sistema de freno neumático y su sincronización con el tracto (camión).
9. Tipo de enganche. (King Pin)
10. Potencia requerida por el tracto propuesto para el semirremolque recomendado para su servicio.
11. Peso total del grupo tracto-semirremolque cisterna en vacío y a plena carga en orden de marcha.
12. Peso máximo normal admisible sobre cada eje.
13. Radio de giro del tracto con el semirremolque.
14. Longitud total del grupo tracto-semirremolque.
15. Altura total del grupo para pasar por debajo de un puente entre otros.
16. Anchura total del grupo
17. Naturaleza del combustible a transportarse.

2.4.1 Tipos de cisternas

Dependiendo como van dispuesta la cisterna estas pueden clasificarse como:

a.- Cisternas sobre chasis

b.- Cisternas sobre arrastre

a. Cisternas sobre chasis

La cisterna va montada sobre el bastidor del camión, esto le da las características de maniobrabilidad limitadas dependiendo de la longitud total; esta longitud queda limitada por la anchura total del camión, pista o carretera así como el radio medio del camino y por el radio de giro del camión.

Para que todas las ruedas marchen sin resbalamiento lateral de los neumáticos, el centro de giro debe estar dispuesto en la intersección de los ejes de todas las ruedas.

b. Cisternas sobre arrastre

Son aquellas que van montadas sobre el bastidor de un remolque o semirremolque. Los remolques están desprovistos de cualquier dispositivo automotor de desplazamiento; deben ser remolcados por un tracto.

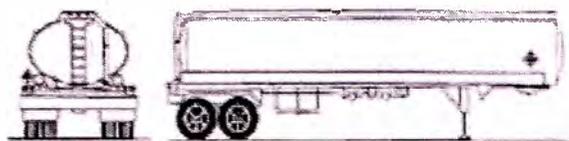
En el grupo camión-remolque, la parte motora (camión) y la caja de transporte (cisterna) tiene cada uno su propio chasis, el enganche que los une el uno del otro permite cierta independencia en sus movimientos, situación que resulta ventajosa comparada con una cisterna sobre chasis.

Se ve una gran ventaja con respecto al sistema de cisterna sobre chasis, ya que su grado de maniobrabilidad es mucho mayor, así se pueden diseñar cisternas de mayor longitud y por consiguiente de mayor capacidad, también por no estar unido al chasis del camión se

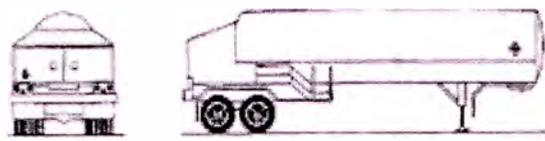
logra una autonomía de la cisterna, por lo que diferentes camiones pueden enganchar a la cisterna en momentos que se crea adecuado, cosa que nunca se podría hacer si la cisterna estaría en el chasis del camión.

El desplazamiento de la trayectoria del remolque, es también uno de los motivos por el que durante el viraje las ruedas del remolque no van por la rodada de las ruedas del tracto, incluso, siendo iguales las vías entre las ruedas.

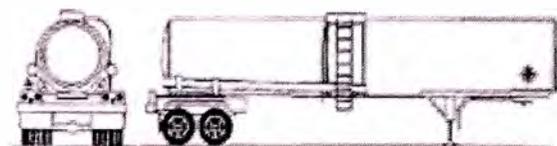
Por esta razón, se acrecienta la resistencia a la rodadura del tren, particularmente considerable durante la marcha por caminos defectuosos.



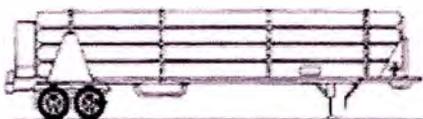
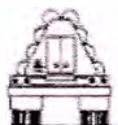
Autotanque no presurizado para líquidos



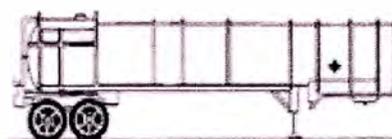
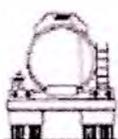
Autotanque para líquidos criogénicos



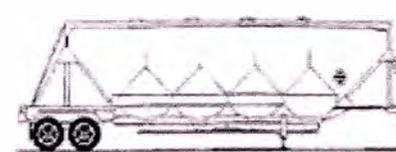
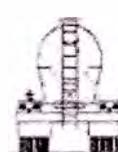
Autotanque de baja presión para productos químicos



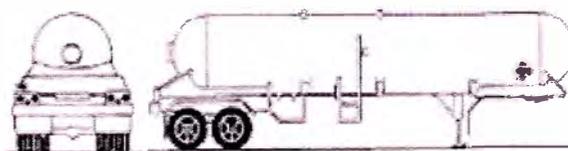
Remolque para cilindros de gas comprimido



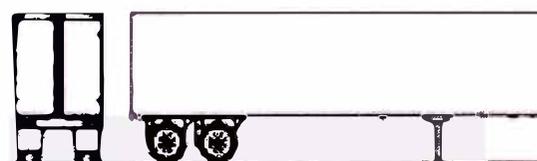
Autotanque para líquidos corrosivos



Autotanque tolva para graneles secos



Autotanque de alta presión



Remolque de carga mixta

Figura 2.6 Tipos Semi-Remolques

2.5 REQUISITOS TECNICOS QUE DEBERAN CUMPLIR LOS TANQUES DE COMBUSTIBLES.

- 2.5.1 El tanque debe satisfacer los ensayos de estanqueidad efectuados por el fabricante a una presión igual al doble de la presión relativa de servicio y en cualquier caso no inferior a 1,3 bar.
- 2.5.2 Toda sobre presión superior a la de servicio debe compensarse automáticamente mediante dispositivos adecuados. Las salidas de aire deberán diseñarse de modo que prevengan todo riesgo de ignición. El combustible no debe poder derramarse por los dispositivos instalados para compensar la sobre presión.
- 2.5.3 El tanque debe fabricarse de forma tal que quede protegido convenientemente de las consecuencias de impactos frontales, laterales o traseros.
- 2.5.4 La fabricación debe prever que no haya piezas salientes o bordes cortantes a lo largo de la cisterna.
- 2.5.5 Las tapas deberán asegurar estanqueidad durante la marcha.
- 2.5.6 La distribución de pesos debe realizarse según la carga, lo que da como resultado el número de ejes y la distancia de los mismos.
- 2.5.7 La unión del tanque al chasis debe resistir sin roturas ni deformaciones permanentes, una desaceleración del vehículo de 0.3 veces la aceleración de la gravedad (0.3g).
- 2.5.8 Los elementos de fijación y montaje deben ser normalizados.
- 2.5.9 Los soportes de fijación y sus dispositivos deben estar contruidos sin presentar cantos vivos ni elementos punzantes.

- 2.5.10 El tipo, la ubicación y la altura del Kingpin debe guiarse bajo la norma SAE J741 (Society of Automotive Engineers, Inc.)
- 2.5.11 El tanque y sus respectivos elementos de fijación y montaje deben tener un tratamiento anticorrosivo y pintura resistente a la acción de golpes en las zonas expuestas.
- 2.5.12 Todo el sistema de alimentación de combustible (conexiones, tubos, tanques, soportes, etc.) deben estar contruidos de tal forma que se evite derrame o perdidas de combustible aun en condiciones extremas de operación, o por vibraciones, con el objetivo de propender a la seguridad en la operación del mismo.
- 2.5.13 Debe estar dispuestos todos los sistemas de la cisterna (frenos, suspensión, luces, etc.) de forma correcta para que no interfieran con otros.
- 2.5.14 La ubicación del centro de gravedad de la cisterna, tanto cargado como vacío, debe estar lo más bajo posible para evitar posibles volcaduras.
- 2.5.15 La altura, ancho y la longitud del tanque no deben sobrepasar los límites permitidos por la legislación vigente.
- 2.5.16 Los tanques deberán poseer al menos dos rompeolas o mamparas u otros dispositivos equivalentes que garantice que el combustible líquido no adquiera durante la operación, movimientos dinámicos externos que afecten su resistencia estructural.

2.6 SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE DE COMBUSTIBLES

El transporte de productos derivados de combustible, por su naturaleza química son inflamables y reactivos lo cual las medidas de seguridad a tomar debe estar acorde al producto, para evitar problemas de salud a las personas y daños al medio ambiente, la NFPA (National Fire Protection Association), a clasificado los productos según ciertos parámetros lo cuales explicaremos más adelante.

La norma NFPA 704 es el código que explica el *diamante del fuego*, utilizado para comunicar los peligros de los materiales peligrosos. Es importante tener en cuenta que el uso responsable de este diamante o rombo en la industria implica que todo el personal conozca tanto los criterios de clasificación como el significado de cada número sobre cada color. Así mismo, no es aconsejable clasificar los productos químicos por cuenta propia sin la completa seguridad con respecto al manejo de las variables involucradas. A continuación se presenta un breve resumen de los aspectos más importantes del diamante.

La norma NFPA 704 pretende a través de un rombo seccionado en cuatro partes de diferentes colores, indicar los grados de peligrosidad de la sustancia a clasificar.

El diagrama del rombo se presenta a continuación:

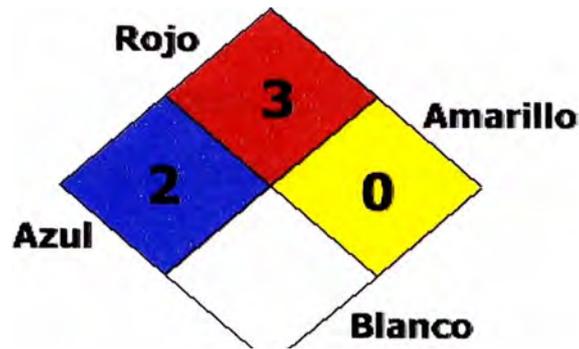


Figura 2.7 Diamante del fuego

ROJO: Con este color se indican los riesgos a la inflamabilidad.

AZUL: Con este color se indican los riesgos a la salud.

AMARILLO: Con este color se indican los riesgos por reactividad (inestabilidad).

BLANCO: En esta casilla se harán las indicaciones especiales para algunos productos. Como producto oxidante, corrosivo, reactivo con agua o radiactivo.

Dentro de cada recuadro se indicaran los niveles de peligrosidad, los cuales se identifican con una escala numérica, así:

SALUD

- 4- Demasiado Peligroso.
- 3- Muy Peligroso.
- 2- Peligroso.
- 1- Ligeramente Peligroso
- 0- Material corriente.

INFLAMABILIDAD

- 4- Extremadamente inflamable. Debajo de los 25°C.
- 3- Ignición a temperaturas normales. Debajo de los 37°C.
- 2- Ignición al calentarse normalmente. Debajo de los 93°C.
- 1- Debe precalentarse para arder. Sobre los 93°C.
- 0- No arde.

REACTIVIDAD

- 4- Puede explotar.
- 3- Puede explotar por fuerte golpe o calor.
- 2- Posibilidad de cambio químico violento.
- 1- Inestable si se calienta.
- 0- Estable normalmente.

1- RIESGO ESPECIAL

W- Evite utilización de agua.

OX- Oxidante.

ALC- Alcalino.

ACID- Acido

Tabla 2.2 Tabla con los índices de peligrosidad

	AZUL - SALUD	ROJO- INFLAMABILIDAD	AMARILLO- REACTIVIDAD
4	Sustancias que con una muy corta exposición puedan causar la muerte o daño permanente aún en caso de atención médica inmediata. <i>Ej. Ácido Fluorhídrico.</i>	Materiales que se vaporizan rápido o completamente a la temperatura y presión atmosférica ambiental, o que se dispersen y se quemen fácilmente en el aire. <i>Ej. Acetaldehído.</i>	Materiales que por sí mismos son capaces de explotar o detonar, o de reacciones explosivas a temperatura y presión normales. <i>Ej. Nitroglicerina.</i>
3	Materiales que bajo una corta exposición pueden causar daños temporales o permanentes aunque se dé pronta atención médica. <i>Ej. Hidróxido de potasio.</i>	Líquidos y sólidos que pueden encenderse en casi todas las condiciones de temperatura ambiental. <i>Ej. Estireno.</i>	Materiales que por sí mismos son capaces de detonación o de reacción explosiva que requiere de un fuerte agente iniciador o que debe calentarse en confinamiento antes de ignición, o que reaccionan explosivamente con agua. <i>Ej. Quinitoanilina.</i>
2	Materiales que bajo su exposición intensa o continua puede causar incapacidad temporal o posibles daños permanentes, a menos que se dé tratamiento médico rápido. <i>Ej. Trietanolamina.</i>	Materiales que deben calentarse moderadamente o exponerse a temperaturas altas antes de que ocurra la ignición. <i>Ej. orto - cresol.</i>	Materiales inestables que están listos a sufrir cambios químicos violentos pero que no detonan. También debe incluir aquellos materiales que reaccionan violentamente al contacto con el agua o que pueden formar mezclas potencialmente explosivas con agua. <i>Ej. Ácido sulfúrico.</i>
1	Materiales que bajo su exposición causan irritación pero sólo daños residuales menores aún en ausencia de tratamiento médico. <i>Ej. Glicerina.</i>	Materiales que deben precalentarse antes de que ocurra la ignición. <i>Ej. Aceite de palma.</i>	Materiales que de por sí son normalmente estables, pero que pueden llegar a ser inestables sometidos a presiones y temperaturas elevadas, o que pueden reaccionar en contacto con el agua, con alguna liberación de energía, aunque no en forma violenta. <i>Ej. Ácido Nítrico</i>
0	Materiales que bajo su exposición en condiciones de incendio no ofrecen otro peligro que el de material combustible ordinario. <i>Ej. Hidrógeno*.</i>	Materiales que no se queman. <i>Ej. Ácido clorhídrico.</i>	Materiales que de por sí son normalmente estables aún en condiciones de incendio y que no reaccionan con el agua. <i>Ej. Cloruro de Bario.</i>

* La interpretación de los ejemplos debe ser muy cuidadosa, puesto que el hidrógeno puede no ser peligroso para la salud pero sí es extremadamente reactivo y extremadamente inflamable; casos similares pueden presentarse con los demás productos químicos mencionados.

Los símbolos especiales que pueden incluirse en el recuadro blanco son:

OXI Agente oxidante.

COR Agente corrosivo.

 Reacción violenta con el agua.

 Radioactividad.

Tabla 2.3 Dimensiones

DIMENSIONES			
Tamaño señales	W	A	B
1	0.7	2½	1¼
2	1.4	5	2½
3	2.1	7½	3¾
4	2.8	10	5
6	4.2	15	7½

**Todas las dimensiones están en pulgadas.*

W: ancho de los números o letras.

A: rombo grande

B: rombo pequeño

Tabla 2.4 Especificaciones

Distancia a la cual las señales deben ser legibles	Tamaño mínimo requerido de las señales
50 pies	1"
75 pies	2"
100 pies	3"
200 pies	4"
300 pies	6"

Excepción: para contenedores con capacidad de un galón o menos, los símbolos pueden ser reducidos en tamaño, así:

1. La reducción debe ser proporcional.
2. Los colores no varían
3. Las dimensiones horizontal y vertical del rombo no deben ser menores a 1 pulgada (2.5 cm).

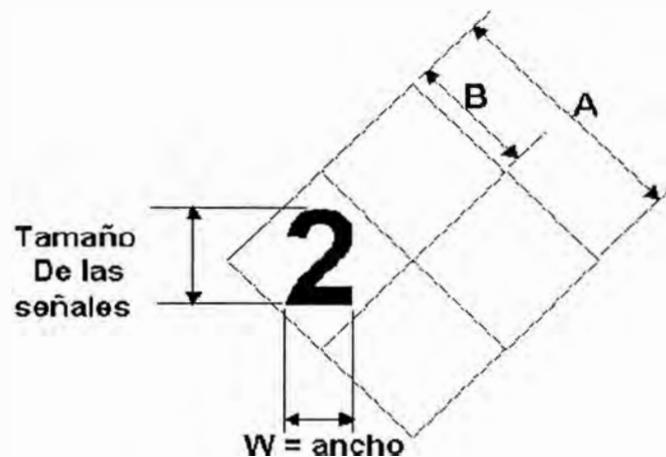


Figura 2.8 Tamaño de las señales

FUENTE:

1. NFPA, "NATIONAL FIRE CODES", NFPA 704, Edición electrónica, 2002.
2. CCOHS, Data Bases on CD-ROM, CHEMINFO, 2002-4.

Nota: La información anterior se proporciona a manera de orientación. Está basada en fuentes consideradas veraces, y acatarla o no depende exclusivamente del usuario.

CAPITULO III

PARAMETROS DE DISEÑO

3.1 NORMAS TECNICAS A USAR

El presente trabajo de un diseño de una cisterna de 6000 galones de diesel 2, estará basado principalmente en la norma nacional LVD-004, y normas del MTC, para complementar y aportar se usa normas técnicas americanas, que empezare a detallar:

La norma recomendada por la DoT-406 (U.S. *Department of Transportation*) para la construcción del tanque es la ASME* Sección VIII División 1 (Rules for Construcción of Pressure Vessels).

Para obtener datos técnicos de los materiales a usar como el acero, lo obtendremos de las normas ASTM (American Society for Testing Materials) Section I Iron and Steel Products.

Para las uniones soldadas y los procedimientos de soldadura se usaran la norma AWS (American Welding Society).

Como el trabajo es realizado en acero los procedimientos de la AISC (*American Institute of Steel Construction*) dará un complemento a las normas de diseño, cabe resaltar que en el Perú actualmente no existe una norma específica para la construcción y diseño de tanques de combustible por lo que el uso de normas americanas es la base de este trabajo.

1.2 DETERMINACION DE CAPACIDADES

Las capacidades de las cisternas de combustibles dependen de las necesidades específicas de transporte, pero al mismo tiempo estas capacidades quedan limitadas por el ancho de la vía, pista o carretera. Asimismo, la altura de la cisterna queda limitada por la estabilidad lateral que necesariamente deba poseer (es preferible mantener el centro de gravedad tan bajo como sea posible); al mismo tiempo la altura máxima disponible debajo de puentes, túneles pueden ser factores que limiten este parámetro.

El ancho de la cisterna queda limitado por el exterior, entre ruedas posteriores del camión.

La capacidad de la cisterna también estará limitada por la potencia y capacidad de arrastre o máxima carga portante en el eje posterior del camión.

En el presente trabajo nosotros consideraremos a un camión Volvo, esto que debido a su uso generalizado en nuestro país y que trae consigo apoyo tanto en repuestos como en mantenimiento o servicios técnicos generalizados, como por su reconocida capacidad de poder apartarse a los caminos de nuestra realidad vial.

3.3 DIMENSIONAMIENTO GENERAL

Para el dimensionamiento básico de la cisterna de 6000 galones consideraremos tentativamente un camión F10 con la configuración de ejes de 6x2, visto de planta del camión es de aproximadamente 2.40 metros, este será nuestro punto de partida.

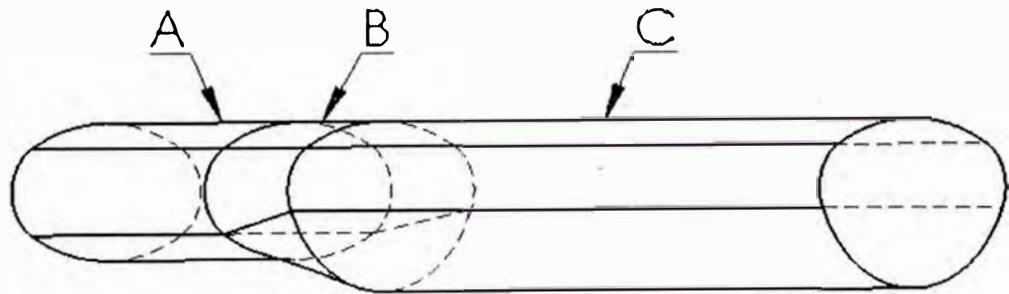
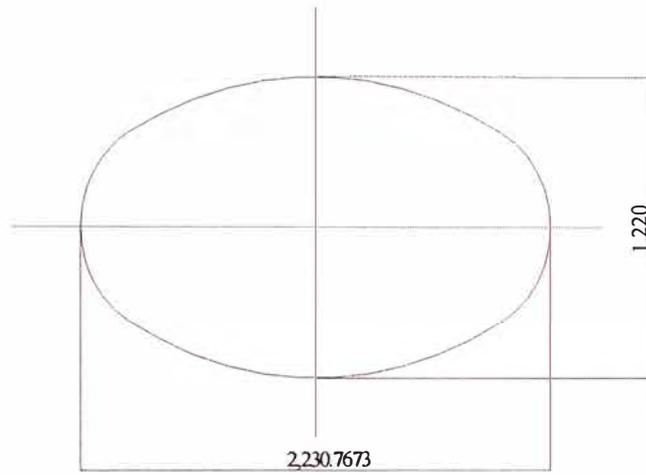


Figura 3.1 Vista del tanque

El tanque lo dividimos en 3 secciones para poder calcular la longitud de profundidad de cada sección y así tener el volumen de diseño.

Sección A**Figura 3.2 Sección A**

Longitud

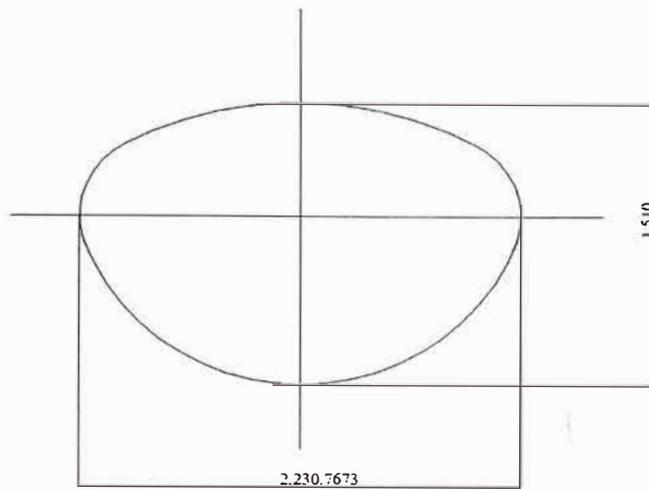
Largo= 2.23m

Altura=1.22m

Área 1 = 2.152m²

Espesor de plancha

E=3/16"

Sección C**Figura 3.3 Sección C**

Longitudes:

-Largo= 2.23m

-Altura=1.51m

Área 3 = 2.594 m²

Perímetro = 5.904m

Espesor de plancha

E=3/16"

Sección B

Para la que es la llamada sección del ganso, será calculada como una pirámide truncada, la cual dará una buena aproximación.

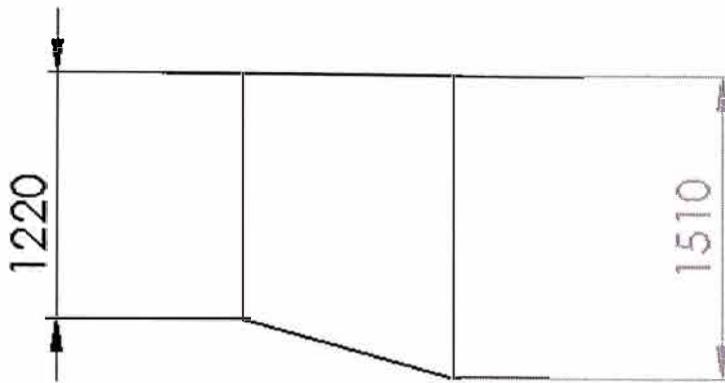


Figura 3.4 Sección B

Diámetro 1 = 1.220 m

Diámetro 2 = 1.510 m

Como la longitud del ganso depende directamente el volumen de este, es por ello que no se puede definir todavía.

$$\text{Volumen} = \frac{L_2}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$$

Donde

$$A_1 = 2.152 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2.594 \text{ m}^2$$

Espesor de plancha

$$E = 3/16''$$

De las tres secciones podemos calcular la longitud de cada una para obtener el volumen de 6000 galones, cabe resaltar que el transporte de diesel 2 no debe llegar a la máxima altura del tanque, sino el nivel del liquido debe estar entre la parte superior del tanque y una altura no mayor al 10% de la altura del tanque, lo que se conoce como el nivel de la flecha, esta medida está reglamentada por la norma LVD 0004.

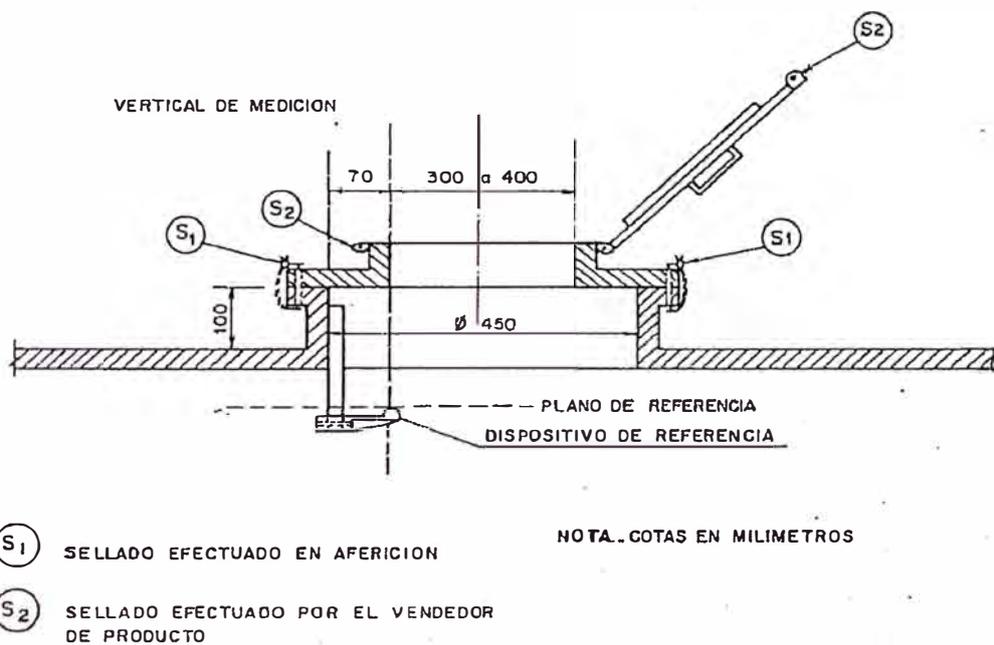


Figura 3.5 Vista de la tapa superior

En esta figura se puede observar que la distancia del plano de referencia a la parte superior no debe ser mayor a 10% de 1.51m (15cm).

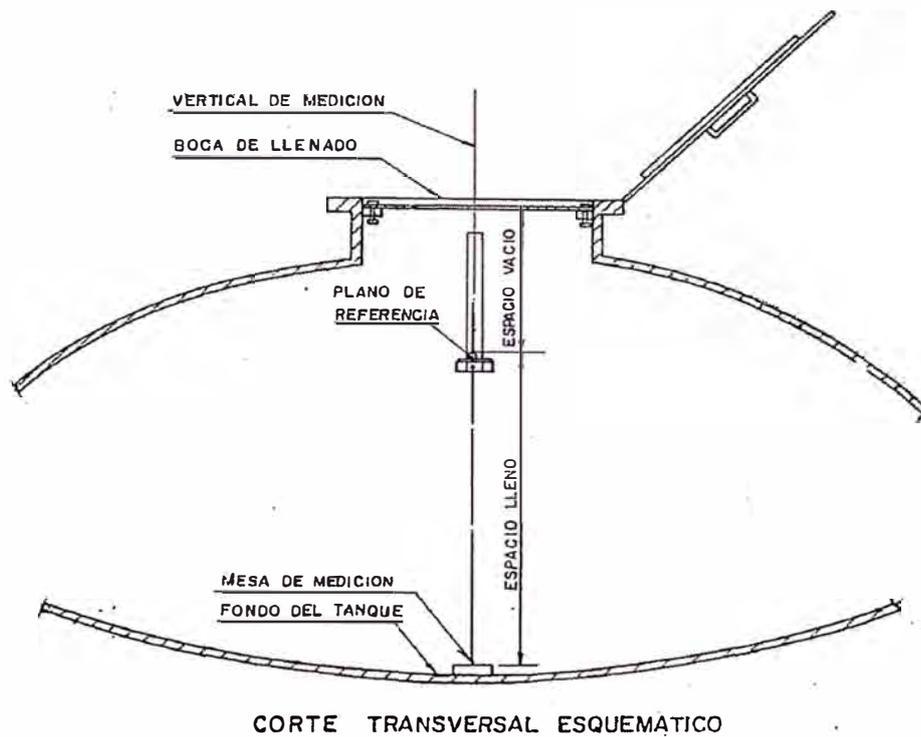


Figura 3.6 Vista en Corte del tanque

En esta vista de corte el espacio vacío, va a generar un volumen muerto el cual pasaremos a calcular y así determinar el volumen efectivo.

$$\text{Volumen total} = \text{Volumen efectivo} + \text{Volumen muerto}$$

Por diseño del tanque el volumen efectivo es:

$$\text{Volumen efectivo} = 6000 \text{ galones}$$

$$\text{Volumen total} = V_1 + V_2 + V_3$$

$V_1 = \text{Volumen seccion 1}$

$V_2 = \text{Volumen seccion 2}$

$V_3 = \text{Volumen seccion 3}$

$$V_1 = A_1 \times L_1 \quad (3.1)$$

$$V_2 = \frac{L_2}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2}) \quad (3.2)$$

$$V_3 = A_3 \times L_3 \quad (3.3)$$

Como restricción de diseño el tanque no puede medir más de 10 metros, tenemos

$$L_1 + L_2 + L_3 < 10 \text{ m} \quad (3.4)$$

Asumimos una relación de esbeltez para la sección 1 entre la longitud de profundidad y el largo de la sección de $\alpha = 1.02$

$$\alpha = \frac{L_1}{2.23}$$

$$L_1 \simeq 2.28 \text{ m}$$

Para calcular L_3 asumiremos una relación de esbeltez de $\beta = 2.84$

$$\beta = \frac{L_3}{2.23}$$

$$L_3 \simeq 6.35 \text{ m}$$

Restricción para L_2

$$2.28 + L_2 + 6.35 < 10 \text{ m}$$

$$L_2 < 1.37 \text{ m}$$

Tomaremos el valor de:

$$L_2 = 0.99 \text{ m}$$

De la ecuación (3.1) reemplazando valores tenemos:

$$V_1 = 2.152 \times 2.28$$

$$V_1 = 4.90428 \text{ m}^3$$

Para calcular el valor de V_2 usaremos la ecuación (3.2)

$$V_2 = \frac{0.99}{3} (2.152 + 2.594 + \sqrt{2.152 \times 2.594})$$

$$V_2 = 2.3455 \text{ m}^3$$

De la ecuación (3)

$$V_3 = 2.594 \times 6.35$$

$$V_3 = 16.4719 \text{ m}^3$$

Entonces

$$V_{Total} = 4.90428 + 2.3455 + 16.4719$$

$$V_{Total} = 23.72168 \text{ m}^3$$

$$V_{Total} = 6266.60 \text{ galones}$$

$$V_{muerto} = 6266.60 - 6000$$

$$V_{muerto} = 266.60 \text{ galones}$$

Como la parte superior de las secciones 1, 2 y 3 son iguales y es la sección de un círculo, el volumen muerto sería el área de la sección de círculo con una altura h y la longitud total del tanque, con esto podemos calcular la altura de la flecha.

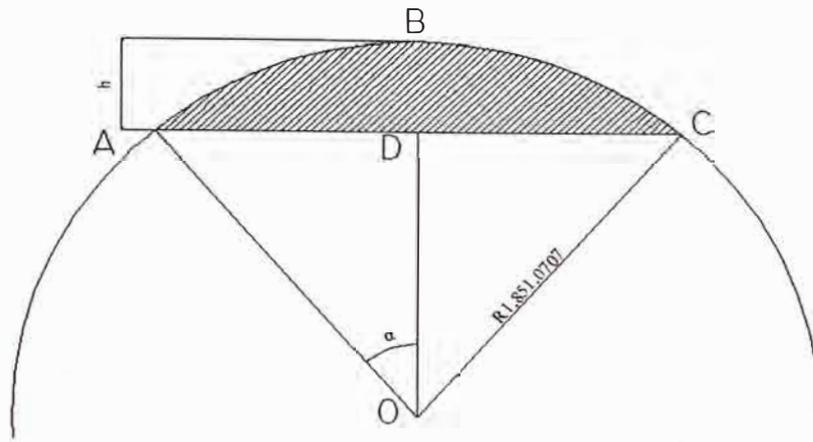


Figura 3.7 Vista superior

Calculando h:

$$V_{muerto} = A_{Sector\ abc} \times Longitud\ total\ del\ tanque \quad (3.5)$$

$$A_{Sector\ abc} = A_{Sector\ aoc} - A_{Triangulo\ aoc} \quad (3.6)$$

$$A_{Sector\ aoc} = \frac{\alpha R^2}{2} \quad (3.7)$$

$$A_{Triangulo\ aoc} = \frac{AC \times DO}{2} \quad (3.8)$$

$$DO = R - h \quad (3.9)$$

Del triángulo ADO

$$\cos \alpha = \frac{R-h}{R} \quad (3.10)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{R-h}{R} \quad (3.11)$$

$$AC = 2AD$$

$$AD = \sqrt{R^2 - (R-h)^2} \quad (3.12)$$

De la ecuación 3.5 obtenemos $A_{Sector\ abc}$

Longitud total del tanque = 9.62 m

$$A_{Sector\ abc} = \frac{1.00919}{9.62}$$

$$A_{Sector\ abc} = 0.104905\ m^2$$

Remplazando 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11 en 3.6

$$R^2 \cdot \cos^{-1} \frac{R-h}{R} - \sqrt{R^2 - (R-h)^2} \cdot (R-h) = 0.104905 \quad (3.13)$$

Donde $R=1.851\text{m}$

Resolviendo la ecuación 3.13 por método numérico

$$h=11.95\ \text{cm}$$

Se cumple que $h < 15\ \text{cm}$

La altura de la flecha es conforme.

3.4 CRITERIOS DE CÁLCULO

Consideraciones

El tanque a calcular está destinado al transporte de combustible diesel 2, según sus propiedades físicas expuestas en la tabla 1 la densidad es 859.2 Kg/m³.

Como el tanque es de 6000 galones = 22.71247 m³

$$W_c = 22.71247 \times 859.2$$

$$W_c = 19.514.55\ \text{Kg}$$

$$W_c \approx 20000\ \text{Kg}$$

Considerando el Peso de la estructura

$$W_e \approx 60000\ \text{Kg}$$

$$W_d = 26000\ \text{Kg}$$

$$W_d = 26\ \text{Tm}$$

Consideraciones de diseño de la cisterna

Para el cálculo se toma las condiciones más desfavorables o críticas desde el punto de vista de esfuerzos actuantes. Esta condición se presentara cuando el tanque este cargado con el diesel 2.

En esta circunstancia, el tanque cisterna se ve sometida a cargas de flexión en sentido longitudinal importantes; asimismo existe la posibilidad de que aparezcan esfuerzos de corte debido a la carga de torsión, situación que puede ser contrarrestado por un sistema estabilizador que en este caso son las mamparas. La aparición de carga de flexión en el sentido transversal siempre existirá, por lo que una buena distribución de las mamparas logra que la deflexión del tanque sea mínima.

Cabe resaltar que por la forma del diseño en la unión de las tapas de la cisterna con el tanque en sí, se produce el mayor esfuerzo por esto un buen diseño de la soldadura en la unión hace que no falle, y así un uso seguro del transporte de combustible.

Todos los cálculos de debe hacer siguiendo las normas comúnmente aceptadas, compatibles para la práctica de la ingeniería.

Consideraciones de diseño del chasis

Fabricadas a partir de planchas de acero estructura ASTM A36 y unidas mediante el proceso SMAW, estas vigas estarán unidas al tanque por medio de platinas de acero estructura A36 y unidas entre sí por medio de puente.

El cálculo de las vigas principales se hará también para las condiciones más desfavorables, y esta aparece cuando el tanque está cargado.

El modelo de cálculo será el de una viga apoyada en un extremo por medio del King Pin y soportada por el sistema de suspensión, cargado continuamente.

Los puentes garantizan la estabilidad del conjunto frente a cargas externas de torsión respecto del eje longitudinal como con respecto a su eje polar.

CAPITULO IV

DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CISTERNA

4.1 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CISTERNA

En el cálculo estructural del tanque cisterna, tomaremos en consideración al tanque como secciones circulares de espesor constante, la carga que ejerce el diesel 2 esta uniformemente distribuida a lo largo de esta, así mismo la presión contra las paredes ejerce una variación lineal en función de la altura. El análisis incluirá el chasis el cual esta soldado al tanque, sostendremos especial cuidado en la geometría de este, ya que este no es una geometría definida y no se encuentra en manuales de esfuerzos y deformaciones.

Los cálculos de los cordones de soldadura garantizaran el correcto diseño así como un correcto funcionamiento y seguridad de la estructura, manteniendo en consideración los mayores esfuerzos producidos en la unión de las planchas, tapas, mamparas y chasis.

Por todo lo todo antes expuesto se ha optado por analizar la estructura en su totalidad por el método de elementos finitos.

4.2 METODO POR ANALISIS DE ELEMENTOS FINITOS

El método de los elementos finitos (MEF en castellano o FEM en inglés) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

El método se basa en dividir el cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) —sobre el que están definidas ciertas ecuaciones integrales que caracterizan el comportamiento físico del problema— en una serie de subdominios no intersectantes entre sí denominados «elementos finitos». El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también denominada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados «nodos». Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito; además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se llama «malla».

Los cálculos se realizan sobre una malla o discretización creada a partir del dominio con programas especiales llamados generadores de mallas, en una etapa previa a los cálculos que se denomina pre-proceso. De acuerdo con estas relaciones de adyacencia o conectividad se relaciona el valor de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de sistema

de ecuaciones lineales (o linealizadas). La matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones de dicho sistema es proporcional al número de nodos.

Típicamente el método de los elementos finitos se programa computacionalmente para calcular el campo de desplazamientos y, posteriormente, a través de relaciones cinemáticas y constitutivas las deformaciones y tensiones respectivamente, cuando se trata de un problema de mecánica de sólidos deformables o más generalmente un problema de mecánica de medios continuos. El método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos (en dos o tres dimensiones). Además el método es fácilmente adaptable a problemas de transmisión de calor, de mecánica de fluidos para calcular campos de velocidades y presiones (mecánica de fluidos computacional, CFD). Dada la imposibilidad práctica de encontrar la solución analítica de estos problemas, con frecuencia en la práctica ingenieril los métodos numéricos y, en particular, los elementos finitos, se convierten en la única alternativa práctica de cálculo.

Una importante propiedad del método es la convergencia; si se consideran particiones de elementos finitos sucesivamente más finas, la solución numérica calculada converge rápidamente hacia la solución exacta del sistema de ecuaciones.

4.2.1 Cómo trabaja el Método de los Elementos Finitos

El MEF usa un complejo sistema de puntos llamados nodos que hacen una red llamada malla. Esta malla está programada para contener el material y las propiedades de la estructura que definen cómo ésta reaccionará ante ciertas condiciones de carga. A los nodos se les asigna una densidad por todo el material dependiendo del nivel de estrés anticipado en un área. Las regiones que recibirán gran cantidad de estrés tienen normalmente una mayor densidad de nodos (densidad de malla) que aquellos que experimentan poco o ninguno. Puntos de interés consisten en: puntos de fractura previamente testeados del material, entrantes, esquinas, detalles complejos, y áreas de elevado estrés.

La malla actúa como la red de una araña en la que desde cada nodo se extiende un elemento de malla a cada nodo adyacente.

Este tipo de red vectorial es la que lleva las propiedades del material al objeto, creando varios elementos.

- Pre proceso
- Calculo
- Pos proceso

Básicamente los pasos a seguir en el análisis de estructuras mediante el método de los desplazamientos a través del MEF son:

- El continuo se divide, mediante líneas o superficies imaginarias en un número de elementos finitos. Esta parte del proceso se desarrolla habitualmente mediante algoritmos incorporados a programas informáticos de mallado durante la etapa de pre proceso.
- Se supone que los elementos están conectados entre sí mediante un número discreto de puntos o “nodos”, situados en sus contornos. Los desplazamientos de estos nodos serán las incógnitas fundamentales del problema, tal y como ocurre en el análisis simple de estructuras por el método matricial.
- Se toma un conjunto de funciones que definan de manera única el campo de desplazamientos dentro de cada “elemento finito” en función de los desplazamientos nodales de dicho elemento.
Por ejemplo el campo de desplazamientos dentro de un elemento lineal de dos nodos podría venir definido por: $u = N_1 u_1 + N_2 u_2$, siendo N_1 y N_2 las funciones comentadas (funciones de forma) y u_1 y u_2 los desplazamientos en el nodo 1 y en el nodo 2.
- Estas funciones de desplazamientos definirán entonces de manera única el estado de deformación del elemento en función de los desplazamientos nodales. Estas deformaciones, junto con las propiedades constitutivas del material, definirán a su vez el estado de tensiones en todo el elemento, y por consiguiente en sus contornos.

- Se determina un sistema de fuerzas concentradas en los nodos, tal que equilibre las tensiones en el contorno y cualesquiera cargas repartidas, resultando así una relación entre fuerzas y desplazamientos de la forma $F = k \cdot u$, que como vemos es similar a la del cálculo matricial.
- La resolución del sistema anterior permite obtener los desplazamientos en los nodos y con ellos definir de manera aproximada el campo de desplazamientos en el elemento finito.
- En la etapa de pos proceso se presentan los resultados, generalmente de forma gráfica para su análisis.

4.2.2 Opciones de los elementos finitos

Un amplio rango de funciones objetivo (variables con el sistema) está disponible para la minimización ó la maximización:

- Masa, volumen, temperatura
- Energía y estrés tensional
- Fuerza, desplazamiento, velocidad, aceleración
- Sintético (definidos por el usuario)

Hay múltiples condiciones de carga que se pueden aplicar al sistema.

Algunos ejemplos son:

- Puntuales, presión, térmicas, gravedad, y cargas centrífugas estáticas

- Cargas térmicas de soluciones del análisis de transmisión de calor
- Desplazamientos forzados
- Flujo de calor y convección
- Puntuales, de presión, y cargas de gravedad dinámicas

Cada programa MEF puede venir con una librería de elementos, o una que es construida con el tiempo. Algunos ejemplos de elementos son:

- Elementos tipo barra
- Elementos tipo viga
- Placa/Cáscara/Elementos compuestos
- Panel de sándwich
- Elementos sólidos
- Elementos tipo muelle
- Elementos de masa
- Elementos rígidos
- Elementos amortiguadores viscosos

Muchos programas MEF también están equipados con la capacidad de usar múltiples materiales en la estructura, como:

- Isotrópicos, homogéneos
- Ortotrópicos, idénticos a 90 grados
- Anisotropía general, heterogéneos

4.2.3 Resultados del MEF

El MEF se ha vuelto una solución para la tarea de predecir los fallos debidos a tensiones desconocidas enseñando los problemas de la distribución de tensiones en el material y permitiendo a los diseñadores ver todas las teóricas tensiones involucradas. Este método de diseño y testado del producto es muy superior a los costes de manufactura que podrían acarrear si actualmente cada ejemplo fuera construido y testado.

Las grandes ventajas del cálculo por ordenador se pueden resumir en:

- Hace posible el cálculo de estructuras que, bien por el gran número de operaciones que su resolución presenta (entramados de muchos pisos, por ejemplo) o por lo tedioso de las mismas (entramados espaciales, por ejemplo) eran, en la práctica, inabordables mediante el cálculo manual.
- En la mayoría de los casos reduce a límites despreciables el riesgo de errores operatorios.

4.3 FORMULACION DEL ELEMENTO FINITO

Para el análisis del tanque cisterna y el chasis, formulamos el método de esfuerzos tridimensionales, en detalle el elemento tetraédrico de cuatro nodos.

Para ello dividiremos el volumen en tetraedros de cuatro nodos. A cada nodo se le asigna un número y se leen las coordenadas x , y , z . En la figura 4.1 se muestra un elemento típico e . La conectividad puede ser definida como se muestra en la tabla 4.1.

