

## Índice.

<b>1.- Objetivo.</b>	4
<b>2.- Introducción.</b>	5
<b>2.1.- Revisión histórica de las Reformas de Importancia.</b>	5
<b>2.2.- Definición y descripción de las reformas.</b>	6
<u>2.2.1.- Reforma nº 20.</u>	6
2.2.1.1.- <i>Definición.</i>	6
2.2.1.2.- <i>Campo de aplicación.</i>	7
2.2.1.3.- <i>Reglamentación aplicable.</i>	7
2.2.1.4.- <i>Documentación exigible.</i>	7
2.2.1.5.- <i>Restitución.</i>	9
2.2.1.6.- <i>Observaciones.</i>	9
<u>2.2.2.- Reforma nº 34.</u>	9
2.2.2.1.- <i>Definición.</i>	9
2.2.2.2.- <i>Campo de aplicación.</i>	9
2.2.2.3.- <i>Reglamentación aplicable.</i>	10
2.2.2.4.- <i>Documentación exigible.</i>	10
2.2.2.5.- <i>Restitución.</i>	11
<b>2.3.- Reglamento General de Vehículos.</b>	11
<u>2.3.1. Definiciones</u>	11
<u>2.3.2. Clasificación por criterios de construcción</u>	11
<u>2.3.3. Clasificación por criterios de utilización</u>	12
<u>2.3.1. Categorías</u>	12
<b>2.4.- Anexo I.</b>	12
<b>3.- Memoria.</b>	23
<b>3.1.- Clasificación de los casos posibles.</b>	23
<b>3.2.- Tractocamió.</b>	28

<u>3.2.1.- Datos.</u>	30
3.2.1.1.- <i>Datos Geométricos.</i>	30
3.2.1.2.- <i>Datos de masas</i>	31
<u>3.2.2.- Reparto de masas en orden de marcha.</u>	33
<u>3.2.3.-Flectores en orden de marcha.</u>	34
3.2.3.1.- <i>Tractocamión de dos ejes.</i>	34
3.2.3.2.- <i>Extensión al caso de tres y cuatro ejes. (Cálculo del eje tándem y trídem).</i>	38
<u>3.2.4.- Cálculo del momento de inercia de bastidor y sobrebastidor.</u>	41
<u>3.2.5.- Estabilidad longitudinal y transversal en orden de marcha.</u>	45
<u>3.2.6.- Distribución de momentos con la grúa actuando.</u>	46
<u>3.2.7.- Estabilidad con grúa trabajando.</u>	53
3.2.7.1.- <i>Estabilidad longitudinal.</i>	53
3.2.7.2.- <i>Estabilidad Transversal:</i>	54
<u>3.2.8.- Caso práctico</u>	55
3.2.8.1.- <i>Datos.</i>	55
3.2.8.2.- <i>Reparto de pesos.</i>	58
3.2.8.3.- <i>Esfuerzos en orden de marcha.</i>	59
3.2.8.4.- <i>Inercias.</i>	62
3.2.8.5.- <i>Estabilidad en orden de marcha.</i>	65
3.2.8.6.- <i>Grúa trabajando y estabilidad.</i>	66
3.2.8.7.- <i>Resultados.</i>	70
<b>3.3.- Semirremolque.</b>	71
<u>3.3.1.- Datos.</u>	71
3.3.1.1.- <i>Datos Geométricos.</i>	71
3.3.1.2.- <i>Datos de masas</i>	72
<u>3.3.2.- Reparto de masas en orden de marcha.</u>	73
<u>3.3.3.-Flectores en orden de marcha.</u>	76
<u>3.3.4.- Cálculo del momento de inercia de bastidor y sobrebastidor.</u>	84

<u>3.3.5.- Estabilidad longitudinal y transversal en orden de marcha.</u>	86
<u>3.3.6.- Distribución de momentos con la grúa actuando y reparto de pesos.</u>	88
<u>3.3.7.- Estabilidad con grúa trabajando.</u>	98
3.3.7.1.- Estabilidad longitudinal.	98
3.3.7.2.- Estabilidad Transversal:	99
<u>3.3.8.- Casos práctico (góndola con grúa trasera).</u>	100
3.3.8.1.- Datos.	100
3.3.8.2.- Reparto de pesos.	103
3.3.8.3.- Esfuerzos en orden de marcha.	106
3.3.8.4.- Inercias.	107
3.3.8.5.- Estabilidad en orden de marcha.	111
3.3.8.6.- Grúa trabajando y estabilidad.	114
3.3.8.7.- Resultados.	121
<u>3.3.9.- Caso práctico (plataforma con grúa central).</u>	122
3.3.9.1.- Datos.	122
3.3.9.2.- Reparto de pesos.	125
3.3.9.3.- Esfuerzos en orden de marcha.	128
3.3.9.4.- Inercias.	130
3.3.9.5.- Estabilidad en orden de marcha.	133
3.3.9.6.- Grúa trabajando y estabilidad.	136
3.3.9.7.- Resultados.	145
 <u>4. Conclusión.</u>	 147
 <u>5.- Bibliografía.</u>	 148

## **1.- Objetivo del proyecto.**

El objetivo del presente proyecto es la creación una herramienta informática para reformas de importancia en vehículos industriales. Dicha herramienta es un programa informático, que se ha realizado empleando el lenguaje Visual Basic para Excel.

La reforma para la que se va a realizar con el programa consiste en la instalación de un elemento autocarga en un vehículo industrial, es decir, el montaje de una grúa autocarga en un tractocamión o en un semirremolque.

La grúa que se va a instalar en el tractocamión tendrá una posición fijada detrás de la cabina. Sin embargo en el semirremolque podrá ir situada en la zona delantera, media o trasera. Para el tractocamión cabe la posibilidad de elegir entre dos, tres o cuatro ejes y para el semirremolque entre uno, dos o tres ejes y el King-pin.

Una vez definida la situación que se va a resolver de entre las posibles, el programa pedirá al usuario los datos necesarios para la ejecución del mismo. Estos datos serán los referentes a distancias y longitudes correspondientes y las cargas que sobre el vehículo recaigan. En el tractocamión el punto de referencia para la toma de distancias es el eje primero siendo el king-pin su afín en el semirremolque.

Recogidos los datos se obtendrá un reparto de pesos sobre cada eje y una distribución de esfuerzos en orden de marcha a lo largo de los largueros del bastidor, así como en la situación del accionamiento de grúa, que suele ser el caso más desfavorable.

Con posterioridad se realizarán las comprobaciones pertinentes relativas a la estabilidad transversal y longitudinal del vehículo reformado.

Por último se realizarán comprobaciones para asegurar que se trabaja con un coeficiente de seguridad adecuado (tanto en orden de marcha como con la grúa actuando) y que se cumpla con lo estipulado según ley en cuanto a seguridad en la conducción, es decir, que sobre el eje delantero recaiga un determinado porcentaje de la masa del vehículo en todo momento, tanto en vacío como en carga.

## **2.- Introducción:**

### **2.1.- Revisión histórica de las Reformas de Importancia.**

En 1967 nace la primera normativa de reformas en los vehículos que sólo regulaba la sustitución de motores en automóviles.

En el 1975 se desarrolla la Orden de Presidencia del Gobierno de 5 de noviembre que modifica a la del 19 de agosto de 1972 sobre de reformas de importancia en vehículos automóviles. En 1979 se desarrolla la Orden Presidencial de 1975 en materia de modificación del sistema de alimentación de carburante en vehículos automóviles. En 1984 se vuelve a modificar dicha orden en ciertos puntos. Toda esta normativa referente a reformas en vehículos automóviles queda derogada a favor del Real Decreto 8-7-1988 núm. 736/1988 recogido en el BOE 16-7-1988, núm. 170.

Este decreto nace como consecuencia y a raíz de la experiencia adquirida en la aplicación de la Orden Presidencial del Gobierno de 5-7-1975, y de la consideración de la incidencia que presentan sobre la seguridad vial ciertas reformas que vienen efectuándose en los vehículos, no indicadas hasta el momento entre las que contempla aquella Orden, aconsejan su modificación, a efectos de controlar la ejecución de dichas reformas.

En dicho decreto se hace referencia a los distintos documentos que se deben de tramitar en función de la reforma con el objetivo de agilizar los trámites. Además se incluyen las reformas realizadas en ciclomotores, remolques y semirremolques antes fuera de la norma.

La experiencia adquirida por la aplicación del Real Decreto 736/1988, de 8 de julio, las correcciones aparecidas en la Orden del Ministerio de Industria y Energía de 22 de mayo de 1989, así como en consideración de la incidencia que presentan sobre la Seguridad Vial ciertas reformas que vienen realizándose sobre los vehículos, no tipificadas hasta el momento, aconsejan la incorporación de la Orden CTE 3191/2002, del 5 de diciembre a efectos de controlar la ejecución de dichas reformas. Se han ampliado hasta 46 reformas. Se impone la obligatoriedad de cumplir ciertos requisitos a vehículos sometidos a una o varias reformas de importancia.

De la aplicación del R.D. 736/1988 surgen problemas ya que ciertas reformas no es posible incluirlas en una o varias de las tipificaciones.

La presente disposición ha sido sometida al procedimiento de información en materia de normas y reglamentaciones técnicas previsto en el Real Decreto 1337/1999, de 31 de julio, por el que se aplican las disposiciones de la Directiva 98/34/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de junio.

Quedan derogados varios artículos del Código de la Circulación por el Reglamento General de Vehículos, en particular el artículo 252, que eximía del cumplimiento del Real Decreto 736/1988 a los vehículos especiales agrícolas y a los vehículos especiales de obras, deriva en que los citados vehículos también están afectados por el citado Real Decreto.

Dicho proyecto atenderá a las reformas 20 y 34 de la Orden CTE 3191/2002. En la número 20 se hace mención a la transformación de un camión cualquiera a camión-volquete, camión-cisterna, camión-isotérmico o frigorífico, camión-grúa, tractocamión, camión-hormigonera o portavehículos. En el artículo 34 se hace mención a las reformas que conlleven incorporación de rampas, elevadores o sistemas de otra naturaleza que faciliten la carga y descarga. Se incluyen en estas reformas las grúas de autocarga, incluso las desmontables, cualquier sistema instalado con carácter permanente para facilitar la carga y descarga de mercancías y cestas u otros dispositivos de elevación para trabajos aéreos, con tres grados de libertad.

A continuación se comentan las reformas 20 y 34 de la Orden CTE 3191/2002 al completo.

## 2.2. Definición y Descripción de la Reformas.

Se van a definir las dos reformas que más influyen en el proyecto.

### 2.2.1. Reforma nº 20.

Esta es la reforma que está más relacionada con la que se va a llevar a cabo en el dicho proyecto.

#### *2.2.1.1.- Definición y Descripción de la Reforma (20)*

**Definición:** Transformación de un camión cualquiera a camión – volquete, camión – cisterna, camión isotermo o frigorífico, camión grúa, tractocamión, camión – hormigonera o portavehículos.

**Descripción:** El carrozado de un chasis cabina incluye además de las transformaciones descritas en el apartado de definición, todas las transformaciones que se puedan realizar sobre el mismo, a excepción de la instalación de una caja ordinaria, siempre que ésta no modifique las especificaciones técnicas establecidas en la homologación de tipo del vehículo chasis cabina.

Se entiende por caja ordinaria todo tipo de caja fijada al bastidor del vehículo (abierta, cerrada o semicerrada) cuya carga se reparta uniformemente.

En el caso de carrocerías homologadas (vehículo completo o completado según 70/156 o Real Decreto 2140/1985), el carrozado inicial como isotermo o frigorífico no

tienen carácter de reforma a menos que se modifique la estructura o dimensiones del bastidor.

En ningún caso se podrán sobrepasar los límites establecidos por el fabricante.

#### 2.2.1.2.- Campo de aplicación.

CATEGORIAS	REFORMAS
	R – 20
M , N	X

Tabla 1.Reformas, 20

#### 2.2.1.3.- Reglamentación aplicable.

Vehículos M , N	Tractores y maquinaria agrícola homologados de tipo según 74/150/CEE ó RD 2140/1985	Vehículos de 2 ó 3 ruedas y cuadriciclos
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Masas y dimensiones (ESC)</li> <li>- Dirección (ESC).</li> <li>- Frenado (ESC). ( * )</li> <li>- Dispositivos de acoplamiento (ESC).</li> </ul>	-----	-----

Tabla 2.Vehículos ,20

( \* ) Los vehículos transformados para arrastrar un remolque o semirremolque de las categorías O3 y O4 estarán equipados con frenado antibloqueo según el Real Decreto 2028/86.

#### 2.2.1.4.- Documentación exigible.

**- Informe favorable del fabricante o de su representante debidamente acreditado o del Laboratorio oficial acreditado en España.**

\* Se incluirán los datos relativos a las nuevas masas y/o dimensiones del vehículo.

