



**Documento N°. 2:**  
**MEMORIA DE CÁLCULOS**  
**JUSTIFICATIVOS**



## 2. MEMORIA DE CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

### 2.1. Cálculo del reparto de cargas por eje.

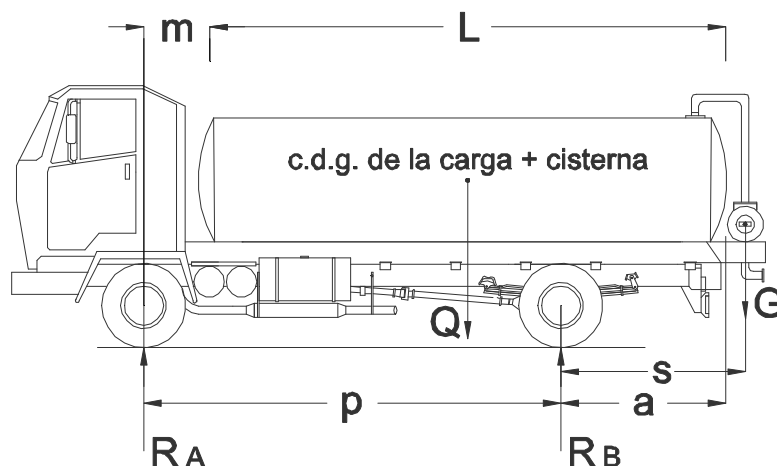
Para el reparto de cargas sobre los ejes del vehículo, que es necesario conocer para el posterior diseño del bastidor, se van a considerar los siguientes pesos y acciones:

TARA TOTAL CHASIS-CABINA DEL VEHÍCULO (Kg.) <sup>(*)</sup>	4.820
TARA CHASIS-CABINA SOBRE EL PRIMER EJE (Kg.)	3.145
TARA CHASIS-CABINA SOBRE EL SEGUNDO EJE (Kg.)	1.675
PESO DE OCUPANTES (Kg.)	75
PESO CISTERNA + CARGA MÁXIMA (Kg.)	8.020
PESO DEL EQUIPO DE BOMBEO (Kg.)	85

<sup>(\*)</sup>Peso en vacío del vehículo, sin considerar carga ni peso de la cisterna.

#### - En posición de marcha:

Para la posición de marcha del vehículo, el peso del líquido transportado en la cisterna se considera uniformemente repartido a lo largo de la misma. Por otro lado, el peso debido al equipo motobomba y accesorios se puede considerar que actúa como una carga puntual aplicada en el c.d.g. de la misma y de valor el peso del conjunto.



Para vehículos 4x2 en posición de marcha, el cálculo de las reacciones sobre los ejes delantero ( $R_A$ ) y trasero ( $R_B$ ) del vehículo viene dado por las siguientes expresiones:

$$R_A = (Q \cdot (L/2 - a) - G \cdot s) / p$$
$$R_B = (Q \cdot (L/2 + m) + G \cdot (s + p)) / p;$$



donde:

$L$ : Longitud de la cisterna;

$a$ : Voladizo posterior de la cisterna;

$p$ : Distancia entre ejes delantero y trasero;

$m$ : Distancia del eje delantero al comienzo de la cisterna;

$s$ : Distancia del c.d.g. del equipo de bombeo al eje trasero;

$G$ : Peso del equipo de bombeo aplicada en su c.d.g.;

$Q$ : Peso de la cisterna más la carga útil de líquido a transportar;

Las dimensiones de los parámetros utilizados en los cálculos, que definen la geometría del vehículo carrozado en este proyecto son las siguientes:

$a=1600$  mm.       $p=3690$  mm.       $L=4680$  mm.       $m=610$  mm.  
 $s=1850$  mm.       $G=85$  Kg.       $Q=8020$  Kg.