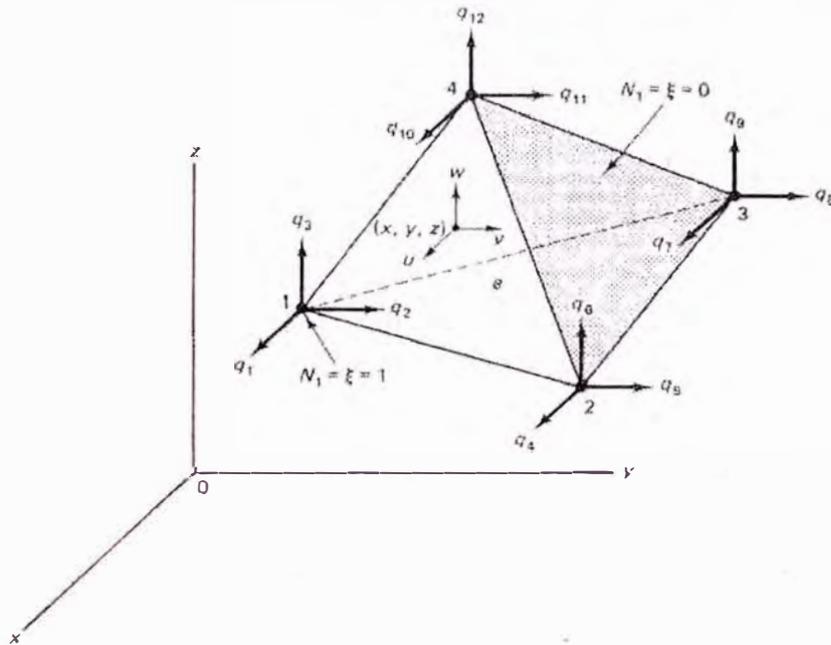


Figura 4.1 Elemento tetraédrico

Tabla 4.1 Conectividad

		Nodos			
Elementos No.	1	2	3	4	
E	I	J	K	L	

A cada nodo local i le asignamos los tres grados de libertad q_{3i-2} , q_{3i-1} , q_{3i} y al correspondiente nodo global I le asignamos Q_{3I-2} , Q_{3I-1} , Q_{3I} . Los vectores de desplazamiento del elemento y global son entonces

$$\mathbf{q} = [q_1 \quad q_2 \quad q_3 \dots q_N]^T \quad (4.1)$$

$$\mathbf{Q} = [Q_1 \quad Q_2 \quad Q_3 \dots Q_N]^T \quad (4.2)$$

Donde N es el número total de grados de libertad de la estructura, a razón de tres por nodo. Definimos las cuatro funciones de forma tipo Lagrange N_1 , N_2 , N_3 y N_4 , donde la función de forma N_i tiene un valor de 1 en el nodo i y es cero en los otros nodos. Específicamente, N_1 es 0 en los nodos 2, 3 y 4 y crece linealmente hasta 1 en el nodo 1. Usando el elemento maestro en la figura 4.2, podemos definir las funciones de forma como

$$N_1 = \xi \quad N_2 = \eta \quad N_3 = \zeta \quad N_4 = 1 - \xi - \eta - \zeta \quad (4.3)$$

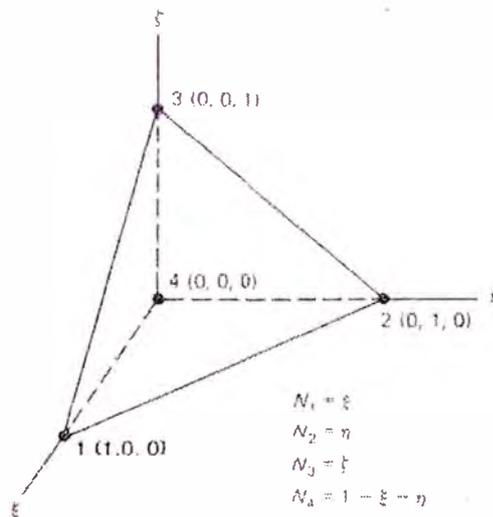


Figura 4.2 Elemento maestro para funciones de forma

Los desplazamientos u, v, w en x pueden escribirse en términos de los valores nodales desconocidos como

$$\mathbf{u} = \mathbf{Nq} \quad (4.4)$$

Donde

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & 0 & N_4 & 0 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & 0 & N_4 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Es fácil ver que las funciones de formas dadas por la ecuación 4.3 pueden usarse para definir las coordenadas x, y, z del punto en el que se interpolan los desplazamientos u, v, w . La transformación isoparamétrica está dada por

$$\begin{aligned} x &= N_1x_1 + N_2x_2 + N_3x_3 + N_4x_4 \\ y &= N_1y_1 + N_2y_2 + N_3y_3 + N_4y_4 \\ z &= N_1z_1 + N_2z_2 + N_3z_3 + N_4z_4 \end{aligned} \quad (4.6)$$

Que, al sustituir los valores de N_i , dados por la ecuación 4.3 y usar la notación $x_{ij} = x_i - x_j, y_{ij} = y_i - y_j, z_{ij} = z_i - z_j$, conduce a

$$\begin{aligned} x &= x_4 + x_{14}\xi + x_{24}\eta + x_{34}\zeta \\ y &= y_4 + y_{14}\xi + y_{24}\eta + y_{34}\zeta \\ z &= z_4 + z_{14}\xi + z_{24}\eta + z_{34}\zeta \end{aligned} \quad (4.7)$$

Usando la regla de la cadena para derivadas parciales, digamos de u , tenemos

$$\begin{pmatrix} \frac{\delta u}{\delta \xi} \\ \frac{\delta u}{\delta \eta} \\ \frac{\delta u}{\delta \zeta} \end{pmatrix} = J \cdot \begin{pmatrix} \frac{\delta u}{\delta x} \\ \frac{\delta u}{\delta y} \\ \frac{\delta u}{\delta z} \end{pmatrix} \quad (4.8)$$

Las derivadas parciales con respecto a ξ , η , ζ están relacionadas entonces con las derivadas x , y , z por medio de la relación anterior. El jacobiano \mathbf{J} de la transformación esta dado por

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\delta x}{\delta \xi} & \frac{\delta x}{\delta \eta} & \frac{\delta x}{\delta \zeta} \\ \frac{\delta y}{\delta \xi} & \frac{\delta y}{\delta \eta} & \frac{\delta y}{\delta \zeta} \\ \frac{\delta z}{\delta \xi} & \frac{\delta z}{\delta \eta} & \frac{\delta z}{\delta \zeta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{14} & y_{14} & z_{14} \\ x_{24} & y_{24} & z_{24} \\ x_{34} & y_{34} & z_{34} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Notamos aquí que

$$\det J = x_{14}(y_{24}z_{34} - y_{34}z_{24}) + y_{14}(z_{24}x_{34} - z_{34}x_{24}) + z_{14}(x_{24}y_{34} - x_{34}y_{24}) \quad (4.10)$$

El volumen del elemento es

$$V_e = \left| \int_0^1 \int_0^{1-\xi} \int_0^{1-\xi-\eta} \det J \, d\xi \, d\eta \, d\zeta \right| \quad (4.11)$$

Como $\det \mathbf{J}$ es constante,

$$V_e = |\det J| \int_0^1 \int_0^{1-\xi} \int_0^{1-\xi-\eta} d\xi \, d\eta \, d\zeta \quad (4.12)$$

Usando la formula polinomial integral

$$\int_0^1 \int_0^{1-\xi} \int_0^{1-\xi-\eta} \xi^m \eta^n \zeta^p d\xi d\eta d\zeta = \frac{m! n! p!}{(m+n+p+3)!} \quad (4.13)$$

Obtenemos

$$V_e = \frac{1}{6} |\det J| \quad (4.14)$$

La relación inversa correspondiente a la ecuación 4.8 está dada por

$$\begin{Bmatrix} \frac{\delta u}{\delta x} \\ \frac{\delta u}{\delta y} \\ \frac{\delta u}{\delta z} \end{Bmatrix} = A \begin{Bmatrix} \frac{\delta u}{\delta \xi} \\ \frac{\delta u}{\delta \eta} \\ \frac{\delta u}{\delta \zeta} \end{Bmatrix} \quad (4.15)$$

Donde A es la inversa de la matriz jacobiana J dada en la ecuación 4.9:

$$A = J^{-1} = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} y_{24}z_{34} - y_{34}z_{24} & y_{34}z_{14} - y_{14}z_{34} & y_{14}z_{24} - y_{24}z_{14} \\ z_{24}x_{34} - z_{34}x_{24} & z_{34}x_{14} - z_{14}x_{34} & z_{14}x_{24} - z_{24}x_{14} \\ x_{24}y_{34} - x_{34}y_{24} & x_{34}y_{14} - x_{14}y_{34} & x_{14}y_{24} - x_{24}y_{14} \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

Usando las relaciones deformación unitario-desplazamiento, la relación entre las derivadas en x, y, z y ξ, η, ζ de la ecuación 4.15 y el campo de desplazamiento $\mathbf{u}=\mathbf{N}\mathbf{q}$ de la ecuación 4.4, obtenemos

$$\boldsymbol{\epsilon} = \mathbf{B}\mathbf{q} \quad (4.17)$$

Donde \mathbf{B} es una matriz (6x12) dada por

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 & A_{12} & 0 & 0 & A_{13} & 0 & 0 & -\bar{A}_1 & 0 & 0 \\ 0 & A_{21} & 0 & 0 & A_{22} & 0 & 0 & A_{23} & 0 & 0 & -\bar{A}_2 & 0 \\ 0 & 0 & A_{31} & 0 & 0 & A_{32} & 0 & 0 & A_{33} & 0 & 0 & -\bar{A}_3 \\ 0 & A_{31} & A_{21} & 0 & A_{32} & A_{22} & 0 & A_{33} & A_{23} & 0 & -\bar{A}_3 & -\bar{A}_2 \\ A_{31} & 0 & A_{11} & A_{32} & 0 & A_{12} & A_{33} & 0 & A_{13} & -\bar{A}_3 & 0 & -\bar{A}_1 \\ A_{21} & A_{11} & 0 & A_{22} & A_{12} & 0 & A_{23} & A_{13} & 0 & -\bar{A}_2 & -\bar{A}_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

Donde $\widetilde{A}_1 = A_{11} + A_{12} + A_{13}$, $\widetilde{A}_2 = A_{21} + A_{22} + A_{23}$ y $\widetilde{A}_3 = A_{31} + A_{32} + A_{33}$. Todos los términos de \mathbf{B} son constantes. La ecuación 4.17 da entonces deformaciones unitarias constantes después de que se calculan los desplazamientos nodales.

Rigidez del elemento

La energía de deformación unitaria del elemento en el potencial total está dada por:

$$\begin{aligned} U_e &= \frac{1}{2} \int_e \boldsymbol{\epsilon}^T \mathbf{D} \boldsymbol{\epsilon} dV = \frac{1}{2} \mathbf{q}^T \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} \mathbf{q} \int_e dV & (4.19) \\ &= \frac{1}{2} \mathbf{q}^T V_e \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} \mathbf{q} \\ &= \frac{1}{2} \mathbf{q}^T \mathbf{k}^e \mathbf{q} \end{aligned}$$

Donde la matriz de rigidez del elemento \mathbf{k}^e está dada por:

$$\mathbf{k}^e = V_e \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} \quad (4.20)$$

Donde V_e es el volumen del elemento dado por $\frac{1}{6} |\det \mathbf{J}|$. En el método de Galerkin, el trabajo virtual interno del elemento resulta ser:

$$\int_e \boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{\epsilon}(\phi) dV = \boldsymbol{\psi}^T V_e \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} \mathbf{q} \quad (4.21)$$

Que da la rigidez del elemento en la ecuación 4.20

Términos de fuerza

El término “potencial” asociado con la fuerza de cuerpo es:

$$\int_e \mathbf{u}^T \mathbf{f} dV = \mathbf{q}^T \iiint \mathbf{N} \mathbf{f} \det \mathbf{J} d\xi d\eta d\zeta \quad (4.22)$$

Usando la fórmula de integración en la ecuación 4.13, tenemos:

$$\mathbf{f}^e = \frac{V_e}{4} [f_x \quad f_y \quad f_z \quad f_x \quad f_y \quad f_z \quad \dots \quad f_z]^T$$

En la ecuación anterior, el vector de fuerza de cuerpo del elemento \mathbf{f}^e es de dimensión 12×1 . Se nota que $V_e f_x$ es la componente x de la fuerza de cuerpo que se distribuye a los grados de libertad q_1, q_4, q_7 y q_{10} .

Consideremos ahora la tracción distribuida uniformemente sobre la superficie de frontera. La superficie de frontera de un tetraedro es un triángulo. Sin pérdida de generalidad, si A_e es la superficie de frontera sobre la que se aplica la tracción, formada por los nodos locales 1, 2 y 3 entonces

$$\int_{A_e} \mathbf{u}^T \mathbf{T} dA = \mathbf{q}^T \int_{A_e} \mathbf{N}^T \mathbf{T} dA = \mathbf{q}^T \mathbf{T}^e \quad (4.23)$$

El vector de carga de tracción en el elemento \mathbf{T}^e está dado por

$$\mathbf{T}^e = \frac{A_e}{3} [T_x \quad T_y \quad T_z \quad T_x \quad T_y \quad T_z \quad T_x \quad T_y \quad T_z \quad 0 \quad 0 \quad 0] \quad (4.24)$$

Las rigideces y fuerzas se agrupan en posiciones globales usando conectividad de los elementos. Las cargas puntuales se agregan en las posiciones apropiadas del vector de fuerza. Las condiciones de frontera se consideran usando el método de penalización y otros. Los métodos de energía y de Galerkin dan el conjunto de ecuaciones

$$\mathbf{KQ} = \mathbf{F} \quad (4.25)$$

4.3.1 Calculo de los esfuerzos

Después de resolver las ecuaciones anteriores pueden obtenerse de los desplazamientos \mathbf{q} nodales del elemento. Como $\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{D}\boldsymbol{\epsilon}$ y $\boldsymbol{\epsilon} = \mathbf{B}\mathbf{q}$, los esfuerzos del elemento están dados por:

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{DBq} \quad (4.26)$$

Los tres esfuerzos principales pueden calcularse usando las relaciones dadas abajo. Los tres invariantes del tensor esfuerzo (3 x 3) son:

$$\begin{aligned} I_1 &= \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \\ I_2 &= \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_x\sigma_z - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2 - \tau_{xy}^2 \\ I_3 &= \sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{yz}\tau_{xz}\tau_{xy} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{xz}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2 \end{aligned} \quad (4.27)$$

Definimos

$$\begin{aligned} a &= \frac{I_1^2}{3} - I_2 \\ b &= -2\left(\frac{I_1}{3}\right)^3 + \frac{I_1 I_2}{3} - I_3 \\ c &= 2\sqrt{\frac{a}{3}} \\ \theta &= \frac{1}{3} \cos^{-1} \left(-\frac{3b}{ac} \right) \end{aligned} \quad (4.28)$$

Los esfuerzos principales están dados por

$$\sigma_1 = \frac{I_1}{3} + c \cos \theta$$

$$\sigma_2 = \frac{I_1}{3} + c \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (4.29)$$

$$\sigma_3 = \frac{I_1}{3} + c \cos\left(\theta + \frac{4\pi}{3}\right)$$

4.3.2 Diseño de la malla

Si bien las regiones tridimensionales complejas pueden llenarse en forma efectiva por elementos tetraédricos, en forma similar a como llenan los elementos triangulares una región bidimensional, es tedioso llevar a cabo la preparación manual de datos. Para superar esto en regiones simples, es más fácil dividir las regiones en bloques de ocho nodos. Consideramos el cubo maestro en la figura 4.3. El cubo puede dividirse en cinco tetraedros, como se muestra en la figura 4.4, con las conectividades como se dan en la tabla 4.2.

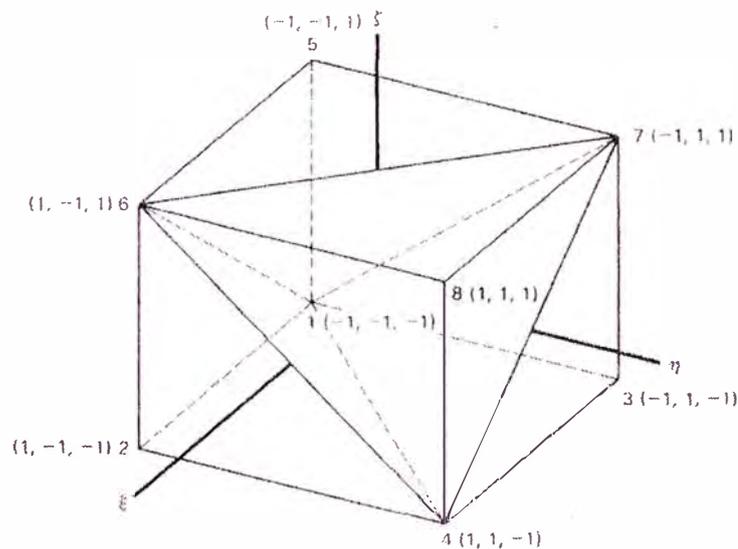
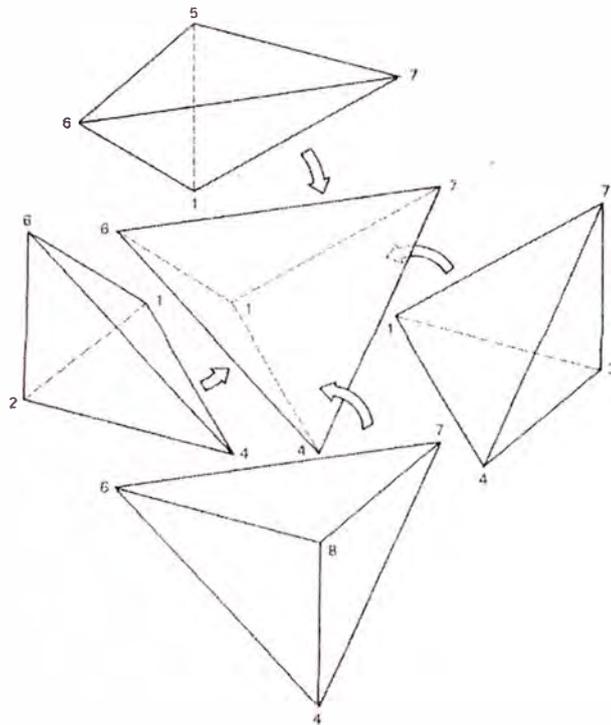


Figura 4.3 Cubo para división en tetraedros

Tabla 4.2 Cinco Tetraedros

Elemento No.	Nodos			
	1	2	3	4
1	1	4	2	6
2	1	4	3	7
3	6	7	5	1
4	6	7	8	4
5	1	4	6	7

En la división anterior, los primeros cuatro elementos son de igual volumen y el quinto elemento tiene dos veces el volumen de los otros. En este caso, debe tenerse cuidado de que concuerden los bordes de los elementos de bloques adyacentes.

**Figura 4.4** División de un cubo en cinco tetraedros

El cubo maestro también puede dividirse en 6 elementos de igual volumen. En la tabla 4.3 se presenta una división típica. La división del elemento de la mitad del cubo se muestra en la figura 4.5. Para la división mostrada en la tabla 4.3 se repite el mismo patrón de división para elementos adyacentes.

Tabla 4.3 Seis Tetraedros

Elemento No.	Nodos			
	1	2	3	4
1	1	2	4	8
2	1	2	8	5
3	2	8	5	6
4	1	3	4	7
5	1	7	8	5
6	1	8	4	7

El uso del $\det \mathbf{J}$ en el cálculo de \mathbf{B} en la ecuación 4.17 y el uso de $|\det J|$ en la estimación del volumen del elemento V_e nos permite usar los números nodales del elemento en cualquier orden.

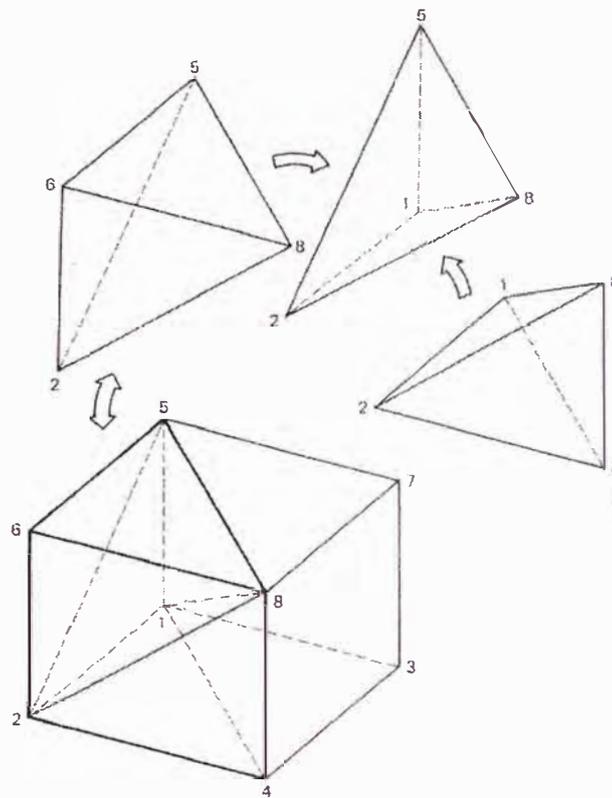


Figura 4.5 División de un cubo en seis tetraedros

Entre los elementos sólidos, esto es válido para tetraedros de cuatro nodos, ya que cada nodo está conectado a los otros tres. Algunos programas pueden necesitar esquemas de numeración consistentes, es por ello que su elección es de gran importancia para validar los resultados.

4.3.3 Elementos hexaédricos y elementos de orden superior

Para definir la conectividad en los elementos hexaédricos debe seguirse un esquema consistente de numeración de nodos. Para un hexaedro o elemento ladrillo de ocho nodos, consideramos el mapeo

sobre un cubo con lado de 2 unidades colocando simétricamente con coordenadas ξ , η , ζ , como se muestra en la figura 4.6. El elemento correspondiente en dos dimensiones es el cuadrilátero de cuatro nodos.

Sobre el cubo maestro, las funciones de forma de Lagrange pueden escribirse como

$$N_i = \frac{1}{8} (1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(1 + \zeta_i \zeta) \quad (4.30)$$

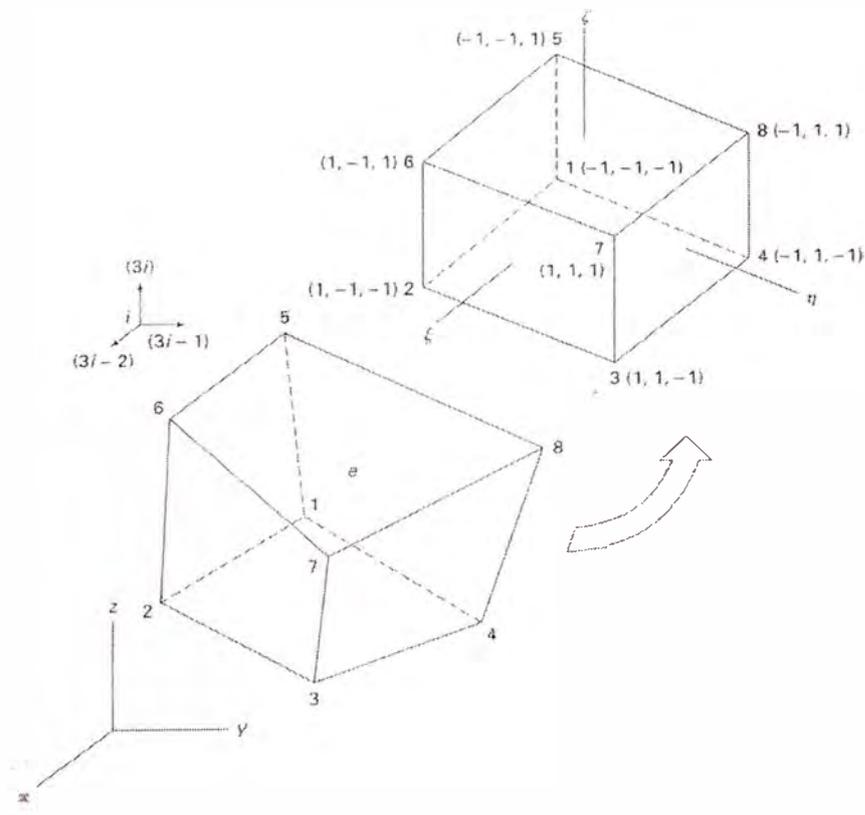


Figura 4.6 Elemento hexaédrico

Donde (ξ_i, η_i, ζ_i) representa las coordenadas del nodo i del elemento en el sistema (ξ, η, ζ) . Los desplazamientos nodales del elemento están representados por el vector

$$\mathbf{q} = [q_1 \quad q_2 \quad \cdots \quad q_{24}]^T \quad (4.31)$$

Usamos las funciones de forma N_i para definir los desplazamientos en cualquier punto dentro del elemento en términos de sus valores nodales:

$$\begin{aligned} u &= N_1 q_1 + N_2 q_4 + \cdots + N_8 q_{22} \\ v &= N_1 q_2 + N_2 q_5 + \cdots + N_8 q_{23} \\ w &= N_1 q_3 + N_2 q_6 + \cdots + N_8 q_{24} \end{aligned} \quad (4.32)$$

También,

$$\begin{aligned} x &= N_1 x_1 + N_2 x_2 + \cdots + N_8 x_8 \\ y &= N_1 y_1 + N_2 y_2 + \cdots + N_8 y_8 \\ z &= N_1 z_1 + N_2 z_2 + \cdots + N_8 z_8 \end{aligned} \quad (4.33)$$

Siguiendo los pasos usados en el desarrollo del elemento cuadrilátero, podemos obtener las deformaciones unitarias en la forma

$$\boldsymbol{\epsilon} = \mathbf{B}\mathbf{q} \quad (4.34)$$

La matriz de rigidez del elemento está dada por

$$\mathbf{k}^e = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} |\det \mathbf{J}| d\xi d\eta d\zeta \quad (4.35)$$

Donde hemos usado $dV = |\det J| d\xi d\eta d\zeta$ y J es la matriz jacobiana de (3 x3). La integración en la ecuación 4.35 se lleva a cabo numéricamente usando la cuadratura de Gauss.

4.4 MODELAMIENTO DE FUERZAS Y PRESIONES APLICADAS A LA ESTRUCTURA DE LA CISTERNA

Para el modelamiento del tanque cisterna y el chasis, debemos calcular las fuerzas y presiones ejercidas en su superficie, para esto crearemos un modelo físico-matemático en función de las propiedades de la carga, en este caso es diesel 2, otro factor importante es el propio peso de la estructura el cual se tendrán a deformar por efectos de la gravedad, y fuerzas externas que actúan para producir el movimiento del tanque, el cual es transmitido por el camión por medio de su tornamesa al King Pin. También se moldeará las fuerzas que ejerce el fluido hacia las mamparas o rompeolas, esto garantizará el correcto diseño y seguridad de la estructura.

Los elementos a modelar son:

- Tanque y chasis
- Plancha del King Pin
- Mamparas o rompeolas

Posteriormente estaremos listos para efectuar el análisis por elementos finitos, eligiendo correctamente el programa de simulación, en base a sus ventajas y limitaciones existentes en el mercado.

Cabe recalcar que la mayor deformación y esfuerzos se deben al peso de la carga y no a la presión hidrostática generada por esta, y se demostrara a continuación.

4.4.1 Modelamiento Fisicomatemático del tanque y chasis

Como el tanque es un gran recipiente que contiene diesel, este fluido genera fuerzas debido a la masa y presiones hidrostáticas contra las paredes del tanque.

Estas fuerzas y presiones están directamente relacionadas a la geometría del tanque, lo cual será nuestro punto de partida en el cálculo de estas.

Analizaremos cada uno de estos efectos y daremos las ecuaciones necesarias para su definición fisicomatemática.

Para un caso en general en la figura 4.7, se muestra las fuerzas generadas en las caras sumergidas.

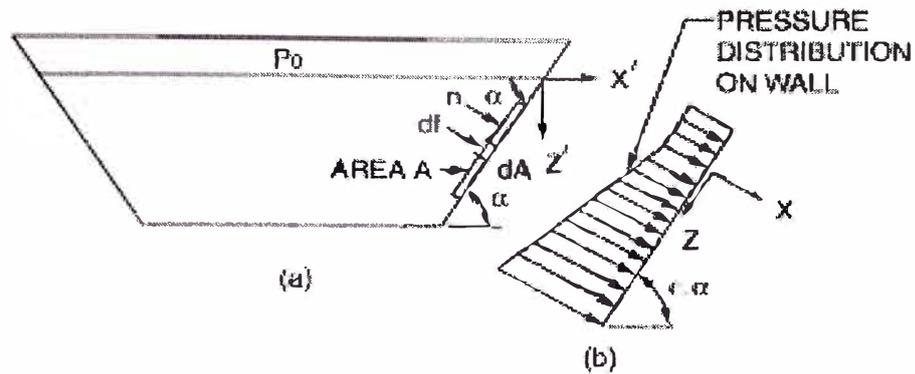


Figura 4.7 Fuerzas en las caras sumergidas, a) Caras planas sumergidas, b) Distribución de presiones

La presión en un punto a la distancia debajo de la superficie Z'

$$p = p_o + \gamma Z', \quad \text{para } Z' \geq 0 \quad (4.36)$$

Si el tanque está abierto a la atmosfera, el efecto de p_o puede ser ignorado.

Las coordenadas del centro de presiones CP son:

$$y^* = \frac{(\gamma I_{y_c z_c} \sin \alpha)}{p_c A} \quad (4.37)$$

$$z^* = \frac{(\gamma I_{y_c} \sin \alpha)}{p_c A}$$

y^* = La distancia y del centro (C) de área (A) al centro de presión.

z^* = La distancia z del centro (C) de área (A) al centro de presión.

I_{y_c} y $I_{y_c z_c}$ = El momento y el producto de inercia de las áreas.

p_c = La presión en el centro del área (A)

Z_c = La distancia inclinada de la superficie del agua al centro (C) de área (A).

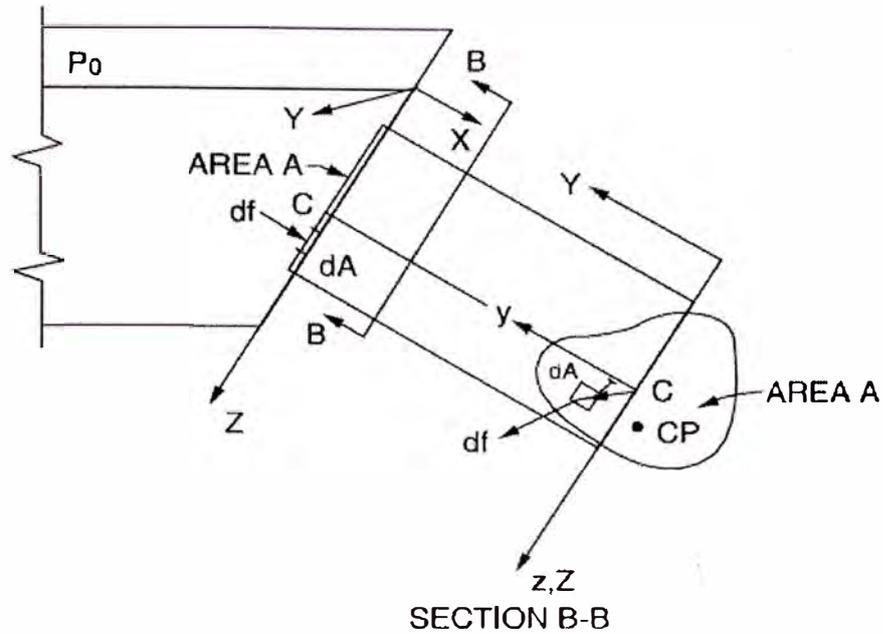


Figura 4.8 Sección B-B

Si la superficie está abierta a la atmósfera, entonces de la ecuación 4.36:

$$p_o = 0 \text{ y } p_c = \gamma Z_c \sin \alpha \quad (4.38)$$

$$y^* = \frac{I_{y_c z_c}}{AZ_c}$$

$$z^* = \frac{I_{y_c}}{AZ_c}$$

La fuerza en la placa puede ser computado como

$$\mathbf{F} = \left[p_1 A_v + \frac{(p_2 - p_1) A_v}{2} \right] \mathbf{i} + V_f \gamma_f \mathbf{j} \quad (4.39)$$

F = Fuerza en la placa.

p_1 = Presión en el borde superior de la placa.

p_2 = Presión en el borde inferior de la placa.

A_v = Vertical proyección de la placa.

V_f = Volumen de la columna del fluido encima de la placa.

γ_f = Volumen específico del fluido.

Calculando las fuerzas verticales:

1) Ubicando los orígenes de coordenadas del 1 al 9, figura 4.9, según la

g

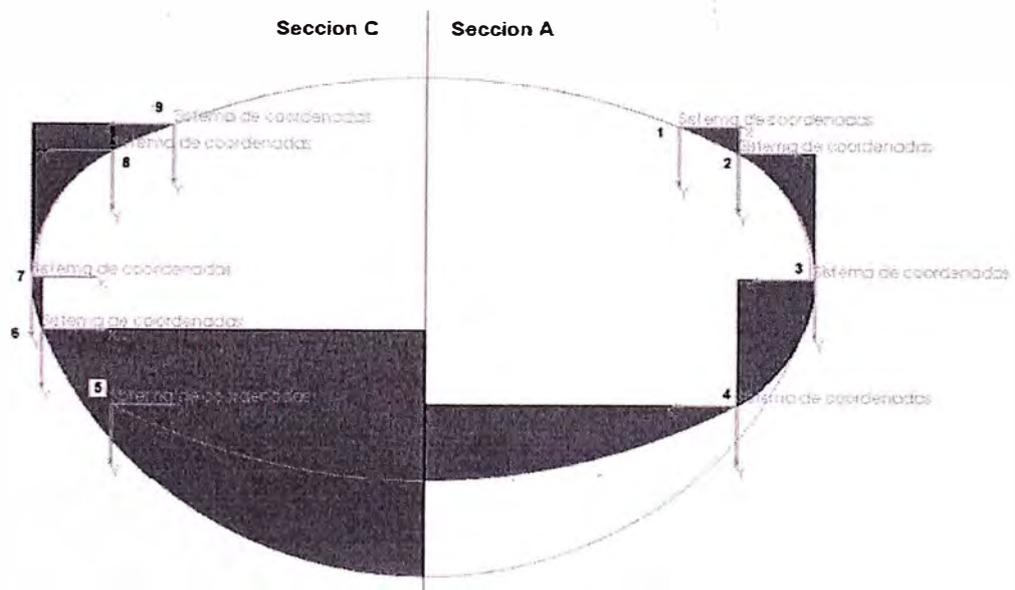


Figura 4.9 Orígenes de Coordenadas

La figura observamos que para la Sección A (ver **Figura 3.1**) sus puntos son: 1, 2, 3 y 4 para la Sección C los puntos a tomar son: 9, 8, 7, 6 y 5 en el caso de la Sección B, se tomara una aproximación la cual asumiremos que la Sección B es igual a la C, para mayor compresión ver la **Figura 4.10**.

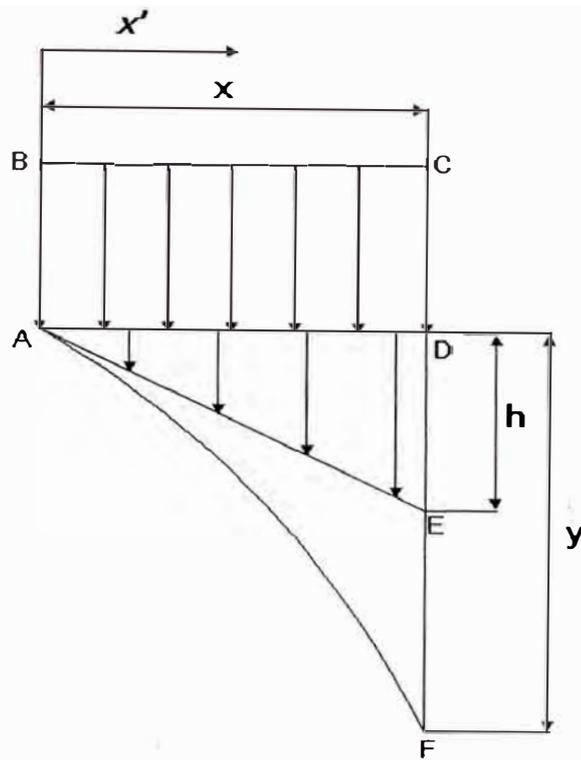


Figura 4.10 Modelo de distribución de fuerzas

Donde:

Área= Área del sector ADF

Y carga Fija = Es la carga producida por la distancia CD

$$\frac{h \cdot x}{2} = \text{Area} \cdot \text{Longitud} \cdot \rho \cdot g \quad (4.40)$$

$$h = \frac{2 \cdot \text{Area} \cdot \text{Longitud} \cdot \rho \cdot g}{x} \quad (4.41)$$

$$F(x') = \frac{h}{x} x' \quad (4.42)$$

Carga Fija

$$= x \cdot Y_{\text{carga fija}} \cdot \text{Longitud} \cdot \rho \cdot g \quad (4.43)$$

Tabla 4.4 Cargas Verticales Sección A

	SECCION A	AREA (m2)	X (m)	Y (m)	Y carga fija (m)	h	F(x')	Carga fija
	ARRIBA A							
	BAJO	0.007	0.168	0.081	0.000	1517.932	9015.959	0.000
Longitud (m)	2.280	0.025	0.224	0.379	0.081	4263.972	18995.091	356.100
	2.280	0.060	0.224	0.379	0.460	10510.987	46824.218	2014.423
	2.280	0.136	0.886	0.227	0.839	5969.251	6736.212	14498.468

Tabla 4.5 Cargas Verticales Sección C

	SECCION C	AREA (m2)	X (m)	Y (m)	Y carga fija (m)	h	F(x)	Carga fija
	ARRIBA							
	A BAJO	0.007	0.168	0.081	0.000	4213.438	25103.261	0.000
Longitud (m)	6.350	0.025	0.225	0.379	0.081	11876.317	52878.053	988.857
	6.350	0.003	0.029	0.157	0.460	11412.748	387242.717	735.893
	6.350	0.579	1.081	0.739	0.616	58222.525	53872.152	36178.136

Calculando las fuerzas horizontales:

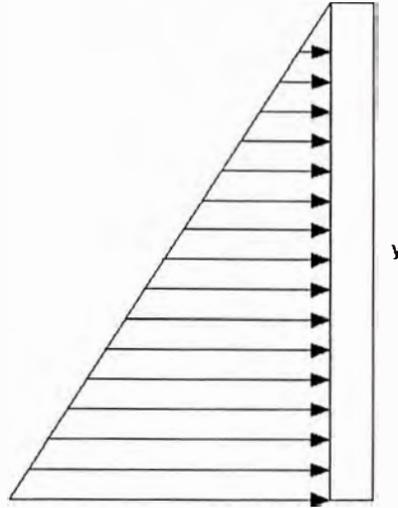


Figura 4.11 Distribución de presión hidrostática

La presión hidrostática está directamente relacionada a la altura, densidad y la gravedad

Según la ecuación 4.39 tenemos:

$$P = \rho \cdot g \cdot y \quad (4.44)$$

$$P = 872.2 \times 9.81 \cdot y \quad (4.45)$$

$$P = 8556.28y \text{ Pa} \quad (4.46)$$

4.4.2 Modelamiento Fisicomatemático de la plancha King Pin

Para determinar las fuerzas que se ejercen en la plancha King Pin que son F_1 , R_1 hay que hacer un diagrama de cuerpo libre (DCL) de la cisterna, debido al peso total que se distribuye en los puntos de apoyo de la suspensión, ver **Figura 4.10**

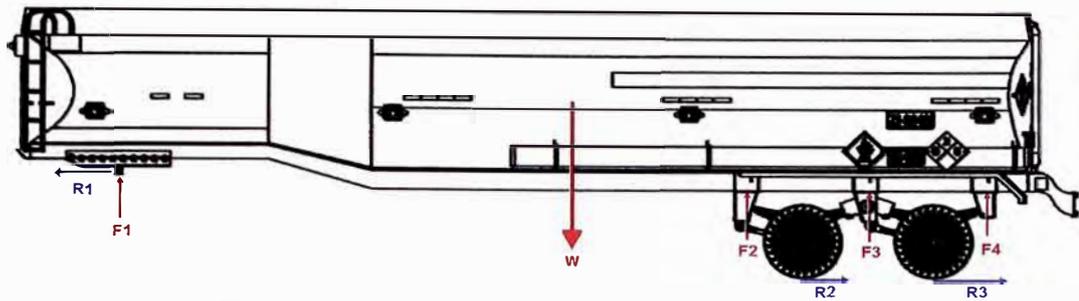


Figura 4.10 Diagrama de cuerpo libre

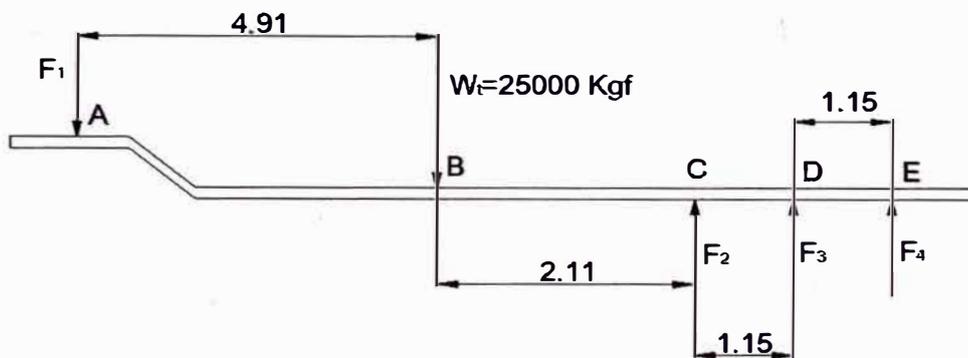


Figura 4.11 Diagrama de fuerzas verticales

Por condición de equilibrio $\sum F = 0$, $M = 0$

Dato $W = 25000$ Kgf

$$\sum F = 0 \quad 25000 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \quad (4.47)$$

$$M_A = 0 \quad 122750 = 0 \cdot F_1 + 7.02F_2 + 8.17F_3 + 9.32F_4 \quad (4.48)$$

$$M_C = 0 \quad 52750 = 7.02F_1 + 0F_2 - 1.15F_3 - 2.3F_4 \quad (4.49)$$

$$M_D = 0 \quad 81500 = 8.17F_1 + 1.15F_2 + 0F_3 - 1.15F_4 \quad (4.50)$$

Resolviendo las ecuaciones 4.47, 4.48, 4.49 y 4.50 tenemos:

$$F_1 = 9788.56 \text{ Kgf}$$

$$F_2 = 5734.59 \text{ Kgf}$$

$$F_3 = 5070.48 \text{ Kgf}$$

$$F_4 = 4406.37 \text{ Kgf}$$

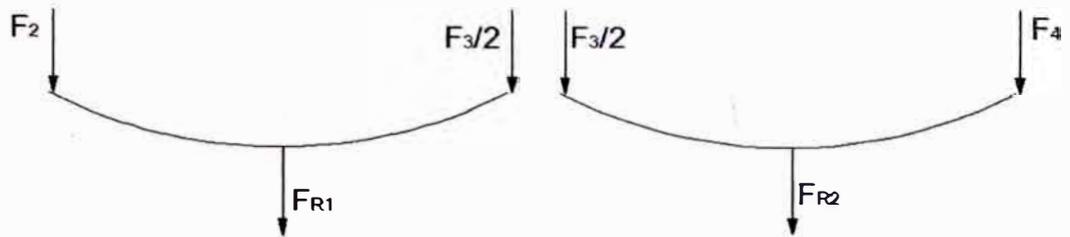


Figura 4.12 Distribución de fuerzas en los muelles

Calculando R_1 , R_2 y R_3

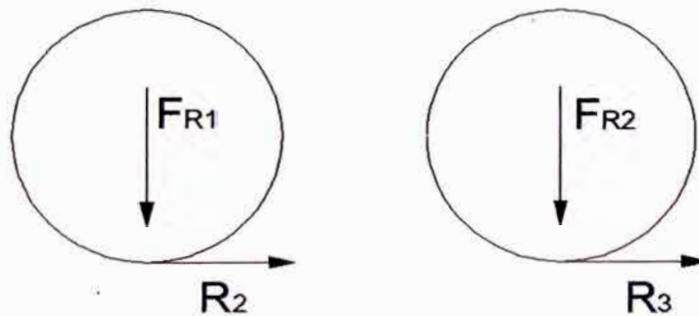


Figura 4.13 Fuerza producidas el rozamiento

$$R_2 = (F_2 + \frac{F_3}{2})\mu \quad (4.51)$$

$$R_3 = (F_4 + \frac{F_3}{2})\mu \quad (4.52)$$

$$\mu = 0.6 \text{ Coeficiente de rozamiento caucho - asfalto} \quad (4.53)$$

Remplazando los valores en las ecuaciones 4.51 y 4.52 obtenemos:

$$R_2 = (8081.16)0.6$$

$$R_2 = 4848.70 \text{ Kgf}$$

$$R_3 = 4164.97 \text{ Kgf}$$

$$R_1 = R_2 + R_3 \quad (4.54)$$

$$R_1 = 9013.67 \text{ Kgf}$$

4.4.3 Modelamiento fisicomatemático de las mamparas y tapas.

Será un estudio que simulará una desaceleración brusca al momento de frenar, considerando una desaceleración equivalente a 0.3 veces el valor de la gravedad.