**- Certificado del Taller que hace la Reforma.**

**- Proyecto técnico y certificado de ejecución de obra (contenido mínimo)**

- Cálculo del momento resistente y de inercia del bastidor.
- Cálculo de las reacciones en los ejes debidos a la Tara, Carga Útil y Total, en vacío y en carga máxima, en condiciones de circulación.
- Cálculo de las reacciones en los ejes debidas a la Carga Útil cuando el vehículo está trabajando en condiciones extremas (en el caso de volquete y de grúa).
- Cálculo de la tensión del bastidor.
- Gráfico acotado de distribución de cargas, de esfuerzos cortantes y de momentos flectores o diagrama de distribución de tensiones.
- Cálculo del momento de vuelco y estabilizador (grúa, volquete).
- Cálculo del esfuerzo puntual en el bastidor (grúa y volquete).
- Cálculo de la estabilidad lateral y longitudinal (ESC).
- Tensión del bastidor debida a la acción de cargas puntuales (grúa y volquete).
- Cálculo de los esfuerzos que actúan sobre los bulones y las articulaciones del basculante (en el caso de volquetes).
- Cálculo de los esfuerzos máximos a realizar por los cilindros basculantes en situación de trabajo (en el caso de volquetes).
- Cálculo de los bulones de articulación de los cilindros de articulación (en el caso de volquetes).
- Cálculo de los tornillos de amarre de la base de la grúa en la posición de funcionamiento más desfavorable (caso de camión grúa).
- Cálculo o justificación del equipo y de su acoplamiento al vehículo.
- Cálculo de la longitud máxima de la caja transportable.
- En el caso de montajes de dispositivos de acoplamiento para tractocamiones y remolcadores, el proyecto técnico puede ser sustituido por el informe del fabricante en el que se hagan constar los límites de instalación de los citados dispositivos.



2.2.1.5.- *Restitución (volver a las características originales del vehículo antes de la reforma en cuestión).*

Ver tabla del Anexo VI

2.2.1.6.- *Observaciones.*

Ver tabla del Anexo VI

2.2.2.- Reforma nº 34.

No hace alusión al proyecto tan explícitamente como la nº 20, pero se debe tener en cuenta a la hora de realizar éste.

2.2.2.1.- *Definición y descripción de la reforma.*

**Definición:** Incorporación de rampas, elevadores o sistemas de otra naturaleza para facilitar la carga y descarga.

**Descripción:** Se incluye en esta reforma cualquier sistema para facilitar la carga y la descarga de mercancías, que suponga modificación en el reparto cargas y/o estructura del vehículo.

La incorporación de rampas, elevadores o sistemas de otra naturaleza, para facilitar el acceso o salida de personas es la Reforma nº 33.

2.2.2.2.- *Campo de aplicación.*

CATEGORIAS	REFORMAS
	R – 34
N / M2 / M3	X
O1 , 02 , 03 y O4	X

Tabla 3.Reformas, 34

### 2.2.2.3.- Reglamentación aplicable.

Vehículos M , N , O	Tractores y maquinaria agrícola homologados de tipo según 74/150/CEE ó RD 2140/1985	Vehículos de 2 ó 3 ruedas y cuadriciclos
-Masas y dimensiones ( * ) - Dispositivos de alumbrado ( * )	-----	-----

Tabla 4. Vehículos, 34

( \* ) En su caso.

### 2.2.2.4.- Documentación exigible.

- **Informe favorable del fabricante o de su representante debidamente acreditado o del Laboratorio oficial acreditado en España.**

- Se incluirán los siguientes datos:
  - Descripción del dispositivo instalado: tipo, marca, modelo y capacidad del elemento.
- Nuevas dimensiones y tara del vehículo, si procede.
- **Certificado del Taller que hace la Reforma.**

Se identificarán los dispositivos instalados: tipo, marca, modelo y capacidad del elemento.

#### - Proyecto técnico y certificado de ejecución de obra (contenido mínimo)

- El proyecto deberá detallar todas las operaciones de desmontaje y montaje para llevar a cabo la reforma.
- Se deberán calcular los esfuerzos producidos sobre el bastidor o carrocería del sistema instalado, garantizando el correcto funcionamiento y la capacidad de soportar dichos esfuerzos o los refuerzos necesarios.
- Dimensiones y pesos del vehículo antes y después de la reforma.
- Cálculo de las reacciones en los ejes debidas a la Tara, Carga Útil y Total, en vacío y en carga máxima, en condiciones de circulación.

*2.2.2.5.- Restitución (volver a las características originales del vehículo antes de la reforma en cuestión)*

Se tratará como una Reforma n ° 46.

## **2.3.- Reglamento General de Vehículos**

En él se encuentra toda la normativa referente a vehículos que circulen por las vías españolas.

### 2.3.1. Definiciones:

**Vehículo.-** Aparato apto para circular por las vías o terrenos a que se refiere el Artículo 2 de la ley sobre Tráfico, Circulación de vehículos a motor y seguridad vial.

**Vehículos de motor.-** Vehículo provisto de motor para su propulsión. Se excluyen de esta definición los ciclomotores, los tranvías y los vehículos para personas con movilidad reducida.

**Automóvil.-** Vehículo de motor que sirve, normalmente, para el transporte de personas o cosas, o de ambas a la vez, o para la tracción de otros vehículos con aquel fin. Se excluyen de esta definición los vehículos especiales.

**Camión.-** Automóvil con cuatro ruedas o más, concebido y construido para el transporte de mercancías, cuya cabina no está integrada en el resto de la carrocería y con un máximo de 9 plazas, incluido el conductor.

**Tractocamión.-** Automóvil concebido y construido para realizar, principalmente, el arrastre de un semirremolque.

**Remolque.-** Vehículo no autopropulsado diseñado y concebido para ser remolcado por un vehículo de motor.

**Semirremolque.-** Vehículo no autopropulsado diseñado y concebido para ser acoplado a un automóvil, sobre el que reposará parte del mismo, transfiriéndole una parte sustancial de su masa.

**Vehículo articulado.-** Automóvil constituido por un vehículo de motor acoplado a un semirremolque.

**Conjunto de vehículos.-** Un tren de carretera, o un vehículo articulado.

### 2.3.2. Clasificación por criterios de construcción

**Tractocamión.-** Automóvil para realizar principalmente el arrastre de un semirremolque.

**Remolque y semirremolque MMA > 10.000 kg. -.** Aquellos cuya masa máxima autorizada exceda de 10.000 kg. A efectos de esta clasificación se excluyen los agrícolas.

#### 2.3.3. Clasificación por criterios de utilización

**Plataforma.-** Vehículo destinado al transporte de mercancías sobre una superficie plana sin protecciones laterales.

**Caja abierta.-** Vehículo destinado al transporte de mercancías en un receptáculo abierto por la parte superior. Los laterales podrán ser abatibles o fijos.

**Góndola.-** Vehículo cuya plataforma de carga tiene una altura muy reducida.

**Grúa de elevación.-** Vehículo provisto de dispositivos que permiten elevar cargas, pero no transportarlas. (No incluye los vehículos con dispositivos de autocarga.)

**Vehículo completo. -** el vehículo producto de una sola fase de fabricación.

**Vehículo incompleto. -** todo vehículo que deba pasar por lo menos por más de una fase para ser completado.

**Vehículo completado. –** El vehículo producto de distintas fases de fabricación.

#### 2.3.4. Categorías

**M1.** Vehículos destinados al transporte de personas que tengan, además del asiento del conductor, 8 plazas como máximo.

**M2.** Vehículos destinados al transporte de personas que tengan, además del asiento del conductor, más de 8 plazas y cuya masa máxima no supere las 5 toneladas.

**M3.** Vehículos destinados al transporte de personas que tengan, además del asiento del conductor, más de 8 plazas y cuya masa máxima supere las 5 toneladas.

**N1.** Vehículos destinados al transporte de mercancías con masa máxima no superior a 3,5 toneladas.

**N2.** Vehículos destinados al transporte de mercancías con masa máxima comprendida entre 3,5 y 12 toneladas.

**N3.** Vehículos destinados al transporte de mercancías con masa máxima superior a 12 toneladas.

### **2.4.- Anexo I.**

#### **1.- Definiciones:**

A efectos de este Reglamento se entiende por:

1.1. **Tara:** masa del vehículo, con su equipo fijo autorizado, sin personal de servicio, pasajeros ni carga, y con su dotación completa de agua, combustible, lubricante, repuestos, herramientas y accesorios necesarios.

1.2. **Masa en orden de marcha:** se considera como masa en orden de marcha el resultado de sumar a la tara la masa estándar del conductor de 75 kg y para los autobuses y autocares, la masa del acompañante de 75 kg si lo lleva.

1.3. **Masa en carga:** la masa efectiva del vehículo y de su carga, incluida la masa del personal de servicio y de los pasajeros,

1.4. **Masa por eje:** la que gravita sobre el suelo, transmitida por la totalidad de las ruedas acopladas a ese eje.

1.5. **Dimensiones máximas autorizadas:** las dimensiones máximas para la utilización de un vehículo establecidas en este anexo. Todas las dimensiones máximas autorizadas que se especifican en este anexo se medirán con arreglo al anexo I de la Directiva 70/156/CEE, sin tolerancia positiva.

1.6. **Masa máxima autorizada (MMA):** la masa máxima para la utilización de un vehículo con carga en circulación por las vías públicas.

1.7. **Masa máxima técnicamente admisible:** la masa máxima del vehículo basada en su construcción y especificada por el fabricante.

1.8. **Masa máxima autorizada por eje:** la masa máxima de un eje o grupo de ejes con carga para utilización en circulación por las vías públicas.

1.9. **Masa máxima por eje técnicamente admisible:** la masa máxima por eje basada en su construcción y especificada por el fabricante.

1.10. **Masa remolcable máxima autorizada:** masa autorizada máxima de un remolque o semirremolque destinado a ser enganchado al vehículo de motor y hasta la cual puede matricularse o ponerse en servicio el vehículo. En el caso de un remolque de eje central o semirremolque, la masa remolcable máxima autorizada será la masa real máxima del remolque menos su carga real vertical sobre el punto de acoplamiento, es decir, la masa correspondiente a la carga soportada por los ejes del remolque.

1.11. **Masa remolcable máxima técnicamente admisible:** la masa remolcable máxima basada en su construcción y especificada por el fabricante.

1.12. **Masa máxima técnicamente admisible del conjunto:** suma de las masas del vehículo de motor cargado y del remolque arrastrado cargado, basadas en la construcción del vehículo de motor y especificadas por el fabricante.

1.13. **Masa máxima autorizada del conjunto:** suma de las masas del vehículo de motor cargado y del remolque arrastrado cargado para su utilización por las vías públicas.

1.14. **Carga vertical máxima técnicamente admisible sobre el acoplamiento:** carga máxima sobre el acoplamiento establecida en la concepción del vehículo de motor y/o del acoplamiento y especificada por el fabricante.

**1.15. Carga indivisible:** la carga que, para su transporte por carretera, no puede dividirse en dos o más cargas sin coste o riesgo innecesario de daños y que, debido a sus dimensiones o masa, no puede ser transportada por un vehículo de motor, remolque, tren de carretera o vehículo articulado que se ajuste en todos los sentidos a las disposiciones del presente Reglamento.

**1.16. Suspensión neumática:** una suspensión se considera neumática si al menos el 75% del efecto elástico se debe a un dispositivo neumático.

**1.17. Suspensión equivalente o suspensión neumática reconocida:** sistema de suspensión para eje(s) motor no dirigido(s) que cumple los requisitos establecidos en la reglamentación vigente recogida en el Anexo I.

**1.18. Dispositivo de elevación del eje:** dispositivo permanente montado en un vehículo con objeto de reducir o incrementar la carga sobre el(los) eje(s) según las condiciones de carga del vehículo,

1. bien levantando completamente las ruedas del suelo/bajándolas del suelo,

2. o bien sin levantar las ruedas del suelo (por ejemplo, en el caso de sistemas de suspensión neumática u otros sistemas), con objeto de reducir el desgaste de los neumáticos cuando el vehículo no esté completamente cargado, o para facilitar el arranque (inicio de la marcha) sobre terreno resbaladizo a los vehículos de motor o conjuntos de vehículos, incrementando la carga sobre el eje motor.

**1.19. Eje retráctil:** eje que pueda elevarse o bajarse mediante el dispositivo de elevación del eje, tal como se menciona en el número 1 del apartado 1.18.

**1.20. Eje descargable:** eje sobre el cual puede variarse la carga sin que el eje esté levantado, mediante el dispositivo de elevación del eje, tal como se menciona en el número 2 del apartado 1.18.

**1.21. Grupo de ejes:** los ejes que forman parte de un boggy. En el caso de dos ejes, el grupo se denominará tandem, y tandem triaxial en caso de tres ejes. Convencionalmente, se considerará que un solo eje es un grupo de un eje.

**1.22. Tonelada:** masa correspondiente a 1.000 kg.

**1.23. Laboratorio oficial.** - Organización u organismo que haya sido acreditado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología para la realización de ensayos e inspecciones de tipo y / o directivas / reglamentos parciales.

**1.24. Laboratorio autorizado para informes de reformas de importancia.** – Organización u organismo que haya sido acreditado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología para la emisión de informes sobre una o varias reformas de importancia.

**1.25. Vía.** – En el caso de dos ruedas correspondientes al mismo eje, real o ficticio, la vía está representada sensiblemente por los ejes de las huellas marcadas por las ruedas en el plano de apoyo (ver Figura 1).

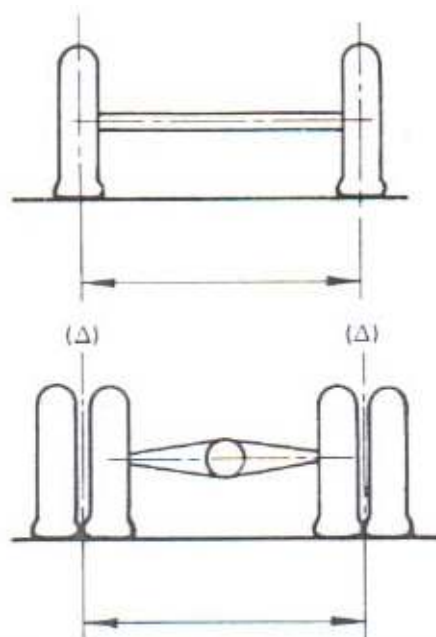


Figura 1. (Vía trasera)

## 2. Masas máximas permitidas

### 2.1. No se permite la circulación:

2.1.1. De vehículos con ruedas neumáticas o de elasticidad similar que ejerzan sobre el pavimento una presión superior a 9 kilogramos por centímetro cuadrado de superficie bruta de apoyo. Se asimilan a estos vehículos los denominados «orugas» cuyas superficies de contacto con el suelo sean planas y no presenten salientes y los contemplados en el párrafo segundo del apartado 5.1 del artículo 12 de este Reglamento.