Por consiguiente, sustituyendo los valores anteriores se obtiene el siguiente reparto total de cargas sobre los ejes en posición de marcha del vehículo:

$$R_A = (Q \cdot (L/2 - a) - G \cdot s) / p = 1566 \text{ Kg}$$

$$R_B = Q + G - R_A = 6539 \text{ Kg}$$

En la siguiente tabla se resume el total de las reacciones sobre los ejes, y en la que se comprueba que no se superan los límites legales establecidos para cada eje:

DEBIDO A:	1 <sup>er</sup> EJE	2 <sup>o</sup> EJE	TOTAL
CHASIS-CABINA	3145 kg	1675 kg	4820 kg
OCUPANTES	75 kg	0 kg	75 kg
CARGA+CISTERNA+EQUIPO BOMBEO	1566 kg	6539 kg	8105 kg
TOTAL	4786 kg	8214 kg	13000 kg
<b>P.M.A.</b>	<b>4800 kg</b>	<b>9200 kg</b>	<b>13000 kg</b>

## 2.2. Distribución de los esfuerzos cortantes y flectores.

En este apartado se detallan las leyes de esfuerzos cortantes y momentos flectores, así como sus valores máximos originados en el bastidor del vehículo carrozado para las nuevas dimensiones del vehículo y para las distintas situaciones de trabajo y funcionamiento del mismo.

El cálculo se ha realizado mediante programa informático para ordenador de la casa especializada "CYPE INGENIEROS, S.A.", comprobándose que se conserva en todo momento la estabilidad estática de la estructura del bastidor del vehículo.

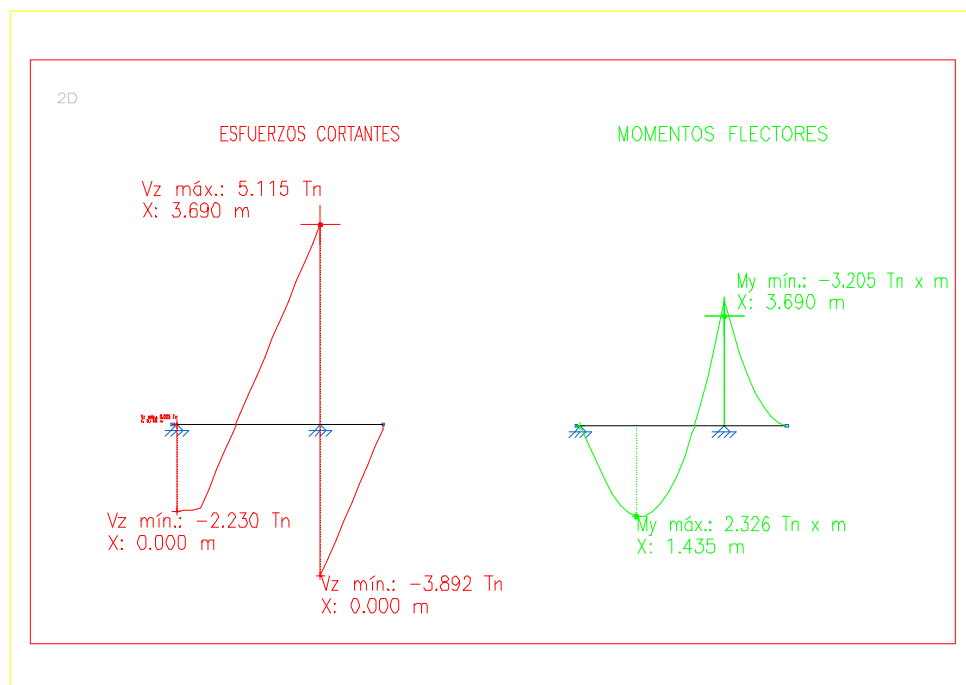


**- En posición de marcha:**



$Mt_{\text{máx}}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$My_{\text{mín}}$	-3.205	-2.474	-1.837	-1.295	-0.847	-0.494	-0.235	-0.070	0.000	0.000
$My_{\text{máx}}$	-1.899	-1.466	-1.089	-0.767	-0.502	-0.293	-0.139	-0.042	0.000	0.000
$Mz_{\text{mín}}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$Mz_{\text{máx}}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