El Segundo será un estudio de máxima aceleración igual a 0.2 veces el valor de la gravedad.

$$a_{desaceleración} = 0.3g \quad (4.55)$$

$$Fuerza = masa * aceleración \quad (4.56)$$

$$F_{desaceleración} = 19807.66Kg * 0.3 * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{desaceleración} = 19807.66Kg * 0.3 * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{desaceleración} = 58234.52N$$

Como la $F_{desaceleración}$ se va a distribuir en las 5 mamparas y en cualquiera de las tapas, entonces la $F_{desaceleración}$ se divide entre 6.

$$F_{desace. \text{ en la mampara}} = \frac{58234.52N}{6}$$

$$F_{desace. \text{ en la mampara}} = 9705.75N = 990.38Kgf \quad (4.57)$$

Como la $F_{aceleración}$ se va a distribuir en las 5 mamparas y en cualquiera de las tapas, entonces la $F_{desaceleración}$ se divide entre 6.

$$a_{aceleración} = 0.2g$$

$$F_{aceleración} = 19807.66Kg * 0.2 * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{aceleración} = 38823.01N$$

$$F_{acele. \text{ en la mampara}} = \frac{38823.01N}{6}$$

$$F_{acele. \text{ en la mampara}} = 6470.50N = 660.26Kgf \quad (4.58)$$

4.5 TEORIA DE FALLO POR EL METODO DE VON MISES

Este criterio puede considerarse un refinamiento del criterio de Tresca. El criterio de la máxima energía de distorsión fue formulado primeramente por Maxwell en 1865¹ y más tarde también mencionado por Huber² (1904). Sin embargo, fue con el trabajo de Richard Edler von Mises (1913) que el criterio alcanzó notoriedad, a veces se conoce a esta teoría de fallo elástico basada en la tensión de Von Mises como teoría de Maxwell-Huber-Hencky-von Mises.

El vocablo “Distorsión” significa cambio de forma; veamos en primer lugar cierta propiedad de los estados de esfuerzos (tensores):

El cambio de volumen del punto orientado es:

$$\Delta vol = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad (4.59)$$

$$u = \frac{1}{2}(\sigma_1 \varepsilon_1 + \sigma_2 \varepsilon_2 + \sigma_3 \varepsilon_3) \quad (4.60)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}(\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3))$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E}(\sigma_2 - \mu(\sigma_1 + \sigma_3)) \quad (4.61)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E}(\sigma_3 - \mu(\sigma_1 + \sigma_2))$$

Utilizando las expresiones 4.61, tendremos:

$$\Delta vol = \frac{1 - 2\mu}{E}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = \frac{1 - 2\mu}{E} I_1 \quad (4.62)$$

Donde I_1 es el primer invariante del estado de esfuerzos.

La propiedad aludida anteriormente es la siguiente: Según 4.62, si el primer invariante de un determinado estado de esfuerzos es nulo, dicho estado no producirá ningún cambio de volumen en el punto orientado en el cual actúa; únicamente produce distorsión.

Otra propiedad de los tensores consiste en que si las tres componentes principales son iguales entre sí, el círculo de Mohr se reducirá a un punto (radio cero) y el efecto sobre el punto orientado será el cambio de volumen sin cambiar la forma. A estos tensores se les denomina “Esféricos” porque su imagen geométrica (elipsoide) es una esfera.

Todo tensor se puede descomponer en dos tensores; uno esférico y el otro distorsionador (produce cambio de forma exclusivamente) tal como se indica a continuación:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_1 - \sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 - \sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 - \sigma_m \end{bmatrix}$$

El primer invariante del estado distorsionador debe ser nulo:

$$(\sigma_1 - \sigma_m) + (\sigma_2 - \sigma_m) + (\sigma_3 - \sigma_m) = 0$$

De lo cual se puede deducir la componente del estado esférico:

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 - 3\sigma_m = 0$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

$$u = u_v + u_D \quad (4.63)$$

Donde:

u = Energía de de deformación

u_v = Energía de cambio de volumen

u_D = Energía de distorsión

La energía de distorsión se puede obtener por diferencia según la ecuación

4.63.

$$u_D = u - u_v \quad (4.64)$$

La expresión 4.64 del criterio anterior teníamos:

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

Haciendo todos los esfuerzos iguales a σ_m en la expresión anterior, obtendremos la energía de cambio de volumen (estado esférico):

$$u_v = \frac{1 - 2\mu}{2E} (3\sigma_m^2)$$

Reemplazando estas dos últimas expresiones en 4.64, tomando en cuenta además, la equivalencia de σ_m , obtendremos:

$$u_D = \frac{1 + \mu}{3E} \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}{2} \right] \quad (4.65)$$

En el ensayo del material:

$$u_D' = \frac{1 + \mu}{2E} \sigma^2 \quad (4.66)$$

El criterio afirma que no habrá falla si:

$$u_D \leq u_D' \quad \text{cuando } \sigma = S_y \quad (4.67)$$

Comparando con la definición original:

Obtendremos

$$\sigma = \sqrt{\left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}{2} \right]}$$

En el estado plano:

$$\sigma_e^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2$$

También (en una dirección arbitraria):

$$\sigma_e^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2$$

Corte puro:

$$\sigma_e = \sqrt{3}\tau_c$$

De lo cual obtenemos:

$S_{sy} = 0.577S_y$ Esta proporción es la que más se acerca a la realidad.

4.6 SOFTWARE PARA ANALISIS DE ELEMENTOS FINITOS

Para el análisis de esfuerzos y deformaciones por el método de elementos, la elección del software correcto de simulación es primordial ya que validara el diseño dando las pautas para su fabricación.

Entre los software de análisis por elementos finitos tenemos:

- ANSYS
- Pro/ENGINEER
- Nastran (basados en códigos desarrollados por la NASA)
- SolidWorks Simulation
- Femap
- OpenFEM

Entre los software mencionados el SolidWorks Simulation es el más versátil, confiable y exacto de estos, además su aplicación en el mercado del diseño es ampliamente conocido.

Es por esto que el software a usar será el SolidWorks Simulation Premium 2009 Service Pack 3, aquí algunas de sus características:

SolidWorks Simulation Premium, uno de los más completos y sofisticados paquetes de análisis de elementos finitos (FEA) disponibles en el mercado, ofrece total integración con el software CAD de SolidWorks.

Ponga las más avanzadas herramientas de validación al alcance de sus equipos de diseño a un coste muy inferior al de la mayoría de programas FEA de gama alta.

Cualquier ingeniero podrá utilizar SolidWorks Simulation Premium para llevar a cabo complejas tareas de validación de diseños, como por ejemplo:

- Estudiar el rendimiento de sus diseños para comprobar si hay deformaciones o tensiones excesivas con cargas dinámicas
- Llevar a cabo análisis no lineales, incluido el impacto en plásticos, gomas, polímeros y espuma.
- Llevar a cabo análisis de contacto acoplados con materiales no lineales.
- Evaluar el comportamiento de materiales compuestos

Validación del Diseño	SolidWorks Premium	SolidWorks Simulation Professional	SolidWorks Simulation Premium	SolidWorks Flow Simulation
Validación de tolerancia al apilado	✓			
Simulación de ensamblajes	✓	✓	✓	
Simulación de mecanismos	✓	✓	✓	
Simulación de estructuras soldadas	✓	✓	✓	
Predicción de errores del producto		✓	✓	
Comparación y optimización de alternativas		✓	✓	
Simulación de vibraciones		✓	✓	
Predicción de pandeo y contracción		✓	✓	
Simulación de calentamiento o enfriamiento		✓	✓	
Simulación de estudios de choque o fallos de producción		✓	✓	
Simulación de cargas repetitivas		✓	✓	
Dinámica no lineal			✓	
Simulación de piezas de plástico			✓	
Simulación de flujo de fluidos				✓

Figura 4.14 Características del SolidWorks Simulation Premium

4.7 SIMULACION DE LA ESTRUCTURA DEL TANQUE CON EL SOLIDWORKS SIMULATION

Ya definimos las fuerzas que se producen debido a la carga en el punto 4.4 Modelamiento de fuerzas y presiones aplicadas a la estructura de la cisterna, además definimos que todo el material a usar es el acero ASTM A36, con estos datos podemos empezar el análisis.

4.7.1 Geometría del modelo

Se deberá realizar la definición de la geometría como un croquis en 3D, donde después se dará las fuerzas aplicadas.

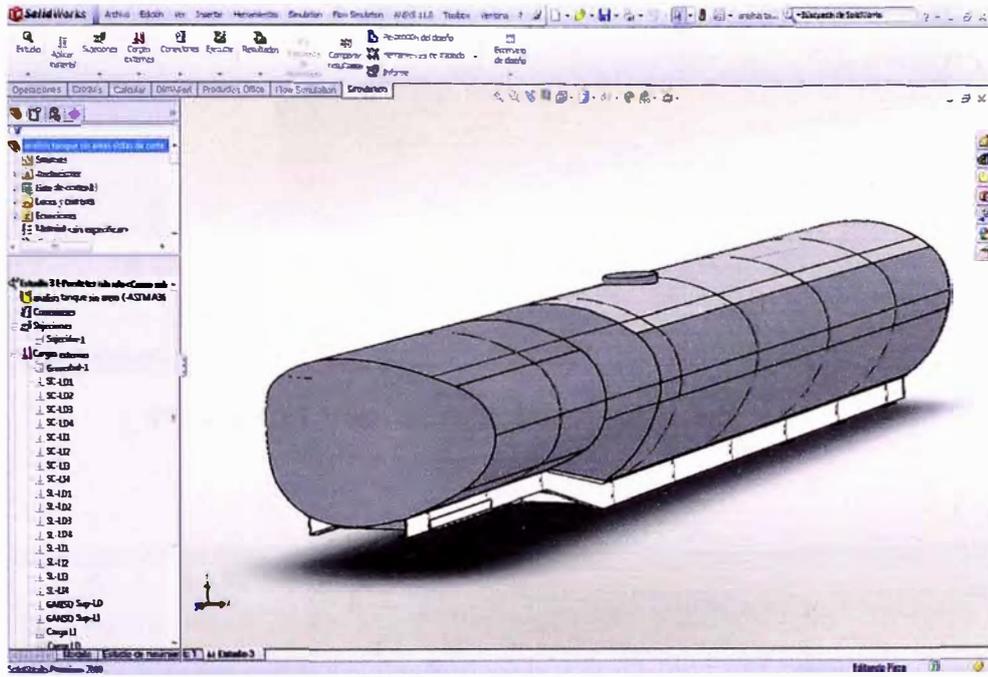


Figura 4.15 Vista del tanque con el chasis

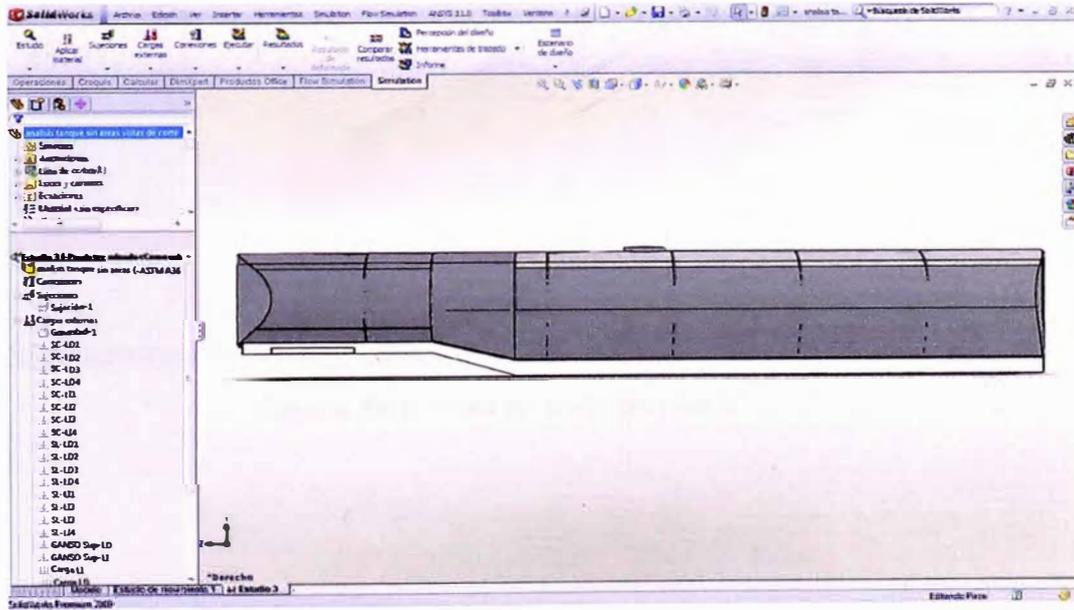


Figura 4.16 Vista Lateral del tanque

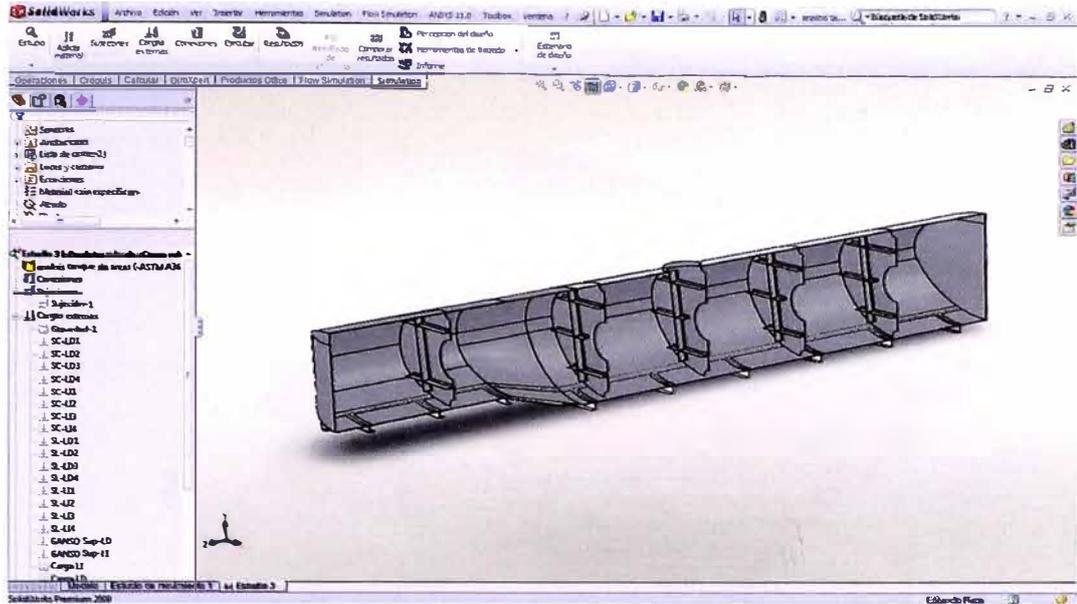


Figura 4.17 Vista en corte lateral del tanque

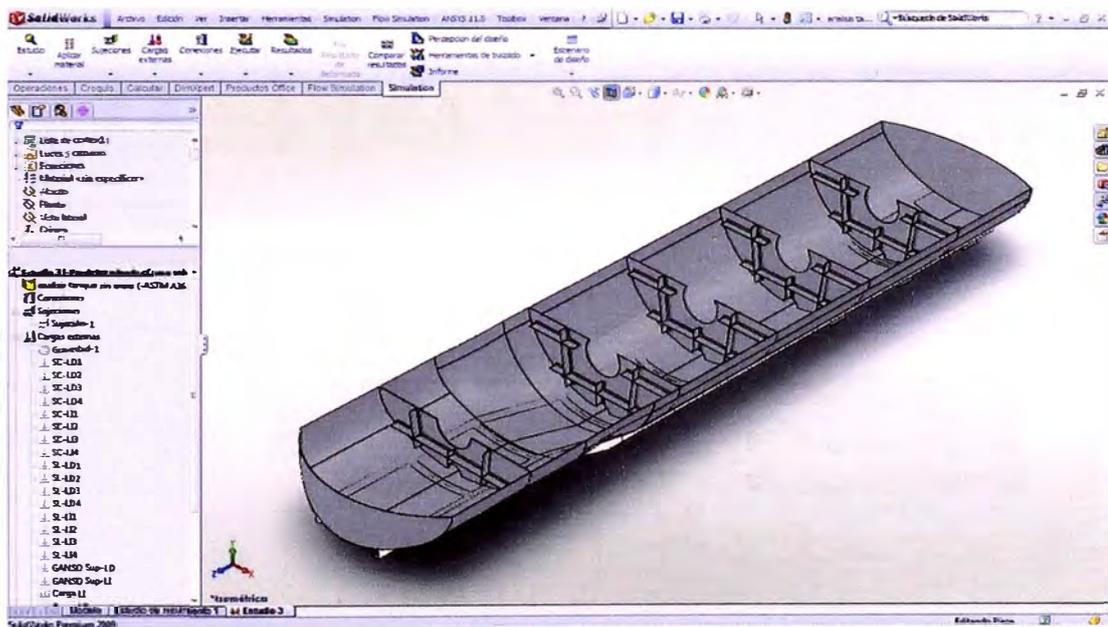


Figura 4.18 Vista en corte de planta

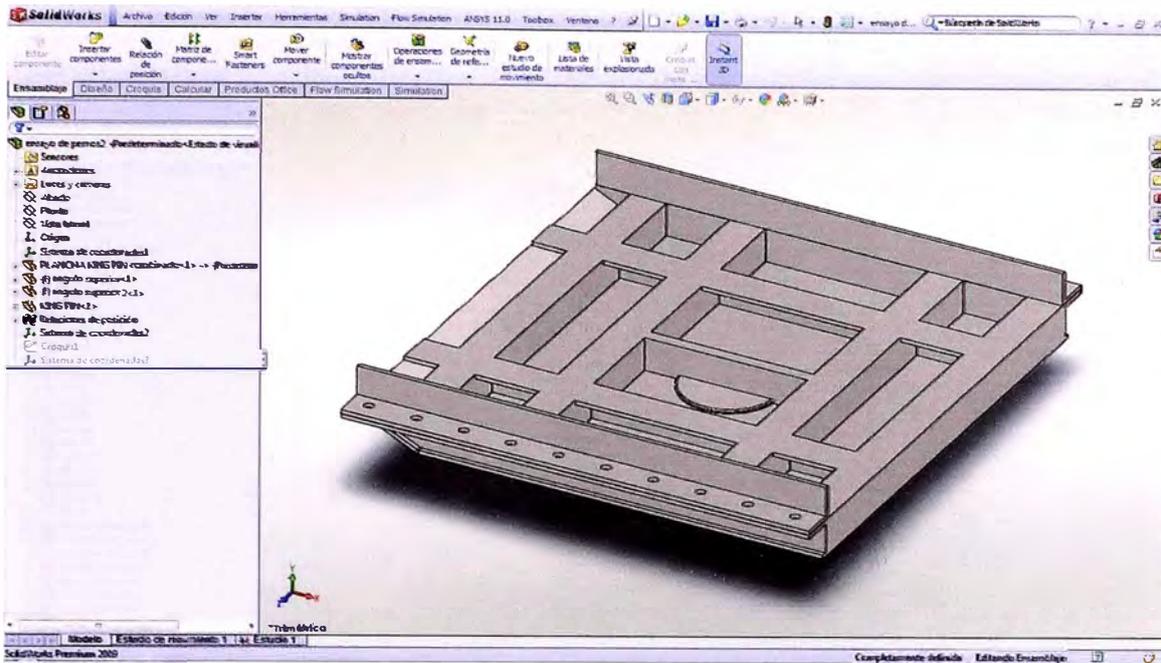


Figura 4.19 Vista de la plancha King Pin

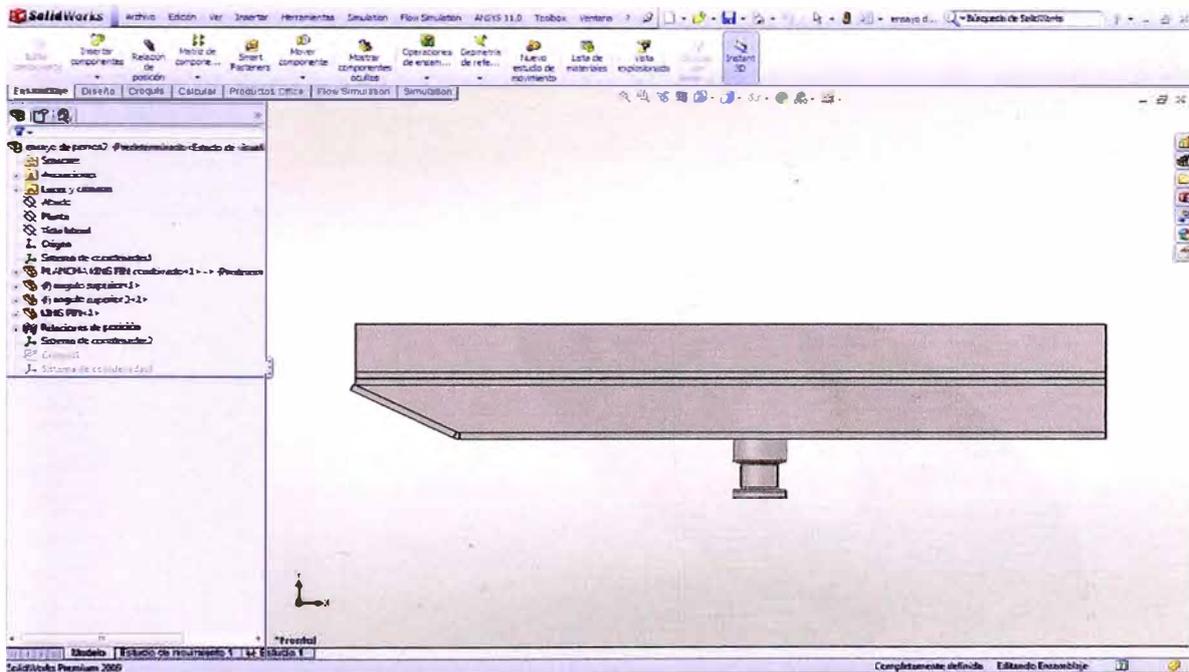


Figura 4.20 Vista de lateral plancha King Pin

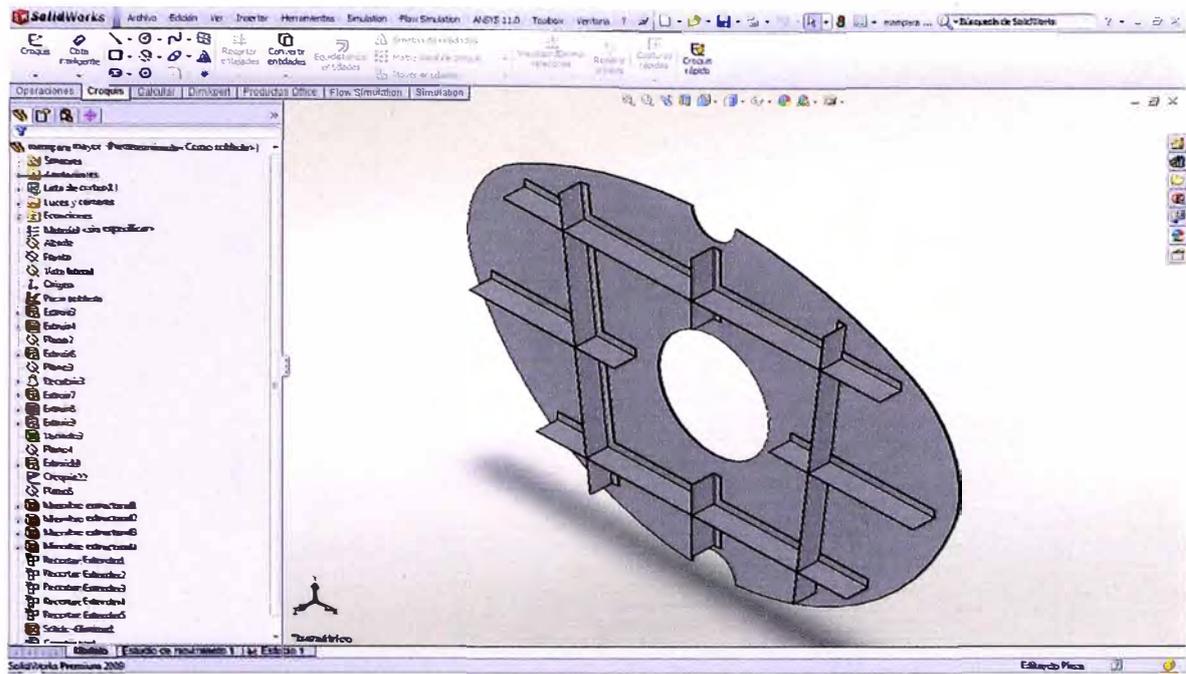


Figura 4.21 Vista de la mampara mayor

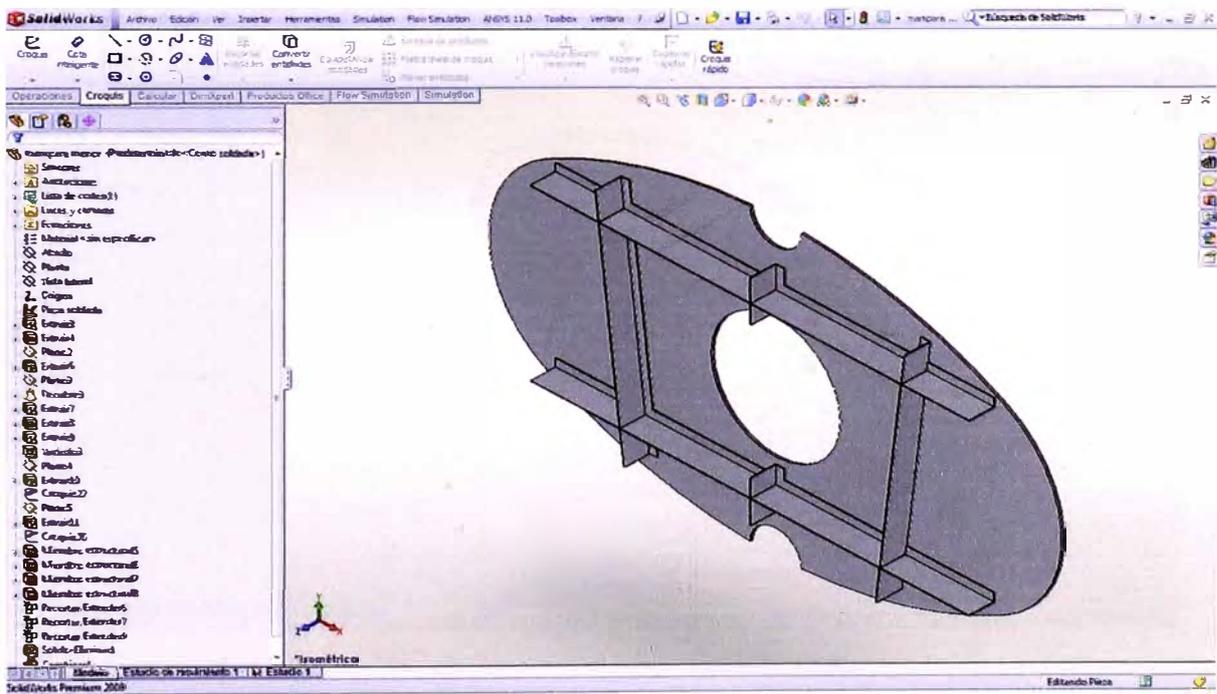


Figura 4.22 Vista de la mampara menor

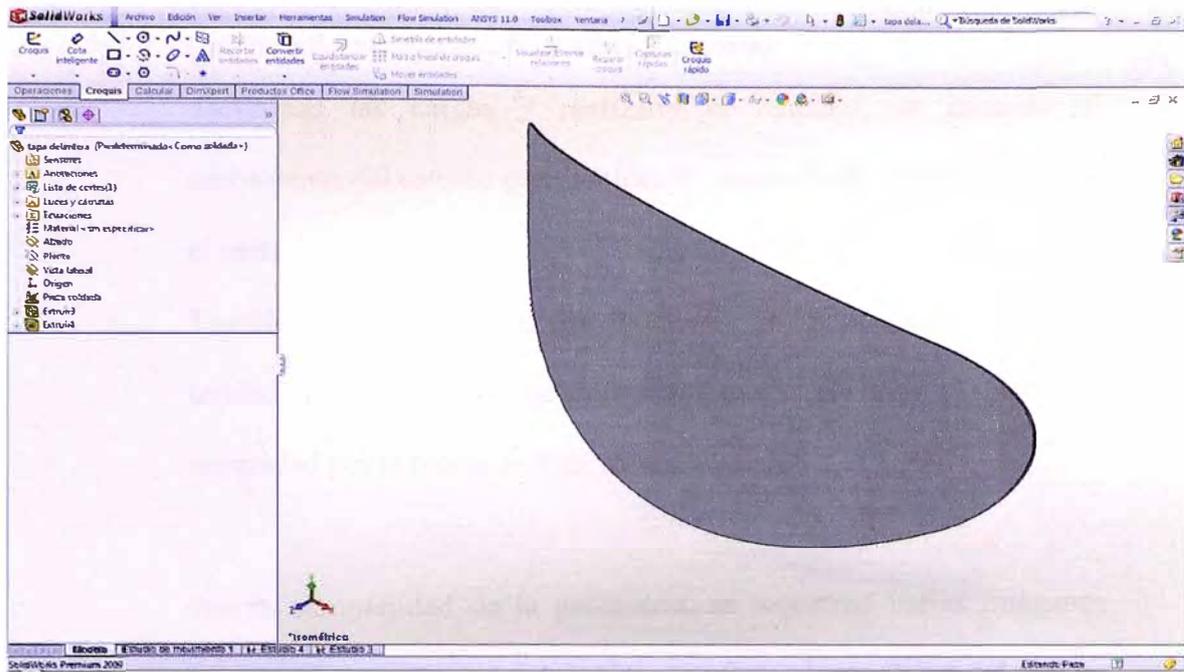


Figura 4.23 Vista de la tapa delantera

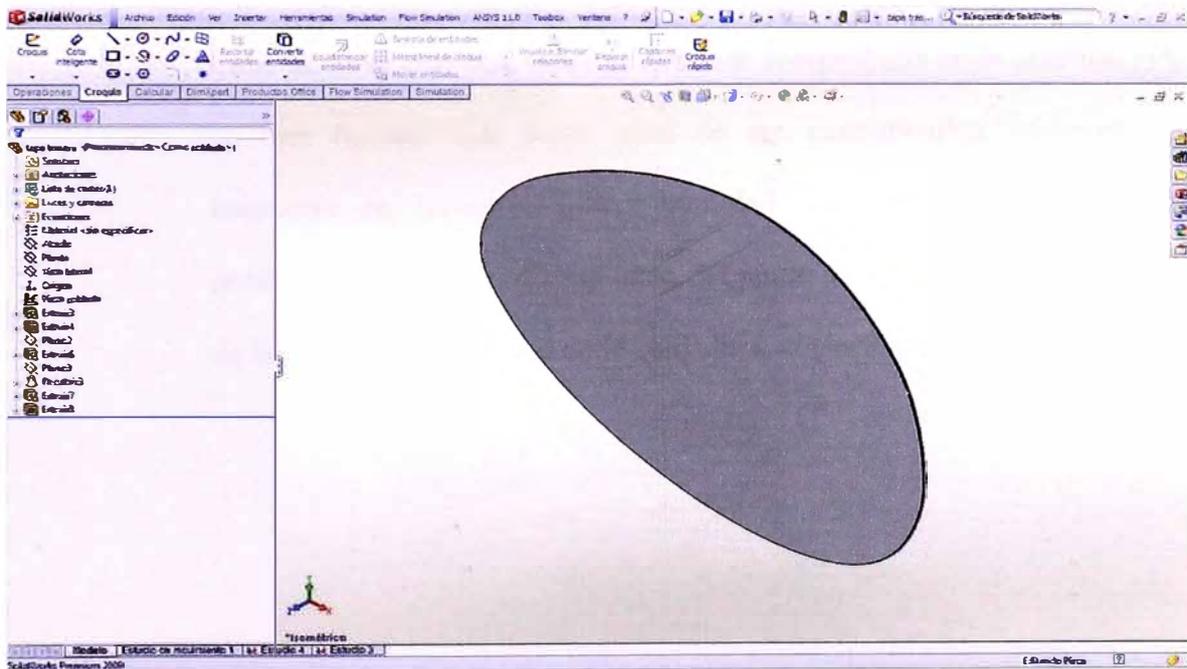


Figura 4.24 Vista de la tapa posterior

4.7.2 Ejecución del análisis del Tanque y chasis

Definidas las cargas y realizado el mallado, se procede al corrimiento del estudio preestablecido, expresando los esfuerzos por el método de Von Mises.

También se mostraran las distribuciones de los desplazamientos en unidad de metros (m), las deformaciones unitarias y el factor de seguridad por la teoría de Von Mises.

Por la complejidad de la geometría, se muestran varias imágenes para tener una idea más clara del comportamiento físico del tanque cisterna.

Cabe recalcar que todo análisis debe ser comprobado en la práctica, ya que factores que están lejos de ser cuantificados, pudieran intervenir en menor o mayor cantidad como es los esfuerzos producidos por fatiga, disminución del punto de fluencia por efectos de la temperatura, calidad de la soldadura, corrosión entre otros.

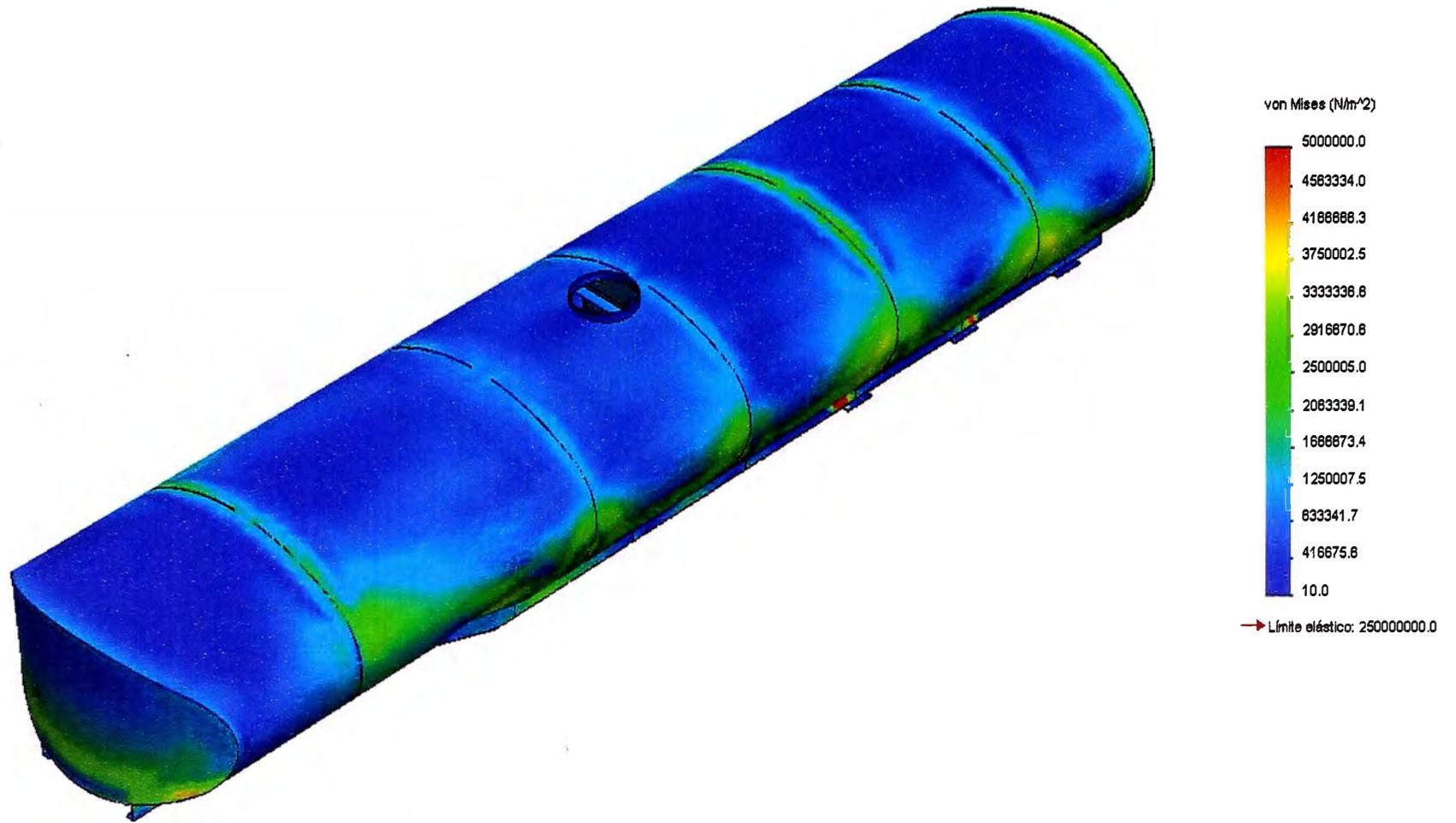


Figura 4.25 Distribución de esfuerzos (Von Mises N/m²)

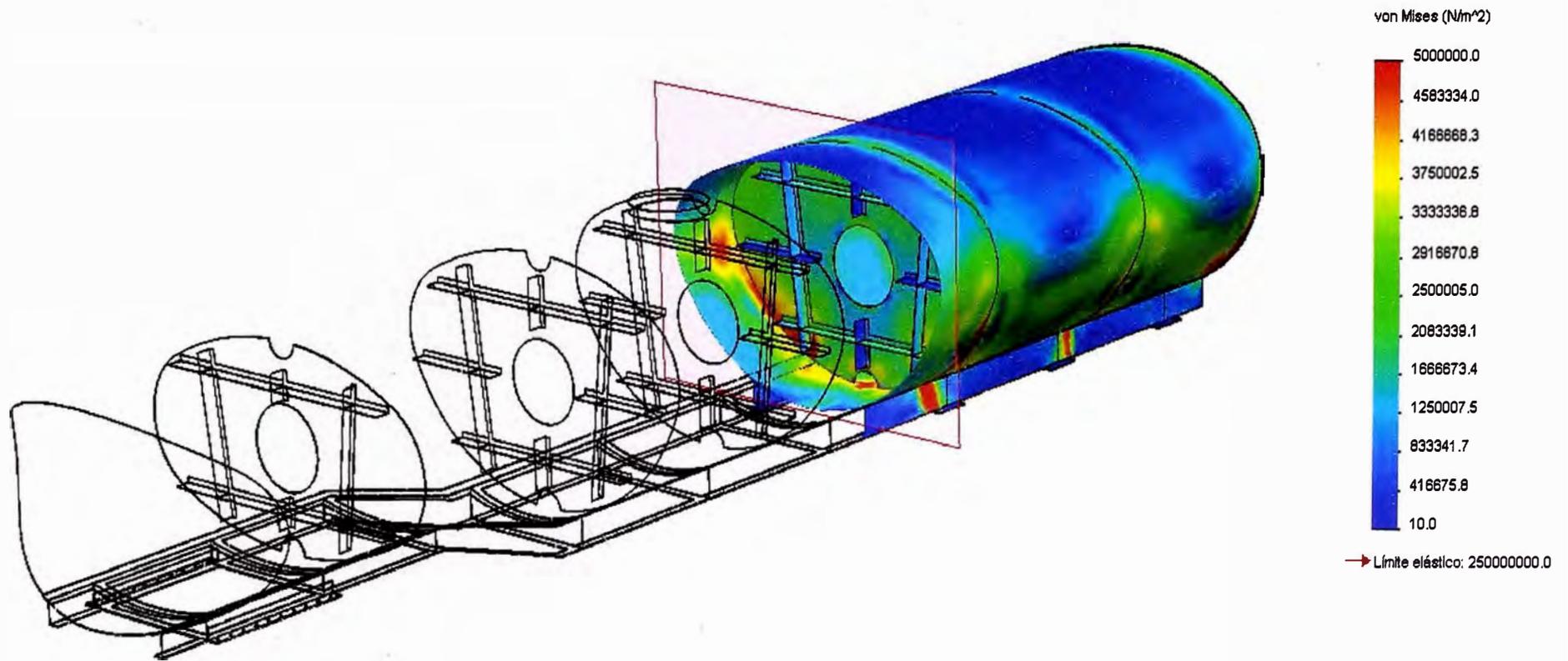


Figura 4.26 Vista de corte (Von Mises N/m²)

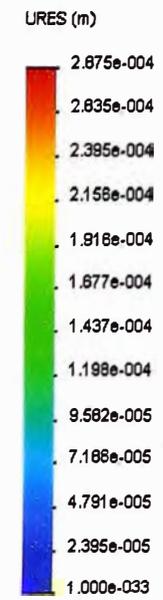


Figura 4.27 Distribución de desplazamientos (m)