2.1.2. De vehículos de tracción animal provistos de ruedas no neumáticas o de elasticidad similar, con masa en carga que sobrepase los 150 kilogramos por centímetro de ancho de banda de rodadura.

2.1.3. De aquellos en que los neumáticos soporten cargas superiores a las que determinen sus normas de seguridad (en función de sus índices de carga y velocidad máxima del vehículo).

2.1.4. De vehículos con masas por eje que excedan los límites indicados en la tabla 1 del presente anexo.

2.1.5. De vehículos con masa máxima autorizada superior a los límites indicados en la tabla 2 del presente anexo.

2.1.6. De los trenes de carretera en los que la distancia entre el eje posterior del vehículo motor y el delantero del remolque sea inferior a 3,00 metros.

2.1.7. De vehículos o conjuntos de vehículos en los que la masa soportada por el eje motor o los ejes motores sea inferior al 25 por 100 de la masa total en carga del vehículo o conjunto de vehículos.

2.1.8. De vehículos de motor de 4 ejes cuya masa máxima autorizada en toneladas sea superior a 5 veces la distancia en metros comprendido entre los centros de los ejes extremos del vehículo.

Tabla 5. Masas por eje máximas permitidas

	Toneladas
Eje simple:	
Eje motor <sup>(1)</sup>	11,5
Eje no motor	10
Eje tándem:	
Eje tándem de los vehículos de motor: Si la separación «d» de dos ejes es inferior a 1,00 metros ( $d < 1,00 \text{ m}$ )	11,5
Si es igual o superior a 1,00 metros e inferior a 1,30 metros ( $1,00 \text{ m} \leq d < 1,30 \text{ m}$ )	16
Si es igual o superior a 1,30 metros e inferior a 1,80 metros ( $1,30 \text{ m} \leq d < 1,80 \text{ m}$ )	18
En el caso anterior si el eje motor va equipado con neumáticos dobles y suspensión neumática o reconocida como equivalente a escala comunitaria, o cuando cada eje motor esté equipado con neumáticos dobles y la masa máxima de cada eje no excede de las 9,5 toneladas	19
Eje tándem de los remolques o semirremolques:	
Si la separación «d» de los ejes es inferior a 1,00 metros ( $d < 1,00 \text{ m}$ )	11
Si es igual o superior a 1,00 metros e inferior a 1,30 metros ( $1,00 \text{ m} \leq d < 1,30 \text{ m}$ )	16
Si es igual o superior a 1,30 metros e inferior a 1,80 metros ( $1,30 \text{ m} \leq d < 1,80 \text{ m}$ )	18
Si es igual o superior a 1,80 metros ( $1,80 \text{ m} \leq d$ )	20
Tándem triaxial de los remolques o semirremolques:	
Si la distancia es igual o inferior a 1,30 metros ( $d \leq 1,30 \text{ m}$ )	21
Si la distancia es superior a 1,30 metros e	24



inferior o igual a 1,40 metros (1,30 m < d & 163; 1,40 m)	
---	--

Tabla 5. (Masas por eje máximas permitidas)

(1) Salvo para los vehículos de transporte colectivo de viajeros de la Clase I (autobuses urbanos) según la clasificación del Reglamento núm. 36 anejo al Acuerdo de Ginebra de 1958, que será de 13 toneladas.

Tabla 6. Masas máximas autorizadas

	Toneladas
Vehículos de motor:	
Vehículo de motor de dos ejes <sup>(1)</sup>	18
Vehículo de motor de tres ejes	25
Vehículo de motor de tres ejes, cuando el eje motor vaya equipado con neumáticos dobles y suspensión neumática o reconocida como equivalente a escala comunitaria, o cuando cada eje motor esté equipado de neumáticos dobles y la masa máxima de cada eje no exceda de 9,5 toneladas	26
Autobuses articulados de 3 ejes	28
Vehículo rígido de 4 ejes con dos direccionales, cuando el eje motor vaya equipado con neumáticos dobles y suspensión neumática o reconocida como equivalente a escala comunitaria, o cuando cada eje motor esté equipado de neumáticos dobles y la masa máxima de cada eje no exceda de 9,5 toneladas	32
Otros vehículos rígidos de 4 ejes	31
Remolques:	
Remolque de dos ejes	18
Remolque de tres ejes	24
Vehículos articulados de 4 ejes:	
Vehículo motor de 2 ejes y semirremolque en el cual la distancia entre ejes sea igual o superior a 1,3 m y sea inferior a 1,80 metros	36
Vehículo motor de 2 ejes y semirremolque en el cual la distancia entre ejes sea igual o superior a 1,80 metros	36
Vehículo motor de 2 ejes, equipado en el eje motor con ruedas gemelas, suspensión neumática o reconocida como equivalente y por un semirremolque en el cual la distancia entre ejes sea superior a 1,80 metros, y se respeten la	38

masa máxima autorizada del vehículo motor (18 toneladas) y la masa máxima autorizada de 1 eje tándem del semirremolque (20 toneladas)	
Otros vehículos articulados de 4 ejes compuestos por un tractor de 2 ejes y un semirremolque de otros 2 ejes	36
Vehículos articulados de 5 o más ejes:	
Vehículo motor con 2 ejes y con semirremolque de 3 ejes	40
Vehículo motor con 3 ejes y con semirremolque de 2 ó 3 ejes	40
Vehículo motor de 3 ejes con semirremolque de 2 ó 3 ejes que lleva, en transporte combinado, un contenedor ISO de 40 pies	44
Trenes de carretera de 4 ejes:	
Vehículo motor de 2 ejes y remolque de 2 ejes	36
Trenes de carretera de 5 o más ejes:	
Vehículo de motor con 2 ejes con remolque de 3 ejes	40
Vehículo de motor con 3 ejes con remolque de 2 ó 3 ejes	40

Tabla 6. (Masas máximas autorizadas)

(1) Salvo para los vehículos de transporte colectivo de viajeros de la Clase I (autobuses urbanos) según la clasificación del Reglamento núm. 36 anejo al Acuerdo de Ginebra de 1958, que será de 20 toneladas.

### 3. Dimensiones máximas autorizadas a los vehículos para poder circular, incluida la carga

3.1. Las dimensiones máximas autorizadas a los vehículos para poder circular son las siguientes:

Tabla 7. Dimensiones máximas autorizadas

	Metros
Longitud:	
Remolques	12,00
Vehículos rígidos de motor, cualquiera que sea el número de ejes	12,00
Vehículos articulados, excepto autobuses	16,50
Distancia máxima entre el eje del pivote de enganche y la parte trasera del semirremolque	12,00

Distancia entre el eje del pivote de enganche y un punto cualquiera de parte delantera del semirremolque, horizontalmente	2,04
Autobuses rígidos	15,00
Autobuses articulados	18,00
Trenes de carretera <sup>(1)</sup>	18,75
La distancia máxima, medida en paralelo al eje longitudinal del tren de carretera, entre los puntos exteriores situados más adelante de la zona de carga detrás de la cabina y más atrás del remolque del conjunto vehículos, menos la distancia entre la parte trasera del vehículo motor y la parte delantera del remolque	15,65
Distancia máxima, medida en paralelo al eje longitudinal del tren de carretera, entre los puntos exteriores situados más adelante de la zona de carga detrás de la cabina y más atrás del remolque del conjunto de vehículos	16,40
Anchura:	
La anchura máxima autorizada, como regla general	2,55
Superestructuras de vehículos acondicionados	2,60
Autobuses especialmente acondicionados para el traslado de presos <sup>(2)</sup>	2,60
Altura:	
Altura máxima de los vehículos incluida la carga	4,00

Tabla 7. (Dimensiones máximas autorizadas)

(1) La longitud de los trenes de carretera especializados en el transporte de vehículos, circulando con carga, puede aumentarse hasta un total de 20,55 metros, utilizando un voladizo o soporte de carga trasera autorizado para ello. El voladizo o soporte de carga trasera no podrá sobresalir en relación a la carga. La carga podrá sobresalir por detrás, sin exceder el total autorizado, siempre que el último eje del vehículo que se transporte descansa en la estructura del remolque. La carga no podrá sobresalir por delante del vehículo de tracción.

(2) Se entiende por vehículo tipo autobús especialmente acondicionado para el traslado de presos, el constituido por un compartimento central para celdas separado del delantero (conducción y escolta) y trasero (escolta), así como por un pasillo central.

### 3.2. Se deberá cumplir además que:

3.2.1. La carga no debe comprometer la estabilidad del vehículo, perjudicar las obras y plantaciones de la vía o constituir obstáculo para su paso bajo los puentes, viaductos o instalaciones aéreas.

3.2.2. Todo vehículo de motor y todo conjunto de vehículos deben ser capaces de describir por ambos lados una trayectoria circular completa de 360° dentro

de un área definida por dos círculos concéntricos cuyos radios exterior e interior sean respectivamente de 12,50 metros y de 5,30 metros, sin que ninguno de los puntos extremos exteriores del vehículo se proyecten fuera de las circunferencias de los círculos.

3.2.3. Requisitos adicionales para los vehículos de las categorías M2, M3 y N. Cuando el vehículo avance hacia un lado u otro siguiendo el círculo de 12,5 metros de radio, ninguna parte del mismo rebasará dicho plano vertical en más de 0,8 metros, en el caso de un vehículo rígido, ni en más de 1,2 metros en el caso de un vehículo articulado de las categorías M2 o M3. Para los vehículos dotados de un dispositivo de elevación de eje, este requisito será asimismo de aplicación con el(los) eje(s) en posición elevada. Para los vehículos de categoría N con ejes retráctiles o descargables en posición elevada, el valor de 0,8 metros deberá ser sustituido por el de 1,0 metros.

3.3. La anchura de circulación de los vehículos especiales reseñados a continuación, que son las que regirán a todos los efectos en este Reglamento, se determinará como sigue:

3.3.1. Para los tractores agrícolas, portadores, motocultores, tractocarros, y sus remolques, su anchura de circulación será la del vehículo parado, incluida la carga en su caso.

3.3.2. Para los útiles, aperos y otros equipos agrícolas montados, suspendidos o semisuspendidos en tractores o motocultores, su anchura de circulación será la del equipo parado, disminuida en la distancia en que la parte derecha sobresalga lateralmente de la cara más externa de las ruedas del mismo lado del vehículo que las porte o arrastre, con un máximo a descontar de 0,5 metros.

3.3.3. Para las máquinas agrícolas, su anchura de circulación será la de la máquina parada, disminuida en 0,5 m, si bien esta disminución no será aplicable a aquellas máquinas que, disponiendo de elementos abatibles o desmontables, no los lleven recogidos o desmontados.

3.3.4. Para las restantes máquinas, su anchura de circulación será la de la máquina parada.

3.3.5. Para los conjuntos de estos vehículos, su anchura de circulación será la mayor de todas las individuales después de ser determinadas como en los apartados 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3 y/o 3.3.4.

#### **4. Masas remolcables para vehículos no agrícolas**

4.1. La masa máxima remolcable, para remolque, de un vehículo de categorías M y N, no podrá superar:

4.1.1. La masa máxima remolcable técnicamente admisible basada en la

construcción del vehículo y/o de la resistencia del dispositivo de enganche en su caso.

#### 4.1.2. Según el freno del remolque:

4.1.2.1. Para arrastrar remolques sin freno: la mitad de la tara del vehículo tractor, incrementada en 75 kg, no excediendo en ningún caso de 750 kg.

4.1.2.2. Para arrastrar remolques con solo freno de inercia: la masa máxima autorizada del vehículo tractor (1,5 veces la MMA si el vehículo a motor es todo terreno), no excediendo en ningún caso de 3.500 kg.

4.1.2.3. Para arrastrar remolques con freno continuo: Si el vehículo a motor es de categoría M, igual que en el apartado

4.1.2.2. Si el vehículo a motor es de categoría N:

Categoría N1: igual que en el apartado 4.1.2.2.

Categorías N2 y N3: 1,5 veces la MMA del vehículo tractor.

4.2. Carga vertical sobre el acoplamiento de los vehículos a motor: En el caso de remolques de eje central, la carga vertical máxima autorizada sobre el acoplamiento del vehículo tractor, transmitida a través del dispositivo de tracción del remolque (cuando su carga esté uniformemente distribuida), no superará el menor de los valores siguientes: 10% de la masa máxima del remolque o 1.000 kg. Esta carga vertical se tendrá en cuenta para determinar la masa máxima autorizada del vehículo tractor y de su(s) eje(s) trasero(s).

#### 4.3. Masas máximas del conjunto tractor más remolque (MMC):

La masa máxima de un vehículo tractor, para formar un conjunto con remolque, será como máximo:

$$MMC = MMA + MMR \text{ del vehículo tractor}$$

Este valor podrá estar limitado por los siguientes valores:

Masa máxima del conjunto técnicamente admisible declarado por el fabricante, basada en su construcción. Masa máxima del conjunto legalmente admisible, cuando proceda.