## GRÁFICO DE ESFUERZOS

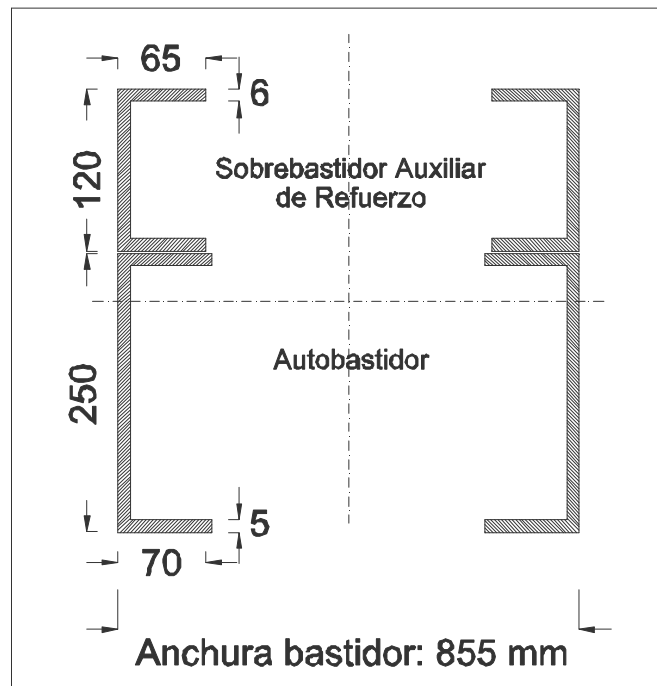


-EN POSICIÓN DE MARCHA-



### 2.3. Coeficiente de seguridad del conjunto del bastidor

En primer lugar, se definen las características mecánicas de la sección del bastidor ya reforzado que se ha empleado en el vehículo:



Con estas dimensiones se calcula el módulo resistente de la sección total del bastidor con refuerzo, que vale:  
 $W_x = 229 \text{ cm}^3$ . (a flexión).

También es necesario conocer los momentos de inercia propios de cada una de las partes que componen el perfil del larguero (autobastidor sin refuerzo y sobrebastidor de refuerzo):

$$\begin{aligned} I_{x1} &= 1670 \text{ cm}^4. && \text{(autobastidor sin refuerzo)} \\ I_{x2} &= 332 \text{ cm}^4. && \text{(sobrebastidor auxiliar o refuerzo)} \end{aligned}$$

Seguidamente se calcularán los coeficientes de seguridad para la situación de trabajo más desfavorable:

- **Máximo flector obtenido (en valor absoluto):**  $M_{f\text{máx}} = 3205 \text{ m}\cdot\text{kg}$ , alcanzado en la posición  $x = 3,69 \text{ m}$ . del bastidor.

Los momentos flectores máximos absorbidos por cada una de las partes son directamente proporcionales a los momentos de inercia:

$$M_{f\text{máx}1} = 2 \cdot \lambda \cdot I_{x1} = 2 \cdot 80 \cdot 1670 = 267200 \text{ cm}\cdot\text{kg}$$

$$M_{f\text{máx}2} = 2 \cdot \lambda \cdot I_{x2} = 2 \cdot 80 \cdot 332 = 53120 \text{ cm}\cdot\text{kg}$$

siendo:

$$\lambda = M_{f\text{máx}} / (2 \cdot (I_{x1} + I_{x2})) = 320500 / (2 \cdot (1670 + 332)) = 80 \text{ kg/cm}^3$$