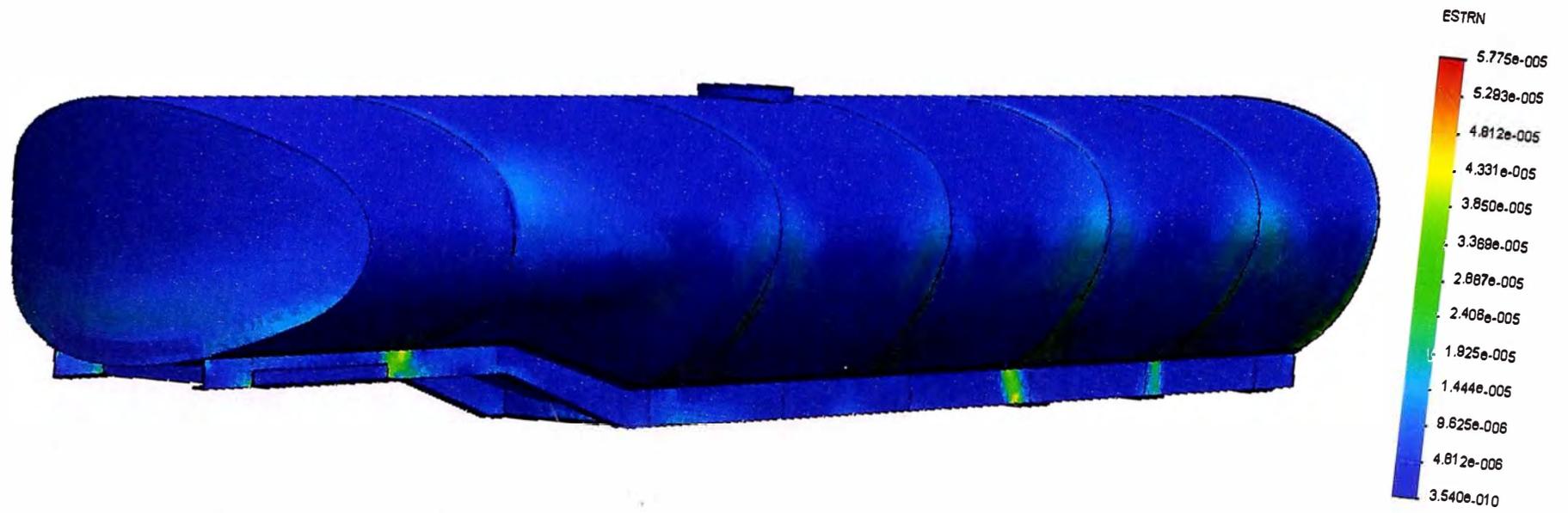


Figura 4.28 Distribución de deformaciones unitarias

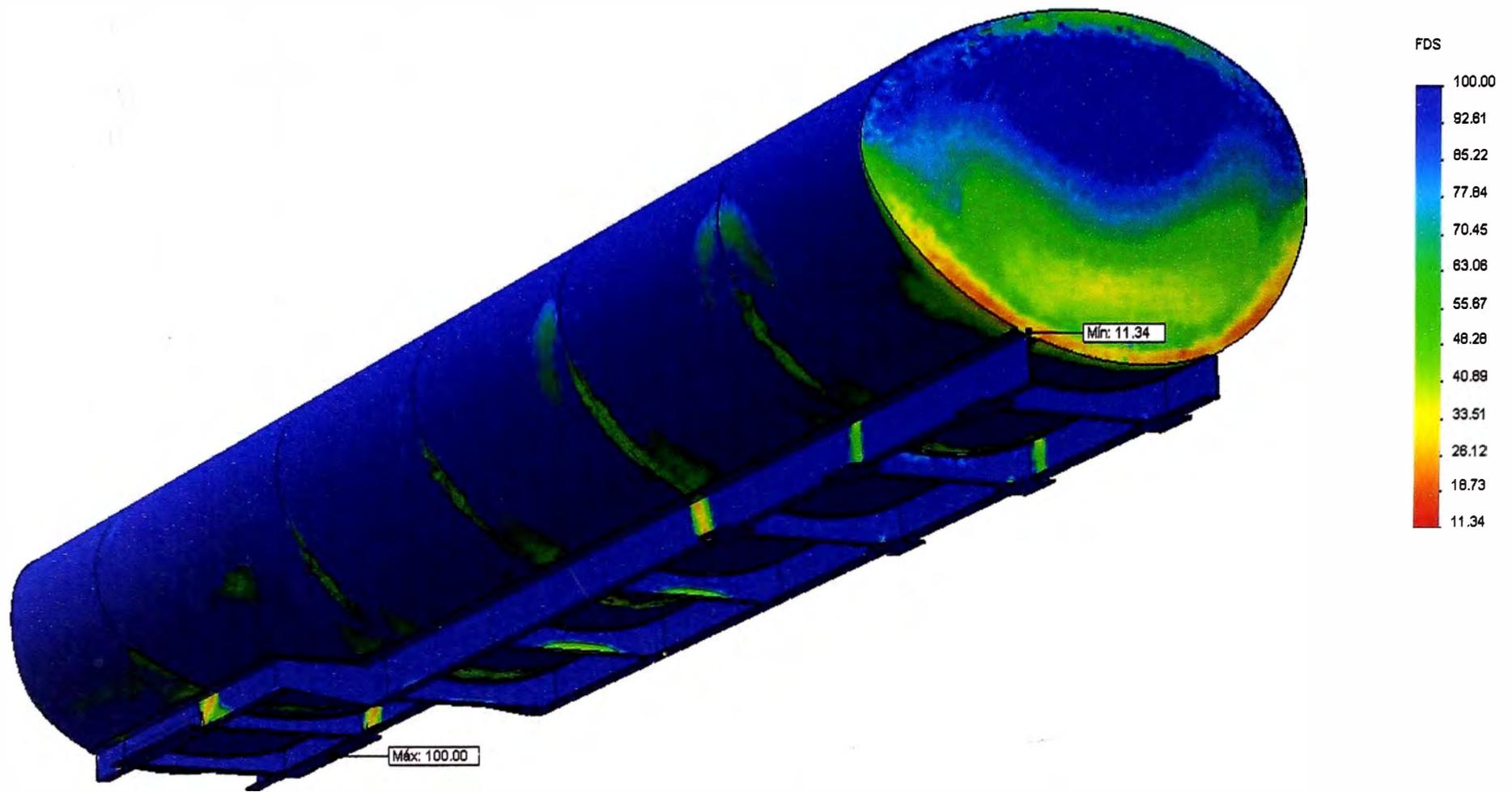


Figura 4.29 Distribución del factor de seguridad

Esfuerzos producidos en las caras de la tapas

Tabla 4.6 Esfuerzos en la tapa delantera

Ubicación	Valor (N/m ²)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
225580	4676377.00	896.27	-305.59	-210.52
227575	4564277.00	797.50	-400.02	-142.23
225164	4499588.50	871.67	-365.06	-192.40
227873	4475312.50	900.01	-351.99	-213.34
225575	4336490.00	886.67	-359.87	-203.35
52890	4256784.00	825.74	-362.29	-160.57
227838	4254733.00	842.97	-380.18	-172.22
227227	4112760.00	857.39	-372.66	-182.23
225290	4079446.00	828.41	-387.62	-162.35
225376	4066164.00	-911.33	-342.23	-218.84
227226	4064365.50	782.53	-407.17	-132.86
86002	4039239.50	975.50	-320.20	-274.43
224988	4023965.50	812.34	-392.77	-151.75
2786	3916780.00	801.56	-427.45	-144.81
225364	3802634.50	809.65	-367.44	-150.01
224986	3800023.30	753.14	-420.45	-115.18
2787	3783332.80	860.05	-398.07	-184.10
225365	3774201.30	840.30	-354.77	-170.39
225223	3740292.50	778.43	-379.74	-130.34
225863	3708109.00	-869.87	-365.69	-188.18
225713	3670709.00	-833.56	-356.69	-163.06
52865	3664614.00	854.74	-347.25	-180.37
85997	3621967.80	901.88	-375.19	-214.75
86003.00	3619809.50	952.26	-340.25	-254.76
52857.00	3613908.80	763.32	-386.88	-121.21
2804.00	3609409.80	914.98	-367.09	-224.82
52824.00	3580552.80	793.42	-372.59	-139.65
225148.00	3561306.50	767.44	-414.21	-123.67
225299.00	3514361.30	-887.08	-357.50	-200.64
226196.00	3505670.30	714.58	-437.28	-93.34
53024.00	3477788.50	-851.12	-348.51	-175.01
225860.00	3464057.80	-848.16	-377.14	-172.97
225086.00	3451394.50	-793.29	-374.13	-137.00
227228.00	3413710.80	913.01	-343.68	-223.29

Tabla 4.7 Esfuerzos en la tapa posterior

Ubicación	Valor (N/m ²)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
62045	13445420	-284.1	-829.09	-9642.7
91148	13160386	446.65	-817.83	-9622.8
90712	12831961	-446.65	-817.83	-9622.8
254709	12675311	-772.79	-583.32	-9552.9
61936	12365381	624.91	-676.39	-9589.9
252188	12350507	-721.77	-626.2	-9566.7
254048	12218653	642.26	-664.4	-9586
253641	12128405	-757.81	-596.66	-9557.1
252945	12065206	-614.55	-701.1	-9592.1
252203	12061728	-702.41	-641.59	-9571.6
253554	12033841	-742.61	-609.74	-9561.2
252173	11962156	-595.52	-712.82	-9596.1
252318	11949062	-633.08	-688.74	-9588
3775	11837895	665.53	-691.13	-9580.6
61816	11777051	659.54	-652.41	-9582
254491	11772323	-682.71	-656.59	-9576.5
254473	11726887	-718.58	-606.01	-9567.5
254306	11712694	-281.45	-847.61	-9642.9
253855	11679670	-787.55	-569.71	-9548.7
86963	11661627	-761.05	-616.97	-9556.2
86995	11651299	682.63	-678.99	-9576.5
252345	11616059	-572.07	-702.88	-9600.9
253642	11601681	-820.23	-539.57	-9539
254028	11595479	-677.87	-637.47	-9577.7
86954	11584700	-726.67	-645.51	-9565.4
254702	11567728	645.27	-683.76	-9585.3
254523	11542183	-268.35	-825.63	-9644.1
254371	11520503	781.9	-575.25	-9550.3
61580	11511188	-598.62	-687.56	-9595.5
252865	11447897	612.2	-701.65	-9592.6
252326	11446334	-529.57	-749.39	-9609
252306	11430032	545.95	-739.88	-9605.9
251927	11425885	-265.7	-844.16	-9644.4
86972	11413295	-353.3	-845.12	-9635.3

4.7.3 Ejecución del análisis de la plancha King Pin

Para el análisis de la plancha King Pin se considera las fuerzas F_1 y R_1 , calculadas en la sección 4.4.2. Todo el material usado es acero estructural A36 excepto para el King Pin que es un acero bonificado, aquí algunas de sus características:

Especificaciones Técnicas King Pin

Material: AISI 8630H

- *Tratamiento Térmico*

Una dureza superficial de 302-363 BHN

- *Fuerza*

El material tendrá una 150,000 psi de esfuerzo a la rotura y 115,000 psi como esfuerzo de fluencia.

- *Impacto*

La alta aleación de níquel proporciona un equilibrio bueno entre la dureza y la fragilidad.

Mallado

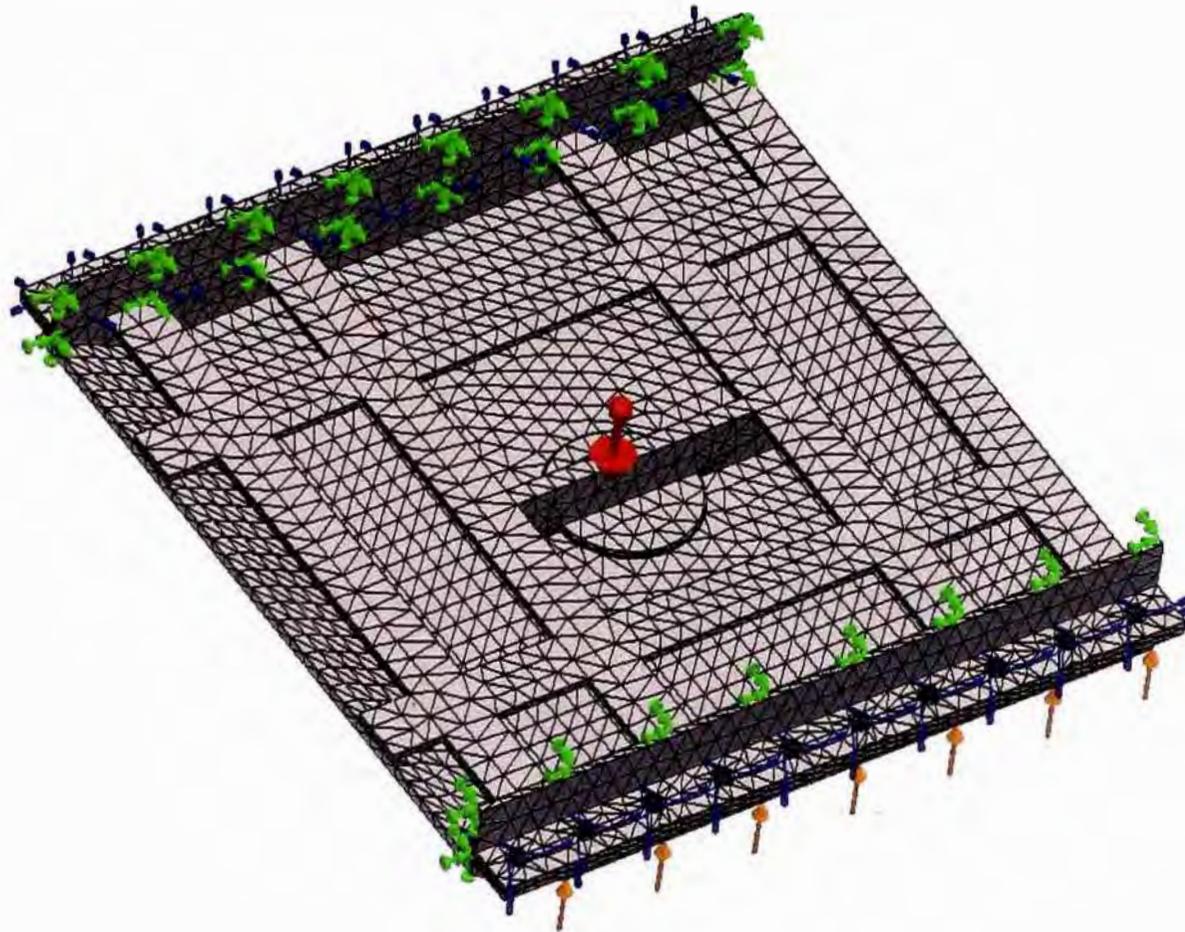


Figura 4.30 Mallado de la plancha King Pin

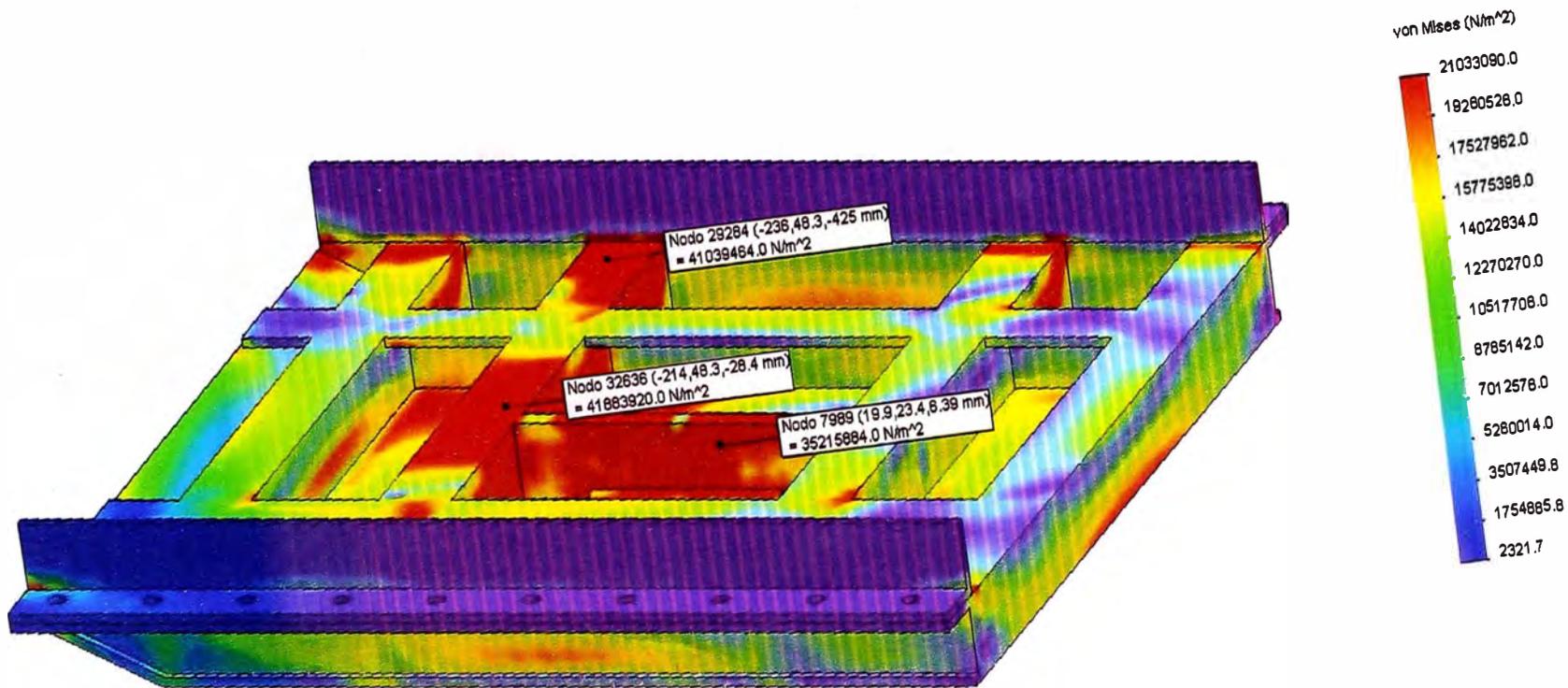


Figura 4.31 Distribución de esfuerzos (Von Mises N/m²)

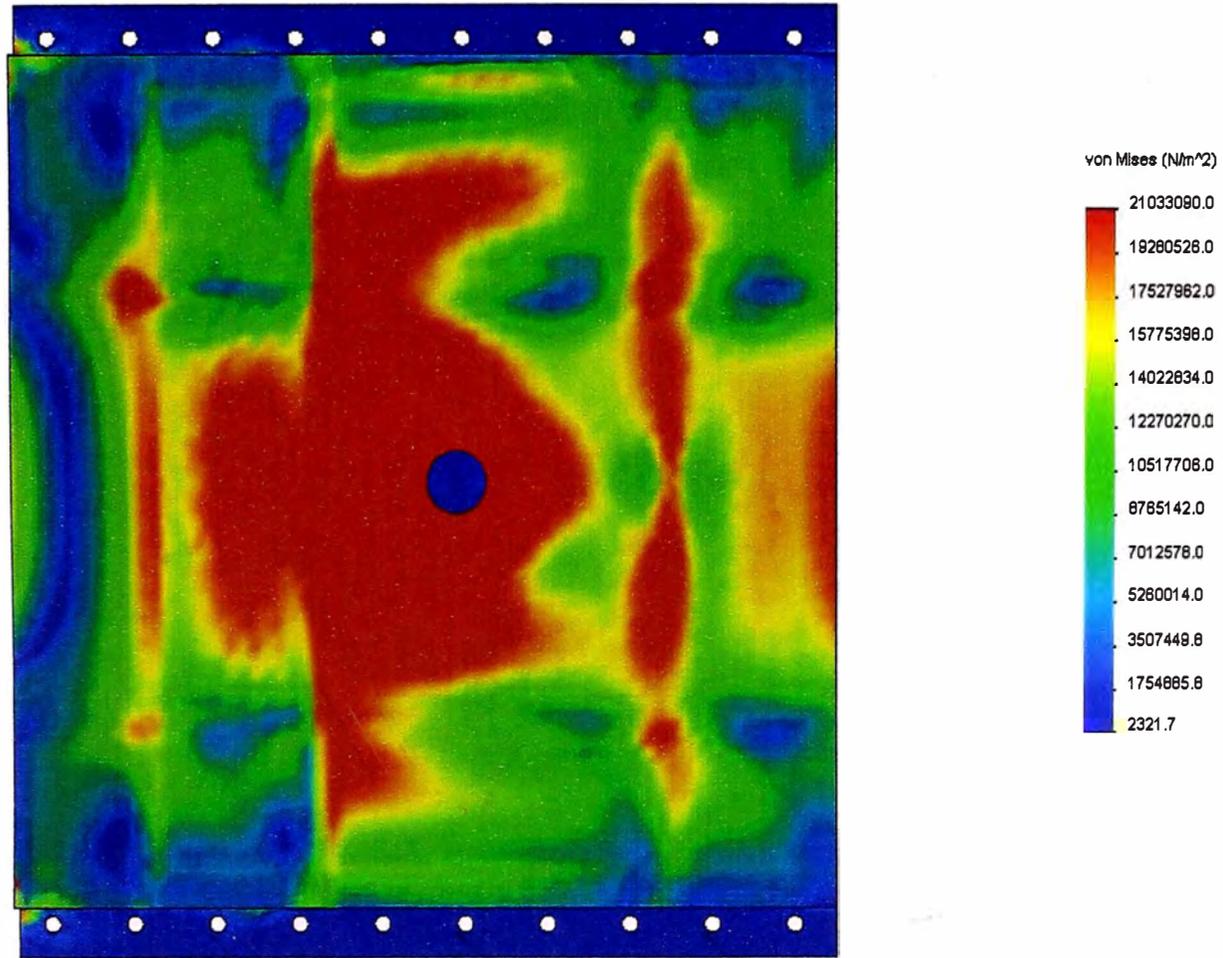


Figura 4.32 Vista alzado de Distribución de esfuerzos

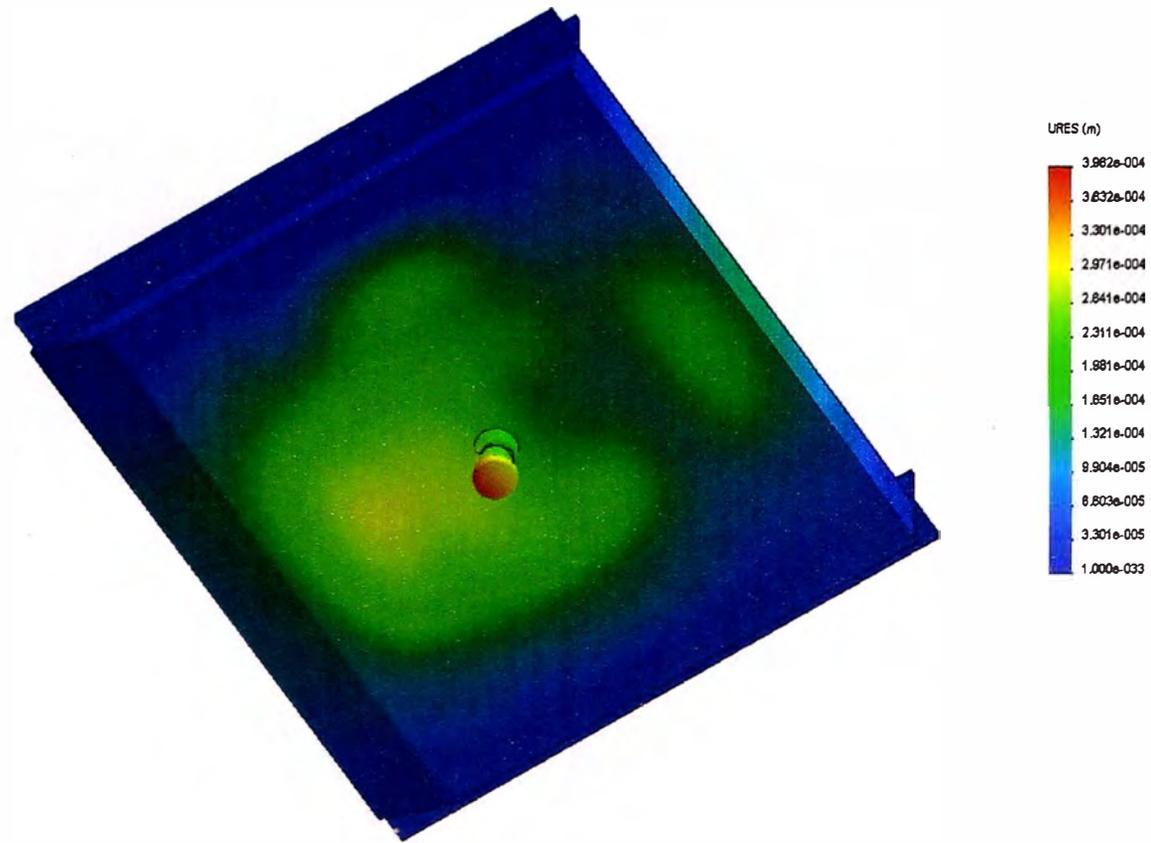


Figura 4.33 Distribución de desplazamientos (m)

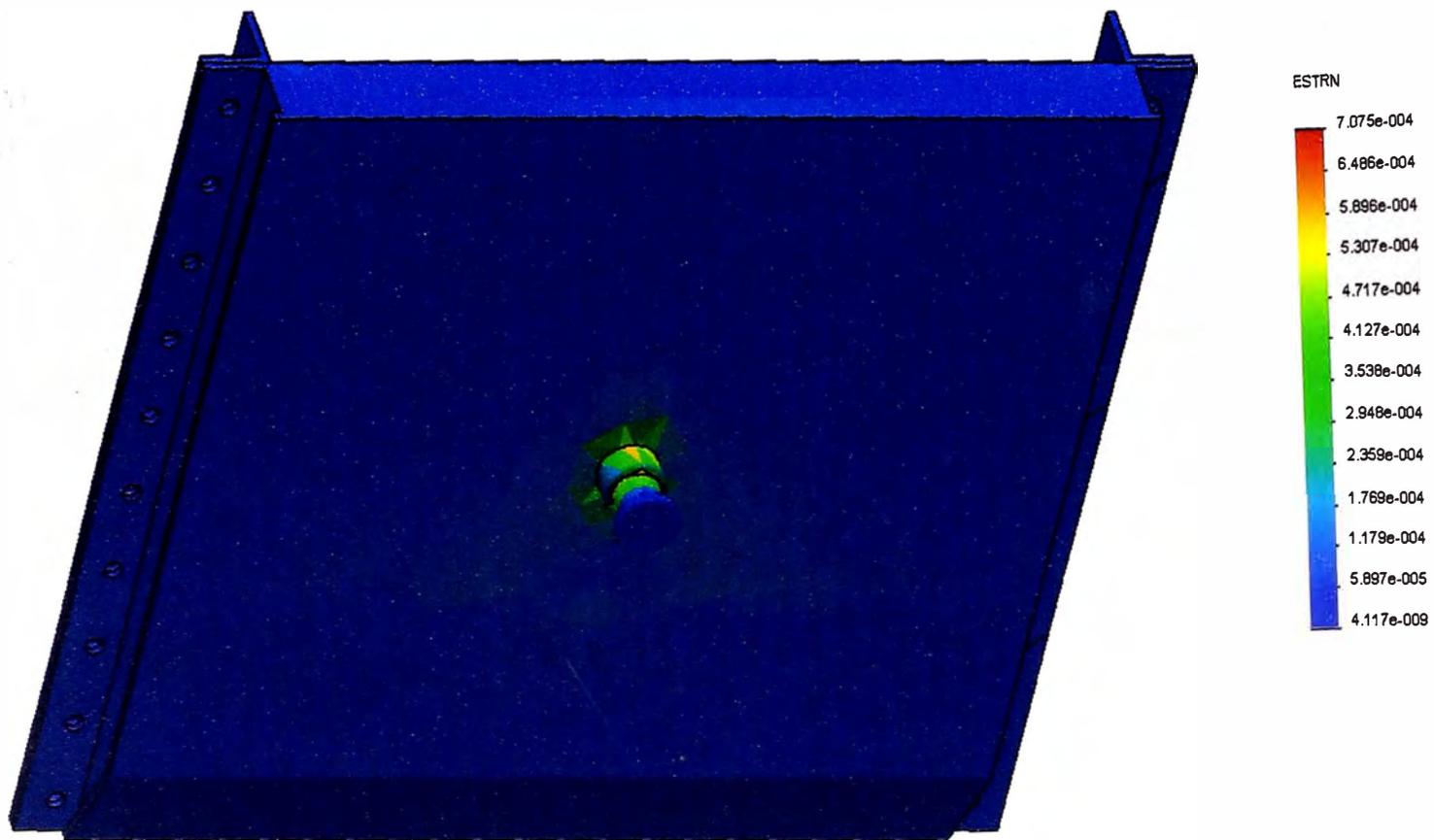


Figura 4.34 Distribución de deformaciones unitarias

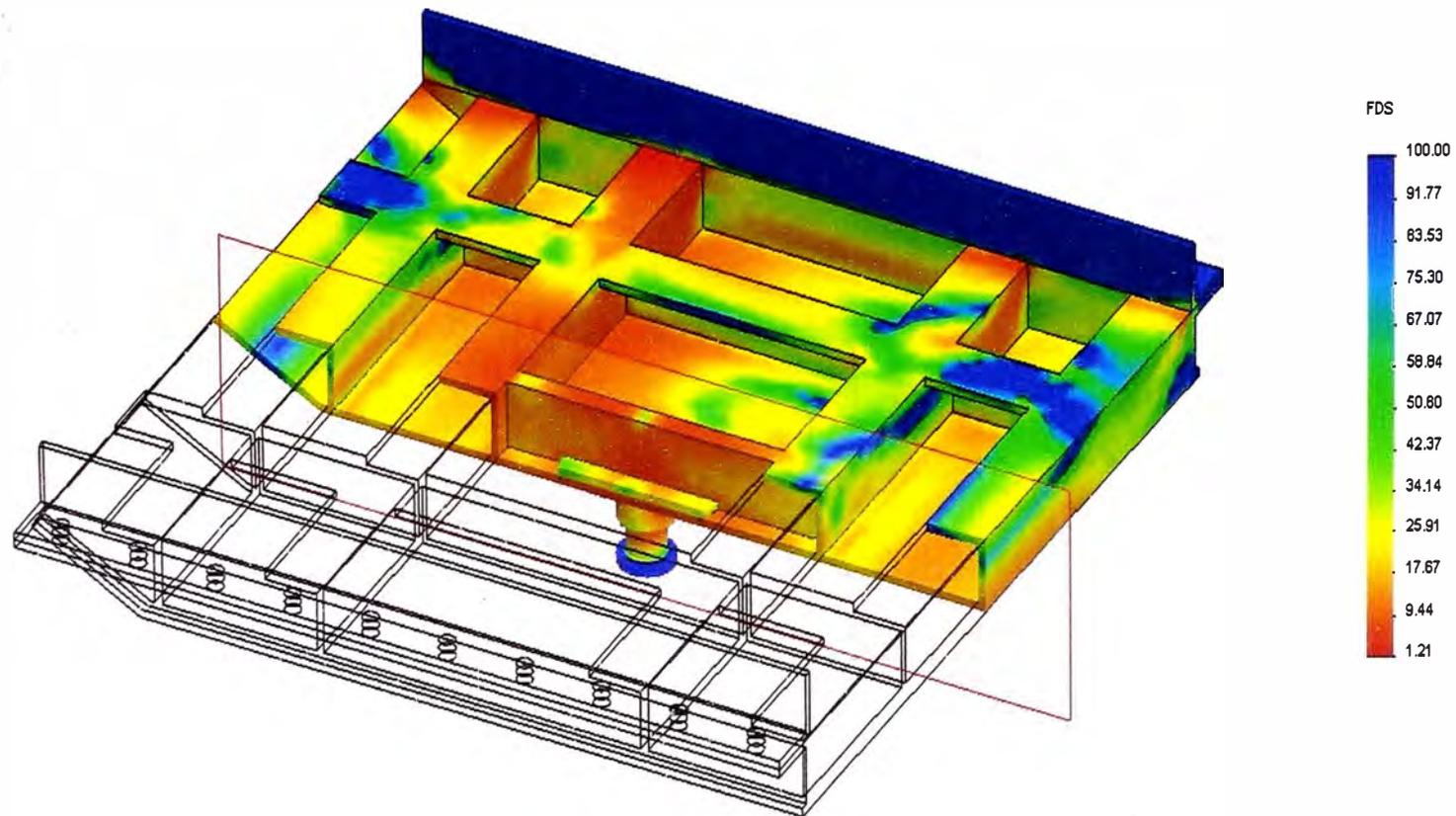


Figura 4.35 Distribución del factor de seguridad

Tabla 4.8 Esfuerzos en el King Pin

Nodo	Valor (N/m ²)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1075	235297376	-44.923	-71.554	2.23E-06
1095	219485760	5.3843	-72.527	-5.91E-14
1092	219402416	4.4981	-71.554	-8.7142
1076	219328832	-44.054	-71.554	-6.5943
1143	208348864	4.4981	-71.554	8.7142
1081	197425296	-41.509	-71.554	12.739
1120	195836688	-37	-72.527	17.556
1067	192530096	-41.509	-71.554	-12.739
1074	192099456	-44.054	-71.554	6.5943
1068	191246192	-37.46	-71.554	-18.016
195	185053712	-44.044	-73.675	-6.21E-14
187	183797104	6.0346	-71.554	-5.91E-14
1142	183489408	5.4126	-70.904	9.0471
1057	178613648	-31.858	-72.527	-21.502
1046	175532528	-43.206	-73.675	-6.3669
1150	175521248	7.0079	-70.904	-5.91E-14
1086	171224384	5.4126	-70.904	-9.0471
1122	170453552	-31.858	-72.527	21.502
1039	169225920	-43.206	-73.675	6.3669
940	169128544	0.073756	-71.554	-16.377
1056	168155376	-23.755	-72.527	-24.451
196	166067152	-40.748	-73.675	12.3
186	165264368	5.1559	-73.675	-5.91E-14
1145	162720912	-6.7047	-71.554	22.065
1144	162163728	0.073753	-71.554	16.377
192	161189280	-32.183	-71.554	-22.065
1069	158876976	-38.148	-70.904	-18.704
1121	158553392	-38.148	-70.904	18.704
194	157410128	-40.748	-73.675	-12.3
1151	154935856	5.8144	-70.675	9.1933
1094	154704800	3.6724	-73.675	-8.4137
1053	152043968	-36.839	-73.675	-17.395
1149	148996912	5.8144	-70.675	-9.1933
189	148888064	-47.044	-70.675	-6.25E-14

4.7.4 Ejecución del análisis de Mamparas o rompeolas

Debido a que la carga del tanque se trata de un fluido, este se comportara con variable que dependen de la velocidad, aceleración o desaceleración según corresponda, para mejorar la maniobrabilidad del tanque y según las normas del Ministerio de Energía y Minas se deben colocar las llamadas mamparas o rompeolas, que no son mas que elementos que disminuyen el golpeteo producido por el fluido. Según las normas peruanas, estas deben estar distribuidas en un rango no mayor a 1.50 metros entre cada una.

Para el análisis se usaran las aceleraciones y desaceleraciones mas criticas en su desplazamiento, según lo calculado en punto 4.4.3

Mallado



Figura 4.36 Mallado de la mampara

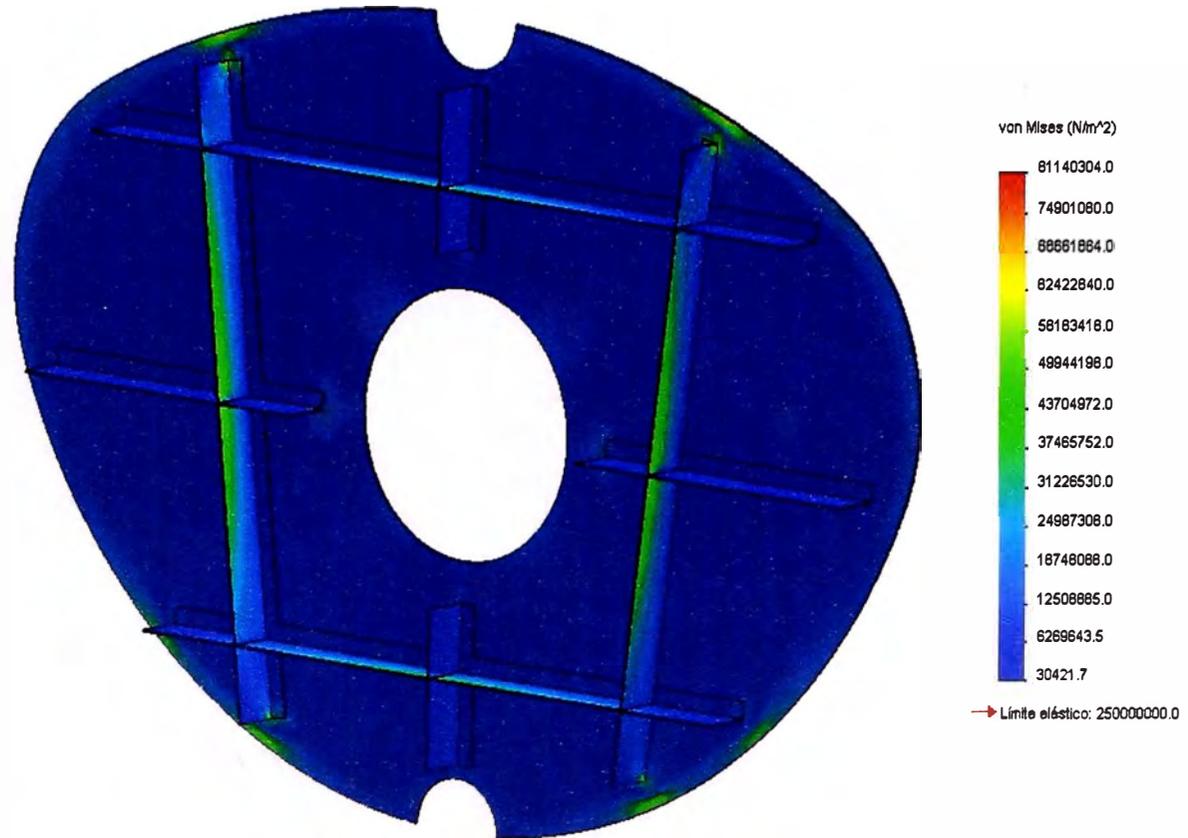


Figura 4.37 Distribución de esfuerzos (Von Mises N/m²)

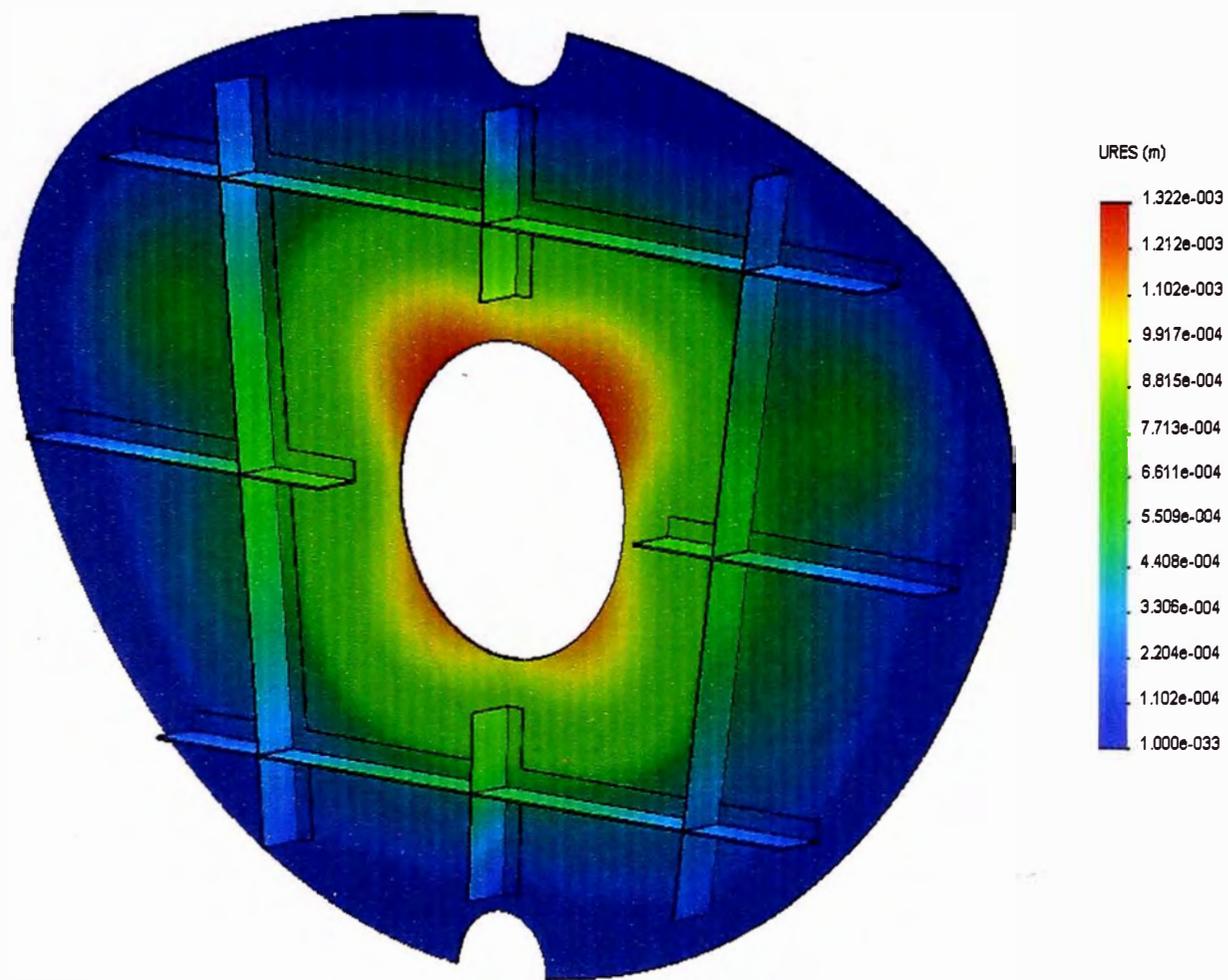


Figura 4.38 Distribución de desplazamientos (m)

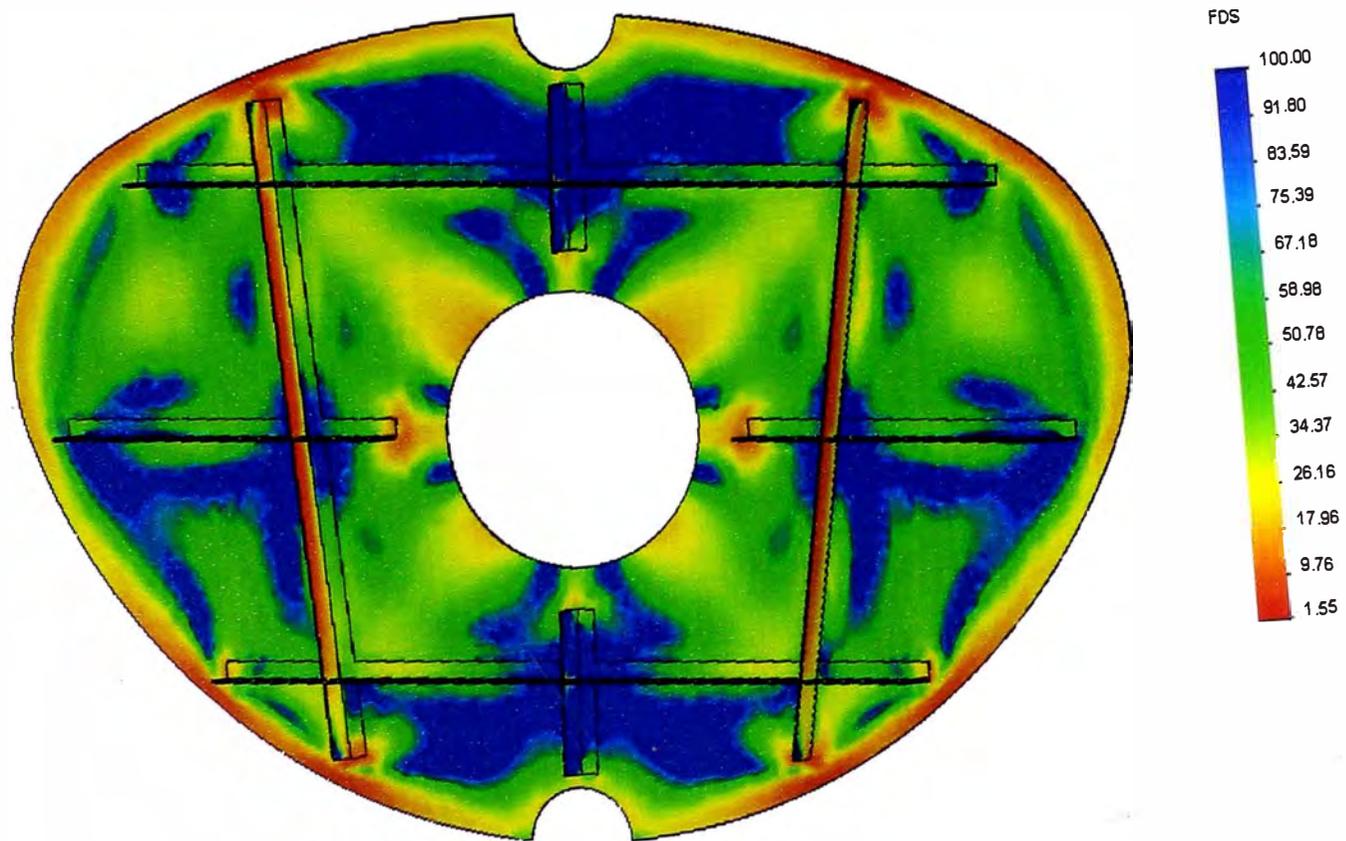


Figura 4.39 Distribución del factor de seguridad

Tabla 4.9 Esfuerzos en la mampara

Nodo	Valor (N/m ²)	X (mm)	Y (mm)
3950	74856576	-620.65	497.79
4000	73873976	620.65	497.79
36798	71673488	-609.22	501.83
36651	71534488	609.22	501.83
36647	71233080	606.64	490.25
36646	69468856	618.99	485.96
36801	68990176	-632.04	493.69
36796	68863528	-618.99	485.96
36797	67233944	-606.64	490.25
36648	67174080	632.04	493.69
36793	65593612	-595.21	494.25
3951	63279904	-597.78	505.79
36649	62490940	595.21	494.25
36644	62190820	630.37	481.82
36800	61525784	-630.37	481.82
3949	60855820	-643.41	489.5
3999	60471736	597.78	505.79
36643	58111512	642.72	477.34
32172	57966556	580.29	486.82
26243	57897000	-580.29	486.82
4111	57056184	-482.14	-790.29
4001	56996984	643.41	489.5
4073	56350148	482.14	-790.29
36650	56095464	582.86	498.36
36799	55720760	-642.72	477.34
36306	55621988	-475.66	-780.75
36653	55415376	586.3	509.67
36795	55036016	-586.3	509.67
36791	54865788	-571.38	502.2
36419	54779276	464.31	-785.79
36422	54386704	488	-775.05
36794	53871180	-582.86	498.36
5347	53637616	592.64	482.71
36423	53556124	475.66	-780.75

4.7.5 Ejecución del análisis en las tapas

Para este análisis se usara la distribución de presiones ejercidas por el fluido y la fuerza producida por una aceleración máxima.