#### 4.4. Masas máximas del conjunto tractor más semirremolque:

Las MMA total y por ejes no deben sobrepasar los respectivos valores límites, que vendrán condicionados por la posición de la quinta rueda, así como no se debe sobrepasar la MMC. La MMC de un vehículo tractor, para formar un conjunto con un semirremolque, podrá estar limitado por los siguientes valores:

Masa máxima del conjunto técnicamente admisible declarado por el fabricante, basada en su construcción. Masa máxima del conjunto legalmente admisible.

Tabla 8. Relaciones máximas autorizadas entre la masa en carga de los vehículos remolcados y la masa en vacío de los vehículos que los arrastren.

	Clases y dispositivos de frenado de los vehículos remolcados	
	De un eje	
	Provistos de freno de servicio	Carentes

			Graduables semi- continuos (1)	Independientes (2)	Mecánicos de inercia	de frenos de servicio
Clases y dispositivos de frenado de los vehículos arrastradores	Provistos de frenos de servicio	Tractores, portadores y máquinas automotrices	4,5	3		1
		Motocultores y máquinas equiparadas	3			1
	Carentes de frenos de servicio	Motocultores y máquinas equiparadas	3	Incompatibles		

			Clases y dispositivos de frenado de los vehículos remolcados			
			De un eje			
			Provistos de freno de servicio			Carentes de frenos de servicio
			Graduables semi- continuos (1)	Independientes (2)	Mecánicos de inercia	
Clases y dispositivos de frenado de los vehículos arrastradores	Provistos de frenos de servicio	Tractores, portadores y máquinas automotrices	4,5	3		1
		Motocultores y máquinas equiparadas	3			1
	Carentes de frenos de servicio	Motocultores y máquinas equiparadas	3	Incompatibles		

Tabla 8.

- (1) Servoasistidos por energía hidráulica o neumática.  
(2) Mecánicos o hidráulicos.

### **3.- Memoria**

#### **3.1.- Casos posibles de resolución con el programa.**

##### 3.1.1.- Tractocamión:

##### Según número de ejes.

##### **1.1.- Dos:**

##### Según grúa. (Siempre detrás de la cabina).

##### 1.1.1.- Sin grúa

##### 1.1.2.- Con grúa

- Con gatos estabilizadores traseros.
- Sin gatos estabilizadores traseros.

##### **1.2.- Tres.** (Uno delante, dos detrás en tándem)

##### Según grúa:

##### 1.2.1.- Sin grúa

##### 1.2.2.- Con grúa

- Con gatos estabilizadores traseros.
- Sin gatos estabilizadores traseros.

##### **1.3.- Cuatro:** (Dos delante y dos detrás)

Según grúa:

- 1.3.1.- Sin grúa
- 1.3.2.- Con grúa

- Con gatos estabilizadores traseros.
- Sin gatos estabilizadores traseros.

3.1.2.- Semirremolque:

Tipos:

*3.1.2.1.- Plataforma*

Según posición de la grúa.

**1.1.- Sin grúa:**

Según número de ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

**1.2.- Delantera:**

1.2.1.- Con gatos estabilizadores traseros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

1.2.2.- Sin gatos estabilizadores traseros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

**1.3.- Central:**

1.3.1.- Con gatos estabilizadores traseros:

Según ejes:

- Uno
- Dos



- Tres

1.3.2.- Sin gatos estabilizadores traseros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

**1.4.- Trasera:**

1.4.1.- Con gatos estabilizadores delanteros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

1.4.2.- Sin gatos estabilizadores delanteros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

3.1.2.2.- *Góndola*

Según posición de la grúa.

**2.1.- Sin grúa:**

Según número de ejes:

- Un
- Dos
- Tres

**2.2.- Delantera:**

2.2.1.- Con gatos estabilizadores traseros:

Según ejes:

- Uno

- Dos
- Tres

2.2.2.- Sin gatos estabilizadores traseros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

### **2.3.- Central:**

2.3.1.- Con gatos estabilizadores traseros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

2.3.2.- Sin gatos estabilizadores traseros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

### **2.4.- Trasera:**

2.4.1.- Con gatos estabilizadores delanteros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

2.4.2.- Sin gatos estabilizadores delanteros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

3.1.2.3.- *Góndola cuello cisne*

Según posición de la grúa.

**3.1.- Sin grúa:**

Según número de ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

**3.2.- Delantera:**

3.2.1.- Con gatos estabilizadores traseros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

3.2.2.- Sin gatos estabilizadores traseros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

**3.3.- Central:**

3.3.1.- Con gatos estabilizadores traseros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

3.3.2.- Sin gatos estabilizadores traseros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

**3.4.- Trasera:**

#### 3.4.1.- Con gatos estabilizadores delanteros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

#### 3.4.2.- Sin gatos estabilizadores delanteros:

Según ejes:

- Uno
- Dos
- Tres

### 3.2- Tractocamión:

A continuación se desarrollan teóricamente los cálculos que son necesarios realizar para cumplir la normativa vigente, en cuanto a las reformas de importancia que se estudian en el presente proyecto.

Antes de pasar a desarrollar estos cálculos se especifican las hipótesis que se han empleado para adaptar los cálculos de la manera más fiel posible a la realidad:

- Para el cálculo de cargas sobre el bastidor se considera el chasis como una viga biapoyada. Si el tractocamión consta con más de dos ejes la resultante que recaiga sobre los ejes dispuestos en forma de tándem se repartirá sobre cada eje en función de la MMA de éste y de las distancias entre ellos. Dichas resultantes serán útiles tanto para el reparto de pesos por eje como para el cálculo de los momentos flectores que provocan sobre el bastidor las cargas dispuestas sobre él.
- En el caso de que haya cuatro ejes, será dos delante y dos detrás, teniendo los dos delanteros la misma MMA por eje. Por ello el reparto de pesos sobre los mismos resulta simétrico.

Se supone la viga biapoyada, ya que debido al sistema de suspensión (por ballestas o neumática) el tándem y el trídem se comportan como un conjunto. La carga recaerá sobre un apoyo teórico cuya posición es función de las MMA y de las distancias entre los ejes que lo formen. El peso que recae sobre el apoyo se repartirá equitativamente sobre los ejes aplicando equilibrio de momentos.

- Las cargas que gravitan sobre el bastidor se consideran cargas uniformemente distribuidas o cargas concentradas en función de la longitud en la que éstas están aplicadas en la realidad frente a la longitud del vehículo. De acuerdo a esto se consideran:

- Cargas uniformemente distribuidas:
  - Masa debida al sobrechasis. Se trata como carga repartida en la longitud del sobrechasis. Dicha longitud depende del usuario ya que es el que decide donde comienza el sobrechasis.
- Cargas concentradas:
  - Masa de la grúa: carga concentrada aplicada en el centro geométrico de la grúa.
  - Masa de los conductores (tractocamión): carga concentrada aplica a una distancia “a” solicitada al usuario como dato de entrada al ejecutar el programa.
  - Masa de los gatos estabilizadores traseros: carga concentrada aplicada en su centro geométrico.
  - Masa de las cargas opcionales: carga concentrada aplicada a la distancia indicada por el usuario.
  - Masa de la carga: carga concentrada aplicada en el centro geométrico del king-pin. Esta carga es debida al sustento de parte de la carga del semirremolque por el tractocamión.

Cuando la grúa esté trabajando se considera que hay aplicado un momento concentrado, provocado por la masa en punta al extenderse el brazo de la grúa, en el bastidor justo donde esté situada la grúa.

- Masa en punta: carga concentrada que se aplica en el centro de gravedad de la grúa.

La configuración genérica de este vehículo sería la siguiente:

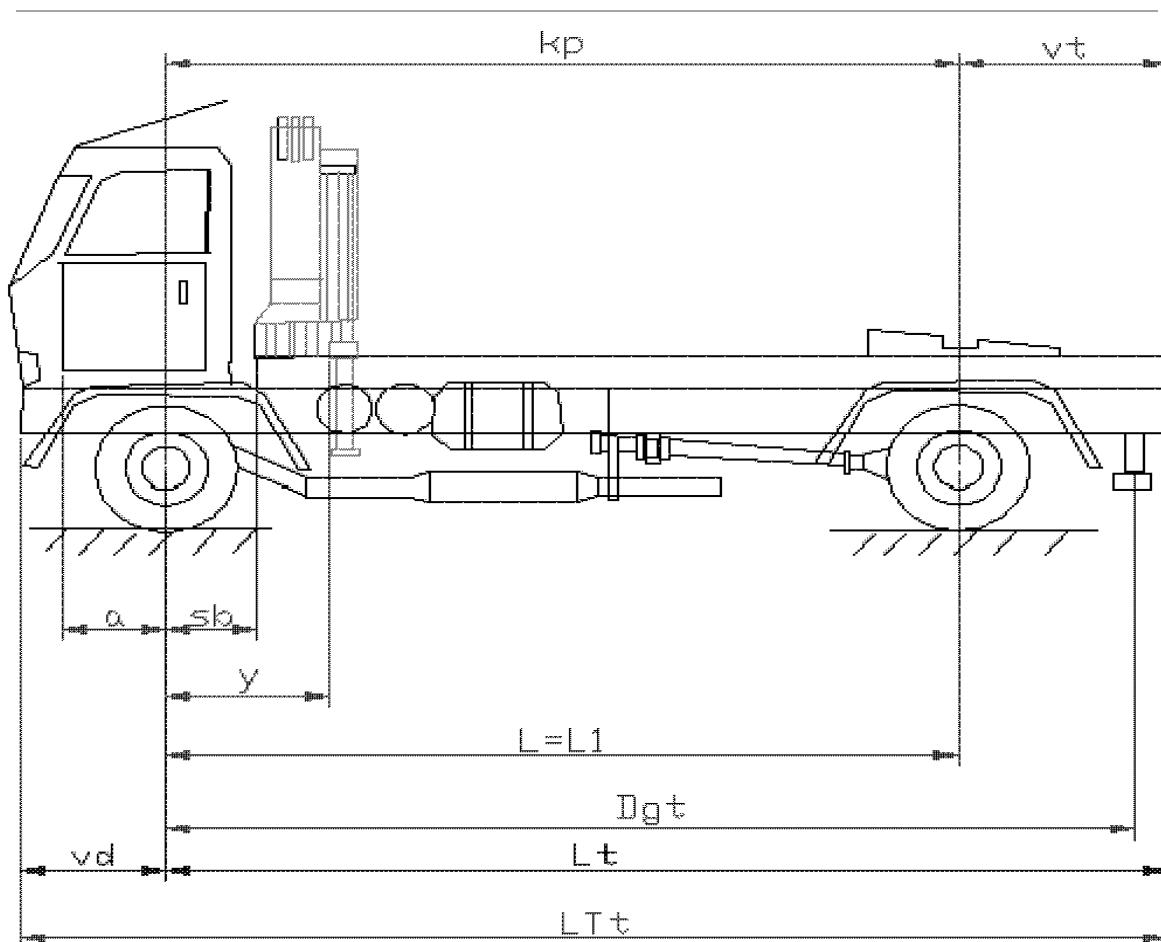


Figura 2. (Cabeza tractora, dos ejes)

### 3.2.1.- Datos.

#### 3.2.1.1.- Datos geométricos.

##### Entrada de datos:

$L_1$  (mm) = Distancia entre eje 1º y 2º.

$L_2$  (mm) = Distancia entre eje 2º y 3º.

$L_3$  (mm) = Distancia entre eje 3º y 4º.

$a$  (mm) = Distancia al conductor desde el eje 1º.

$k_p$  (mm) = Distancia al king-pin desde el eje 1º.

$y$  (mm) = Distancia a la grúa desde el eje 1º.

$s_b$  (mm) = Distancia al inicio del sobrecasis desde el eje 1º.

$LT_t$  (mm) = Longitud total del tractocamión.

$v_t$  (mm) = voladizo teórico.

$D_{gt}$  (mm) = Distancia a gatos desde eje 1°.

$D_i$  (mm) = Distancia a carga puntual "i" desde eje 1°.

De estos datos se obtiene:

Longitud desde eje 1° hasta el final de la cabeza.  $L_t$  (mm) =  $L_1 + L_2 + L_3 + v_t$

Distancia desde eje 2° 3°, hasta c.d.g. del eje tándem.  $d_1$  (mm) = se verá en entrada de pesos.

Distancia entre apoyos de la hipotética viga biapoyada.  $L$  (mm) =  $L_1 + d_1$ . En este caso al ser  $d_1 = 0$ ,  $L$  coincide con  $L_1$ .

Voladizo de la viga.  $v_t$  (mm) =  $L_t - L$ .

Voladizo delantero.  $v_d$  (mm) =  $L_{Tt} - L_1 - L_2 - L_3 - v_t$

*3.2.1.2.- Datos de pesos.*

Entrada de datos:

$T_d$  (kg) = Tara en tándem delantero, o en su defecto sobre el eje delantero.

$T_t$  (kg) = Tara en tándem trasero, o en su defecto sobre el eje trasero.

$P_{grua}$  (kg) = Masa de la grúa.

$P_{gatos}$  (kg) = Masa de los gatos.

$P_{cond}$  (kg) = Masa de los conductores.

$P_{sch}$  (kg/m) = Masa lineal del sobrechasis.

$MMA_1$  (kg) = Masa máxima autorizada sobre el 1°.

$MMA_2$  (kg) = Masa máxima autorizada sobre el 2°.

$MMA_3$  (kg) = Masa máxima autorizada sobre el 3°.

$MMA_4$  (kg) = Masa máxima autorizada sobre el 4°.

$MMA$  (kg) = Masa máxima autorizada.

$P_i$  (kg) = Masa de la carga puntual opcional "i".

De estos datos se obtiene:

Tara sobre el eje 1°.  $P_1$  (kg) =  $T_d$

Tara sobre el eje 2°. P2 (kg) = Tt

Tara sobre el eje 3°. P3, en el caso que estamos estudiando, es igual a cero.