Y sus tensiones de trabajo serán, respectivamente:

$$\sigma_{f1} = M_{f \text{ máx1}} / (2 * W_{x1}) = 2672000 / (2 * 134) = 997 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{f2} = M_{f \text{ máx2}} / (2 * W_{x2}) = 53120 / (2 * 55) = 483 \text{ kg/cm}^2$$

donde:

$$W_{x1} = I_{x1} / y_{\text{máx1}} = 134 \text{ cm}^3$$

$$W_{x2} = I_{x2} / y_{\text{máx2}} = 55 \text{ cm}^3$$

Y la tensión de trabajo del conjunto, será:

$$\sigma_f = M_{f \text{ máx}} / (2 * W_x) = 320500 / (2 * 229) = 700 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de los coeficientes de seguridad:

$$\lambda_1 = \sigma_e / \sigma_{f1} = 3600 / 997 = 3,6 > 3,0 \quad (\text{del autobastidor sin refuerzo})$$

$$\lambda_2 = \sigma_e / \sigma_{f2} = 3600 / 483 = 7,5 > 3,0 \quad (\text{del sobrebastidor auxiliar o refuerzo})$$

Y para el conjunto autobastidor y refuerzo:

$$\lambda = \sigma_e / \sigma_f = 3600 / 700 = 5,1 > 3,0$$

## 2.4. Cálculo de anclajes y uniones atornilladas

El sistema de fijación del falso bastidor auxiliar al bastidor del vehículo se realizará por medio de tornillos de alta resistencia, calidad 8.8, montados sin holguras, tuerca autoblocantes de seguridad calidad 10 y arandelas planas en ambos lados con dureza mínima 200 HB usadas debajo de las cabezas de los tornillos y de las tuercas.

Para la fijación de los tornillos se utilizarán los soportes que vienen preinstalados de fábrica en el bastidor del vehículo. Para guiar el sobrebastidor auxiliar contra el chasis del vehículo, la fijación superior deberá solapar el bastidor del vehículo, excepto en la primera de ellas.

En general, se utilizarán las uniones elásticas en la parte delantera del falso bastidor (dos en cada lado), en cambio las fijaciones rígidas por placas serán recomendables para la parte posterior del vehículo.

Las características mecánicas de los tornillos empleados en la fijación de las anillas de sujeción de la cisterna al chasis del vehículo son las siguientes:

Calidad.....  $M 8.8$

Tensión de rotura.....  $\sigma_r = 80 \text{ kg/mm}^2$ .

Tensión límite de elasticidad.....  $\sigma_e = 65 \text{ kg/mm}^2$ .

Diámetro de la caña.....  $d = 14 \text{ mm}$ .

Área resistente.....  $A_r = 115 \text{ mm}^2$ .

Paso de rosca.....  $p = 1,75 \text{ mm}$ .

Número de tornillos usados.....  $N = 8$ .

En el anclaje del equipo que constituye el depósito-cisterna, el esfuerzo más desfavorable se produce durante la frenada del vehículo. En este caso, el valor de la fuerza de inercia ( $I$ ) en función de la deceleración ( $a_x$ ) y de la carga o peso de la cisterna llena de líquido ( $Q$ ), es:



$$I=Q \cdot a_r/g;$$

siendo  $g$  la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ );  $a_r=10 \text{ m/s}^2$ ;  $Q=8020 \text{ kg}$ ;

Por lo que sustituyendo valores se tiene que la fuerza de inercia que se produce durante el frenado vale,

$$I=Q \cdot a_r/g=8184 \text{ kg};$$

Por otro lado, la resistencia máxima a cortante debido al anclaje de los tornillos al chasis del vehículo se obtiene mediante la siguiente expresión, para la calidad del tornillo empleado 8.8:

- Para tornillos de Grados 8.8,  $R_m=(0,6 \cdot \sigma_r \cdot N \cdot A_r)/\gamma_{Mb}$ ;

siendo:

$N$ =número de tornillos utilizado en la fijación de la cisterna,  $N=8$ ;

$A_r$ =sección resistente de cada tornillo,  $A_r=115 \text{ mm}^2$ .

$\sigma_r$ =resistencia a tracción última del tornillo empleado,  $80 \text{ kg/mm}^2$ .

$\gamma_{Mb}$ =coeficiente parcial de seguridad a la resistencia de los tornillo (1,25).