Para la distribución de presiones se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = 8556.28 * y \frac{N}{m^2}$$

Donde

y = distancia vertical en metros

P = presión ejercida por el fluido en Pascales

Y la fuerza producida por la aceleración máxima

$$a_{desaceleración} = 0.3g$$

$$F_{desaceleración} = 58234.52N$$

Como la $F_{desaceleración}$ se va a distribuir en las 5 mamparas y en cualquiera de las tapas, entonces la $F_{desaceleración}$ se divide entre 6.

$$F_{desace. \text{ en la mampara}} = \frac{58234.52N}{6}$$

$$F_{desace. \text{ en la mampara}} = 9705.75N = 989.37Kgf$$

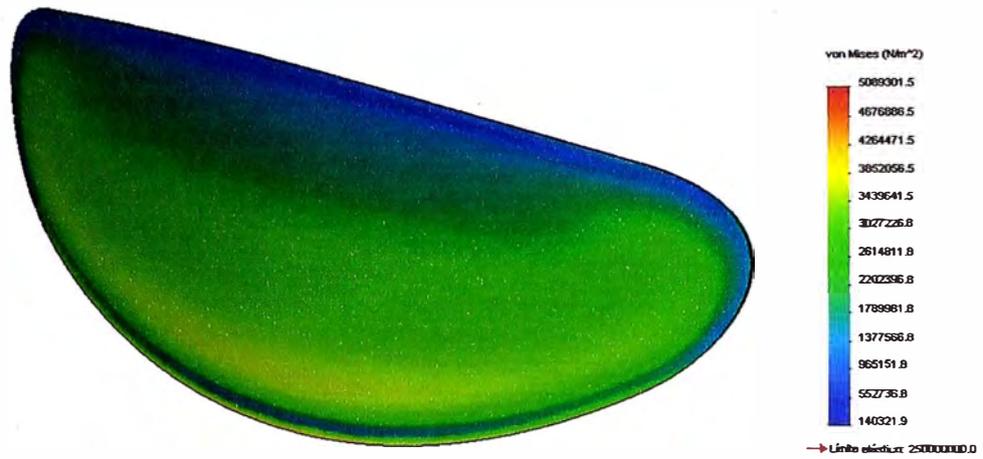


Figura 4.40 Distribución de esfuerzos (Von Mises N/m²)

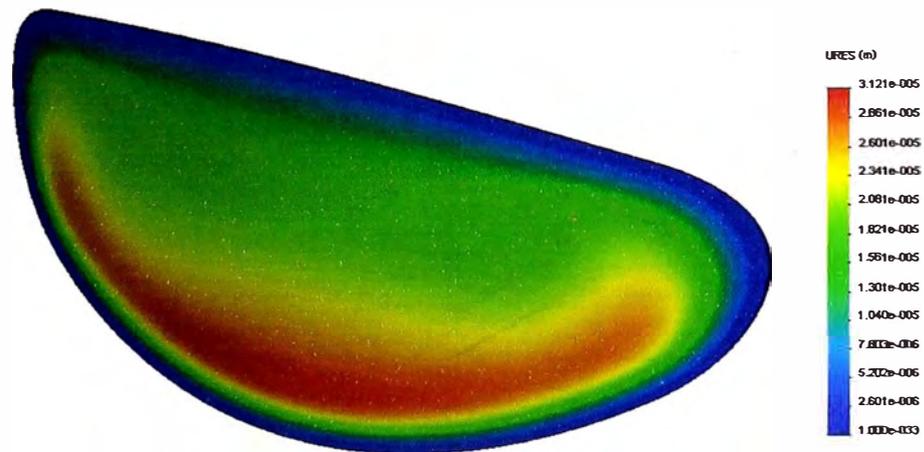


Figura 4.41 Distribución de desplazamientos (m)

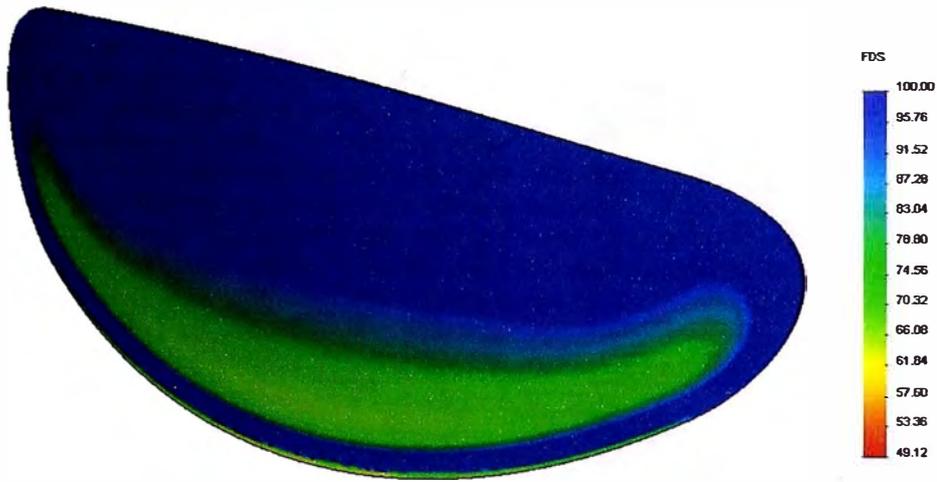


Figura 4.42 Distribución del factor de seguridad

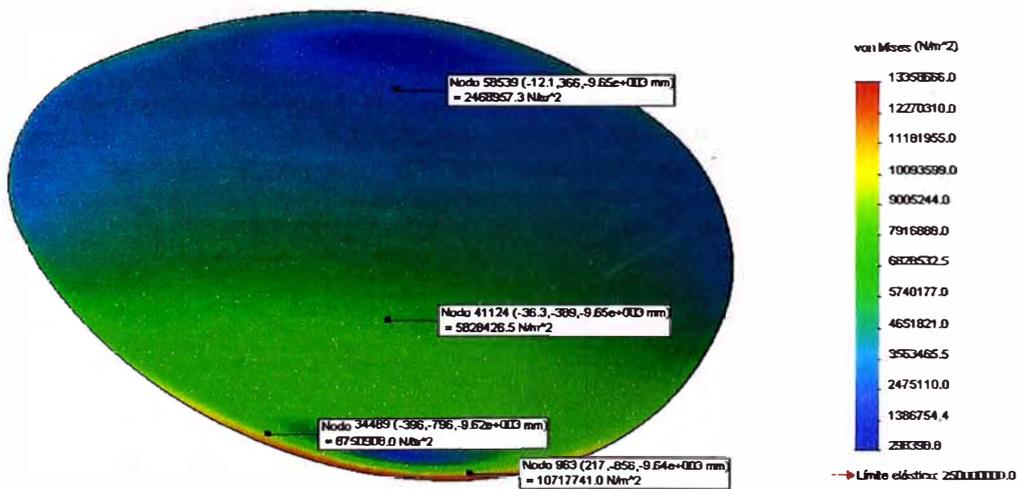


Figura 4.43 Distribución de esfuerzos (Von Mises N/m²)

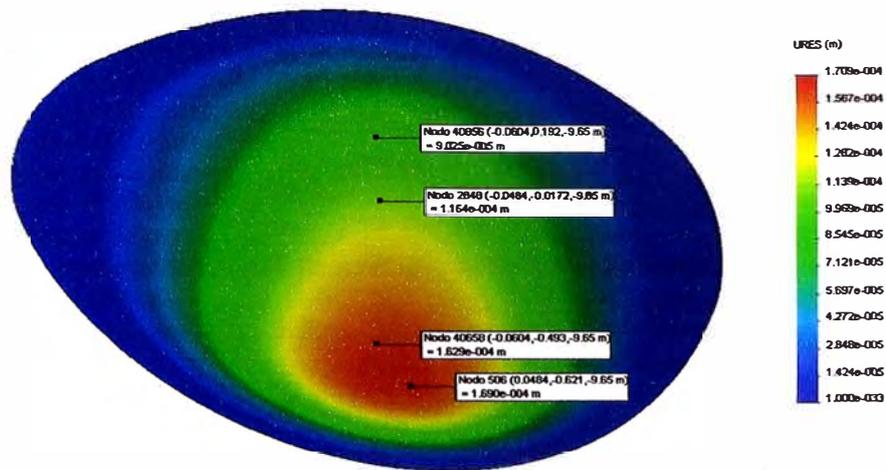


Figura 4.44 Distribución de desplazamientos (m)

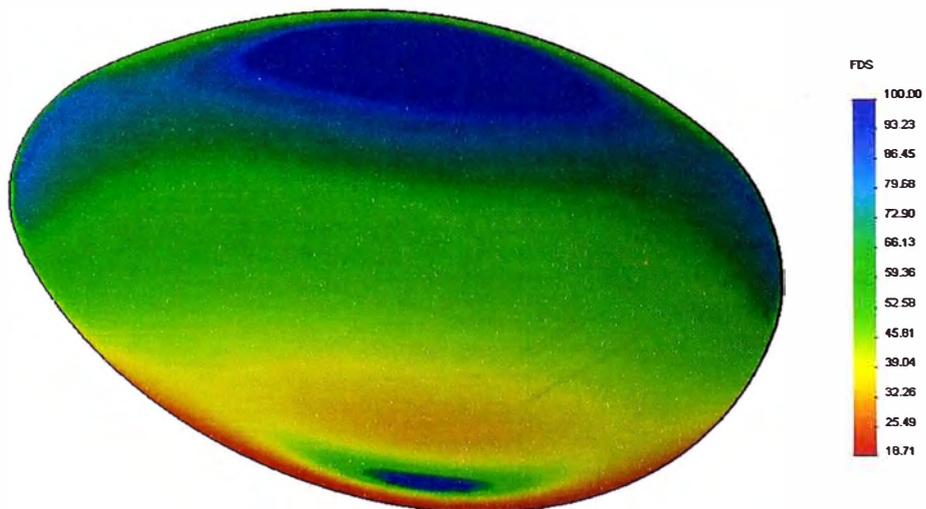


Figura 4.45 Distribución del factor de seguridad

4.8 PARAMETROS PARA EL DISEÑO DE SOLDADURA

4.8.1 Soldabilidad de los aceros al carbono

Aceros estructurales al carbono: ASTM

Estos aceros son los que emplean comúnmente para la fabricación de calderas, puentes, recipientes y otras estructuras, para este caso en particular del diseño del tanque cisterna, chasis, mamparas son de acero estructura A36. Estos aceros son fácilmente soldables, tanto por soldadura manual como por el método automático.

Tabla 4.10 Composición química

ASTM	Carbono	Manganeso	Fósforo	Azufre	Silicio
A 36	0.25 - 0.29	0.80 - 1.20	0.04	0.05	0.15 - 0.40
A 283	-	-	0.04	0.05	-
A 515	0.20 - 0.33	0.9	0.035	0.04	0.15 - 0.30
A 516	0.18 - 0.26	0.60 - 1.20	0.035	0.04	0.15 - 0.30

Soldabilidad

Los aceros de los grados A 36, A 283, A 515 y A 516 son fáciles de soldar con los procedimientos normales de soldadura.

Los códigos de trabajo especifican, que el metal depositado por los electrodos deben tener las propiedades según las necesidades requeridas. Con los electrodos celulósicos se pueden soldar en todas las posiciones. Cuando se tenga que soldar en posición plana y en

bisel profundo, requiriéndose alta velocidad de deposición y juntas de gran calidad y bajo costo deberá emplearse el Ferrocito 24.

Cuando las planchas pasan de ½” de espesor, es necesario el empleo de bajo hidrogeno para reducir o eliminar el precalentamiento.

Las temperaturas correctas de precalentamiento (si fuese necesario) pueden calcularse en relación con la composición del metal, el espesor de la plancha y el diseño de la junta.

Al soldar estos aceros se deben cuidar, que la temperatura del metal base no esté por debajo de 0°C, así mismo, se debe tener cuidado de eliminar la cascarilla de laminación que se presenta en su superficie.

Factores fundamentales para obtener una buena soldadura.

Los siguientes factores son determinantes para obtener una buena junta en la soldadura eléctrica:

- Electrodo apropiados para el trabajo, secos y bien conservados
- Amperaje correcto
- Longitud adecuada de arco
- Apropiado Angulo de inclinación del electrodo
- Apropiada velocidad de avance
- Juntas limpias, libres de oxido, aceite y grasa.

Es muy importante seleccionar correctamente el tipo y diámetro del electrodo apropiado para el trabajo a realizarse.

Amperaje correcto para soldar

La regulación de la maquina es de decisiva importancia para obtener buenas juntas de soldadura.

A cada diámetro de los electrodos corresponde determinada escala de amperaje, desde un amperaje mínimo hasta un amperaje máximo.

El soldador debe encontrar el amperaje adecuado para su trabajo, regulando la maquina entre amperaje mínimo y máximo señalado por el fabricante para cada tipo de electrodo.

Un amperaje insuficiente dificulta mantener el arco, produce abultamiento del material y mala penetración.

Un amperaje excesivo tiene como consecuencia un cordón chato y con porosidades, produce recalentamiento del electrodo y mucha salpicadura, para determinar el diámetro apropiado del electrodo, la siguiente escala sirve de orientación:

Tabla 4.11 Diámetro del electrodo según el material base

Espesor del material a soldarse					
1/16" a 3/32"	1/8" a 5/32"	5/32" a 1/4"	3/16" a 3/8"	1/4" a 1/2"	3/8" a 3/4"
Diámetro del electrodo					
3/32"	1/8"	5/32"	5/32" a 3/16"	3/16" a 1/4"	1/4"

Longitud adecuada de arco

La longitud del arco, aunque no es posible determinarla en mm o fracciones de pulgada, se mide por los resultados de deposición del metal, ósea por la forma del cordón y también por el comportamiento del arco.

Una longitud muy corta produce cordones con sopladuras e inclusiones de escoria, de poca penetración, gruesas e irregulares. El arco se interrumpe y el electrodo muestra tendencia a pegarse al metal base.

Una longitud muy larga trae como consecuencia un apreciable aumento de salpicaduras; la penetración es insuficiente, el cordón presenta sobremontas y es de un ancho indeseable. Además, en muchos casos el cordón resulta poroso.

Apropiado ángulo de inclinación del electrodo, el ángulo de inclinación del electrodo con respecto a la pieza de trabajo influye sobre la forma y aspecto del cordón y también sobre su penetración; de ahí la necesidad de trabajar con un ángulo de inclinación correcto, un ángulo demasiado cerrado trae como consecuencia una disposición excesiva de metal de aporte, mala conformación del cordón y penetración inadecuada, un ángulo demasiado abierto producirá ondulaciones pronunciadas en el cordón con formación de crestas. El cordón resulta irregular, porque por acción del soplado la escoria es expulsada y no recubre bien.

Apropiada velocidad de avance, una lenta o excesiva velocidad de avance del electrodo produce defectos en la soldadura, razón para buscar un avance apropiado que produzca buenas juntas soldadas, una velocidad muy lenta produce abultamiento del metal de deposición, desbordándose sobre la plancha. Puede ser causa de incrustaciones de escoria en la junta soldada, en cambio una velocidad excesiva produce un cordón delgado, de aspecto fibroso, con poca penetración, deficiente fusión de metal y muchas porosidades.

Defectos que pueden comprometer la resistencia de la unión:

- **Socavaciones:** Cuando son excesivas, comprometen la resistencia de las juntas soldadas; cuando son leves, son consideradas como defectos de aspecto.

- **Porosidades:** Una porosidad aunque leve, ya es defecto inconveniente. Cuando la porosidad es numerosa, tiende a comprometer la resistencia de la estructura.
- **Función deficiente:** Defecto que compromete seriamente la resistencia de la junta.
- **Mala penetración:** Compromete seriamente la resistencia de la junta.
- **Escoriaciones:** Cuando son graves, comprometen la resistencia en forma seria. Las escoriaciones aunque leves desmejoran el aspecto.
- **Grietas:** Tienden a comprometer la resistencia. Son el enemigo número uno de las juntas soldadas.

La soldadura es un proceso o método de fabricación y requiere, por lo tanto, de medios para comunicar al soldador, de parte del diseñador, el tipo de soldadura a emplear, para lograr esa comunicación, se ha preparado un sistema de símbolos de los tipos de soldadura, que sirve para indicar en los dibujos o planos de taller las soldaduras requeridas.

Los símbolos e instrucciones que presentamos en esta lección han sido recomendados por la American Welding Society – AWS (Sociedad Americana de Soldadura) para uso industrial, dichos símbolos son ideográficos, es decir ilustran el tipo de soldadura

requerido; pueden ser combinados para indicar como deben construirse las uniones de soldaduras múltiples.

Mediante estos símbolos es posible determinar

- La ubicación de la soldadura.
- El tamaño de la soldadura (espesor útil del cordón, su longitud, separaciones).
- Tipo de soldadura (forma de las soldaduras, preparación de la pieza y separación).
- Informaciones especiales referentes a las especificaciones individuales de cada soldadura.

Sugerencias para reducir costes

La soldadura constituye el método más económico para unir metales; sin embargo, siempre debe tratarse de ahorrar tiempo y material para hacerla más ventajosa.

A continuación se dan algunas sugerencias que ayudaran a reducir el costo de las soldaduras.

- **Clase de material:** Siempre que sea posible, utilizar materiales fáciles de soldar y que no requieren procedimientos de soldeo complicados.

- **Forma de la junta:** En materiales de espesores gruesos, los biseles dobles economizan considerable cantidad de soldadura. Por supuesto, es necesario poder soldar ambos lados.
- **Presentación de la junta** Una separación demasiado grande entre los bordes de las piezas a soldar mal gasta metal de soldadura. Para mantener la resistencia de la unión no es necesario ejecutar un cordón abultado.

La posición de soldar siempre que sea posible debe emplearse en posición plana. Es la posición más eficiente, porque permite el uso de electrodos más gruesos y la ejecución de la soldadura es más fácil y cómoda.

El diámetro del electrodo: siempre en lo posible, utilizar electrodo de mayor diámetro. Aportan mayor cantidad de material de soldadura y aumentan la velocidad de avance de la misma.

La longitud del arco debe mantener el arco en longitud adecuada. Esto concentra toda la corriente de soldar en la junta y disminuye las salpicaduras.

El tipo de electrodo: seleccionar los electrodos de más alto rendimiento para reducir costos. Estos son los electrodos, cuyo revestimiento contiene hierro en polvo.

Los cabos o colillas al consumir los electrodos hasta dejar un cabo de 2" como máximo.

Un cable de diámetro pequeño se calentará rápidamente. Este calor representa calor representa pérdida, pues el calor generado es dañino. Los cables excesivamente largos desperdician energía y producen caída de voltaje en los porta electrodos; lo mismo sucede cuando se suelda con los cables en estado enrollado. Por las razones indicadas se recomienda usar los calibres apropiados y mantener la longitud adecuada del cable.

Las conexiones flojas o alambres partidos muestran puntos calientes, que gastan corriente inútilmente, por lo que deben repararse tan pronto se encuentren.

Normas de seguridad

- Mantener el equipo de soldar en perfectas condiciones, limpio y seco.
- Asegurarse que todas las conexiones eléctricas estén firmes, limpias y secas.
- Desconectar la corriente eléctrica del equipo antes de limpiar y hacer ajustes.
- Asegurarse que los cables, porta-electrodos y conexiones estén bien aislados.
- No cambiar la polaridad mientras que la máquina este trabajando (arco encendido).
- Mantener el área de soldar siempre limpia y seca.

- Retirar o proteger debidamente los materiales inflamables que se encuentren en el área de soldar.
- No soldar cerca de gases o líquidos volátiles o inflamables
- No soldar recipientes como barriles, tambores o tanques hasta estar seguro de que no existe peligro de incendio o explosión
- Colocar los cabos de los electrodos en recipientes metálicos
- Nunca producir un arco eléctrico dentro de cilindros de gas comprimidos.
- Emplear siempre mascararas con lunas protectoras apropiadas mientras se este soldando.
- Usar anteojos protectores al remover la escoria
- Usar guantes de cuero y cubrir sus ropas con delantal, mangas, etc. para protegerse contra los rayos del arco y las chipas.
Abróchense el cuello de la camisa
- Proteger a otras personas, que puedan estar en el área de soldar, empleando cortinas de material apropiado, que no reflejen los rayos del arco.
- Asegurarse de que exista adecuada ventilación en el área de trabajo. Siempre es necesario bastante aire fresco, más aun cuáundos suelda con plomo, zinc, cobre o cadmio.

CAPITULO V

DISEÑO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

5.1 DEFINICION DE SUSPENSIÓN

La suspensión en un automóvil, camión o motocicleta, es el conjunto de elementos que absorben las irregularidades del terreno por el que se circula para aumentar la comodidad y el control del vehículo. El sistema de suspensión actúa entre el chasis y las ruedas, las cuales reciben de forma directa las irregularidades de la superficie transitada.

Cuando a través de la suspensión se hace el enlace de la masa suspendida con los ejes, estará también sometida a las fuerzas longitudinales y transversales que se originan durante la marcha del vehículo.

La suspensión se puede considerar constituida, de la forma más general, por el conjunto de neumáticos, resortes metálicos o no metálicos, amortiguadores y asientos. Pues todos aquellos elementos, que se deformen como consecuencia de la acción de las cargas y choques, contribuyen a ella.

5.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA SUSPENSION

En el cálculo estructural de la suspensión, tomaremos en consideración las fuerzas aplicadas debido al peso de la estructura del tanque como a la carga de trabajo, debido a ello se tomara las fuerzas aplicadas a los ejes de manera que se pueda estimar una correcta aproximación.

El análisis incluirá un análisis de fuerzas ejercidas por el arrastre de la cisterna, tales fuerzas son transmitidas a lo largo del chasis por medio del eje King Pin, y estas transmitidas a la suspensión.

Los cálculos de los cordones de soldadura garantizaran el correcto diseño así como un correcto funcionamiento y seguridad de la estructura.

Por todo lo todo antes expuesto se ha optado por analizar la por el método de elementos finitos.

5.3 CLASES DE SUSPENSIÓN PARA SEMI-REMOLQUES

La elección del tipo de suspensión está suspendida entre otras cosas a: confort, costo, capacidad, peso, localización, anclajes, durabilidad, necesidad de altura constante o variable, etc.

Las oscilaciones que se originan en un vehículo, referidas a los ejes que pasan por su centro de gravedad, aunque no tienen la misma importancia en el estudio de la suspensión.

Para los semirremolques existen dos tipos de suspensión, que son:

- La suspensión neumática.
- La suspensión mecánica.

5.3.1 Suspensión neumática

La suspensión neumática Este tipo de suspensión se esta utilizando desde hace pocos años sobre todo en vehículos de alta gama. La suspensión neumática basa su funcionamiento en las propiedades que ofrece el aire sometido a presión. En esta suspensión, se sustituye el resorte mecánico (muelle, ballesta o barra de torsión) por un fuelle o cojín de aire que varía su rigidez.

La suspensión neumática permite:

- Adaptar la carrocería a distintas alturas en función de las necesidades de marcha.
- Adaptar la suspensión y la amortiguación a la situación de la calzada y a la forma de conducir.

Se caracteriza por su elevada flexibilidad, notable capacidad de amortiguación de las vibraciones y por la autorregulación del sistema que permite mantener constante la distancia entre el chasis y la superficie de carretera independientemente de la carga presente en el vehículo.

La suspensión neumática es un sistema complejo y de coste elevado, ya que integra numerosos componentes y necesita de una instalación de aire comprimido para su funcionamiento. Esta suspensión es muy utilizada en vehículos industriales (autobuses, camiones, etc).

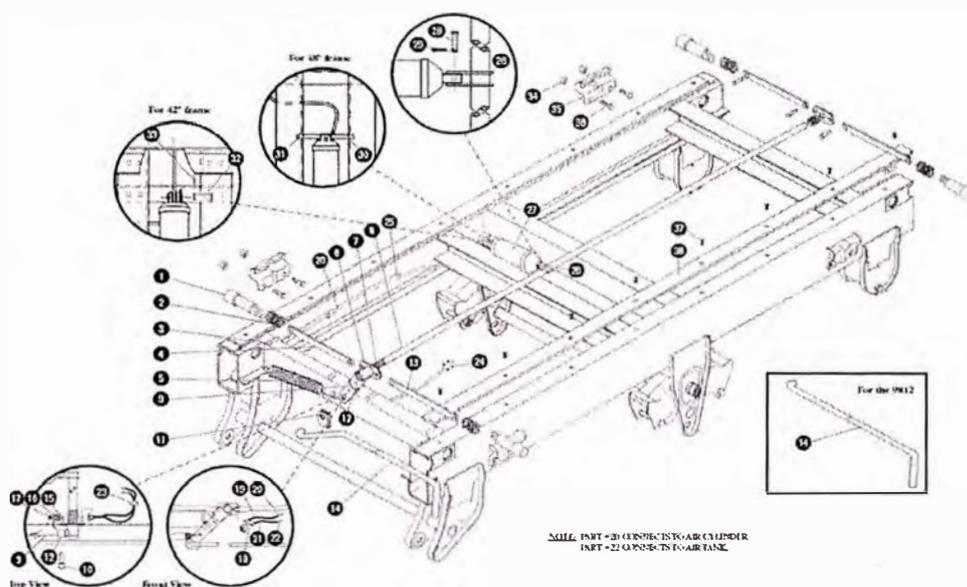


Figura 5.1 Suspensión Neumática

5.3.2 Suspensión mecánica

Se llama suspensión mecánica al tipo de suspensión que utiliza como resorte, el muelle o ballesta, el cual amortigua el peso de la cisterna a los ejes.

La característica más resaltante es el uso difundido de este sistema de suspensión en el mercado, debido a su costo, facilidad en la instalación y su mantenimiento.

Partes de la suspensión mecánica:

- _ Eje.
- _ Cartela.
- _ Soporte del muelle
- _ Pin del Balancín.
- _ Soporte.
- _ Templador fijo.
- _ Balancín.
- _ Templador variable.
- _ Soporte muelle con eje o “burrito”
- _ Tubo Templador estándar de 2”.

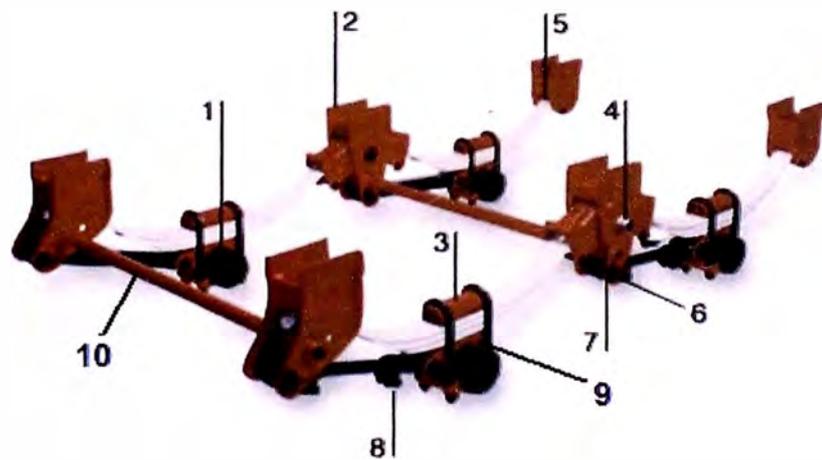


Figura 5.2 Sistema de suspensión Mecánica

5.4 PARAMETROS DE DISEÑO BAJO NORMAS MTC

Según el Reglamento Nacional de Vehículos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC por decreto supremo D.S. 034-2001-MTC, norma los pesos y medidas de los vehículos de carga, según el tonelaje que puede soportar un determinado número de ejes.

Para el caso en estudio, es un semirremolque cisterna de dos ejes con un número total de 8 neumáticos, la carga por eje fue calculada en el apartado 4.4.2 siendo el peso soportado en toneladas para el primer eje más cercano respecto al King pin de aproximadamente 8 Toneladas y para el segundo eje un peso aproximado de 7 Toneladas.

Teniendo como datos estos parámetros recurrimos a la tabla de pesos y medidas del D.S 034-2001-MTC (Tabla 5.1), veremos que la configuración que se adecua a nuestro caso es la T3S2 con una longitud total de 20.50 metros un peso para el primer y segundo eje de 18 Toneladas, cumple satisfactoriamente con los requisitos de diseño.

Tabla 5.1 Tabla de pesos y medidas

Lima, lunes 30 de diciembre de 2002

NORMAS LEGALES **El Peruano** Pág. 236183

ANEXO V

CONFIGURACIONES VEHICULARES Y SIMBOLOGIA
DE IDENTIFICACION SEGÚN D.S. 034-2001-MTC

TABLA DE PESOS Y MEDIDAS

Config	CONFIGURACION	Longitud total (m)	Eje delantero	Peso por eje (toneladas)				Peso bruto máximo
				Peso por eje o conjunto posterior				
				1° eje	2° eje	3° eje	4° eje	
C2		12.30	7	11				18
C3		13.20	7	18				25
8X4		13.20	7+7	18				32
T2S1		20.50	7	11	11			29
T2S2		20.50	7	11	18			35
T2Se2		20.50	7	11	11	11		40
T2S3		20.50	7	11	25			43
T2Se3		20.50	7	11	11	18		47
T3S1		20.50	7	18	11			36
T3S2		20.50	7	18	18			43

Como en el diseño de la suspensión tenemos una serie de elementos de los cuales no todos podemos fabricar, o su construcción sería inviable por factores externos, entre ellos esta los ejes y los mulles.

Es por esto que necesitamos conocer los requisitos para su adquisición.

5.4.1 Selección del eje.

Como la carga por eje es aproximadamente 8 Toneladas en libras sería aproximadamente 17600 lbs. con una longitud de trocha de 71.5” según la tabla 5.2 seleccionamos la opción 4.

Tabla 5.2 Medidas y dimensiones para ejes

	Longitud de Trocha	Espesor de Pared	Capacidad de carga (Muelle/Aire)	Longitud del Eje de Levas	Rueda de Disco B.C.D	Frenos	Rodamientos (interior/Exterior)
MEDIDAS Y DIMENSIONES							
1	71.5"	5/8"	25.000 / 22.500 Lbs.	642 mm	335.00 mm x 10	16 1/2" x 7"	HM 218248 / HM 21049
2	71.5"	5/8"	25.000 / 22.500 Lbs	642 mm	285.75 mm x 10	16 1/2" x 7"	HM 218248 / HM 21049
3	71.5"	5/8"	25.000 / 22.500 Lbs	642 mm	335.00 mm x 10	16 1/2" x 7"	HM 518445 / HM 518445
4	71.5"	5/8"	25.000 / 22.500 Lbs	642 mm	285.75 mm x 10	16 1/2" x 7"	HM 518445 / HM 518445
5	71.5"	3/4"	30.000 / 25.000 Lbs	642 mm	335.00 mm x 10	16 1/2" x 7"	HM 518445 / HM 518445
6	71.5"	3/4"	30.000 / 25.000 Lbs	642 mm	285.75 mm x 10	16 1/2" x 7"	HM 518445 / HM 518445
7	77.5"	5/8"	25.000 / 22.500 Lbs	642 mm	335.00 mm x 10	16 1/2" x 7"	HM 518445 / HM 518445
8	77.5"	5/8"	25.000 / 22.500 Lbs	642 mm	285.75 mm x 10	16 1/2" x 7"	HM 518445 / HM 518445
9	77.5"	3/4"	30.000 / 25.000 Lbs	642 mm	335.00 mm x 10	16 1/2" x 7"	HM 518445 / HM 518445
10	77.5"	3/4"	30.000 / 25.000 Lbs	642 mm	285.75 mm x 10	16 1/2" x 7"	HM 518445 / HM 518445

5.4.1 Selección del muelle

Los fabricantes de muelles IPA S. A. Muelles Elefante. Chincha.

Proporcionan kit de acuerdo a la capacidad de los ejes.

5.5 FUERZAS ACTUANTES EN LA SUSPENSIÓN

Las fuerzas que actúan en la suspensión son debidas al peso de la estructura, ya que la suspensión es la encargada de distribuir las fuerzas a los ejes y este a los neumáticos, un factor a tener en cuenta es la fuerzas de arrastres que actúan en los neumáticos, debido a las fricción entre estos y el asfalto, que será traslado al eje representados en la figura 5.3, cabe resaltar que al hacer estos traslados de fuerzas de rozamiento al eje hemos obviado el

momento resultante ya que la unión entre el eje y el neumático es por medio de un rodamiento.

Para el análisis por elementos finitos se ha considerado que las superficies 1, 2 y 3 como rígidas, sin movimiento, las únicas fuerzas a actuar son F_1 , F_2 , R_1 y R_2 cuyo valor será el mismo que los calculados en el apartado 4.4.2

$$F_1 = 8269.83 \text{ Kgf}$$

$$F_2 = 6941.61 \text{ Kgf}$$

$$R_1 = 4848.70 \text{ Kgf}$$

$$R_2 = 4164.97 \text{ Kgf}$$

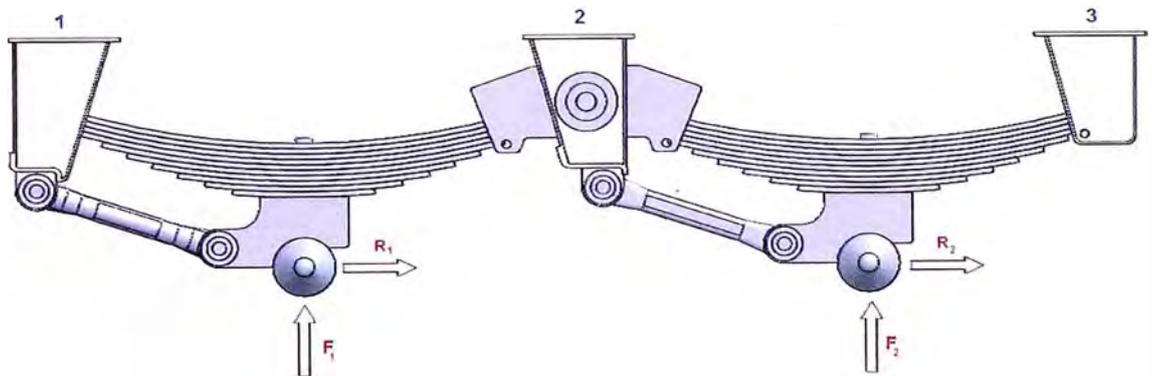


Figura 5.3 Fuerzas actuantes en la suspensión

5.6 ANALISIS DE LA SUSPENSION

Luego de tener los parámetros de diseño, las fuerza y la ubicación de las mismas y determinar los apoyos de la suspensión en el chasis, se está listo empezar la simulación de la suspensión por medio del SolidWorks Simulation 2009 SP3, se mostrara resultados de esfuerzos por el método de Von Mises, deformaciones y del factor de seguridad.

Se obtendrá resultados generales para la suspensión en su conjunto, por los elementos que la conforman como son, los ejes, muelles, balancines, soportes y templadores.

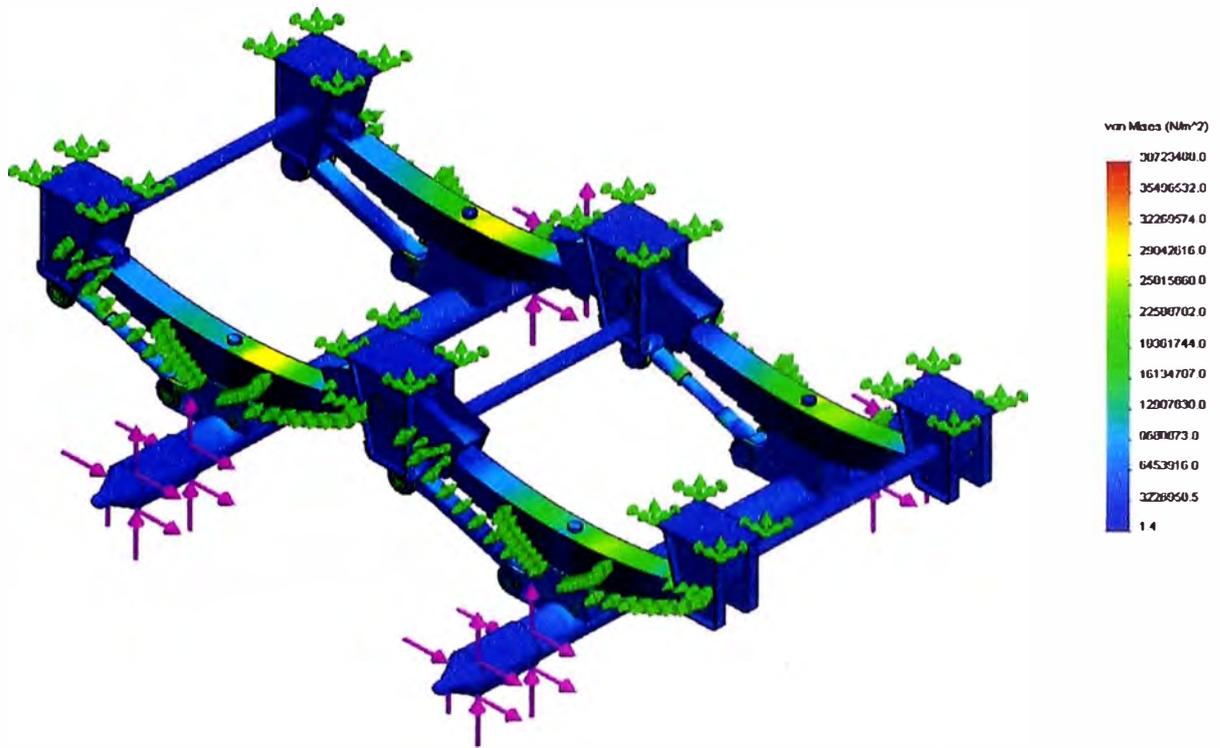


Figura 5.4 Distribución de esfuerzos (Von Mises N/m²)