Tara sobre el eje 4°. P4, en el caso que estamos estudiando, es igual a cero.

Pcarga (kg) = MMA – Td –Tt –Pgrua –Pgatos –Pcond –Psch \* (LTt – sb – vd) –

$$\sum_{i=1}^n P_i$$

Distancia desde el eje 2° o 3°, depende de si tenemos 3 o 4 ejes, al centro de gravedad del tándem trasero.

$$\sum F = 0 \quad Tt = MMA2 + MMA3$$

$$\sum M = 0 \quad d1 = (MMA3 * L2) / Tt$$

Distancia desde el eje 3° o 4°, depende de si tenemos 3 o 4 ejes, al centro de gravedad del tándem trasero.

$$d2 = L2 - d1$$

Las distancias d1 y d2 se han obtenido por equilibrio de momentos.

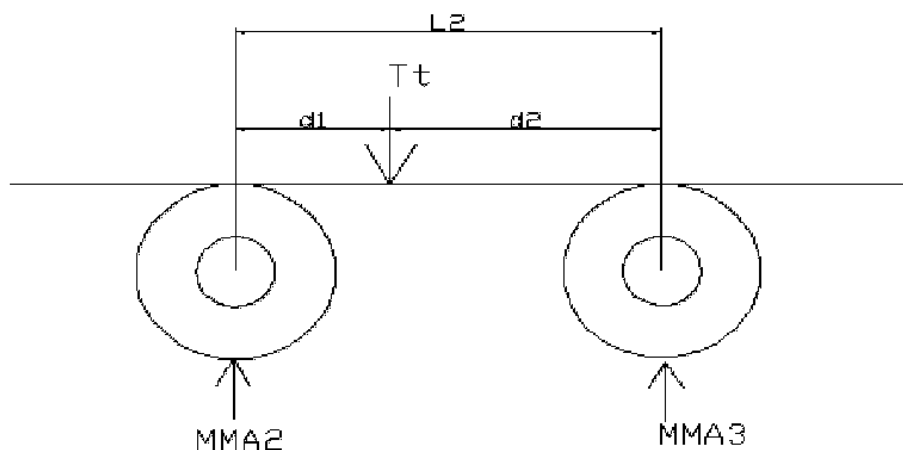


Figura 3. (Equilibrio de fuerzas)



### 3.2.2.- Reparto de pesos por eje en orden de marcha.

$$\sum F = 0 \quad ; \quad \sum M = 0$$

- Autobastidor:
  - o Autobastidor 1 (kg)= P1
  - o Autobastidor 2 (kg)= P2
- Grúa:
  - o P.grúa 1 (kg) =  $P_{grua} * (L - y) / L$
  - o P.grúa 2 (kg) =  $P_{grua} * y / L$
- Sobrechasis:
  - o P.sobrechasis 1 (kg) =  $P_{sch} * (LTt - sb - vd) - P.sobrechasis 2$
  - o P.sobrechasis 2 (kg) =  $P_{sch} * (LTt - sb - vd) / L$
- Gatos:
  - o P.gatos 1 (kg) =  $P_{gatos} * (L - Dgt) / L$
  - o P.gatos 2 (kg) =  $P_{gatos} * Dgt / L$

La suma de las cargas estudiadas hasta ahora da como resultado la TARA.

- Conductores:
  - o P.conductores 1 (kg) =  $P_{cond} * (L - a) / L$
  - o P.conductores 2 (kg) =  $P_{cond} * a / L$
- Peso carga:
  - o P.carga 1 (kg) =  $P_{carga} * (L - kp) / L$
  - o P.carga 2 (kg) =  $P_{carga} * kp / L$
- Peso carga puntual opcional:
  - o P.carga i 1 (kg) =  $P_i * (L - Di) / L$
  - o P.carga i 2 (kg) =  $P_i * Di / L$

Con la suma de la TARA y estas cargas se obtiene el TOTAL que recae sobre el tractocamión.

### 3.2.3.- Distribución de momentos flectores en orden de marcha.

#### 3.2.3.1.- Dos ejes.

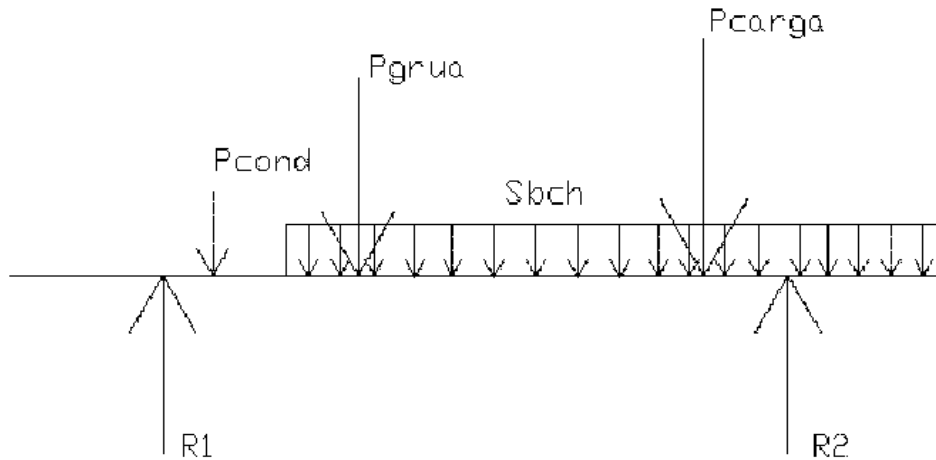


Figura 4. (Viga biapoyada con esfuerzos)

A continuación se mostrará el diagrama de momentos flectores totales de la viga que aparece en la figura, pero antes se va a mostrar un ejemplo de la función momentos de la grúa como carga puntual y del sobrechasis como carga distribuida continua en lenguaje de programación Visual Basic. Esta función es válida tanto para dos ejes como para tres.

$$M(x) = \begin{cases} R1gr * x & x < y \\ (R1gr - Pgr) * x + y * Pgr & y < x \leq L1 \\ (-x + L1 + L2) * R3gr & L1 < x \leq (L1 + L2) \\ 0 & x > (L1 + L2) \end{cases}$$

```

If x < y Then
    Cells(5 + i, 9) = R1gr * x
Else
    If x >= y And x <= L1 Then
        Cells(5 + i, 9) = (R1gr - Pgr) * x + y * Pgr
    Else
        If x > L1 And x <= (L1 + L2) Then
            Cells(5 + i, 9) = (-x + L1 + L2) * R3gr
        Else
            If x > (L1 + L2) And x <= Lt Then
                Cells(5 + i, 9) = 0
            End If
        End If
    End If
End If
End If

```

Para que se recorra toda la función es necesario un bucle "For" que itere dicha ecuación tantas veces como tramos del bastidor se deseen. La letra "i" que aparece en la función de momentos en lenguaje de programación es un contador que va desde cero a doscientos. Se utiliza para que cada valor se escriba en una casilla de la misma columna en Excel. La "x" se incrementa cada vez que se recorre el bucle, el valor incrementado es el resultado de dividir la longitud del vehículo entre las divisiones que se deseen de él, en este caso doscientas.

Esta sería la ecuación en pseudocódigo.

```

Si x < y entonces
    Momento(x) = R1gr * x
Sino
    Si x >= y and x <= L1 entonces
        Momento(x) = (R1gr - Pgr) * x + y * Pgr
    Sino
        Si x > L1 And x <= (L1 + L2) entonces
            Momento(x) = (-x + L1 + L2) * R3gr
        Sino
            Si x > (L1 + L2) And x <= Lt entonces
                Momento(x) = 0
            Fin Si
        Fin Si
    Fin Si
Fin Si

```

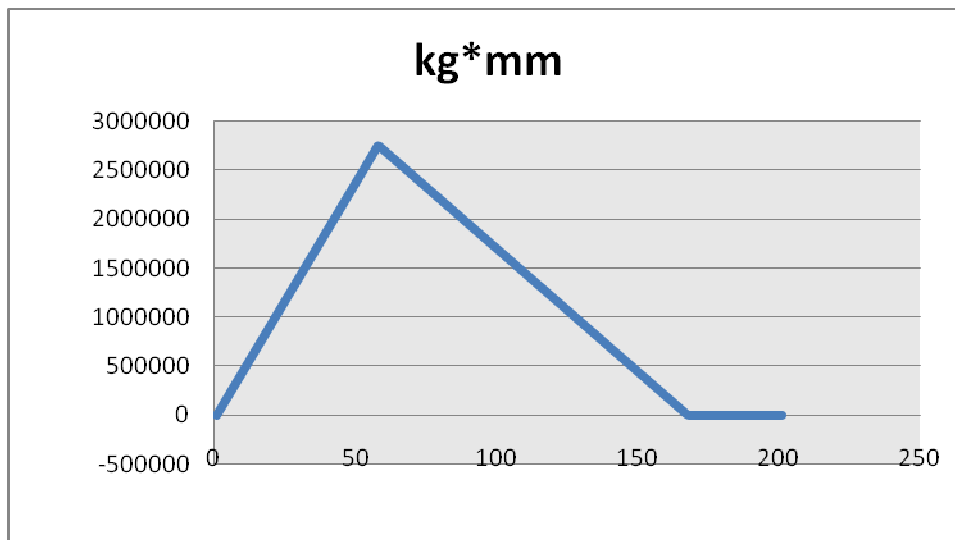


Gráfico 1. Grúa en orden de marcha

Función momentos del sobrechasis como carga distribuida continua.

$$M(x) = \begin{cases} R1sb * x & x < sb \\ R2sb(L1 - x) + R3sb(L1 + L2 - x) - Q(x - Lt)^2 / 2 & sb < x \leq L1 \\ (-x + L1 + L2) * R3sb - 0.5 * Q(x - Lt)^2 & L1 < x \leq (L1 + L2) \\ -0.5 * Q * (x - Lt)^2 & x > (L1 + L2) \end{cases}$$

Función de momentos des sobrechasis en lenguaje de programación.

```
If x <= sb Then
  Cells(5 + i, 13) = R1sb * x
Else
  If x > sb And x <= L1 Then
    Cells(5 + i, 13) = R2sb * (L1 - x) + R3sb * (L1 + L2 - x) - 0.5 * Q * (x - Lt) ^ 2
  Else
    If x > L1 And x <= (L1 + L2) Then
      Cells(5 + i, 13) = R3sb * (L1 + L2 - x) - 0.5 * Q * (x - Lt) ^ 2
    Else
      If x > (L1 + L2) Then
        Cells(5 + i, 13) = -0.5 * Q * (x - Lt) ^ 2
      End If
    End If
  End If
End If
End If
```

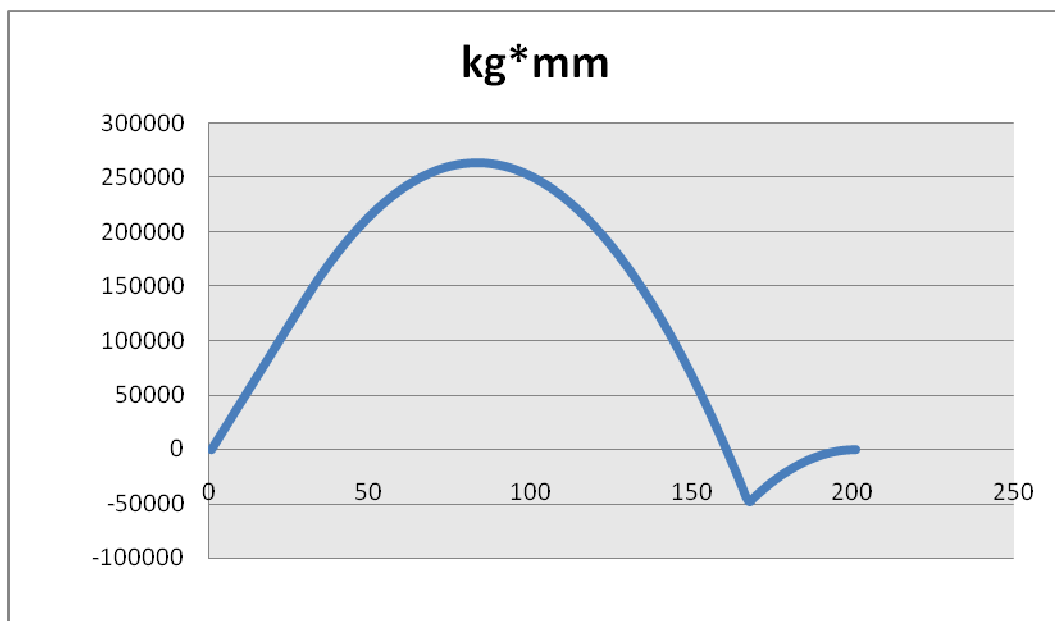


Gráfico 2. Sobrechasis en orden de marcha

Aplicando superposición se obtiene el diagrama de momentos flectores (distribuido en 200 puntos desde el primer eje hasta el final de la cabeza, ya que antes del primer eje no hay cargas) en orden de marcha.