Por lo que el valor de la resistencia obtenida con el anclaje empleado vale,

$$R_m=(0,6 \cdot \sigma_r \cdot N \cdot A_r)/\gamma_{Mb}= 35328 \text{ kg};$$

El coeficiente final de seguridad obtenido en el anclaje de la cisterna será:

$$\lambda=R_m/I= 35328/8184 = 4,3 > 3,0$$

## 2.5. Estudio de la estabilidad del vehículo reformado

A continuación, se comprobará que el vehículo reformado con las nuevas dimensiones cumple con los requisitos sobre estabilidad, a fin que pueda desarrollar su trabajo con las máximas garantías.

### 2.5.1. Estabilidad en la conducción.

Sobre este concepto, la práctica aconseja que el reparto de carga de las ruedas direccionales sobre un plano horizontal de un vehículo 4x2, como es el caso que nos ocupa, sea el siguiente:

Tipo de vehículo con carga más carrocería	Reparto de carga sobre las ruedas direccionales	Tipo de vehículo en autobastidor	Reparto de carga sobre las ruedas direccionales
4x2	$R_{AT} > 25\% Q_T$	4x2	$R'_A > 35\% Q'$

siendo:

$Q_T$ = peso total del vehículo.





$Q'$  = peso propio del vehículo (en autobastidor).

$R_{AT}$  = reparto de la carga total sobre el eje delantero en plano horizontal.

$R'_A$  = reparto de carga sobre el eje delantero debido al peso propio del vehículo (en autobastidor).

Aplicado al vehículo objeto de este proyecto, estos valores en orden de marcha son los siguientes:

$Q_T = 13000$  kg.

$Q' = 4820$  kg.

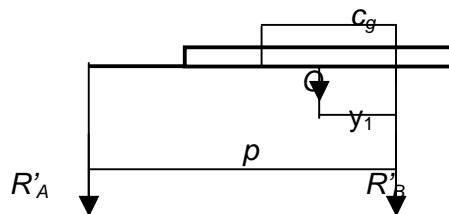
$R_{AT} = 4786$  kg. > 25%  $Q_T = 3250$  kg.

$R'_A = 3145$  kg. > 35%  $Q' = 1687$  kg., cumpliéndose lo establecido.

### 2.5.2. Estabilidad longitudinal y transversal contra el vuelco.

Se realizará el estudio sobre la estabilidad del vehículo atendiéndose a doble criterio, por un lado según lo que resulte de un estudio matemático y, por otro lado, de un estudio práctico basado en la experiencia.

#### 2.5.2.1. Cálculo del c.d.g. del vehículo en orden de marcha.



Para el cálculo de la distancia  $c_g$  del centro de gravedad del vehículo al eje trasero se empleará la siguiente expresión:

$$c_g = (Q \cdot y_1 + R'_A \cdot p) / (Q + R'_A + R'_B);$$

donde:

$y_1 = L/2 - a$ ; siendo  $L$  la longitud de la caja y  $a$  el voladizo posterior, tomando para este proyecto el valor,  $y_1 = 740$  mm.

$R'_A$  y  $R'_B$  son las reacciones sobre los ejes delantero y trasero debido a la tara del autobastidor o chasis cabina, que para este proyecto toma los valores  $R'_A = 3145$  kg y  $R'_B = 1675$  kg.

$Q$  es el peso del carrozado y la carga a transportar, de valor 8020 kg;

Con estos valores el cálculo de la distancia  $c_g$  del centro de gravedad del vehículo al eje trasero toma el siguiente valor:

$$c_g = (Q \cdot y_1 + R'_A \cdot p) / (Q + R'_A + R'_B) = 1366 \text{ mm};$$



### 2.5.2.2. Estudio matemático.

#### a) Estabilidad longitudinal:

Desde un punto de vista matemático, para que el vehículo se encuentre en posición estable, es necesario que se verifique que:

$$R_{AT\alpha} > 0$$

siendo  $R_{AT\alpha}$  el reparto de carga sobre el eje delantero en un plano de carretera con una inclinación de la propia carretera  $\alpha$  cualquiera.