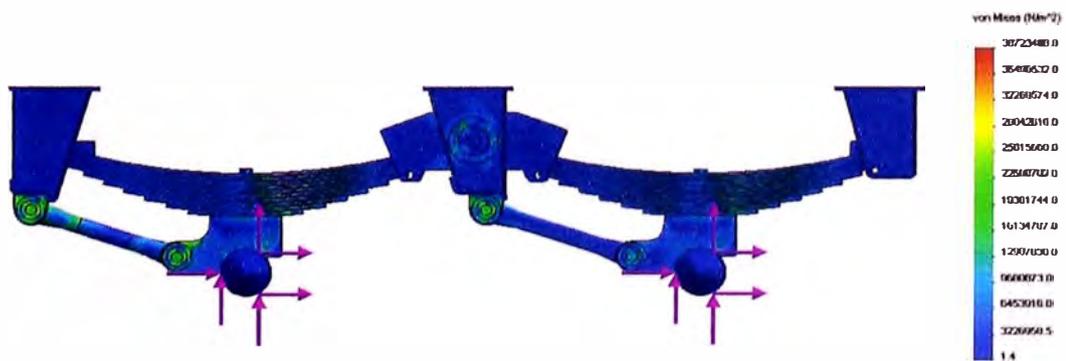


Figura 5.5 Distribución de esfuerzos

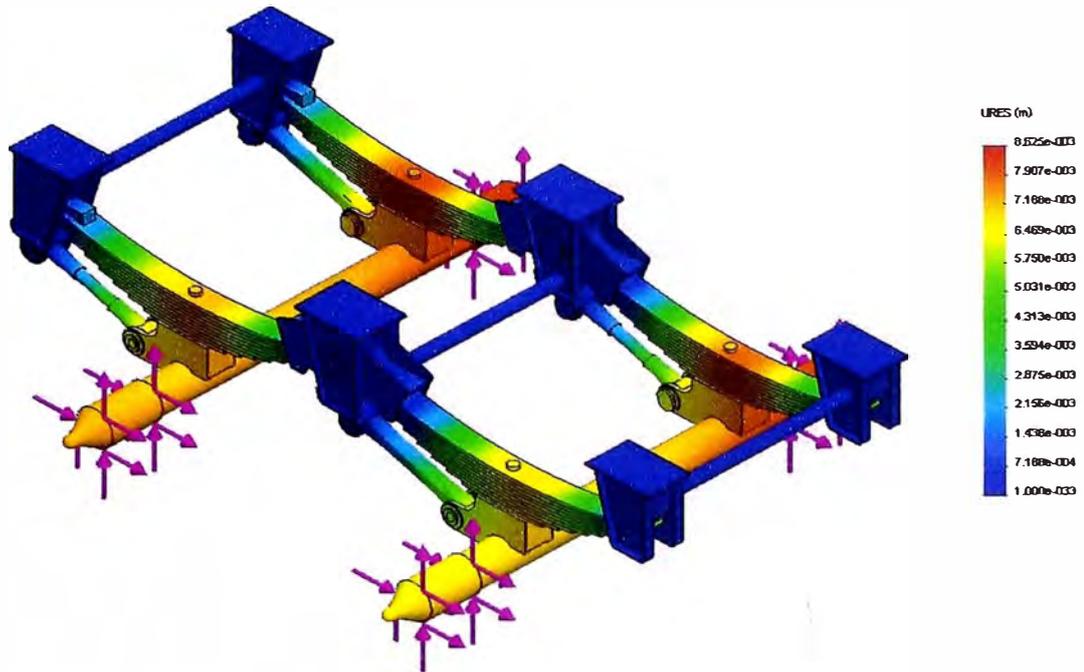


Figura 5.6 Distribución de desplazamientos

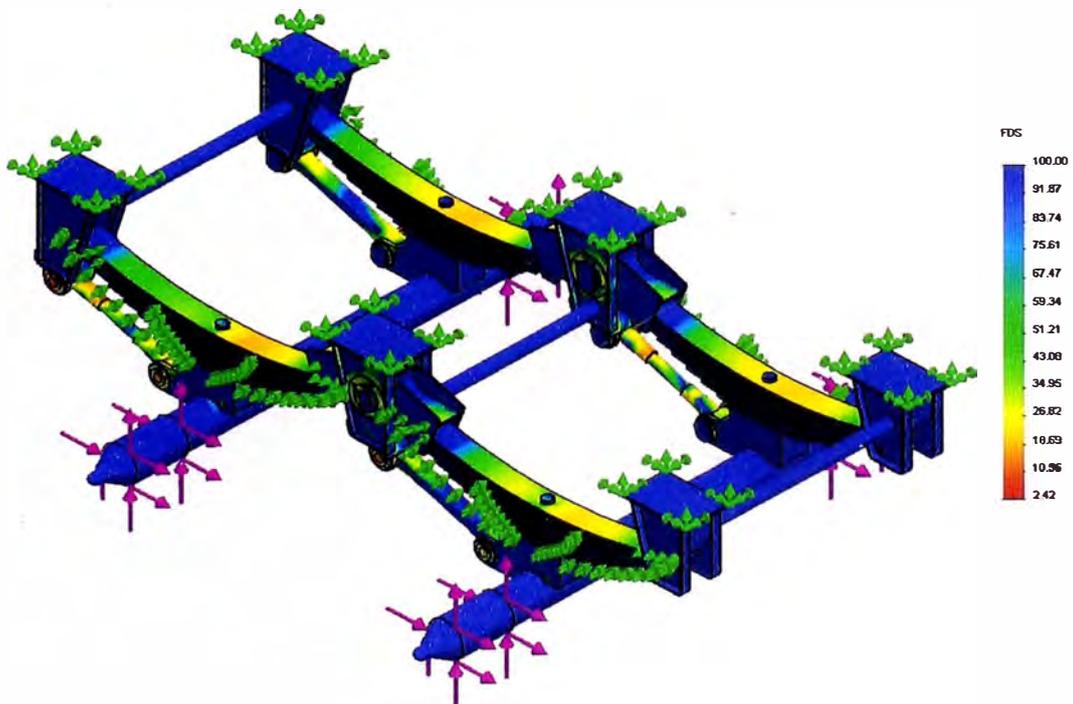


Figura 5.7 Distribución de factor de seguridad

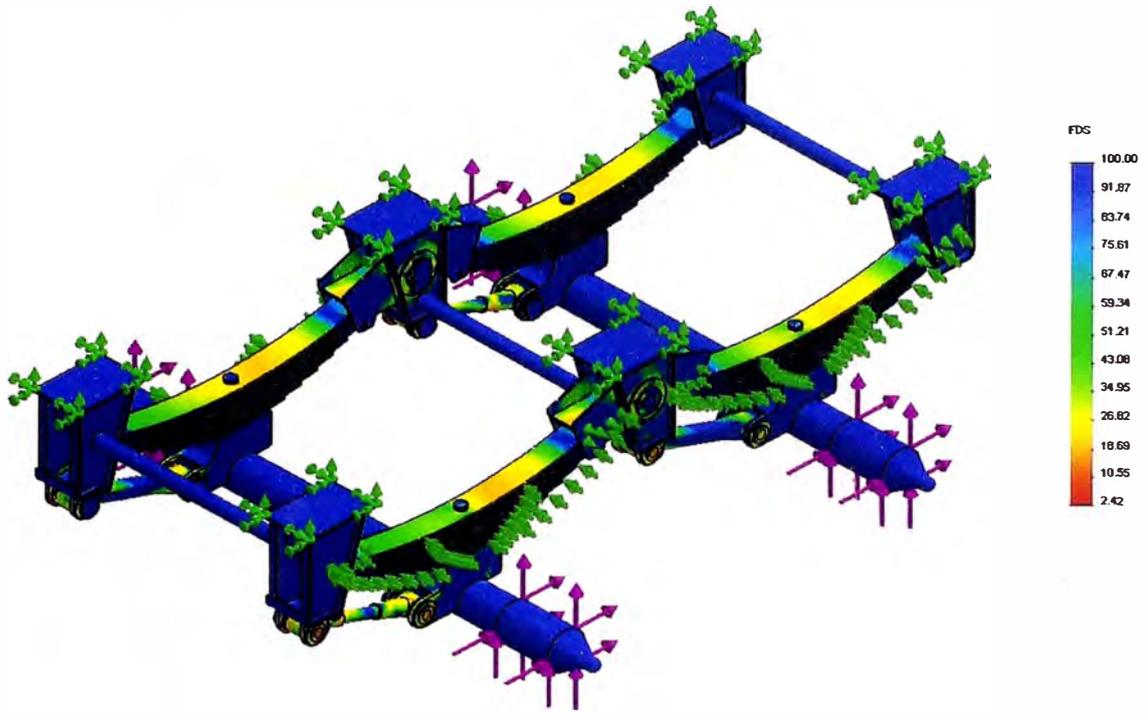


Figura 5.8 Factor de Seguridad

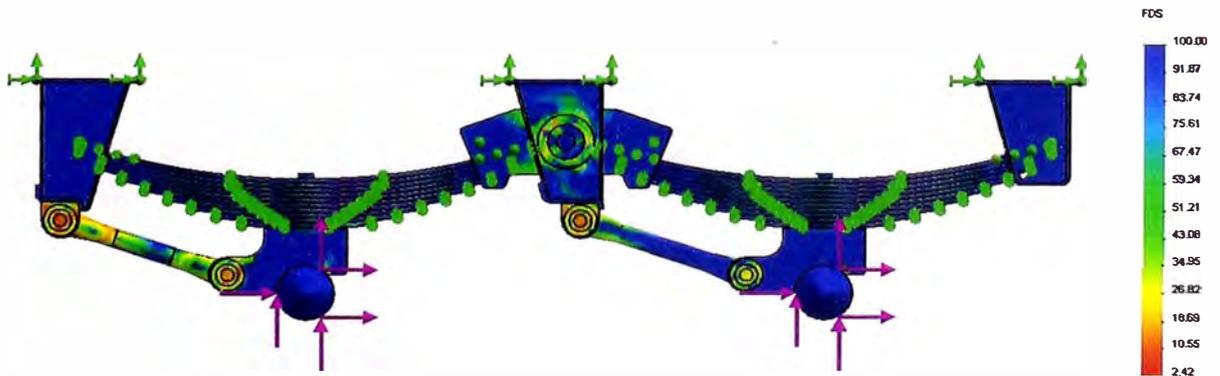


Figura 5.9 Factor de Seguridad vista frontal

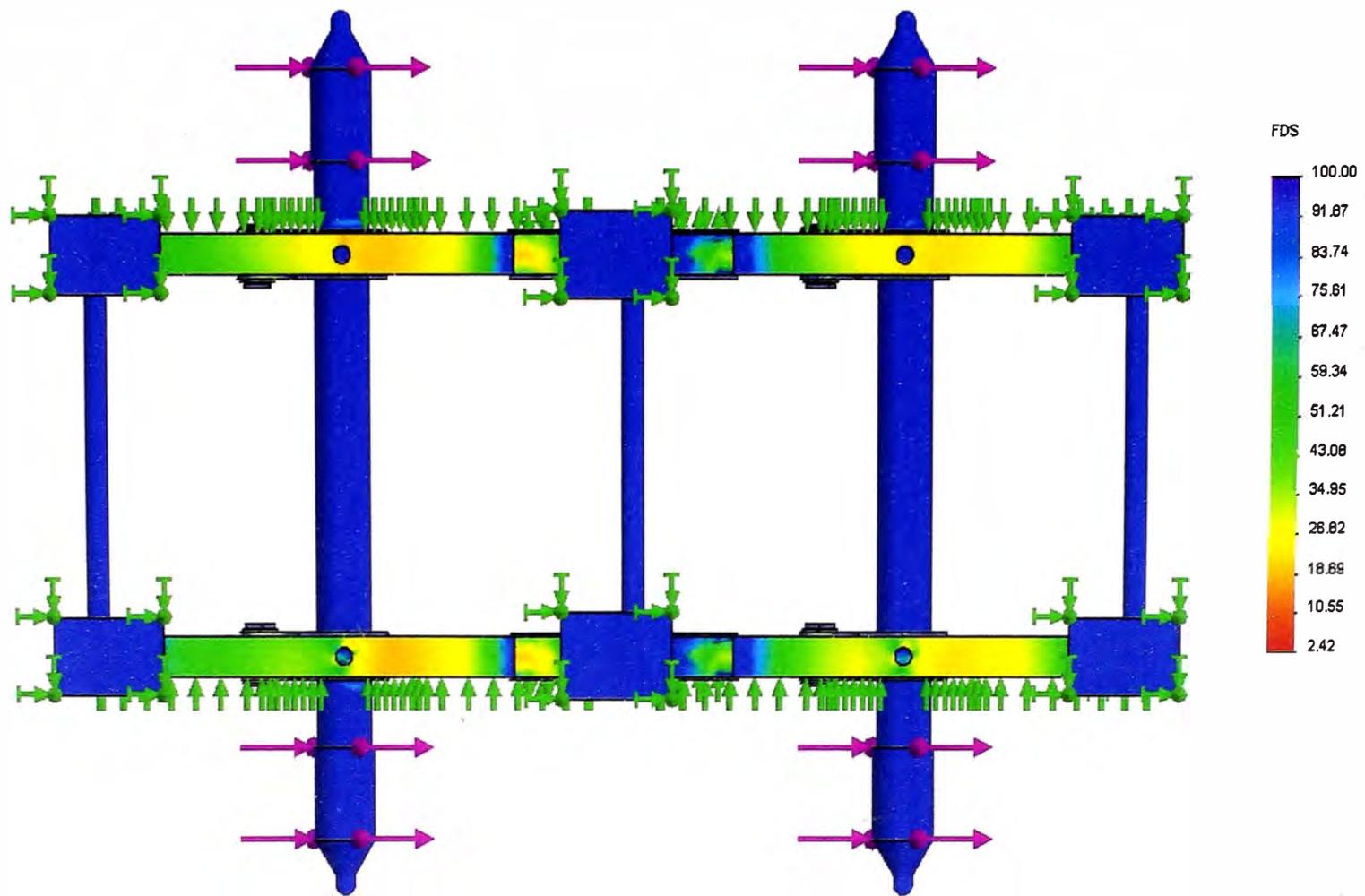


Figura 5.10 Factor de Seguridad vista superior

5.7 ANALISIS DE LA SOLDADURA

En este diseño solo nos referimos a la soldadura al arco con electrodo protegido o comúnmente llamada proceso SMAW, aplicable a aceros estructurales de fácil soldabilidad (contenidos de bajo carbono y aleaciones), en este proceso el calor derrite la varilla protegida, que es de acero con un recubriendo que rodea al electrodo; este recubriendo origina al quemarse alrededor del material recién depositado, una atmosfera rico en CO que impide el paso de oxigeno hacia la soldadura, formando CO_2 .

El recubrimiento del electrodo es una mezcla de celulosa, carbonatos y aleaciones, este recubrimiento realiza las siguientes funciones: Evita la oxidación del material con una atmosfera adecuada, como se dijo anteriormente, ya demás produce una costra que depositada encima de la soldadura mantiene el cordón fuera de contacto del oxigeno del aire mientras se va enfriando.

El material del electrodo se designa, en las especificaciones ASTM, como EABXX, en donde E significa electrodo protegido, AB corresponde a los números de la resistencia a la fractura del material depositado por el electrodo (Ejemplo E60XX, E70XX, etc.) y XX es la definición que identifica el tipo de corriente o la posición para el soldador.

Tabla 5.3 Normas AWS a usar según el proceso y el material

Base metal*	Welding process			
	Shielded metal-arc	Submerged-arc	Gas metal-arc	Flux cored arc
A36†, A53 grade B	AWS A5.1 or A5.5§	AWS A5.17 or A5.23§		AWS A5.20 or A5.29§
A500 grades A and B A501, A529, and A570 grades 30 through 50	E60XX E70XX E70XX-X	F6XX-EXXX F7XX-EXXX or F7XX-EXX-XX	AWS A5.18 ER70S-X	E6XT-X E7XT-X (Except -2, -3, -10, -13, -14, -GS) E7XTX-XX
A572 grade 42 and 50, and A588‡ (4 in. and under)	AWS A5.1 or A5.5§ E7015, E7016, E7018, E7028 E7015-X, E7016-X, E7018-X	AWS A5.17 or A5.23§ F7XX-EXXX F7XX-EXX-XX	AWS A5.18 ER70S-X	AWS A5.20 or A5.29§ E7XT-X (Except -2, -3, -10, -13, -14, -GS) E7XTX-X
A572 grades 60 and 65	AWS A5.5§ E8016-X, E8015-X E8018-X	AWS A5.23§ F8XX-EXX-XX	AWS A5.28§ ER 80S-X	AWS A5.29§ E8XTX-X

5.7.1 Soldabilidad de los aceros

No todos los aceros son soldables: sin embargo se procura que los aceros estructurales sean soldables, en este caso para la suspensión se usa acero A36 que es soldable porque su porcentaje de carbono es menor al 0.25% de Carbono.

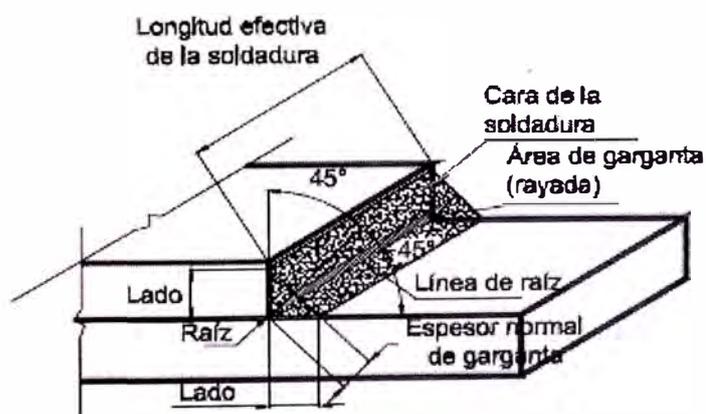
La soldabilidad es la propiedad del acero para lograr soldaduras libres de problemas. Depende mucho de la composición química del acero y en especial del contenido de carbono. A continuación se da una tabla 5.4 con la composición química de los aceros al carbono que indica los contenidos de los diferentes componentes que los integran y que tienen que ver con la soldabilidad de acero.

Tabla 5.4 Composición química del acero soldable

Elemento	Rango Normal (%)	Porcentaje que requiere cuidado especial
Carbono	0.06 - 0.25	0.35
Manganeso	0.35 - 0.80	1.40
Silicio	0.100 máx.	0.30
Sulfuro	0.035 máx.	0.05
Fosforo	0.030 máx.	0.04

5.7.2 Tipos de juntas soldadas

Los tipos de juntas soldadas básicas se muestran en las figuras siguientes donde prima las formas en que se unen las piezas. Dos de ellas merecen especial atención: Juntas a tope y las juntas Traslapadas.

**Figura 5.11** Junta Traslapada

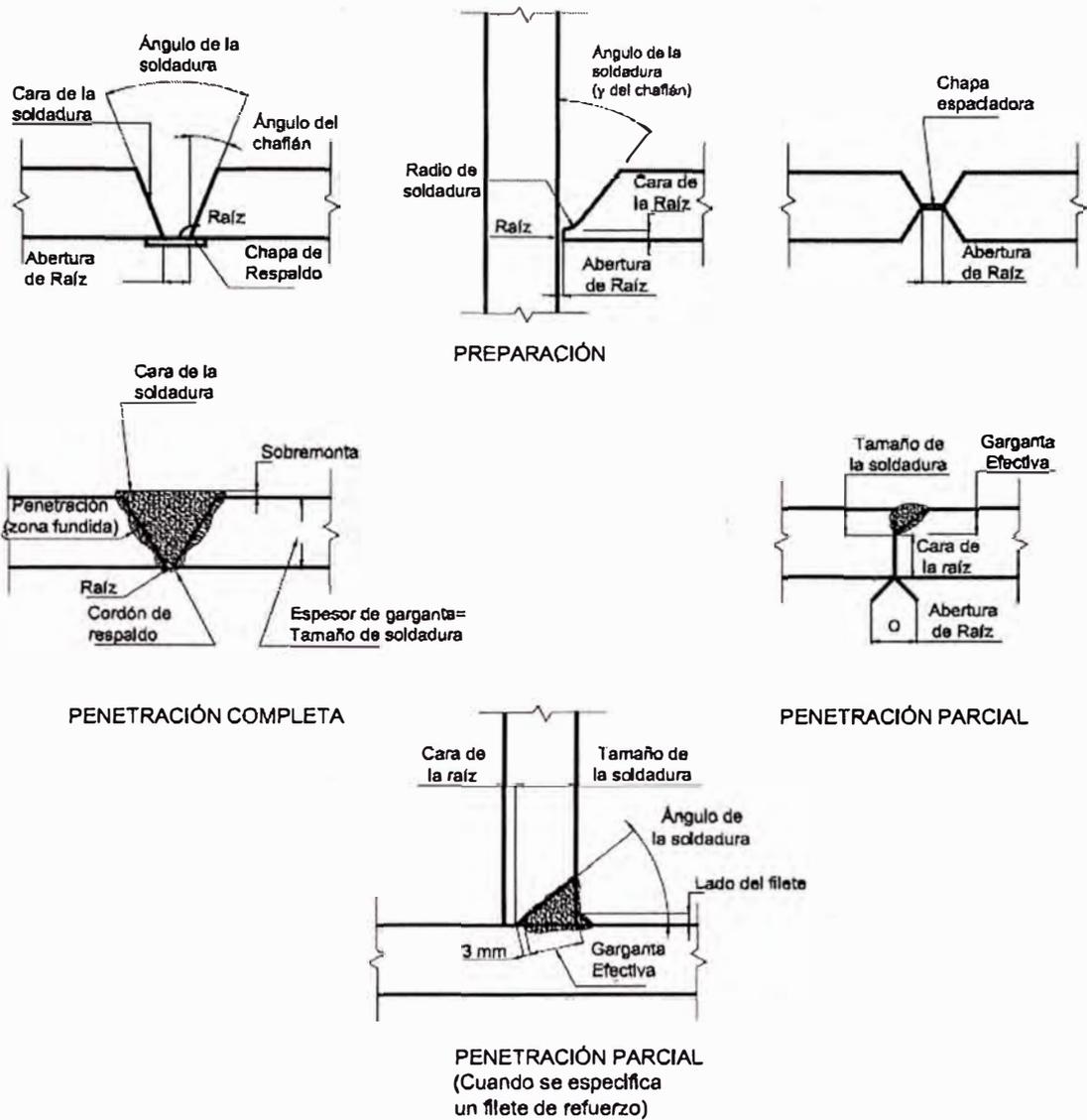


Figura 5.12 Junta a tope

Las juntas a tope sirven para dar continuidad a dos piezas a través de sus bordes. Muchas veces estos bordes se preparan con biseles para que la soldadura penetre.

Las juntas traslapadas sirven para que dos piezas se unan a través de sus costados y son muy conocidas en las soldaduras de perfiles con

planchas, que en la suspensión es muy usada. No requieren preparación especial en sus bordes.

Según el espesor de la plancha y el tipo de bisel se determina el número de pases de los cordones de soldadura a tope, según la tabla 5.5.

Tabla 5.5 Numero de pases según el espesor y el bisel

Weld size.* in	Fillet welds	Single-bevel groove welds (back-up weld not included)		Single-V groove welds (back-up weld not included)		
		30° bevel	45° bevel	30° open	60° open	90° open
3/16	1					
1/4	1	1	1	2	3	3
5/16	1					
3/8	3	2	2	3	4	6
7/16	4					
1/2	4	2	2	4	5	7
5/8	6	3	3	4	6	8
3/4	8	4	5	4	7	9
7/8		5	8	5	10	10
1		5	11	5	13	22
1 1/8		7	11	9	15	27
1 1/4		8	11	12	16	32
1 3/8		9	15	13	21	36
1 1/2		9	18	13	25	40
1 3/4		11	21			

5.7.3 Especificaciones AISC-LRFD para soldaduras

Se expondrá a continuación el método de diseño LRFD, de la siguiente relación:

$$\phi R_n \geq \gamma_i Q_i$$

Donde

ϕ = Factor de resistencia

$R_n = R_{nw}$ = Resistencia nominal, por lo que ϕR_{nw} = Resistencia de diseño.

γ_i = Factor de mayorización

Q_i = Efectos de las cargas aplicadas por lo que $\gamma_i Q_i$ son los efectos factorizados de las cargas R_u

Entonces, se deberá tener:

$$\phi R_{nw} \geq R_u$$

Donde R_u = Carga factorizada por unidad de longitud en la unión soldada.

Soldadura acanalada (AISC-LRFD J2.1)

La resistencia de diseño de las conexiones acanalada por unidad de longitud para una soldadura de penetración total depende del tipo aplicado.

1. Tracción o compresión perpendicular al área efectiva y tracción paralela al eje de la soldadura: Eficiencia = 100%.

$$\phi R_{nw} = 0.90 T_e F_y \quad \text{para el material base}$$

$$\phi R_{nw} = 0.90 T_e F_{yw} \quad \text{para la soldadura}$$

2. Corte en el área efectiva: Eficiencia = 100%

$$\phi R_{nw} = 0.90 T_e \sigma_y$$

$$\phi R_{nw} = 0.90 T_e (0.60 F_y)$$

$$\phi R_{nw} = 0.80 T_e (0.60 F_{ex})$$

Se nota que la resistencia al corte del material σ_y es considerado como el 60% de la resistencia a la fractura del material a la tracción.

Soldadura de filete (AISC-LRFD J2.2).

La resistencia de diseño por unidad de longitud de cordón de soldadura se basa en la resistencia al corte a través de la garganta de la misma:

$$\phi R_{nw} = 0.75 T_e (0.60 F_{ex}) \quad \text{para la soldadura,}$$

Y no menor de la resistencia a la fractura del metal base adyacente:

$$\phi R_{nw} = 0.75 w_s (0.60 F_u)$$

T_e = Dimensión de la garganta

w_s = Tamaño de la soldadura

F_{ex} = Resistencia a la fractura de la soldadura.

F_u = Resistencia a la fractura del metal base.

A continuación se dan tablas de resistencia a corte

Tabla 5.6 Resistencia por una pulg. o cm de soldadura de filete

Tamaño Nominal		Resistencia de diseño al corte de la soldadura			
		E60XX		E70XX	
Pulg.	mm	kip/pulg	t/cm	kip/pulg	t/cm
1/8	3	2.38	0.412	2.77	0.48
3/16	5	3.58	0.667	4.18	0.779
1/4	6	4.77	0.8	5.57	0.934
5/16	8	5.97	1.068	6.96	1.245
3/8	9	7.16	1.214	8.35	1.416
7/16	11	8.35	1.494	9.74	1.743
1/2	12	9.54	1.634	11.14	1.914
9/16	14	10.74	1.921	12.53	2.242
5/8	16	11.93	2.135	13.92	2.242
11/16	17	13.12	2.348	15.31	2.734
3/4	19	14.32	2.563	16.71	2.988

Para la suspensión está diseñada para acero de espesor 1/4", para el electrodo a usar Supercito E7018 de 1/8" o 5/32", tiene una resistencia crítica de 2.77 kpi/pulg o expresada también como 0.48 t/cm.

CAPITULO VI

DISEÑO DEL SISTEMA DE DESCARGA BOTTOM LOADING

6.1 DEFINICIÓN

El sistema Bottom Loading aumenta la seguridad del proceso de carguío porque elimina el contacto del operador con los productos y con los gases.

El proceso de carga y descarga puede ser realizada por una caja de comando neumático, mantenida a una distancia segura del punto de carga y descarga.

El sistema posee un sensor óptico de nivel que bloquea inmediatamente el carguío cuando detecta que el producto sobrepasó el nivel máximo de seguridad.

En caso de incendio, el sistema apaga inmediatamente, aislando el producto en el interior del tanque.

En caso de accidente, la válvula de fondo y la válvula recuperadora de gases protegen el tanque y aislando el contenido, evitando incendios o derrames en el medio ambiente.

6.2 PARTES DEL SISTEMA BOTTOM LOADING

Para dar mayor seguridad al sistema de carga y descarga, el sistema cuenta una serie de válvulas de seguridad, ya sea para el diesel como para los gases que se forman por la evaporación del diesel es importante tener en cuenta estos gases, ya que si no existe el sistema de recuperación de gases, el peligro de producirse una explosión es muy alta. En la parte de superior del tanque cisterna cuenta con una tapa en la cual está instalado una válvula que evita la salida de los gases a una presión de trabajo de 5 PSI. La carga y descarga de combustible se realiza por una misma válvula, llamada válvula de carga, que puede ser accionada manual o neumáticamente.

Las partes que forman el sistema Bottom Loading son:

- Válvula de carga
- Válvula recuperadora de gases
- Válvula interna de emergencia
- Sensor óptico
- Tapa manhole
- Sockets
- Adaptador de descarga
- Operador mecánico
- Codo visor
- Cable codificado

6.2.1 Válvula de carga

Su función como ya se menciono es de acoplar la manguera de carga o descarga, de forma que este herméticamente sellada para evitar derrames de petróleo.

Debe ser de un material que evite su corrosión por el contacto de diesel 2, su calidad debe estar garantizada para evitar posibles fugas de petróleo.

Entre sus principales características tenemos:

Material es de aluminio para garantizar una larga vida.

Diseñada bajo norma API RP-1004 con una abertura estándar de 4”.

Compatibilidad con gasolina, diesel, biodiesel, etanol y metanol.

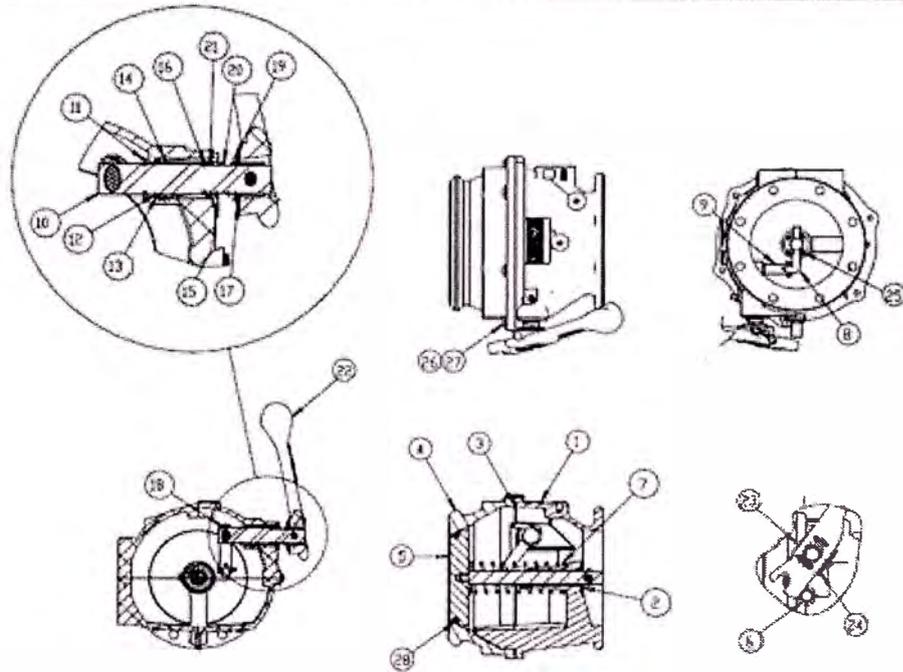
Partes internas de acero inoxidable.

Acción de palanca súper lisa.



Figura 6.1 Válvula de carga y descarga

891A Bottom Loading Adaptor



ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	11750	BODY, MACHINED	1
2	11665	BEARING	1
3	11905 ²	O-RING	1
4	11550	ADAPTOR FACE	1
5	11580	POPPET	1
6	H20051M	STOP PIN	1
7	11664	SPRING	1
8	11548	LINK, POPPET/HANDLE	1
9	11544	LINK, SHAFT	1
10	11543 ¹	SHAFT	1
11	11662	E-CLIP	1
12	11703	RETAINING RING	1
13	11704 ^{1,3}	WASHER	1
14	11705 ^{1,2,3}	QUAD RING	1
15	11536 ^{1,3}	BEARING	1
16	H06942M ^{1,2,3}	O-RING	1
17	10840 ^{1,3}	NYLON WASHER	1
18	11661	E-CLIP	1

ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
19	11490 ^{1,3}	HUB	1
20	H20182M ^{1,3}	SPRING	1
21	H20189M ^{1,3}	NYLON WASHER	1
22	11460 ¹	HANDLE	1
23	H08901M ^{1,3}	FULCRUM PIN	1
24	11623 ^{1,3}	BOWTIE CLIP	1
25	11618	CLEVIS PIN	3
26	10806M	LOCK WASHER	6
27	11534	SCREW	6
28	H20058M	POPPET O-RING	1

REPAIR KITS	
891HRK	HANDLE REPAIR KIT
891ORK	O-RING REPAIR KIT
891SRK	SHAFT REPAIR KIT

¹—INCLUDED IN 891HRK, ²—INCLUDED IN 891ORK, ³—INCLUDED IN 891SRK

Figura 6.2 Esquema de la válvula de descarga

6.2.2 Válvula recuperadora de gases

Las válvulas recuperadoras de vapor o gases se utilizan para conectar los compartimentos de la cisterna al sistema de recuperación de vapores, para sellar los compartimentos de la cisterna y a continuación, permitir la apertura de flujo de vapor durante la carga y descarga.

Sus principales características son:

- Para una entrada de 4 " de alta capacidad de diseño ofrece una mayor rapidez de flujo de carga y descarga.
- Innovador sistema de cierre doble.
- Múltiples opciones de montaje, de acero inoxidable.
- Presión mínima de funcionamiento, presión de trabajo de 5 PSI.

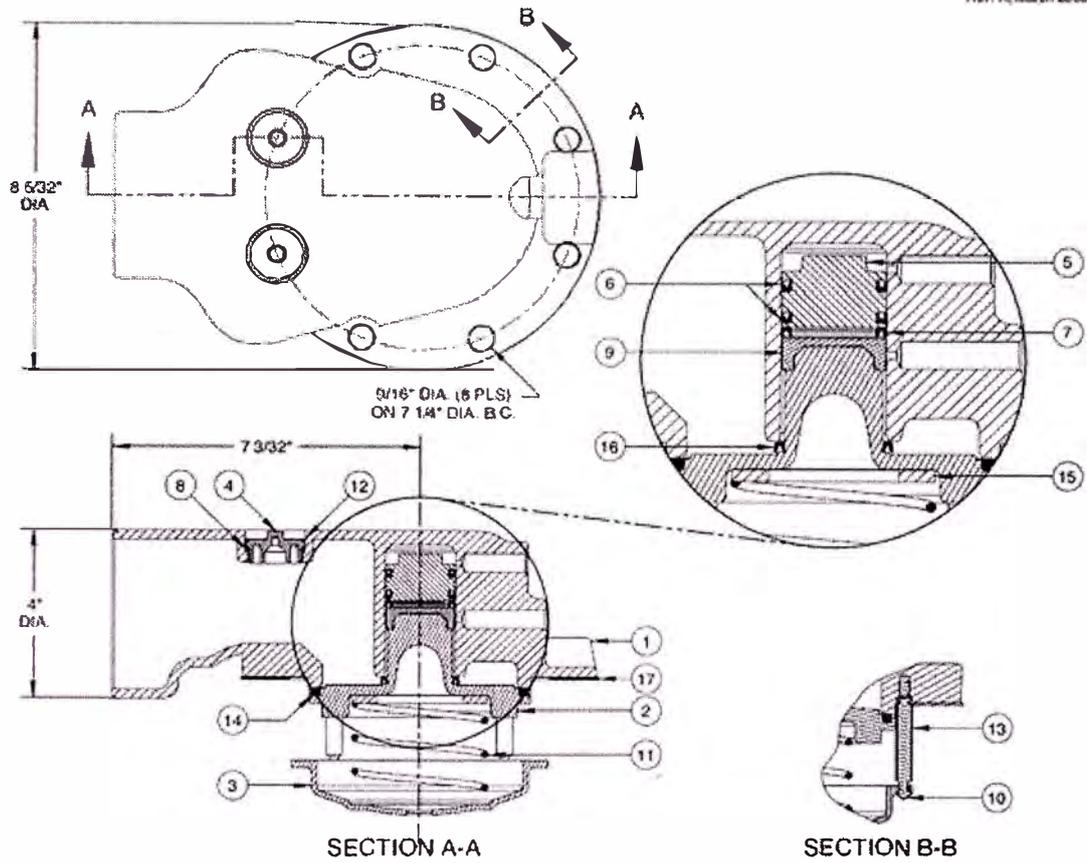


Figura 6.3 Válvula recuperadora de gases

1998 4" Sequential Vapor Vent

Replacement Parts

Rev. A, March 2008



ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	E51630A	BODY	1
2	E51633A	POPPET ¹	1
3	D51637A	DEFLECTOR	1
4	H20516M	PLUG ¹	2
5	D51631RP	PISTON ¹	1
6	H51624M	SEAL (BUNA U-CUP) ¹	2
7	H51625M	SEAL RING (TEFLON) ¹	1
8	H20249M	O-RING (BUNA) ¹	2
9	H51734RP	DISC (ACETAL) ¹	1
10	C51632RE	GUIDE ROD	4
11	H51628M	SPRING	1

ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
12	H20086M	RETAINING RING ¹	2
13	H51693RP	TUBE (TEFLON) ¹	4
14	H51810M	O-RING (VITON) ¹	1
15	9921	SPACER ¹	1
16	9923	SEAL (BUNA U-CUP) ¹	1
17	H20572M	GASKET (CORK / BUNA)	1

REPAIR KITS		
PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1998RK	VENT REPAIR KIT	N/A
9182	FLANGE ADAPTOR KIT (1993 VENT)	N/A

¹ - Included in 1998RK

Figura 6.4 Esquema de la válvula recuperadora de gases

6.2.3 Válvula interna de emergencia

La válvula de emergencia está específicamente diseñada para permitir una mayor flexibilidad del diseño de camiones cisterna. El funcionamiento es importante en caso de ruptura del ducto que conecta el tanque cisterna con la válvula de carga, ya que corta fluido por esta tubería.

Sus características son:

Un codo de 4" de diseño compacto para una mayor flexibilidad de diseño camión cisterna.

En el interior del cilindro de aire comprimido permite que el trabajo sea más sencillo.

Fácil la instalación de la brida.

Peso ligero y robusto de aluminio y acero inoxidable para larga vida de servicio

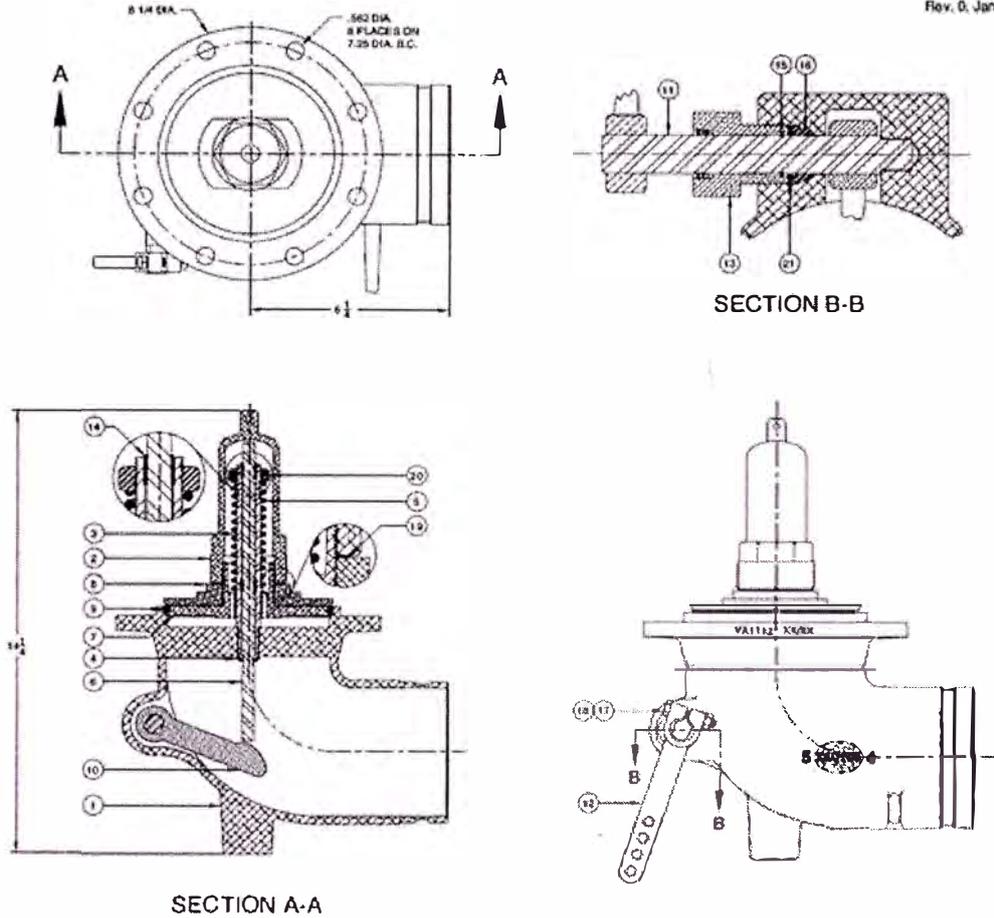


Figura 6.5

VA1112 5" X 4" Emergency Valve

Replacement Parts

Rev. 0, January 2003



ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	7106	VALVE BODY	1
2	7363	CAP	1
3	2699	STEM ASSEMBLY	1
4	6099	RETAINING RING	1
5	5215	SPRING	1
6	7794	PUSH ROD	1
7	5067	DISC	1
8	7865	DISC LOCK NUT	1
9	7342	O-RING (TEF-O-SIL)	1
10	7898	LIFT LEVER (BRASS)	1
11	7909	LEVER SHAFT	1

ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
12	8117	HANDLE	1
13	6427	GLAND ASSY (BRASS/TEF-O-SIL)	1
14	4094	RETAINING RING	2
15	2198	RETAINING RING	1
16	7117	PACKING (TEFLON)	2
17	5684	SCREW	1
18	5885	HEX NUT	1
19	8041	GASKET (TEFLON)	1
20	5687	JAM NUT	1
21	6024	WASHER	1

Figura 6.6 Esquema de válvula interna de emergencia

6.2.4 Sensor óptico

Antes de empezar el proceso de carga, se conecta un sistema para controlar el nivel de llenado, por medio de un socket, el cual por medio de un cable codificado se conecta con el sensor óptico que manda información del nivel de llenado al surtidor de petróleo, cuando el nivel de petróleo llega a la flecha, el sensor manda la orden de parar el suministro de petróleo.

Sus características:

Auto-control de los circuitos de funcionamiento a prueba de fallas.

Diseño único de prisma resiste al apagado debido a la condensación, el hielo y la niebla para una operación sin problemas

De acero inoxidable de fácil mantenimiento.

Conectores para cable codificado incluido para ahorrar tiempo y dinero en la instalación.

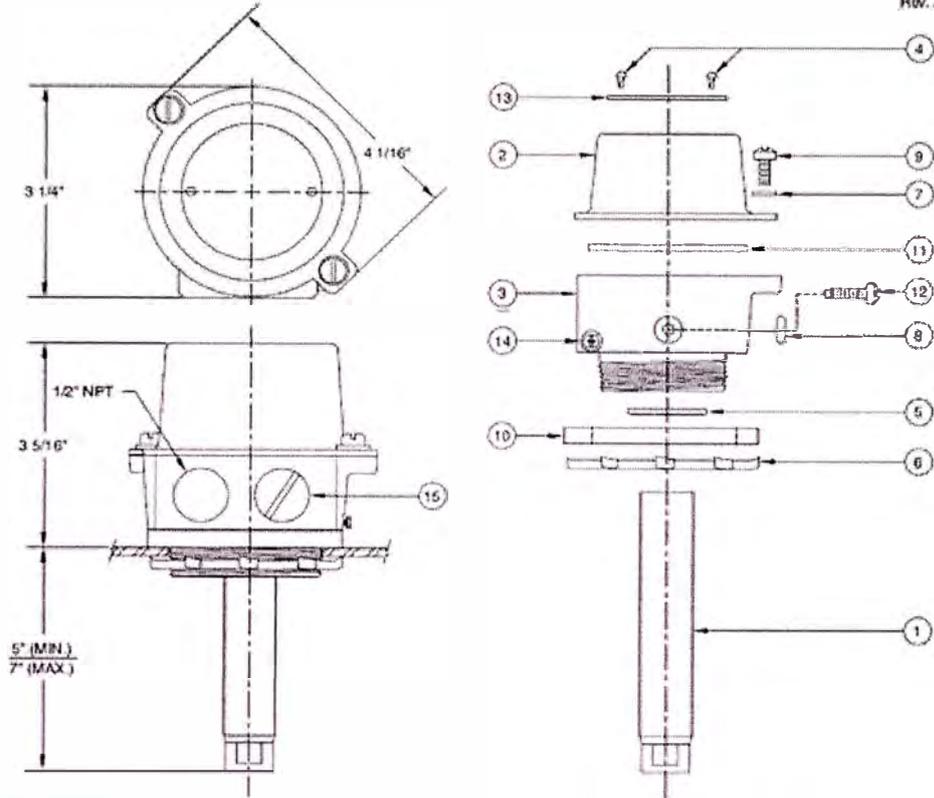


Figura 6.7 Sensor óptico

Model #1051-007 ROM
Optic Sensor (2-Wire 2" NPT)

Replacement Parts

Rev. A, March 2006



ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	1351-007	OPTIC SENSOR	1
N/A	1355-1355	PROBE HOUSING (INCLUDES ALL ITEMS EXCEPT ITEMS 1 & 13)	N/A
2	C40030A	UPPER HOUSING CAP	1
3	D40023A	LOWER HOUSING BODY	1
4	H50066M	DRIVE SCREW	2
5	H50080M	O-RING (BODY SENSOR TUBE)	1
6	H50083M	LOCK NUT (2" N.P.T.)	1
7	H50086M	WASHER (1/4" SPLIT, S.S.)	2
8	H50088M	O-RING (PROBE ADJUSTING SCREW)	1
9	H50153M	SCREW (1/4-20 X 1/2 STL, FIL, S.S.)	2
10	H50276M	GASKET (BASE SENSOR)	1
11	H50279M	O-RING (CAP SENSOR)	1
12	H50371M	PROBE ADJ. SET SCREW (1/4-20 X 27/32 STL, FIL, S.S.)	1
13	H50476M	NAME PLATE (1050 SENSOR)	1
14	H50524M	GREEN GROUNDING SCREW (#8-32 X 3/8 CMB, BND, DC)	1
15	H50070M	PIPE PLUG (1/2" N.P.T.)	1

Figura 6.8 Esquema Sensor óptico

6.2.5 Tapa manhole

En la parte superior de la cisterna se encuentra la entrada para el personal de inspección cuando sea requerido, esta es llamada la entrada “manhole”, como esta tiene que estar cerrada herméticamente para el transporte de combustible se ha adecuado una tapa manhole, en ella también estarán dispuestas la válvula recuperadora de gases y el sensor óptico.

Sus características:

Cumple con las normas DOT 406 en los tanques de carga.

Diseñado para la presión o vacío forzado.

Un diámetro de 20”.

Material de acero inoxidable para evitar la corrosión.

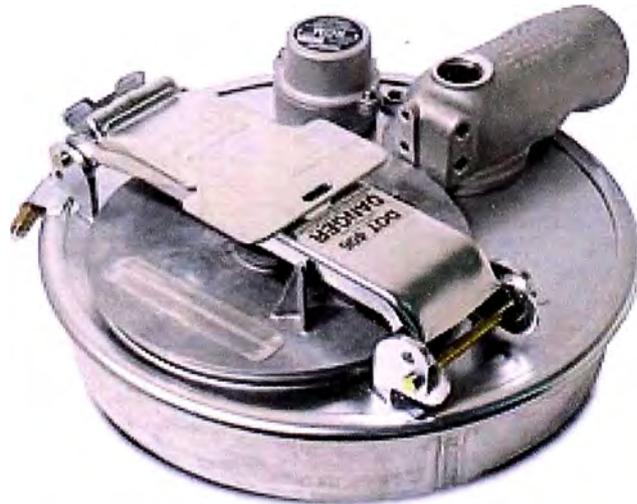
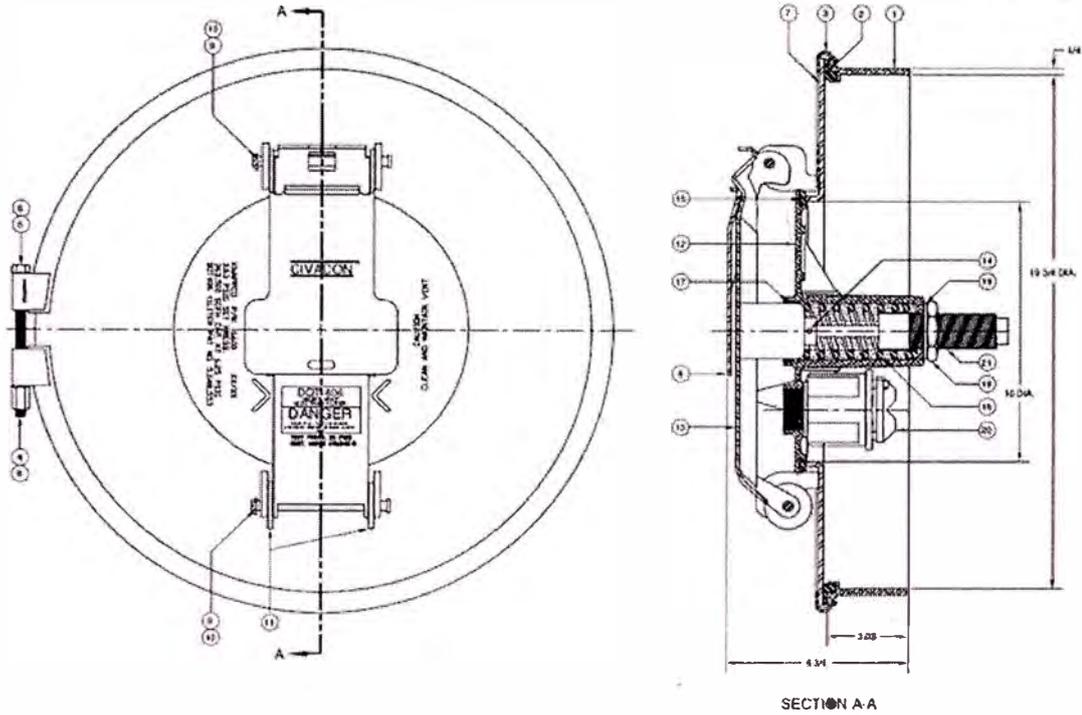


Figura 6.9 Tapa manhole

SSU111100 20" Manhole Assembly

Replacement Parts

Rev. 0, January 2000



ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	4755	WELD RING	1
2	4646	GASKET (BUNA, WELD RING) ²	1
3	3250	CLAMP RING	1
4	5009	NUT (HEX HEAD)	1
5	1110	SCREW (HEX HEAD)	1
6	1113	WASHER	2
7	6153	COVER WELDMENT	1
8	6121	LATCH	1
9	5951	CLEVIS PIN	2
10	1045	COTTER PIN	2
11	6025	WASHER	2

ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
12	6533	FILL COVER ¹	1
13	6535	STRONGBACK WELDMENT ¹	1
14	6534	DRIVE PIN ¹	1
15	6252	GASKET (BUNA, FILL COVER) ^{1,2}	1
16	5895	SPRING ¹	1
17	6532	LIP SEAL (POLY) ¹	1
18	6374	NUT (HEX JAM) ¹	1
19	6375	SEAL WASHER ¹	1
20	NV2001	VENT ASSEMBLY ¹	1
21	9241	MOTION CONTROL ¹	1

¹ - Included in P/N 6600 - Fill Cover Assembly
² - Also available in Viron - P/N 4874, ³ - Also available in Viron - P/N 6263

Figura 6.10 Esquema tapa manhole

6.2.6 Sockets y adaptador de descarga

Como ya se menciona en el apartado 6.2.4 para conectar el sensor óptico con el surtidor de combustible se hace por medio de un socket, de acero inoxidable los terminales ayuda a contrarrestar la corrosión, mejora las conexiones, los conectores de cables de colores para una fácil identificación.