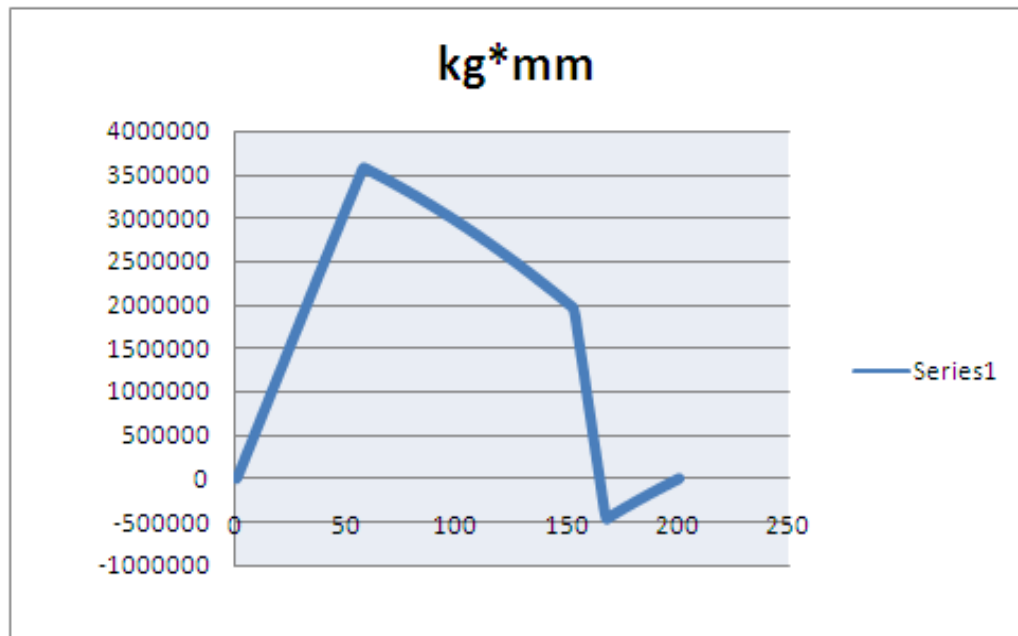


Gráfico 3. Diagrama de momentos flectores totales

### 3.2.3.2.- Extensión al caso de tres y cuatro ejes. (Cálculo del eje tándem)

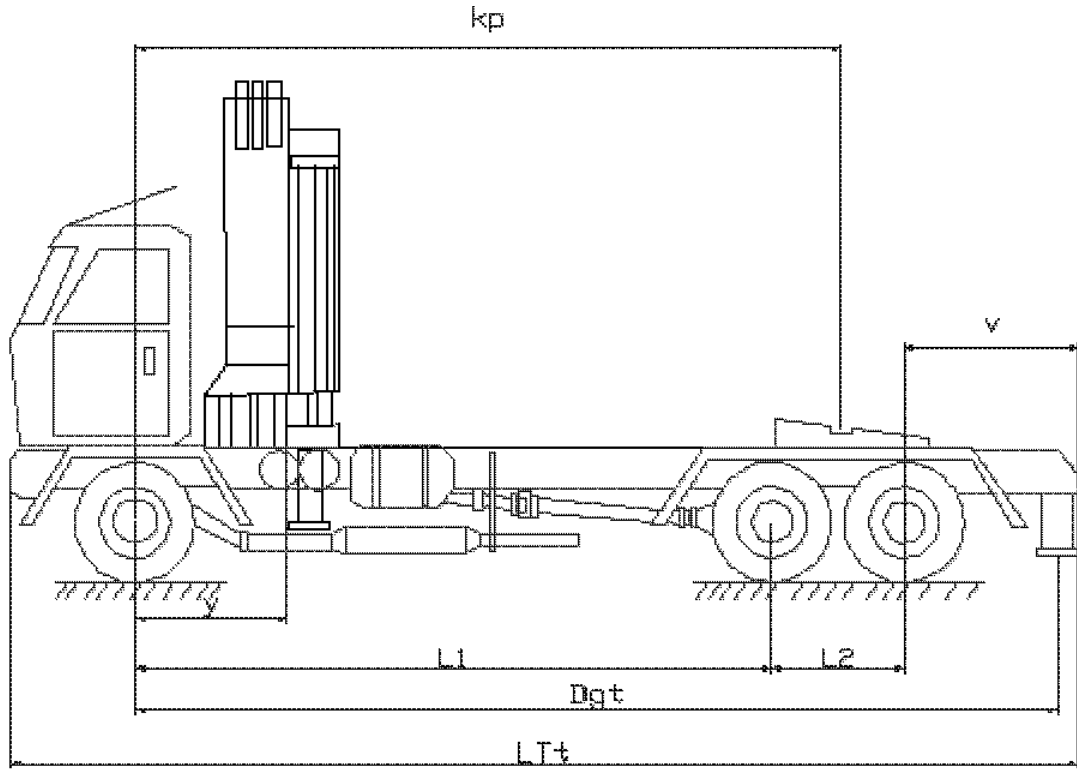


Figura 5. (Tractocamión de tres ejes)

Se plantea aquí el problema de extender los cálculos realizados anteriormente al caso de que el vehículo tenga más de dos ejes. El problema se resuelve calculando un eje teórico (eje tándem) en el lugar o los lugares en que se encuentre el doble eje y realizar los repartos de cargas de acuerdo a un vehículo sobre dos apoyos. El eje tándem se calcula de forma que la carga aplicada sobre el tándem se reparta proporcionalmente a los MMA de los ejes, para cumplir equilibrio tanto en cargas como en momentos.

En el caso de un vehículo de tres ejes con doble eje trasero (Fig.5), el eje tándem trasero se calcula como se indicó anteriormente:

$$\sum F = 0 \quad T_t = MMA2 + MMA3$$

$$\sum M = 0 \quad d1 = (MMA3 * L2) / T_t$$

$$d2 = L2 - d1$$

Una vez calculado el o los ejes tándem se realiza el reparto de pesos por ejes como en el caso de un vehículo de 2 ejes. Las cargas sobre el eje tándem se reparten posteriormente como sigue:

$$\text{Carga en eje } 2^{\circ} = P \cdot d_2 / L_2$$

$$\text{Carga en eje } 3^{\circ} = P \cdot d_1 / L_2$$

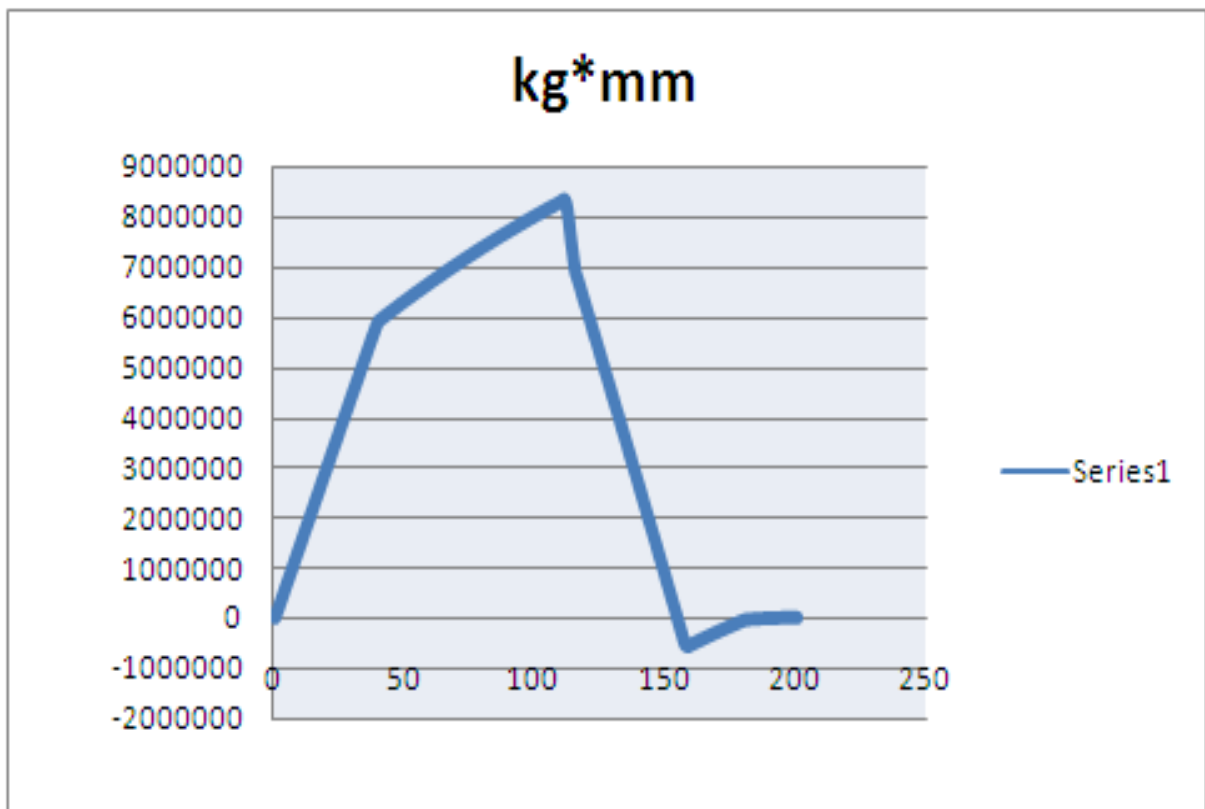


Gráfico 6. Diagrama de momentos flectores

Para el caso de vehículos cuatro ejes el cálculo es igual, pero aplicando lo anteriormente estudiado a los dos pares de ejes (delantero y trasero). A continuación se adjunta un ejemplo. (Los ejes delanteros suelen tener la misma MMA por eje, lo que simplifica el cálculo, ya que el apoyo teórico queda en el centro geométrico del tándem).