Por otro lado, para que el vehículo no deslice, se ha de verificar que:

$$F_a > R_p$$

siendo  $F_a = Q_T \cdot \cos\alpha \cdot \mu_a$  la fuerza total de adherencia y  $\mu_a$  el coeficiente de adherencia (en la práctica se suele tomar  $\mu_a = 0,6$ ) y  $R_p = Q_T \cdot \sin\alpha$  la resistencia al movimiento del vehículo debida a la pendiente.

Por lo tanto, para que un vehículo no bascule ni deslice han de cumplirse las anteriores condiciones, que también se pueden poner de manera resumida como:

$$\mu_a > \tan\alpha < c_g/h$$

donde  $c_g$  es la distancia de c. d. g. del peso total del vehículo al eje trasero y  $h$  la altura del c. d. g. respecto al suelo. Además, como pendiente máxima de utilización se suele tomar en la práctica  $\tan\alpha = 0,3$  (30%) con vehículo parado y  $\tan\alpha = 0,4$  (40%) con vehículo en movimiento.

Sustituyendo valores se tiene que,

$$\mu_a = 0,6 > \tan\alpha = 0,4$$

$$c_g/h = 1,366/1,50 = 0,9 > \tan\alpha = 0,4$$

#### b) Estabilidad transversal:

De la misma manera, para que un vehículo colocado transversalmente no bascule ni deslice es necesario que se verifique que:

$$\mu_a > \tan\alpha < v/(2 \cdot h)$$

siendo  $v$  la vía media del vehículo, de valor:

$$\text{vía media del vehículo } v = (v_{\text{delantera}} + v_{\text{trasera}})/2 = (1910 + 1745)/2 = 1827,5 \text{ mm.}$$

El peralte máximo de una carretera suele ser del orden de un 10 %, pero en los cálculos se toma un 30 % en estado de reposo y un 40 % en movimiento, con objeto de tener un margen de seguridad.

Sustituyendo valores se tiene que,

$$\mu_a = 0,6 > \tan\alpha = 0,4$$

$$v/(2 \cdot h) = 1827,5/(2 \cdot 1500) = 0,61 > \tan\alpha = 0,4$$

### 2.5.2.3. Estudio práctico.

La práctica aconseja que ha cumplirse en cualquier tipo de transformación lo que se indica en el siguiente cuadro para vehículos 4x2, que es el caso que nos ocupa.

TIPO DE VEHÍCULO CON CARGA MÁS CARROCERÍA	ESTABILIDAD LONGITUDINAL	ESTABILIDAD TRANSVERSAL*
4X2	$R_{AT\alpha} > R'_A$	$R_{i\alpha} > R'_i$

\*suponiendo inclinado el vehículo sobre su costado derecho, siendo:

$R_{AT\alpha}$ =la carga total sobre el eje delantero para un ángulo  $\alpha$  de giro del elemento de elevación.

$R'_A$ =carga sobre el eje delantero debido al peso propio en chasis cabina.

$R_{i\alpha}$ =la carga total sobre las ruedas del lateral izquierdo del vehículo para un ángulo  $\alpha$  de giro del elemento de elevación.

$R'_i$ =la carga sobre las ruedas del lateral izquierdo del vehículo debido al peso propio en chasis cabina.

Cumpléndose para este caso, que:

- En posición de marcha:

Se cumple que  $R_{AT}=4786 \text{ kg} > R'_A=3145 \text{ kg}$ .

## 2.6. Conclusiones

A la vista de lo indicado anteriormente en la memoria descriptiva, así como en el correspondiente anexo de cálculos y planos que se detallan, se estima que el vehículo de referencia es apto para soportar las transformaciones indicadas en este proyecto, solicitándose por lo tanto de la Superioridad la aceptación de la reforma propuesta.

En Arahal, a 21 de Junio de 2013

**- EL INGENIERO INDUSTRIAL -**

Hermenegildo Rodríguez Galbarro