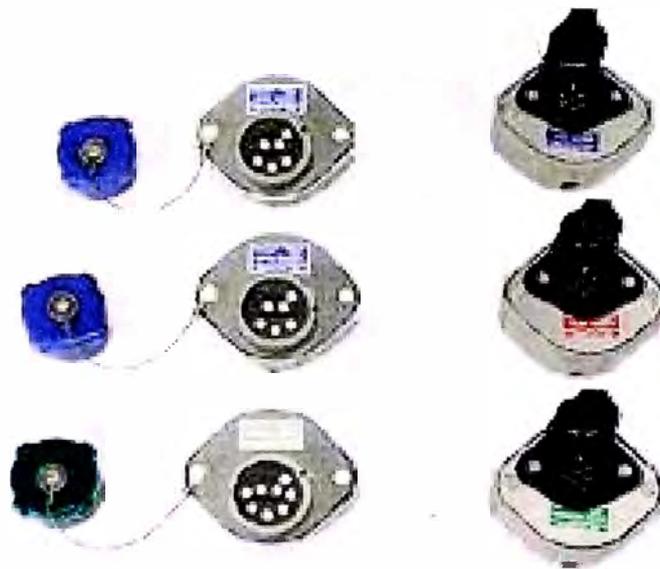


Figura 6.11 Sockets

A la hora de la descarga, algunas veces será necesario una reducción de la válvula de carga a la manguera de descarga por lo que el uso de un adaptador de descarga es útil.



Figura 6.12 Adaptador de descarga

6.3 PROCEDIMIENTO PARA LA DESCARGA DE CAMIONES CISTERNA

Procedimiento:

Al llegar a la dirección de entrega, se debe colocar el camión tanque en la posición de descarga con todas las medidas de seguridad.

Frenar totalmente el vehículo.

Apagar el motor y la llave general.

Colocar los tacos de madera en las ruedas.

Posicionar los equipos de seguridad (Extintores, Conos, Placas de aviso, etc.,...).

Identificar claramente el producto a entregar por compartimiento y por tanque de destino.

Verificar los precintos de seguridad. Si están intactos y la numeración coincide con la factura o guía de remisión.

Abrir las tapas de los compartimientos y solicitar al personal de la estación que verifique el nivel del producto, si se encuentra en la flecha o disco. Verificar a través de la pasta si existe agua en el fondo.

Conectar cable antiestático primero al tanque de la estación y al final al tanque camión.

Acoplar la manguera del camión al tanque correspondiente y verificar si la tapa correspondiente está abierta. En caso de no tener descarga sellada, instalar la lona sobre la boca del tanque de la estación.

Abrir la válvula de fondo y demás válvulas correspondientes para efectuar la descarga.

Ubicarse cerca al cierre rápido y en caso de emergencia cerrar las válvulas y si es necesario retirar el vehículo del local.

En caso de tener algún goteo junto a la conexión en el camión, utilizar el balde de aluminio. Ninguna gota debe caer al suelo.

Descargar el producto de forma que no quede combustible en el compartimiento.

Después de finalizar la descarga de un compartimiento, cerrar las válvulas de fondo y de descarga, se debe desacoplar la manguera del lado del camión y proceder a escurrir el producto sobre el tanque de recibo y volver a conectarla a otro compartimiento, cambiarlo al tanque

de recibo, correspondiente. Repetir la operación hasta que termine todos los compartimientos.

— Luego de terminada la descarga de todos los compartimientos, hacer revisión, junto con el responsable de estación, verificando que no exista clase de remanente en el fondo. En caso de necesidad, utilizar tacos.

— Cerrar las tapas de cada compartimiento y verifique que las válvulas de descarga se encuentran debidamente cerradas y con tapas colocadas.

— Desconectar el cable a tierra, recoger todos los avisos,, extintores, conos, etc.

— Hacer una ronda de seguridad alrededor del vehículo antes de iniciar la retirada, verificando que la tapa del tanque de la estación esta cerrada antes de encender el motor.

CAPITULO VII

ANALISIS DE COSTOS

En este capítulo se hace una estimación del costo de la realización del tanque cisterna, sin considerar acabados finales, como son pintura, y tramites documentarios para su posterior puesta en funcionamiento.

7.1 CONSIDERACIONES

Se considera que el plazo de realización del proyecto es de 2 meses. Suponiendo que se trabaja en este tema, con dedicación exclusiva, una media de 6 horas diarias, 5 días a la semana y 4 semanas por mes, en total se tiene que trabajar 240 horas útiles.

Se tendrá en cuenta el costo del alquiler de las herramientas de trabajo y el alquiler del taller para su realización. Se dividirá la cisterna en 3 partes para su análisis: el tanque, el chasis y la suspensión para tener un resultado más detallado.

Para la realización de este proyecto, se pidió asesoramiento a ingenieros y personas de mucha experiencia. Fueron tan amables que no cobraron nada por ello, por lo que tampoco se incluye en el presupuesto.

7.2 METRADO DEL TANQUE Y CHASIS

7.2.1 Materiales

	Materiales	Costo Unitario	Cantidad	Total
1	Plancha 3/16" de acero ASTM A36 para el taque	252.70	20	5,054.00
2	Plancha 3/16" de acero ASTM A36 para las mamparas	252.70	6	1,516.20
3	Plancha 3/16" de acero ASTM A36 para puentes del chasis	252.70	1	252.70
4	Plancha 3/16" de acero ASTM A36 estriada para el piso de la cisterna	302.10	1	302.10
5	Plancha 1/4" de acero ASTM A36 para el chasis	338.91	2	677.82
6	Plancha 1/4" de acero ASTM A36 para el soporte del King Pin	338.91	1	338.91
7	Platina de 1/4" x 4" de acero ASTM A36 para base del chasis en el tanque	85.34	4	341.36
8	Angulo de 4" x 4" 3/8" de acero ASTM A36 para refuerzo de las mamparas	259.93	10	2,599.30
9	Angulo de 3" x 3" 3/8" de acero ASTM A36 para unión entre soporte del King Pin y el tanque	183.86	1	183.86
10	Angulo de 3" x 3" 3/8" de acero ASTM A36 para refuerzo del soporte King Pin	183.86	1	183.86
11	King Pin marca JOST	193.70	1	193.70
12	Juegos de patas de apoyo marca JOST	894.00	1	894.00
13	Perno M20 x50 DIN 6914	12.00	20	240.00
14	Tuerca hexagonal M20 X 1.5 DIN 6923	8.00	20	160.00
15	Huacha diámetro 21mm DIN 6340	2.00	20	40.00
16	Lata de soldadura cellocord 1/8" 20Kg	233.57	2	467.14
17	Lata de soldadura overcord 5/32" 20Kg	240.07	1	240.07
18	Lata de soldadura Ferrocito 24 5/32" 20Kg	318.40	1	318.40
	Total			14,003.42

7.2.2 Mano de obra

Considerando para la construcción del tanque y chasis un tiempo de 3 meses, trabajando 1 Supervisor de obra, 1 soldador homologado 3G y 2 ayudantes, obtenemos la siguiente tabla.

	Número de Personas	Sueldo por semana	Números de semanas	Total
Supervisor de obra	1	250.00	4	1,000.00
Soldador Homologado 3G	1	450.00	4	1,800.00
Ayudantes	2	500.00	4	2,000.00
Total				4,800.00

7.2.3 Otros gastos generales

- Rolado de 18 planchas de 3/16"	1,500.00
- Corte y dobléz	750.00
- Herramientas de trabajo	500.00
- Servicios básicos	800.00
- Alquiler de local	1,000.00
- Transporte	300.00
Total	4,850.00

Costo Total del tanque y chasis, material, mano de obra y otros gastos generales
23,653.42.

7.3 METRADO DE LA SUSPENSION

7.3.1 Materiales

	Materiales	Costo Unitario	Cantidad	Total
1	Plancha 1/4" de acero ASTM A36 para balancín y soportes.	338.91	2	677.82
2	Templador Fijo.	160.00	2	320.00
3	Templador Variable.	215.80	2	431.60
4	Muelle de 3 1/2" marca elefante	357.60	4	1,430.40
5	Eje de longitud de trocha 71.5" de espesor de pared 5/8".	2384.00	2	4,768.00
6	Tubo estándar de 2"	123.90	1	123.90
7	Llanta 11 x 22.5 R	1015.00	8	8,120.00
8	Aro de 22.5 de 10 huecos tipo Americano	260.10	8	2,080.80
9	Sistema de frenos neumáticos.	2810.00	1	2,810.00
10	Lata de Soldadura supercito 5/32" de 25 Kg.	227.95	1	227.95
11	Lata de Soldadura cellocord 1/8" de 25 Kg.	233.57	1	233.57
	Total			21,224.04

7.3.2 Mano de obra

	Numero de Personas	Sueldo por semana	Números de semanas	Total
Supervisor de obra	1	250.00	2	500.00
Soldador Homologado 3G	1	450.00	2	900.00
Ayudantes	2	500.00	2	1,000.00
Total				2,400.00

7.3.3 Otros gastos generales

- Herramientas de trabajo	250.00
- Servicios básicos	400.00
- Alquiler de local	500.00
- Transporte	300.00
Total	1,450.00

Costo Total de la suspensión, material, mano de obra y otros gastos generales 25,074.04.

7.4 SISTEMA BOTTOM LOADING

7.4.1 Componentes sistema Bottom Loading

Válvula de carga	725.00
Válvula recuperadora de gases	727.30
Válvula interna de emergencia	768.50
Sensor óptico	716.30
Tapa manhole	870.45
Sockets	928.10
Adaptador de descarga	350.90
Operador mecánico	150.00
Codo visor	951.20
Cable codificado de 18 metros	126.00
Total	6,313.75

7.4.2 Mano de obra

	Número de Personas	Sueldo por semana	Números de semanas	Total
Supervisor de obra	1	400.00	2	800.00
Soldador Homologado 3G	1	700.00	2	1,400.00
Ayudantes	2	600.00	2	1,200.00
Total				3,400.00

7.4.3 Otros gastos generales

Herramientas de trabajo	250.00
Servicios básicos	400.00
Alquiler de local	500.00
Transporte	300.00
Total	1,450.00

Costo Total del sistema Bottom loading, componentes y mano de obra
11,163.75.

7.5 COSTO TOTAL DE LA CISTERNA***Resumen***

Tanque y chasis	23,653.42
Suspensión	25,074.04
Bottom Loading	11,163.75
Sub Total	59,891.21
Mas otros 10%	5,989.12
TOTAL	65,880.33

CONCLUSIONES

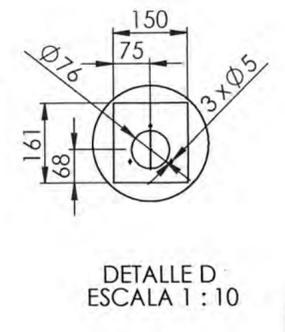
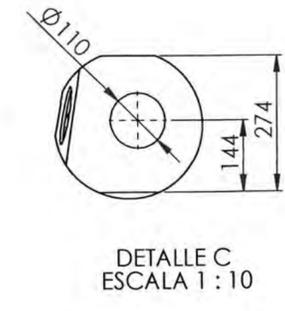
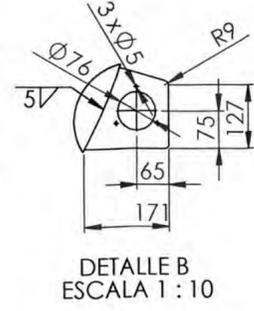
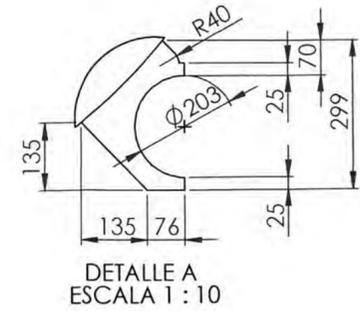
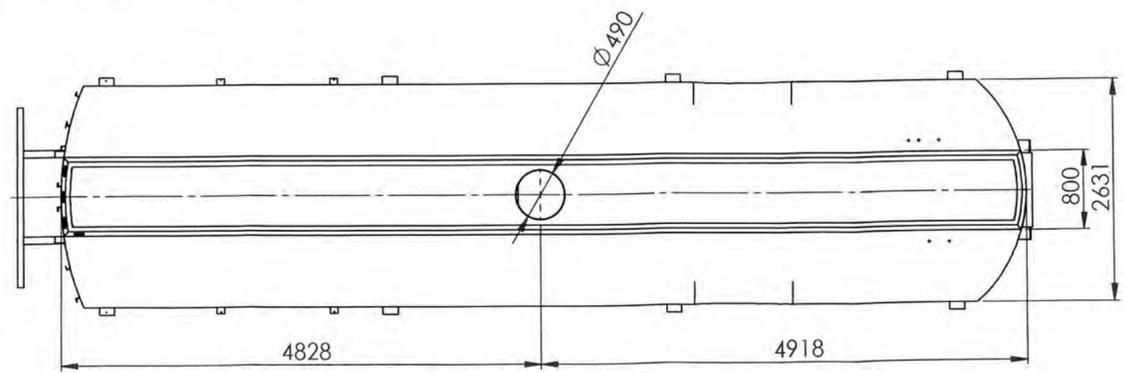
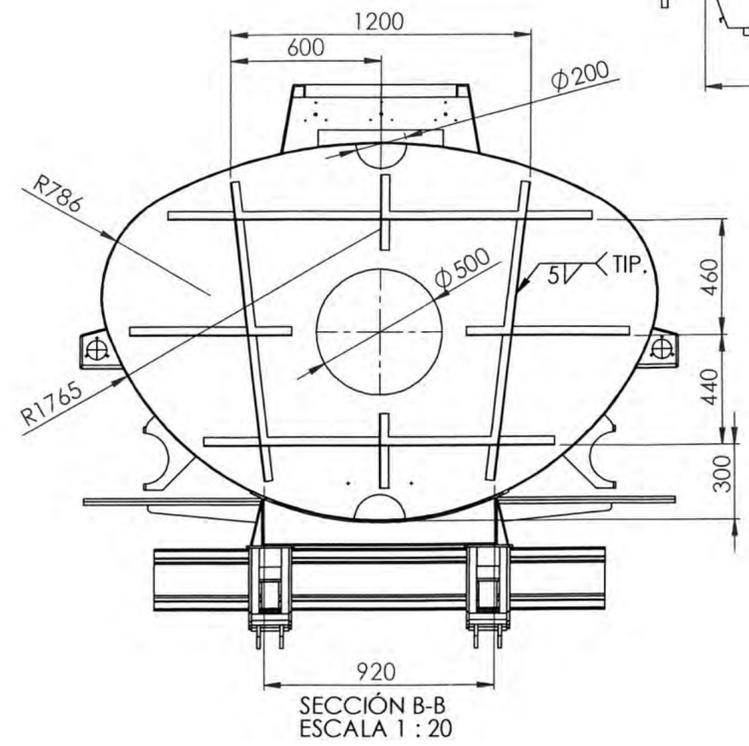
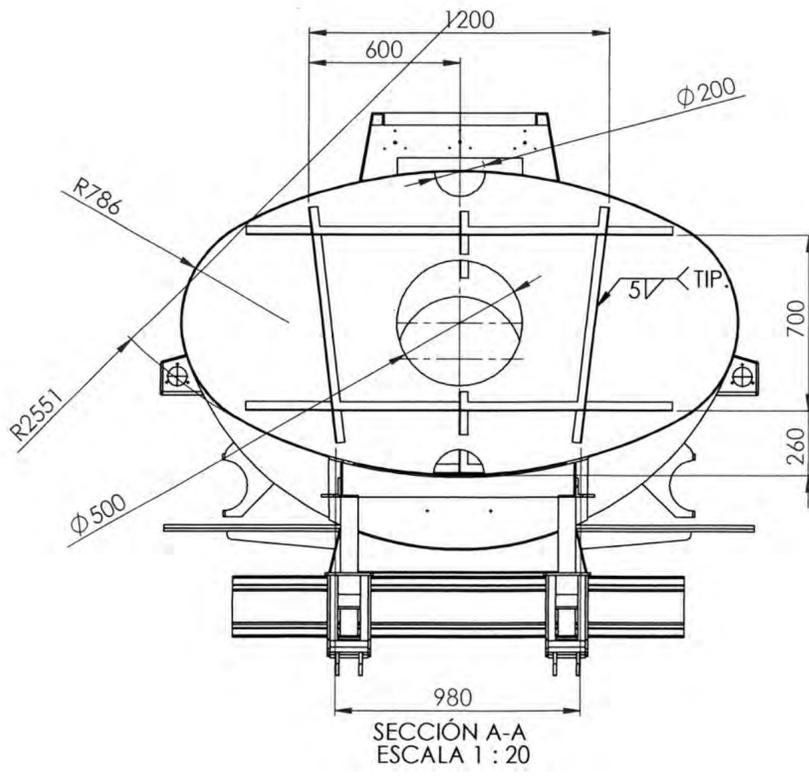
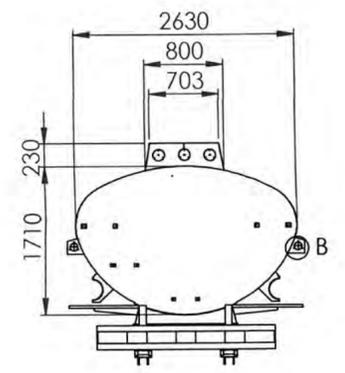
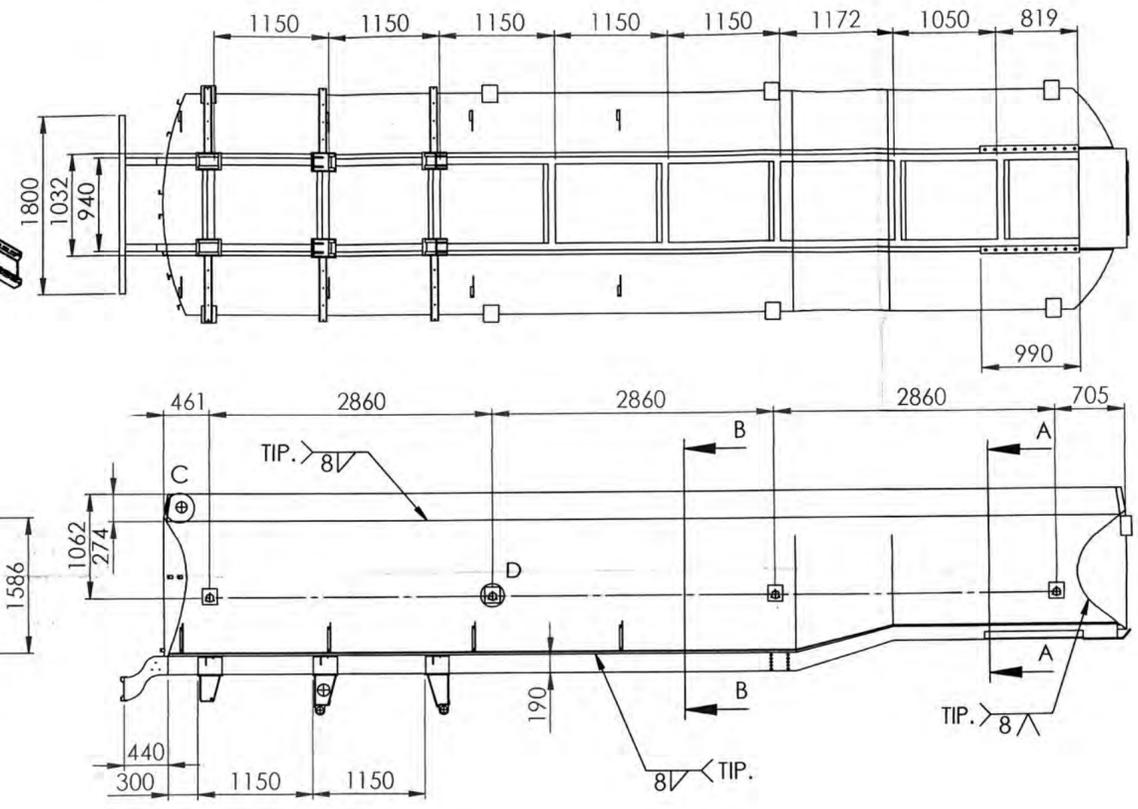
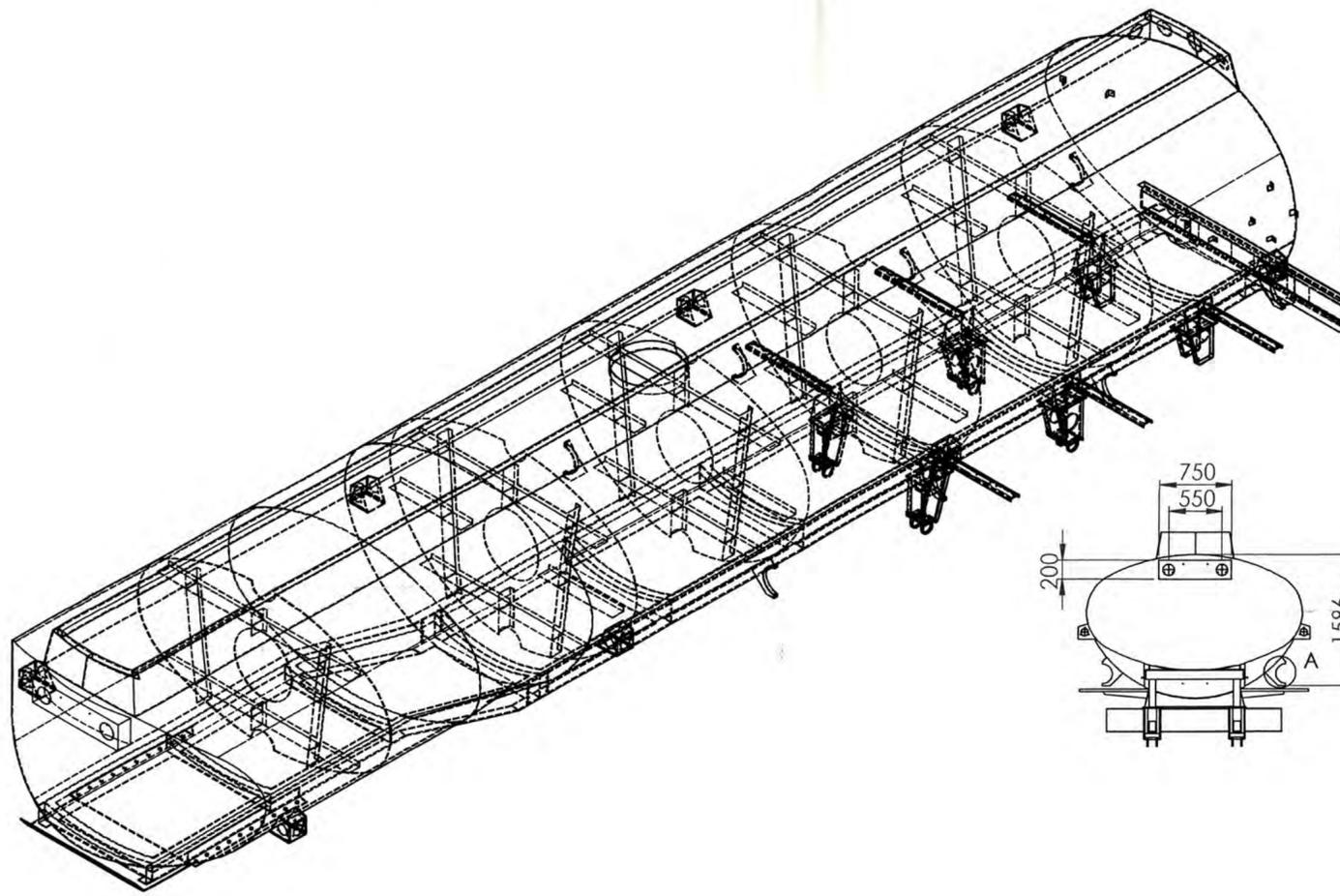
1. Para el análisis del tanque se obtuvo un factor de seguridad de 11, lo cual daría paso a la elección de una plancha de menor espesor, pero una plancha menor de 3/16" por efectos de procesos de soldadura causaría una carbonización de la plancha y una posible falla en el tanque.
2. En el caso del soporte del King Pin es muy importante el uso de refuerzos de perfiles angulares 3" x 3" x 3/8", ya que sin estos perfiles la estructura del soporte colapsaría por los esfuerzos de tracción producidos entre el chasis y el King Pin.
3. Se determinó que la zona más crítica del tanque son las tapas, más específicamente en sus contornos, encontrándose el valor más bajo del factor que es de 11.34, hay que tener especial consideración en el cordón de soldadura, para evitar posibles fallas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. “Detailing for Steel Construction” 1ra Edición, Editorial AISC – USA – 2002.
- [2] AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. “Steel Construction Manual” 13th Edición, Editorial AISC - USA – 2006 – 2190 pp.
- [3] AMERICAN WELDING SOCIETY. “AWS D1.1/D1.1M Structural Welding Code – Steel” 2006 Edición, Editorial AWS - USA - 2006 - 540pp.
- [4] ASTM INTERNATIONAL. “ASTM Dictionary of Engineering Science and Technology” 10ma Edición, Editorial ASTM – USA – 2005 – 670pp.
- [5] EUGENE A. AVALLONE, THEODORE BAUMEISTER III, ALI M. SADEGH. “Marks’ Standard Handbook for Mechanical Engineers” 11va Edición, Editorial McGraw-Hill – USA – 2007.
- [6] FRIEDEL HARTMANN, CASIMIR KATZ. “Structural Analysis with Finite Element” 2da Edición, Editorial Springer – Alemania – 2006 – 591pp.
- [7] GERE-TIMOSHENKO. “Mecánica de Materiales” 2da Edición, Editorial Iberoamericana - México - 1993 - 825pp.
- [8] GRAHAM WOAN. “The Cambridge Handbook of Physics Formulas” 1ra Edición, Editorial Cambridge University Press - USA - 2000 - 201pp.

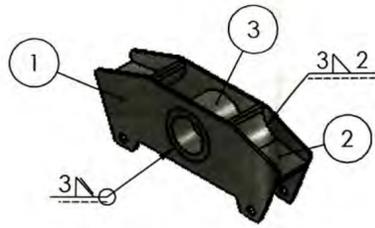
- [9] IRVING H. SHAMES. “Mecánica de Fluidos” 3ra Edición, Editorial McGraw-Hill - Colombia – 2001 – 825 pp.
- [10] JAMES M. GERE. “Timoshenko Resistencia de Materiales” 5ta Edición, Editorial Thomson - España - 2005 - 924pp.
- [11] LUIS F. ZAPATA BAGLIETTO. “Diseño Estructural en Acero” 2da Edición, Perú - 2004.
- [12] MANUEL CASCAJOSA. “Ingeniería de Vehículos” 2da Edición, Editorial Alfaomega - España - 2005 - 557pp.
- [13] MATT LOMBARD. “SolidWorks 2009 Bible” 1ra Edición, Editorial Wiley – USA – 2009 – 1176pp.
- [14] MC CORMAC. “Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD” 2da Edición, Editorial Alfaomega - México - 2002 – 702pp.
- [15] NATIONAL COUNCIL OF EXAMINERS FOR ENGINEERING AND SURVEYING. “Fundamentals of Engineering Supplied-Reference Handbook” 5ta Edición, Editorial NCEES - USA - 2001 - 171pp.
- [16] PAUL KUROWSKI. “Engineering Analysis with COSMOSWorks Professional 2008” 1ra Edición, Editorial Schroff Development Corporation - USA - 2008 - 353pp.
- [17] RICHARD BUDYNAS, J. KEITH NISBETT. “Shigley's Mechanical Engineering Design” 8va Edición, Editorial McGraw Hill Higher Education – USA – 2007 – 1088pp.
- [18] ROBERT NONNAST. “El Proyectista de Estructuras Metálicas 1 y 2” 12va Edición, Editorial Paraninfo – España – 1999 – 536pp.

- [19] ROGER L. BROCKENBROUGH, FREDERICK S. MERRIT. “Structural Steel Designer’s Handbook” 3ra Edición, Editorial McGraw-Hill - USA – 1999 – 1208 pp.
- [20] RONALD CUEVA PACHECO. “Resistencia de Materiales II” Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, Teoría del curso MC-325.
- [21] S. TIMOSHENKO. “Resistencia de Materiales Primera Parte Teoría Elemental y Problemas” 9na Edición, Editorial Espasa-Calpe S. A. - España - 1961 - 350pp.
- [22] S. TIMOSHENKO. “Resistencia de Materiales Segunda Parte Teoría y Problemas más Complejos” 7ma Edición, Editorial Espasa-Calpe S. A. - España - 1962 - 458pp.
- [23] THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. “Rules for Construction of Pressure Vessels VIII Division 1” 2007 Edición, Editorial ASME - USA - 103pp.
- [24] TIRUPATHI R. CHANDRUPATLA, ASHOK D. BELEGUNDU. “Introducción al Elemento Finito en la Ingeniería” 2da Edición, Editorial Pearson – México – 1999 – 462pp.
- [25] TYLER HICKS. “Handbook of Mechanical Engineering Calculations”. 2da Edición, Editorial McGraw-Hill – USA – 2006 – 1436pp.
- [26] WARREN YOUNG AND RICHARD BUDYNAS. “Roark's Formulas for Stress and Strain” 7ma Edición, Editorial McGraw-Hill - USA – 2001 – 832 pp.



POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
1	1		ISO	ASTM A36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA MÉTODO DE PROYECCIÓN DISEÑO DE UNA CISTERNA DE 6000 GALONES PARA TRANSPORTAR DIESEL 2 CISTERNA					
					ESCALA SCALE:1:50
200320351		OMAR BEJARANO GRÁNDEZ	FECHA: 2009.07.01 LAMINA: A2-01		

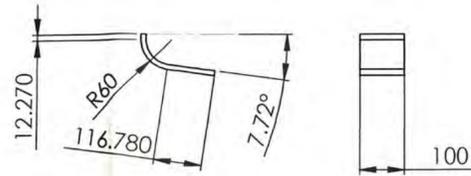
BALANCIN



BALANCIN: PIEZA 2



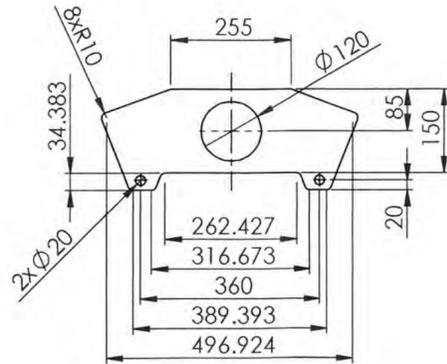
MATERIAL:
ASTM A36
ESPEJOR: 1/4 pulg.



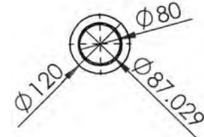
BALANCIN: PIEZA 1



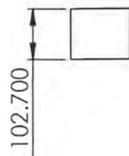
MATERIAL:
ASTM A36
ESPEJOR: 1/4 pulg.



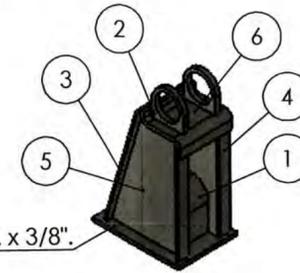
BALANCIN: PIEZA 3



MATERIAL:
ASTM A36



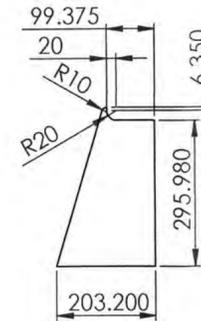
SOPORTE FIJO DELANTERO:



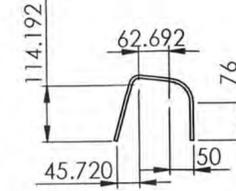
plancha:
170mm. x 250mm. x 3/8"

MATERIAL:
ASTM A36
ESPEJOR: 1/4 pulg.

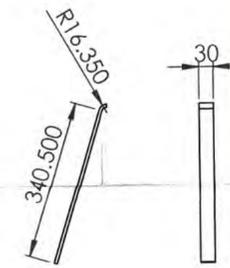
SOPORTE FIJO DELANTERO:
PIEZA 5



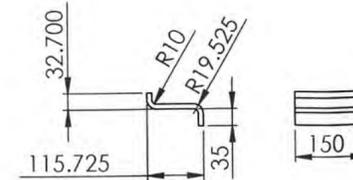
SOPORTE FIJO DELANTERO:
PIEZA 1



SOPORTE FIJO DELANTERO:
PIEZA 3



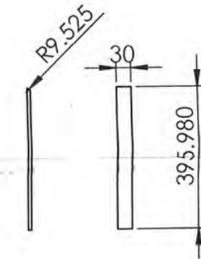
SOPORTE FIJO DELANTERO:
PIEZA 6



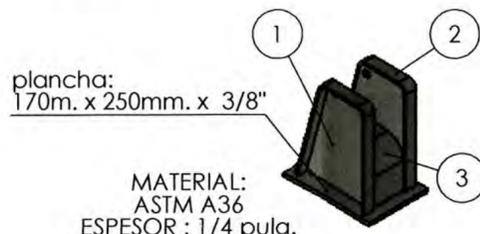
SOPORTE FIJO DELANTERO:
PIEZA 2



SOPORTE FIJO DELANTERO:
PIEZA 4



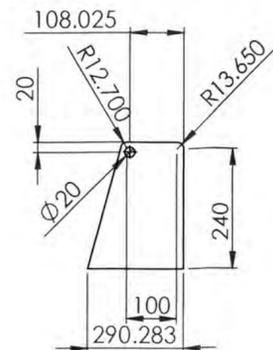
SOPORTE FIJO POSTERIOR



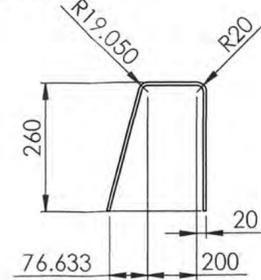
plancha:
170m. x 250mm. x 3/8"

MATERIAL:
ASTM A36
ESPEJOR: 1/4 pulg.

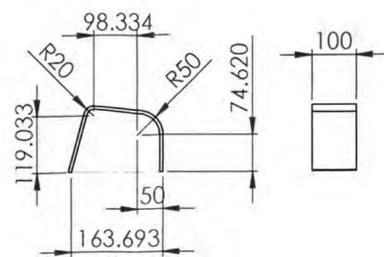
SOPORTE FIJO POSTERIOR:
PIEZA 1



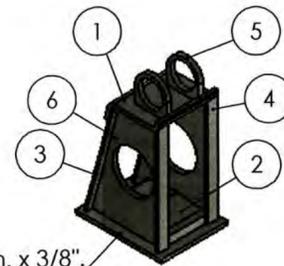
SOPORTE FIJO POSTERIOR:
PIEZA 2



SOPORTE FIJO POSTERIOR:
PIEZA 3



SOPORTE FIJO MEDIO



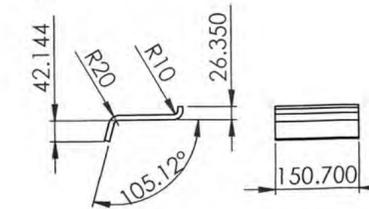
plancha:
170mm. x 250mm. x 3/8"

MATERIAL:
ASTM A36
ESPEJOR: 1/4 pulg.