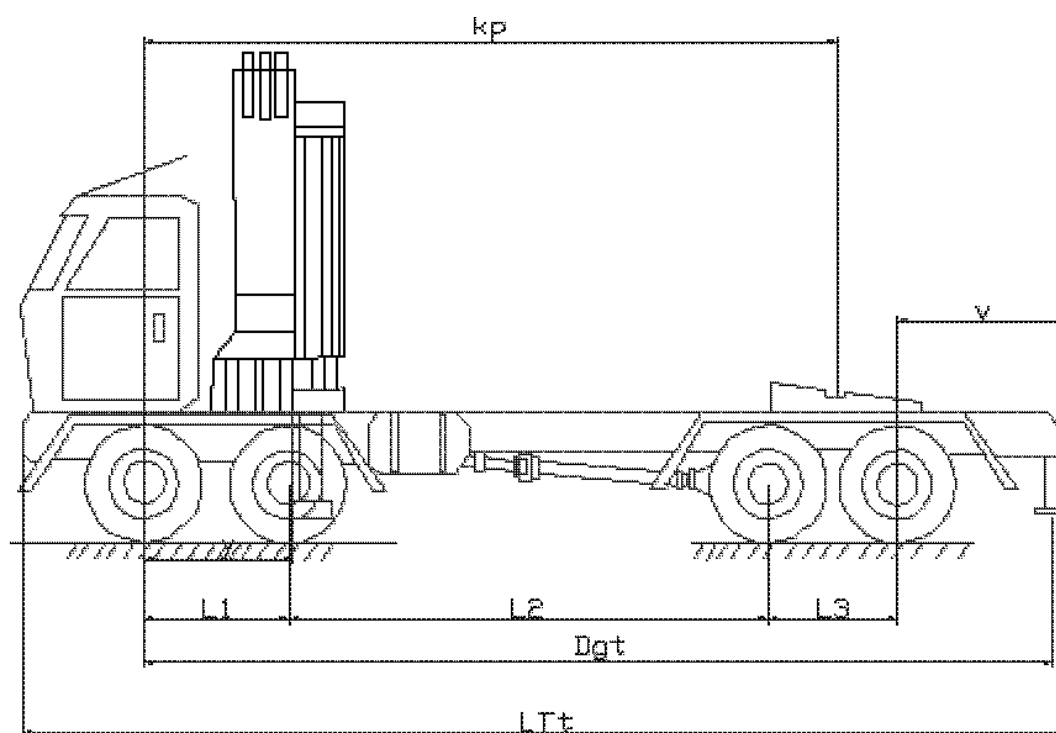


Figura 6. Tractocamión 4 ejes

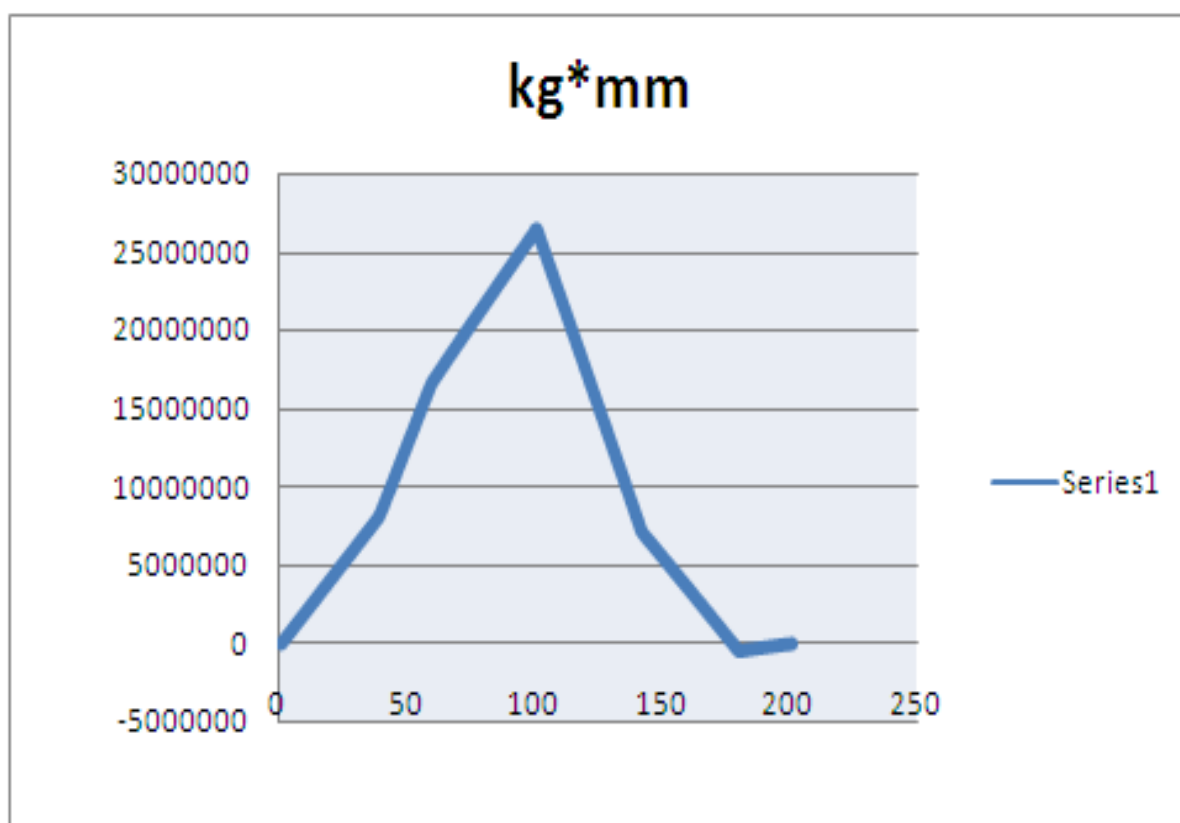




Gráfico 7. Diagrama de momentos flectores

### 3.2.4.- Cálculo del momento de inercia de bastidor y sobrebastidor.

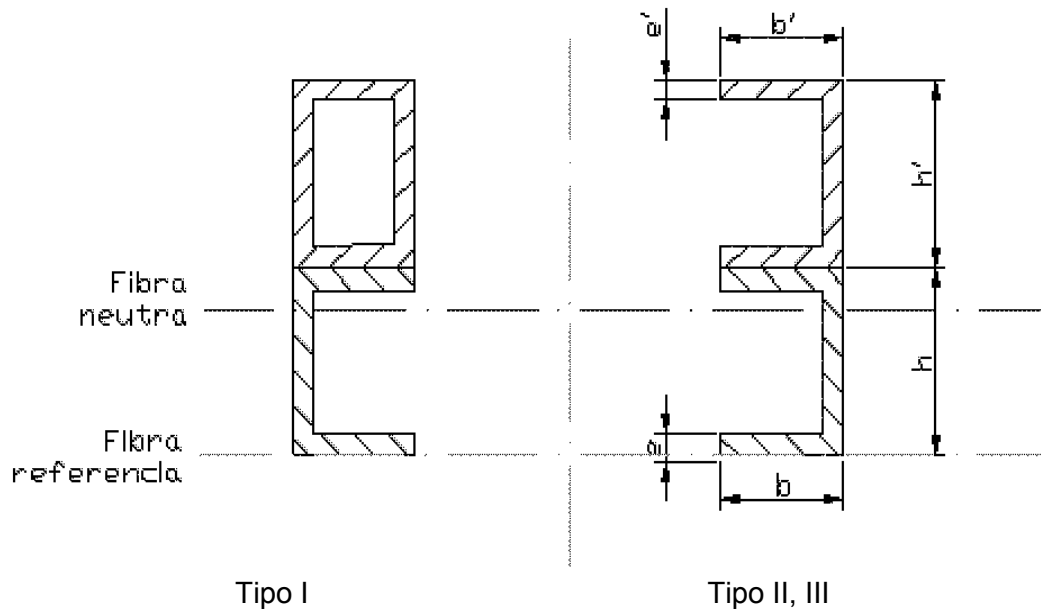


Figura 7. (Perfil chasis)

Para el cálculo de los momentos de inercia del sistema chasis-sobrechasis se parte de dos configuraciones básicas dependiendo de las secciones comúnmente empleadas de sobrechasis (el chasis usualmente es en forma de U):

- Sobrechasis rectangular hueco (tipo I).
- Sobrechasis en forma de U (tipo II, III).

Se calcula el momento de inercia total respecto a la fibra de referencia usando el teorema de Steiner. El resultado obtenido se multiplica por 2 para representar los dos largueros del bastidor del vehículo.

El tipo III se refiere a un perfil UPN, pero los cálculos serán los mismo que para el U. En éste no se calculará la inercia ya que está tabulada y almacenada en el programa.

El cálculo será el siguiente:

Inercia del chasis:

$$I_{xx}(\text{chasis}) = 1/12 b h^3 - 1/12 (b-e) (h-2e)^3$$

Inercia del sobrechasis:

$$I_{xx}(\text{sobrechasis}) = 1/12 b' h'^3 - 1/12 (b' - 2e')(h' - 2e')^3 \quad (\text{TIPO I})$$

$$I_{xx}(\text{sobrechasis}) = 1/12 b' h'^3 - 1/12 (b' - e')(h' - 2e')^3 \quad (\text{TIPO II})$$

$$I_{xx}(\text{sobrechasis}) = 1/12 b' h'^3 - I_{UPN} \quad (\text{TIPO III})$$

Aplicando el Teorema de Steiner:

$$I_{xx}(\text{total}) = I_{xx}(\text{chasis}) + A(\text{chasis}) * (h/2 - Y)^2 + I_{xx}(\text{sobrechasis}) + A(\text{chasis}) * (d' - Y)^2$$

Donde:

$A(\text{chasis})$  = área del chasis

$A(\text{sobrechasis})$  = área del sobrechasis

$Y$  = distancia desde la fibra neutra a la fibra de referencia

$$Y = (A(\text{chasis}) * h/2 + A(\text{sobrechasis}) * d') / (A(\text{chasis}) + A(\text{sobrechasis}))$$

En los casos en los que sea necesario reforzar el conjunto bastidor-sobrebastidor (aumentar su momento de inercia), se conseguirá añadiendo una o varias platabandas de distintas formas según necesidades, como se mencionó anteriormente.

Desde el punto de vista de cálculo se resuelve añadiendo un término más a la ecuación anterior por cada platabanda, de forma que se puede expresar como sigue:

$$I_{xx}(\text{completo}) = I_{xx}(\text{total}) + [A(\text{chasis}) + A(\text{sobrechasis})] * (Y - Y')^2 + \sum [I_{xx}(\text{platabanda } i) + A(\text{platabanda } i) * (d_i' - Y')^2]$$

$$Y' = [ (A(\text{chasis}) + A(\text{sobrechasis})) * Y + \sum A_i * d_i ] / (A_{ch} + A_{sb} + \sum A_i)$$

En este último caso, habría que tener en cuenta el área de las platabandas para el cálculo de  $Y'$ .

Los puntos más desfavorables del chasis suelen coincidir con el c.d.g. de la grúa y el punto de aplicación del king-pin. Por ello en estos lugares se puede reforzar el chasis, pudiendo elegir entre dos tipos de refuerzos para el king-pin, (en U, o en L, en este caso invertida) y otras dos tipologías para la grúa (U o HEB). A continuación se verán los más comunes, el HEB para la grúa y la L invertida para el king-pin

Refuerzo king-pin:

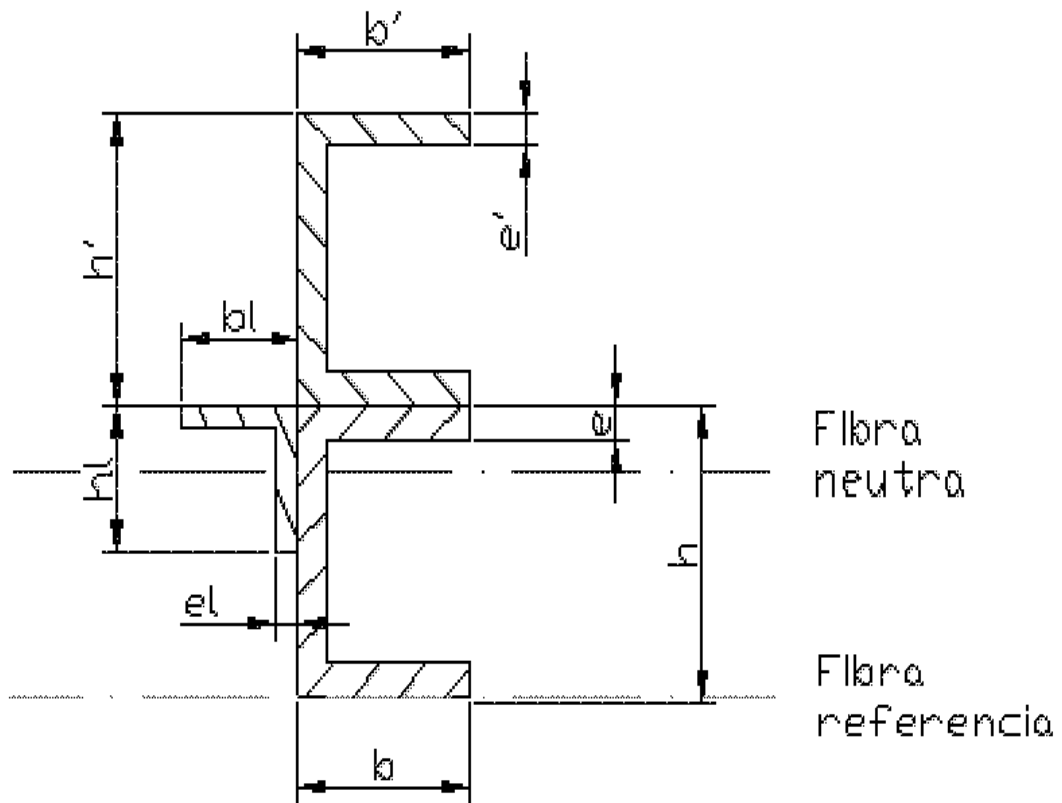


Figura 8. Refuerzo king-pin

Donde la inercia correspondiente será:

$$I_{xx} = I_{xx}(\text{total}) + I_{xx}(\text{king-pin}) + [A(\text{chasis}) + A(\text{sobrechasis})] * (Y - Y')^2 + A(\text{king-pin}) * (dkp - Y')^2$$

Refuerzo grúa:

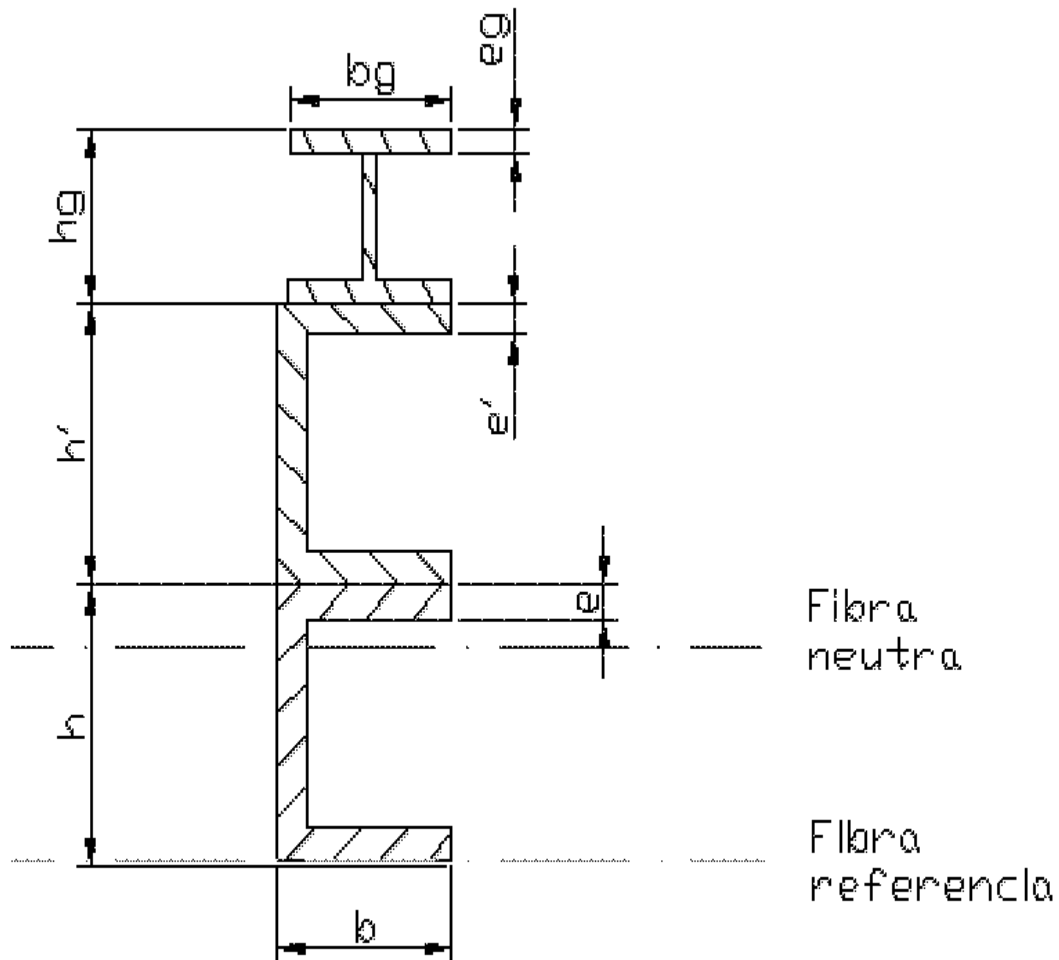


Figura 9. Refuerzo grúa

Donde la inercia correspondiente será:

$$I_{xx} = I_{xx}(\text{total}) + I_{xx}(\text{grúa}) [ A(\text{chasis}) + A(\text{sobrechasis}) ] * (Y - Y')^2 + A(\text{grúa}) * (h + h' + h_{gr} / 2 - Y')^2$$

El refuerzo se calculará igual que en el caso de las platabandas.