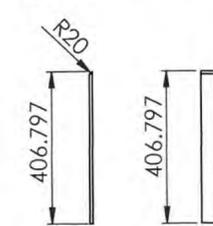
SOPORTE FIJO MEDIO:
PIEZA 6



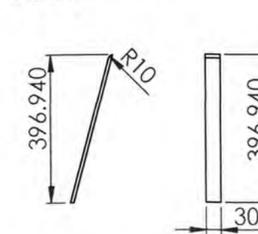
SOPORTE FIJO MEDIO:
PIEZA 1



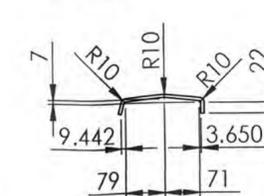
SOPORTE FIJO MEDIO:
PIEZA 3



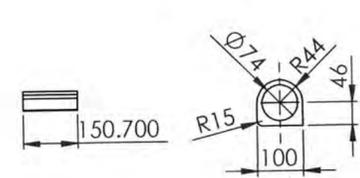
SOPORTE FIJO MEDIO:
PIEZA 4



SOPORTE FIJO MEDIO:
PIEZA 2



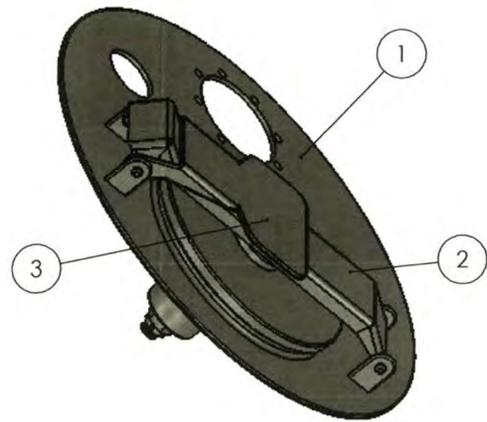
SOPORTE FIJO MEDIO:
PIEZA 5



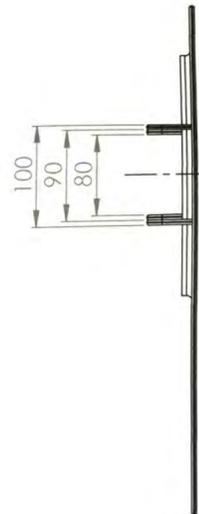
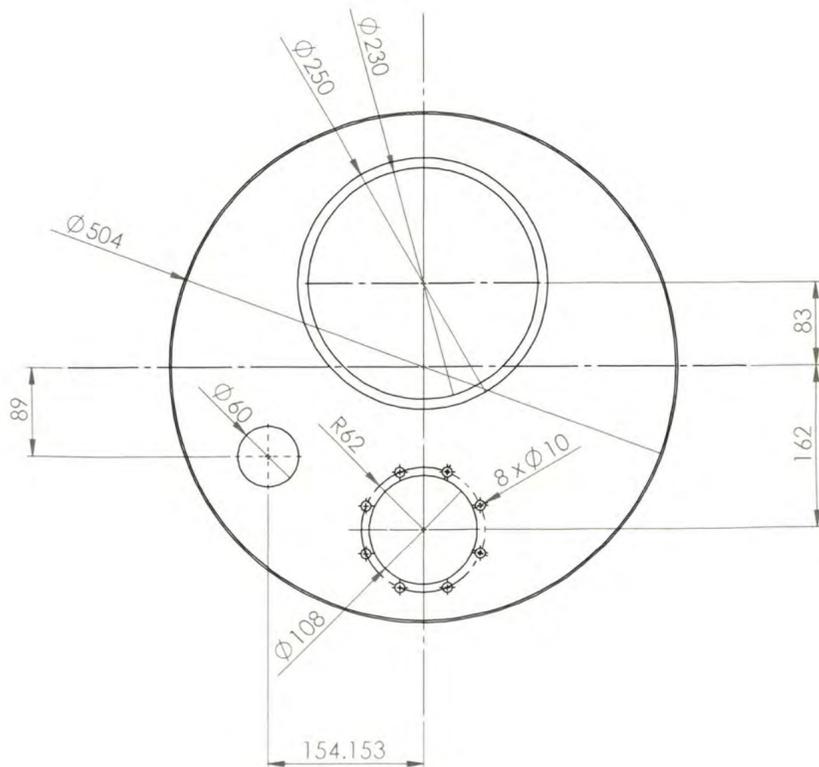
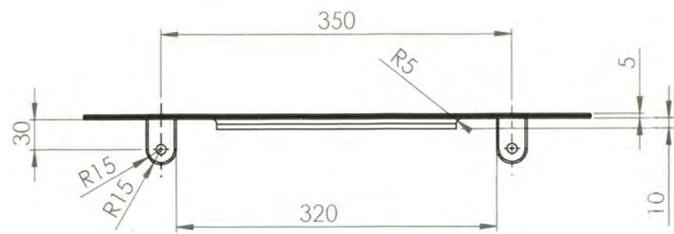
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
4	2	Soporte fijo medio		ASTM A36	
3	2	Soporte fijo delantero		ASTM A36	
2	2	Soporte fijo posterior		ASTM A36	
1	2	Balancin		ASTM A36	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA					
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN		DISEÑO DE UNA CISTERNA DE 6000 GALONES PARA TRANSPORTAR DIESEL 2		ESCALA	
		BALANCIN Y SOPORTES		SCALE:1:10	
200320351		OMAR BEJARANO GRÁNDEZ		FECHA: 2009.07.01	
				LAMINA: A2-02	

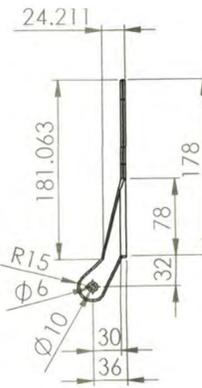
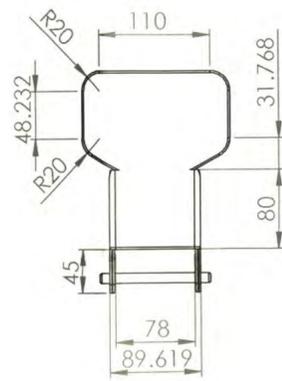
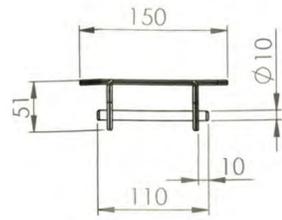
TAPA MANHOLE



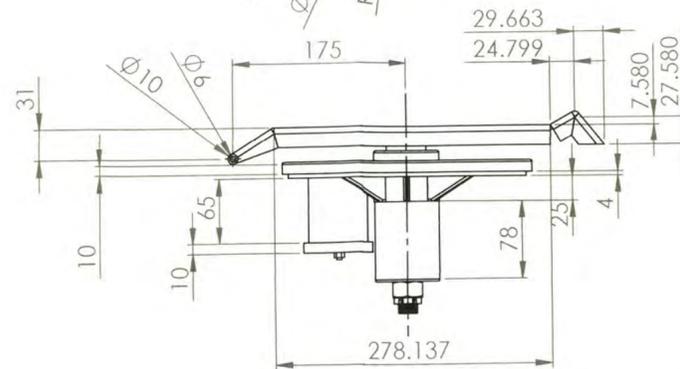
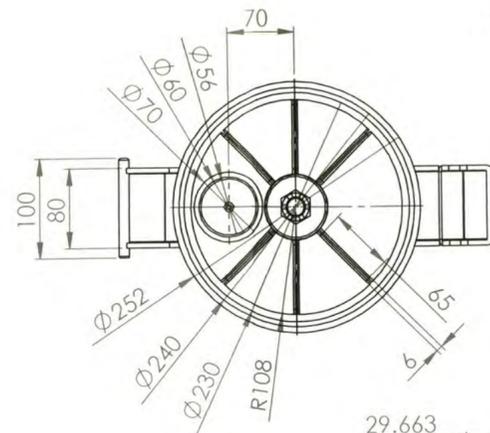
PIEZA 1



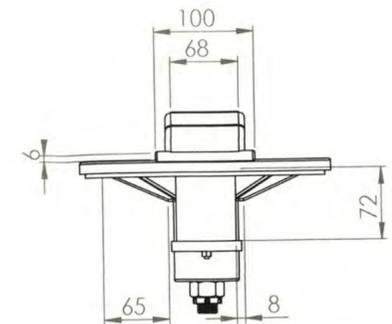
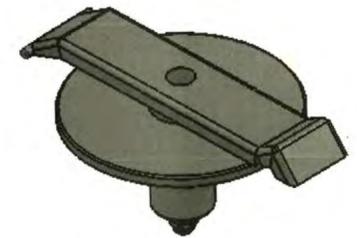
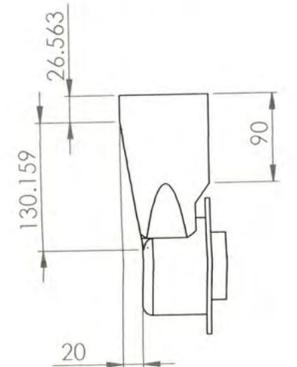
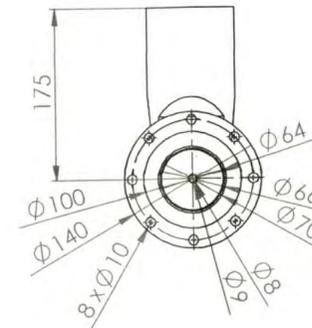
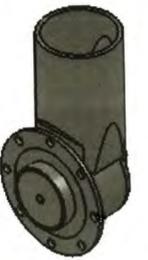
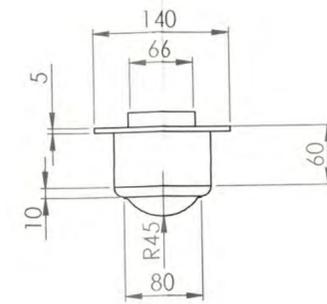
PIEZA 3



PIEZA 2



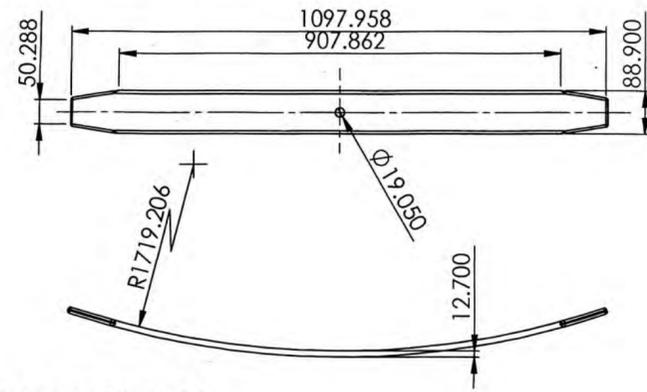
TRAMPA DE VAPOR DE GASES



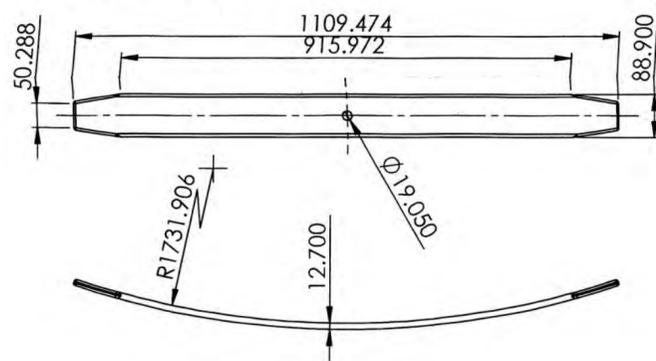
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
4	1	Trampa de Vapor de Gases		ASTM A36	
3	1	Pieza 3		ASTM A36	
2	1	Pieza 2		ASTM A36	
1	1	Pieza 1		ASTM A36	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA
 MÉTODO DE PROYECCIÓN: DISEÑO DE UNA CISTERNA DE 6000 GALONES PARA TRANSPORTAR DIESEL 2
TAPA MANHOLE
 ESCALA: 1:5
 SCALE: 1:5
 FECHA: 2009.07.01
 LAMINA: A2-03
 200320351 OMAR BEJARANO GRÁNDEZ

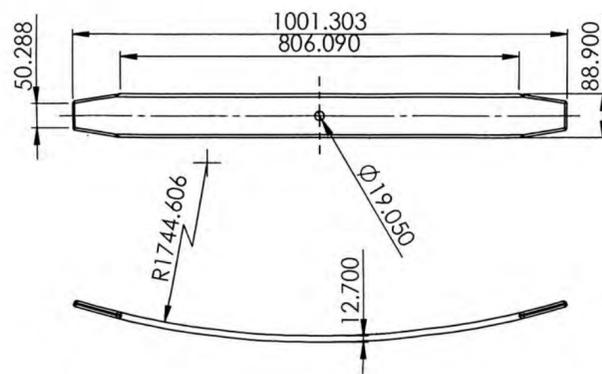
HOJA DE MUELLE 1



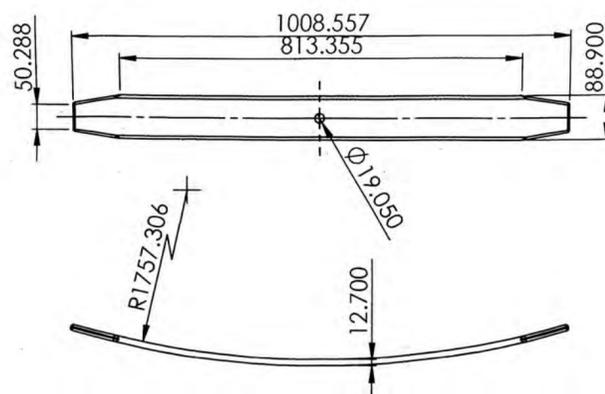
HOJA DE MUELLE 2



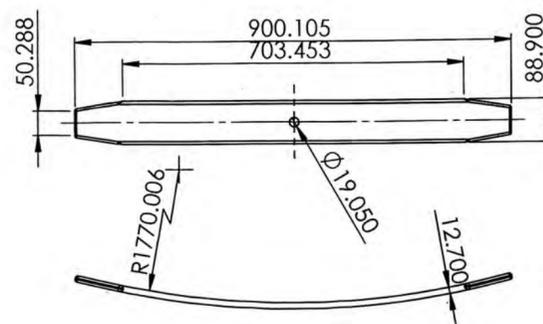
HOJA DE MUELLE 3



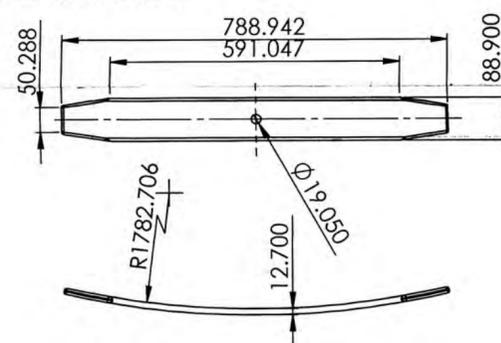
HOJA DE MUELLE 4



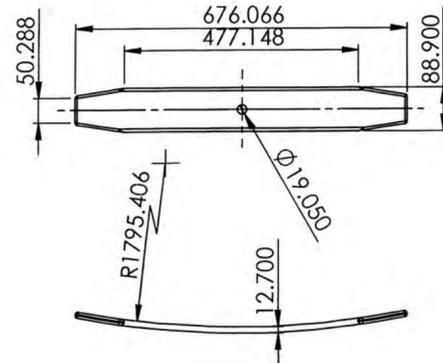
HOJA DE MUELLE 5



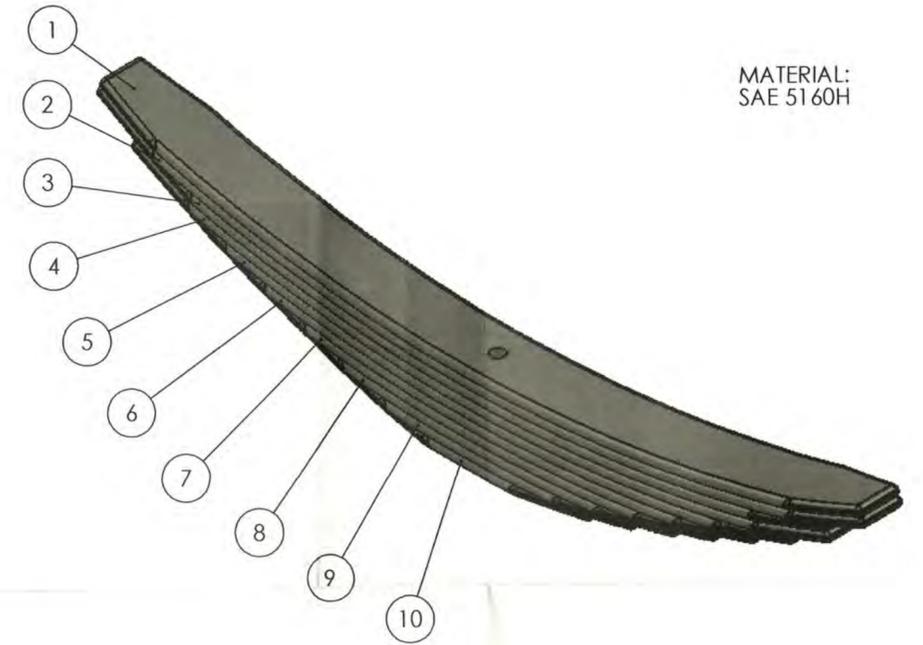
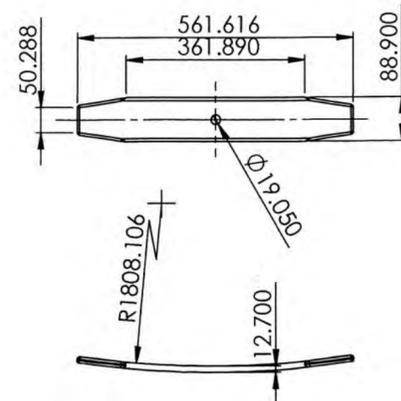
HOJA DE MUELLE 6



HOJA DE MUELLE 7

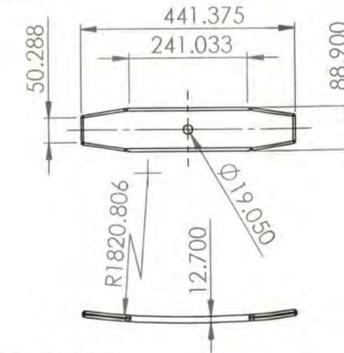


HOJA DE MUELLE 8

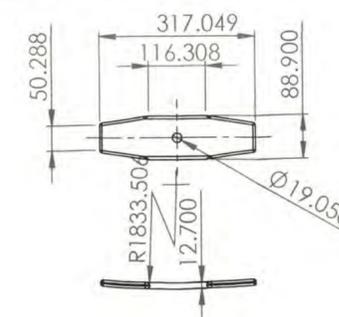


MATERIAL:
SAE 5160H

HOJA DE MUELLE 9

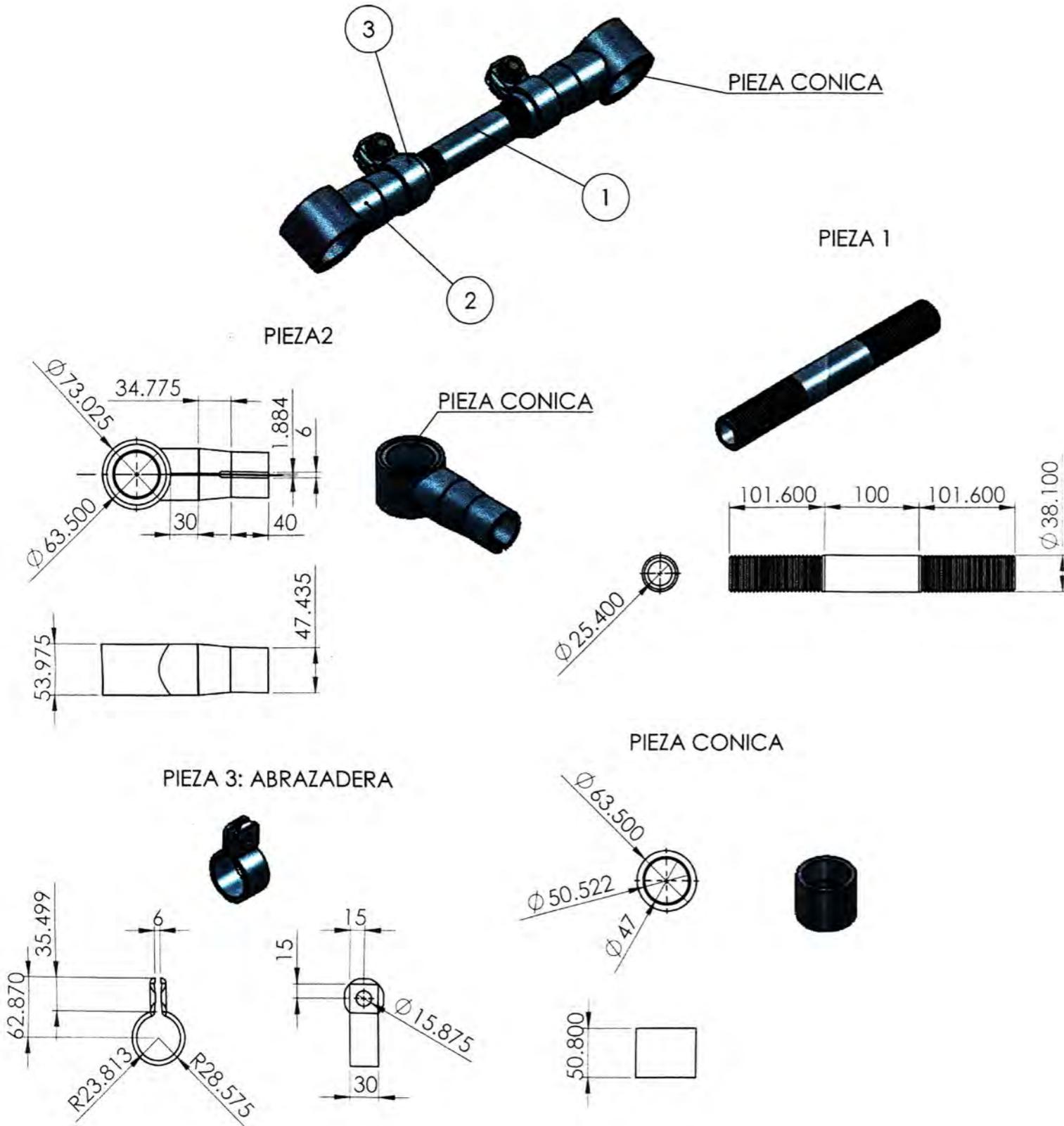


HOJA DE MUELLE 10

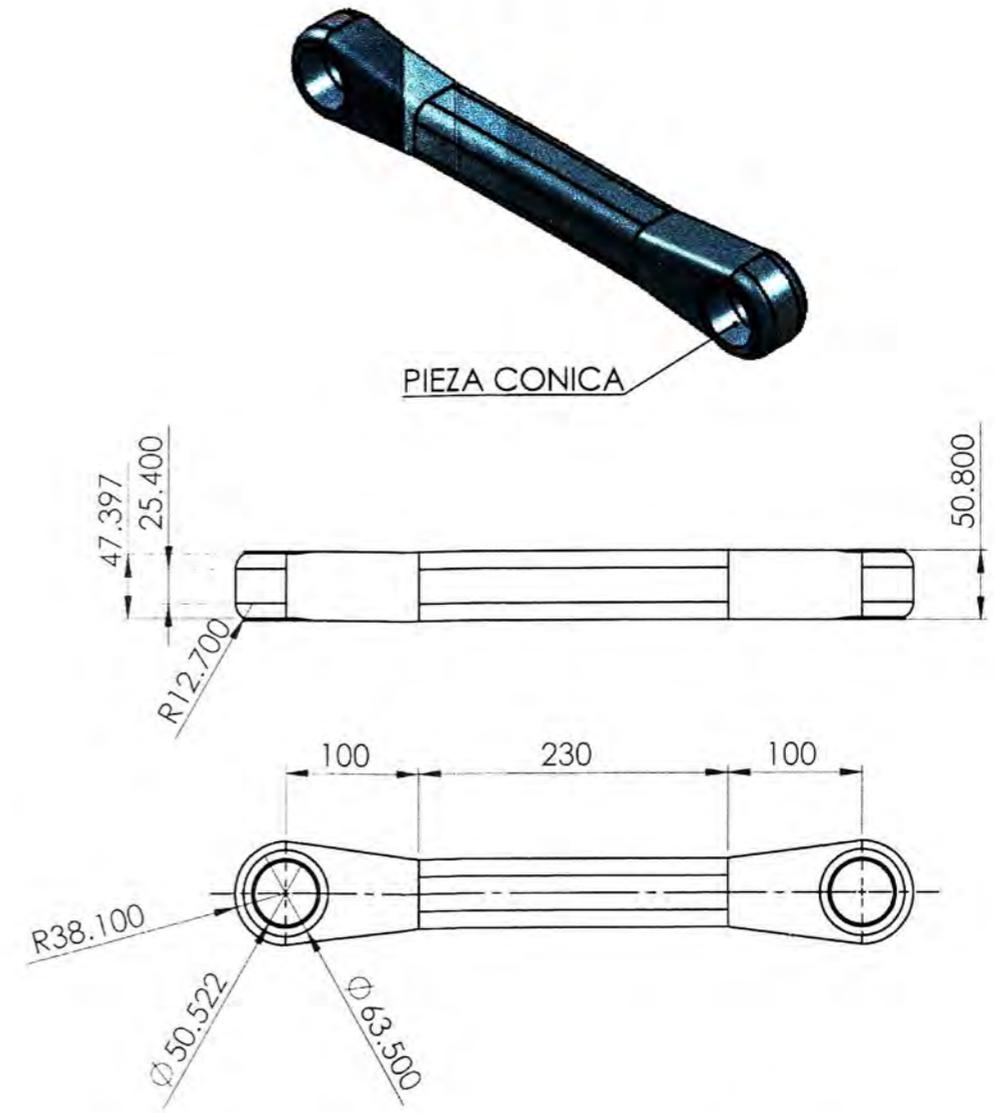


1 al 10	Hojas de Muelles	SAE 5160H			
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA DISEÑO DE UNA CISTERNA DE 6000 GALONES PARA TRANSPORTAR DIESEL 2 MUELLES					
MÉTODO DE PROYECCIÓN				ESCALA SCALE: 1:10	
200320351		OMAR BEJARANO GRÁNDEZ		FECHA: 2009.07.01 LAMINA: A2-04	

TEMPLADOR VARIABLE

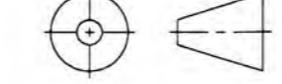


TEMPLADOR FIJO



POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
2		Templador Variable		ASTM A36	
2		Templador Fijo		ASTM A36	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA
 MÉTODO DE PROYECCIÓN DISEÑO DE UNA CISTERNA DE 6000 GALONES PARA TRANSPORTAR DIESEL 2 ESCALA



TEMPLADORES

SCALE:1:5

FECHA: 2009.01.07

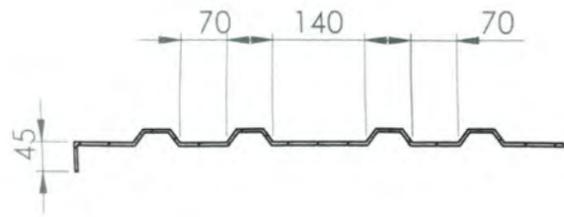
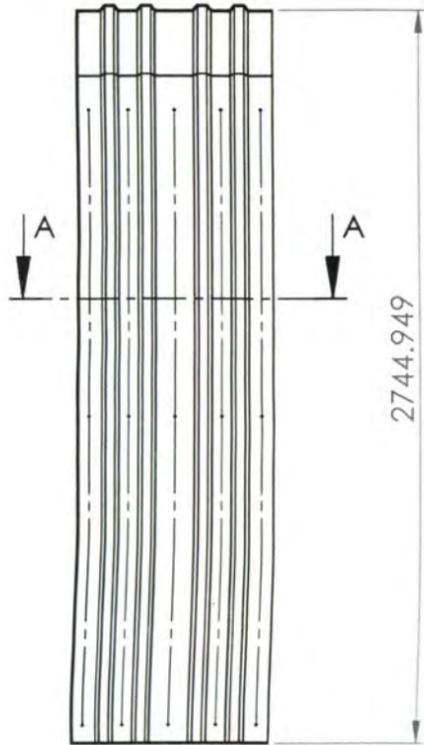
200320351

OMAR BEJARANO GRÁNDEZ

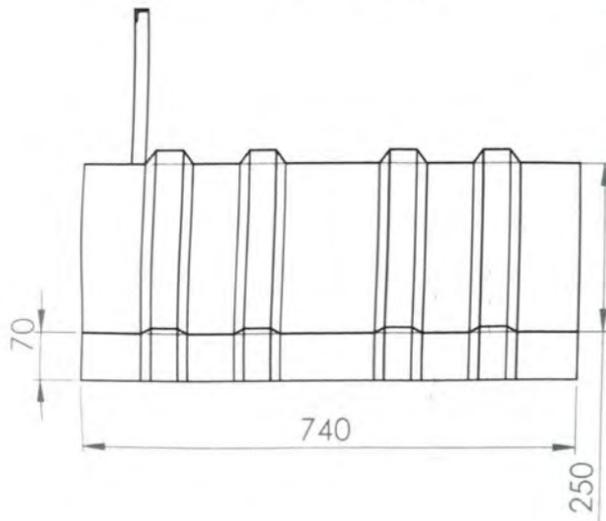
LAMINA:

A3 - 05

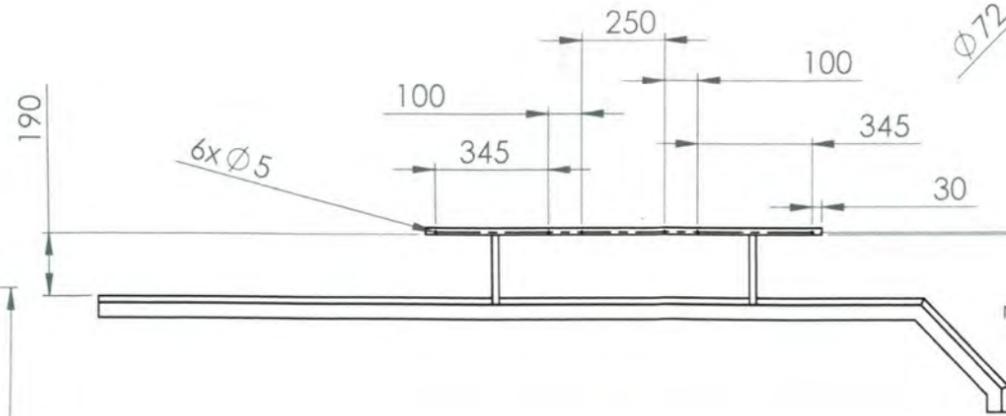
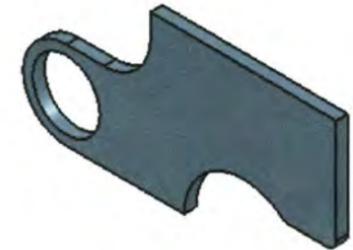
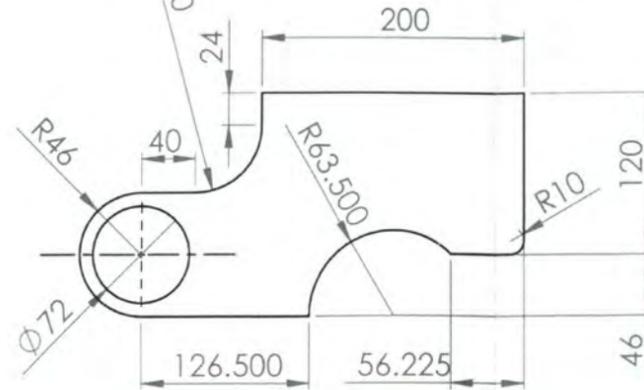
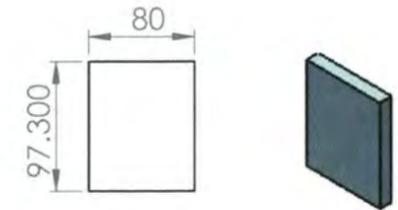
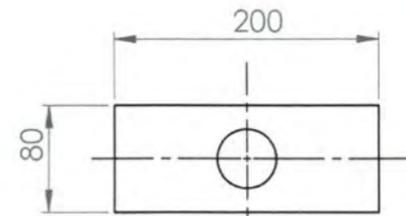
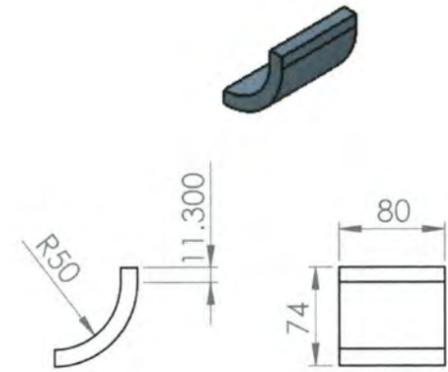
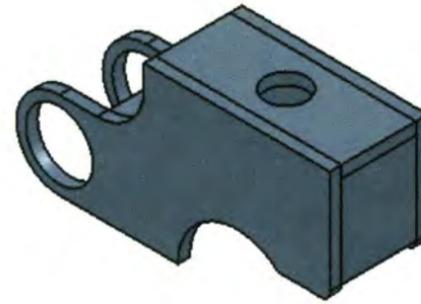
TAPABARRO



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 10



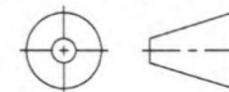
BURRITO



2	4
1	2
POS.	CANT.

DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
Burrito		ASTM A36	
Tapabarro		ASTM A36	

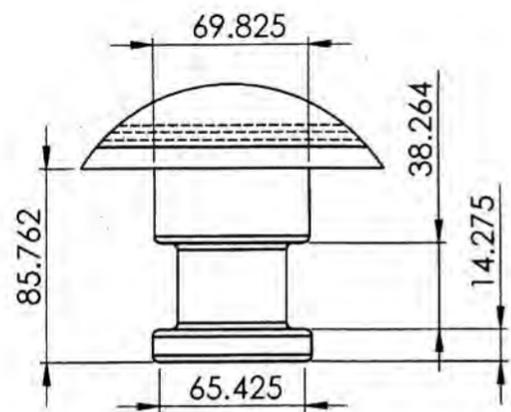
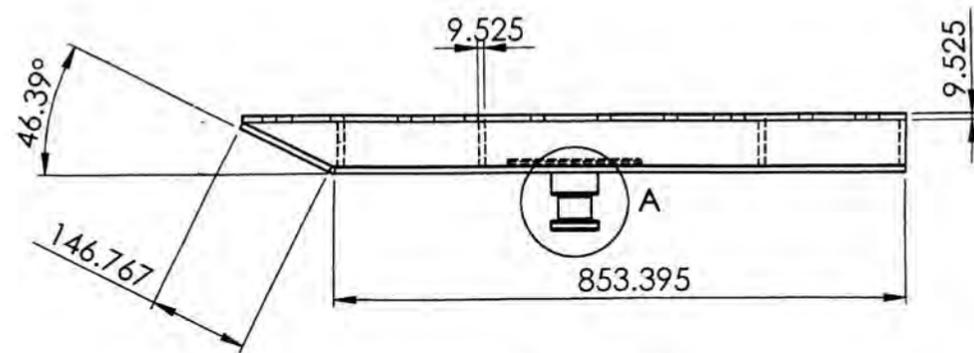
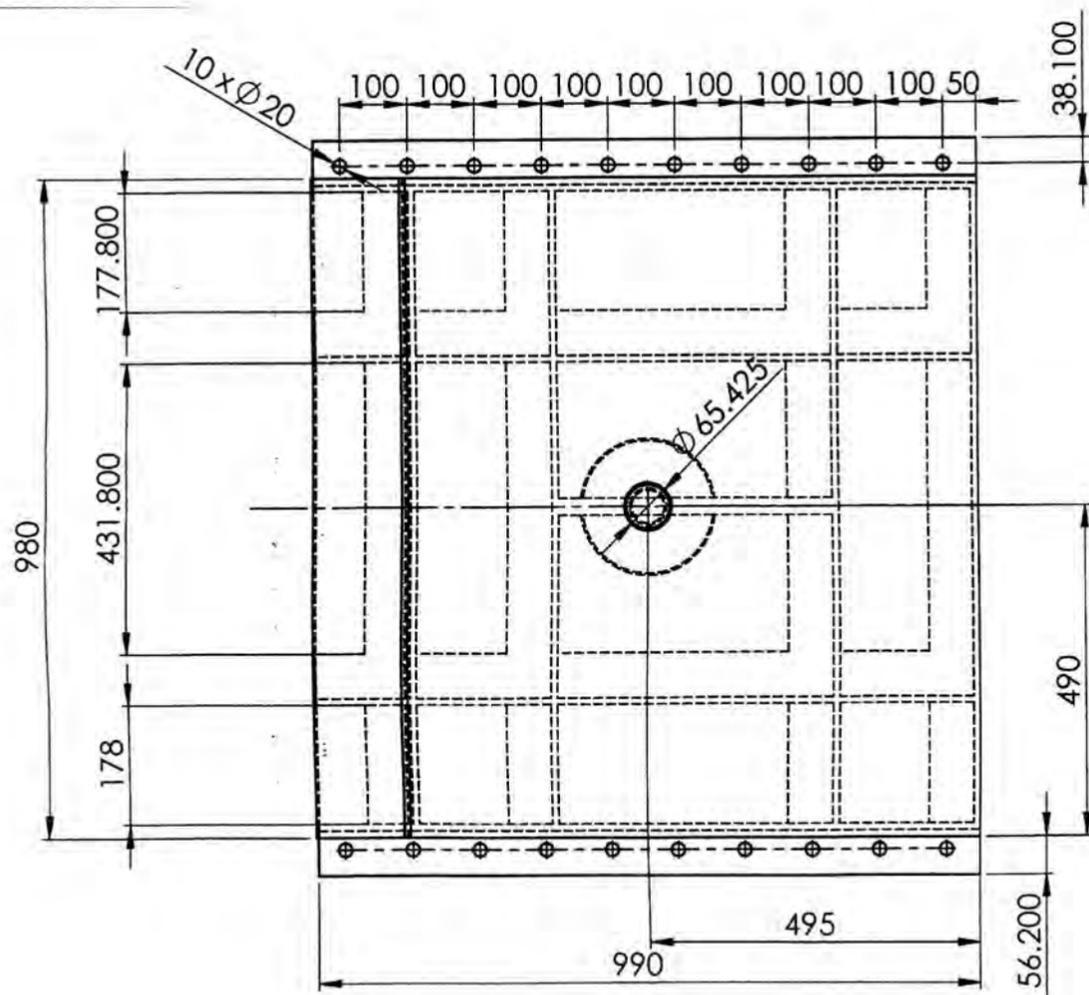
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA
 MÉTODO DE PROYECCIÓN: DISEÑO DE UNA CISTERNA DE 6000 GALONES PARA TRANSPORTAR DIESEL 2
BURRITO Y TAPABARRO
 ESCALA: SCALE:1:50



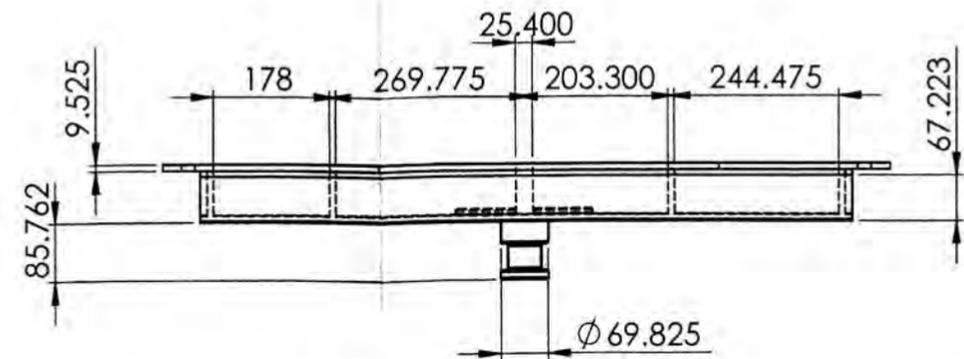
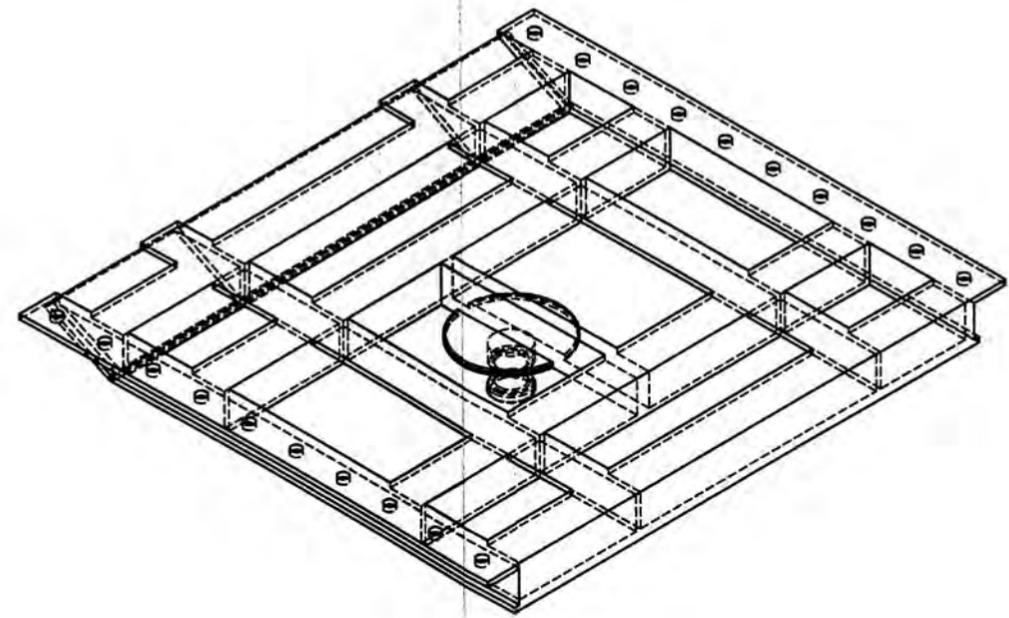
200320351

OMAR BEJARANO GRÁNDEZ

FECHA: 2009.07.01
 LAMINA: A3-06



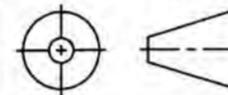
DETALLE A
ESCALA 1 : 3



POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
2	1	King Pin		AISI 8630H	
1	1	Plancha de soporte del King Pin		ASTM A36	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN DISEÑO DE UNA CISTERNA DE 6000 GALONES PARA TRANSPORTAR DIESEL 2 ESCALA



SISTEMA DE ENGANCHE

SCALE:1:10

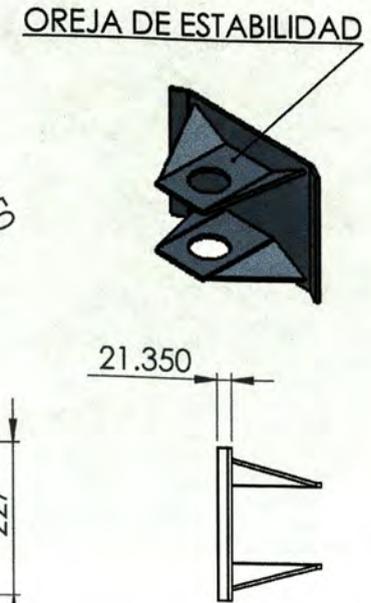
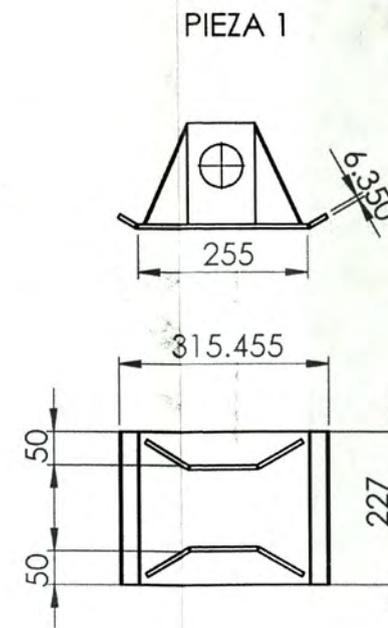
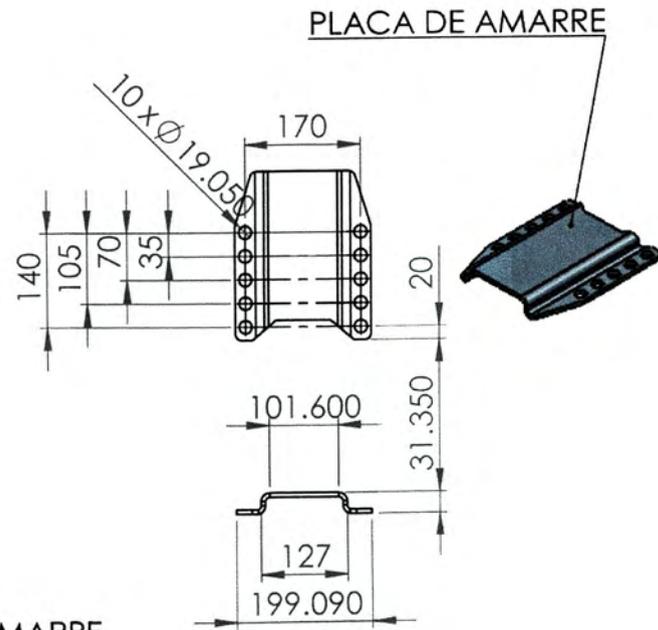
200320351

OMAR BEJARANO GRANDEZ

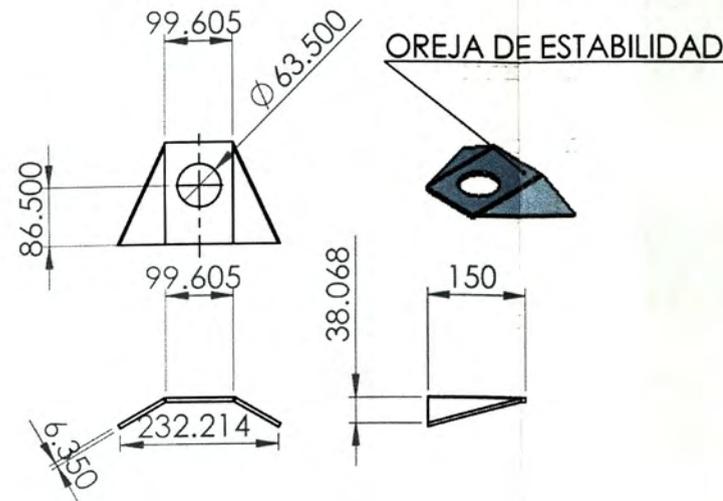
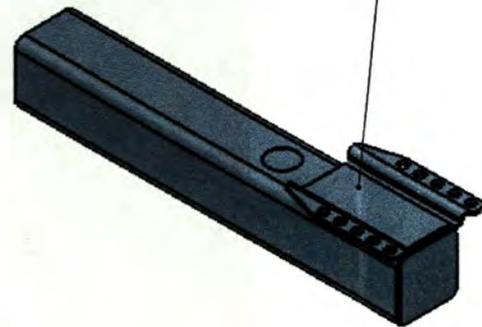
FECHA:
2009.07.01

LAMINA:
A3-07

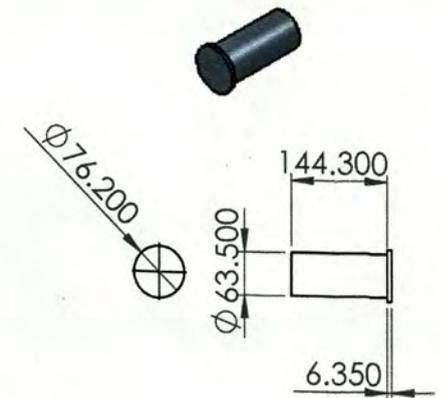
PATA DE CISTERNA



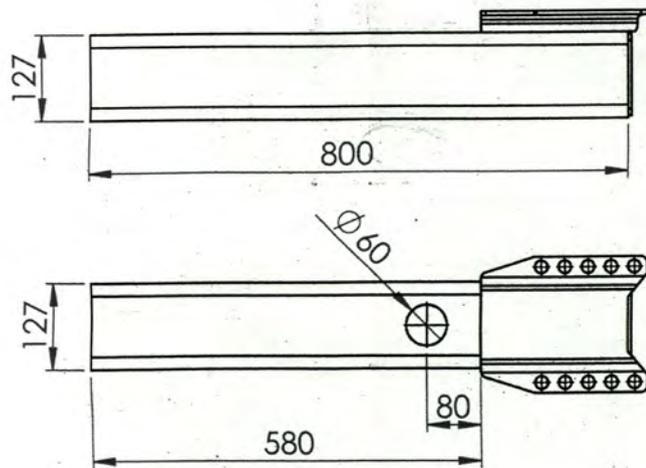
PLACA DE AMARRE



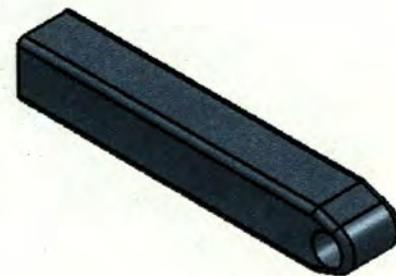
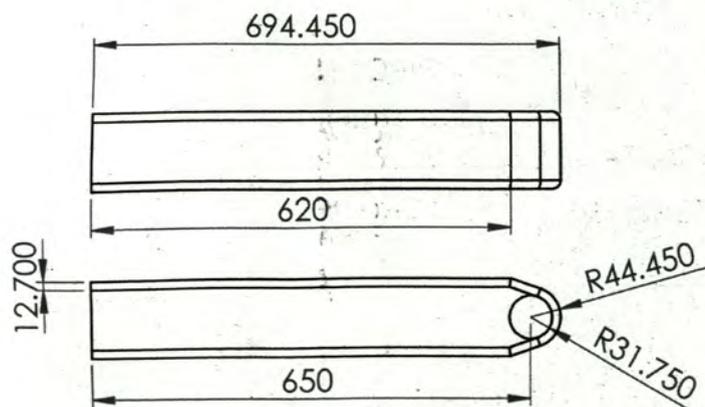
PIEZA 3



PIEZA 4



PIEZA 2



POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
1	1			A 36	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN		DISEÑO DE UNA CISTERNA DE 6000 GALONES PARA TRANSPORTAR DIESEL 2			ESCALA
		PATA DE CISTERNA			SCALE:1:10
200320351		OMAR BEJARANO GRÁNDEZ			FECHA: 2009.07.01
					LAMINA: A3-08