Los refuerzos aumentarán considerablemente el momento de inercia en la zona donde estén ubicados. Debido a esto cuando se compruebe el coeficiente de seguridad del bastidor, puede que el mínimo no esté en la zona donde se localice el máximo momento flector.

### 3.2.5.- Estabilidad longitudinal y transversal en orden de marcha.

Para el cálculo de la estabilidad longitudinal y transversal en orden de marcha de un vehículo es necesario calcular previamente el centro de gravedad del vehículo con respecto al eje 2º (o eje tándem en caso de tener más de dos ejes) y la altura del mismo centro de gravedad respecto al suelo.

El centro de gravedad del vehículo se calcula como el promedio de todos los elementos que componen el vehículo. Así se tiene:

$$\text{Distancia del c.d.g. del conjunto a eje 2º} \equiv S = [\Sigma (\text{Peso} * \text{c.d.g.})] / \text{MMA}$$

$$\text{Altura de c.d.g. del conjunto al suelo} \equiv h = [\Sigma (\text{Peso} * h(\text{c.d.g.}))] / \text{MMA}$$

$$\text{Vía media} \equiv V = (\text{vía delantera} + \text{vía trasera}) / 2$$

Donde:

Peso = peso del elemento

c.d.g. = distancia del centro de gravedad del elemento al eje 2º

h (c.d.g.) = altura del centro de gravedad del elemento respecto al suelo

MMA = Peso máximo admitido del vehículo

Estabilidad longitudinal.

Se considera que existe estabilidad longitudinal en orden de marcha si:

$$h < S / 0,33$$

Estabilidad transversal.

Se considera que existe transversal en orden de marcha si:

$$h < 1,66 * V$$

Consideraciones adicionales.

Las constantes que se aplican para la comprobación de estabilidad tanto transversal como longitudinal (1,66 y 0,33 respectivamente) son distintas en función de la documentación consultada (Muñoz Gracia) y responden a una serie de cálculos que no son objeto para este manual.

Para la realización de este manual se han adoptado los valores arriba expuestos por ser comúnmente los más aceptados.

### 3.2.6.- Reparto de pesos y distribución de momentos con la grúa actuando.

Cuando la grúa actúa es importante saber cuál es el caso que nos ocupa: si dispone o no gatos estabilizadores traseros y el número de ejes del tractocamión.

Si no tiene gatos el sustento trasero del vehículo son sus ejes, por lo que el peso que recaiga sobre los mismos no debe sobrepasar su MMA. Aunque al ser la carga estática normalmente resulta admisible un cierto grado de sobrepeso definido por el usuario.

Según el número de ejes, si estamos ante el caso de tres o cuatro ejes, el tándem que forman estos en la parte trasera suele tener una MTMA superior a la MMA. Por este motivo el reparto de pesos con la grúa actuando sobrepasa los límites de carga de los ejes, se instalan los gatos estabilizadores correspondientes. Es importante mencionar que cuando se instalan gatos estabilizadores traseros éstos también tendrán que soportar el peso del vehículo, puesto que son los apoyos del mismo cuando la grúa está accionada. Esto gatos estabilizadores se instalarán cuando se sobrepase la MTMA de los ejes, así como, cuando la estabilidad transversal del vehículo lo requiera.

Grúa actuando sin gatos traseros y con dos ejes.

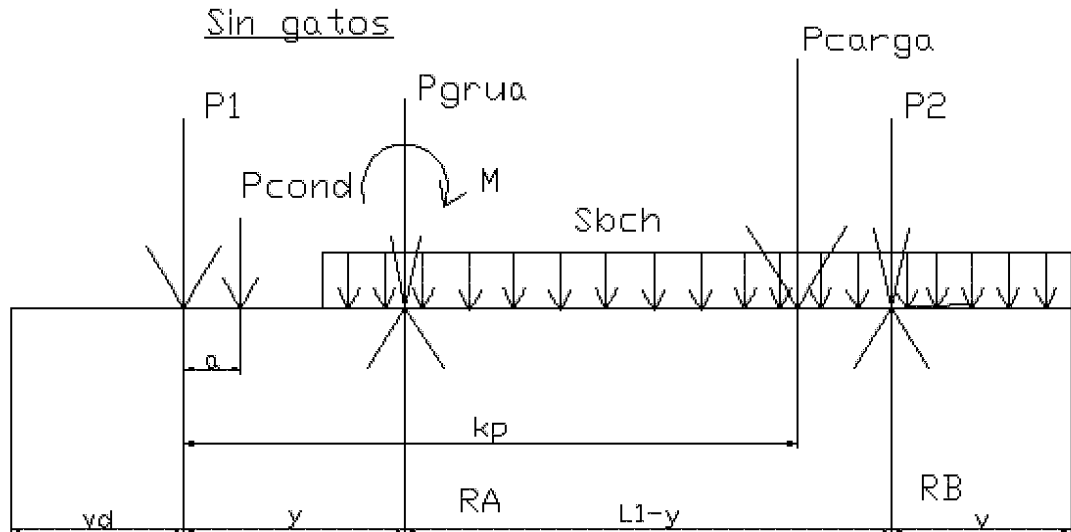


Figura 10. Grúa trabajando sin gatos

Reparto de pesos para dos ejes con accionamiento de grúa, sin gatos estabilizadores traseros.

Grúa:

$$R1gr = Pgr - m / Lsg$$

$$R2gr = m / Lsg$$

Conductores:

$$R1c = P_{cond} * (dT2 - a) / Lsg$$

$$R2c = P_{cond} * (a - y) / Lsg$$

Peso del bastidor en eje 1º:

$$R1m1 = MMA1 * (dT2 - vd) / Lsg$$

$$R2m1 = MMA1 * (vd - y) / Lsg$$

Peso del bastidor sobre eje 2º:

$$R1m2 = 0$$

$$R2m2 = MMA2$$

Peso de la carga:

$$R1k = P_{carga} * (dT2 - kp) / Lsg$$

$$R2k = P_{carga} * (kp - y) / Lsg$$

Sobrechasis:

$$R1sb = Q * (Lt - sb) - Q * ((Lt - y)^2 - (y - sb)^2) / (2 * Lsg)$$

$$R2sb = Q * ((Lt - y)^2 - (y - sb)^2) / (2 * Lsg)$$

$$Lsg = L1 - y$$

$$dT2 = L1$$

m = momento de elevación de la grúa

dd1 = distancia de eje 2º a punto de aplicación de la reacción formada por el tándem.

Función y diagrama de momentos de la grúa, válida para dos y tres ejes.

$$M(x) = \begin{cases} 0 & x < y \\ (R1gr - Pgr)(x - y) + m & y < x \leq L1 \\ R2gr * dd1 * (L2 + L1 - x) / L2 & L1 < x \leq (L1 + L2) \\ 0 & x > (L1 + L2) \end{cases}$$

En lenguaje de programación:

```
If x <= y Then
  Cells(5 + i, 9) = 0
Else
  If x > y And x <= L1 Then
    Cells(5 + i, 9) = (R1gr - Pgr) * (x - y) + m
  Else
    If x > L1 And x < (L1 + L2) Then
      Cells(5 + i, 9) = R2gr * dd1 * (L2 + L1 - x) / L2
    Else
      If x > (L1 + L2) Then
        Cells(5 + i, 9) = 0
      End If
    End If
  End If
End If
```

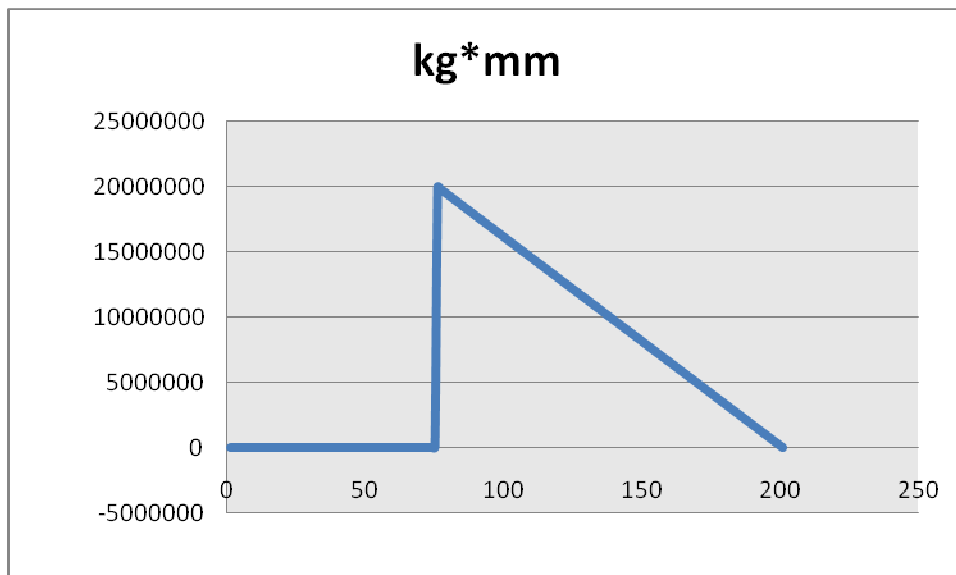


Gráfico 8. Grúa en accionamiento.



Suma total de flectores.



Gráfico 10. Grúa trabajando sin gatos

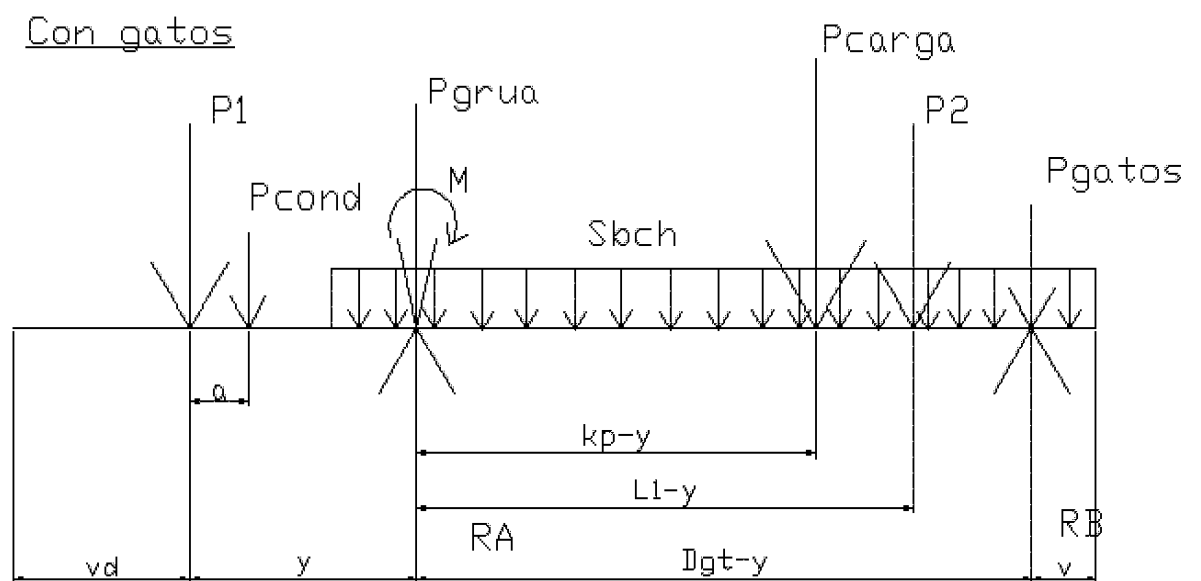


Figura 11. Accionamiento de grúa con gatos estabilizadores traseros

Reparto de pesos. Accionamiento de grúa con gatos estabilizadores traseros.

Grúa

$$R1_{gr} = P_{gr} - m / Lgt$$

$$R2_{gr} = m / Lgt$$

Conductores

$$R1_c = P_{cond} * (Dgt - a) / Lgt$$

$$R2_c = P_{cond} * (a - y) / Lgt$$

Tara sobre eje primero

$$R1_{m1} = MMA1 * (Dgt - vd) / Lgt$$

$$R2_{m1} = MMA1 * (vd - y) / Lgt$$

Tara sobre eje segundo

$$R1_{m2} = MMA2 * (Dgt - L1) / Lgt$$

$$R2_{m2} = MMA2 * (L1 - y) / Lgt$$

Tara sobre eje tercero (cuando lo haya)

$$R1_{m3} = MMA3 * (Dgt - L1 - L2) / Lgt$$

$$R2_{m3} = MMA3 * (L1 + L2 - y) / Lgt$$

Tara sobre eje cuarto (cuando lo haya)

$$R1_{m4} = MMA4 * (Dgt - L1 - L2 - L3) / Lgt$$

$$R2_{m4} = MMA4 * (L1 + L2 + L3 - y) / Lgt$$

Carga

$$R1_k = P_{carga} * (Dgt - kp) / Lgt$$

$$R2_k = P_{carga} * (kp - y) / Lgt$$

$$Lgt = Dgt - y$$

L2 = Distancia entre ejes 2º y 3º

L3 = Distancia entre ejes 3º y 4º

	A	B	C	D	E	F
1	<b>DATOS DE LA GRUA</b>					ikp
2						dkp
3	Máx. momento de elevación	Mg (Kg*m)	20000	Grua		irg
4	Peso de la grua	PGRUA (kg)	3000			drg
5	Alcance estandar	r (mm)	9000			sb
6	Peso en punta	Ppunta (kg)	1000			rg
7	Distancia entre apoyos delanteros	V (mm)	3500			
8	Distancia entre apoyos traseros	Vt (mm)	3000			
9						
10		<b>APOYO 1°</b>	<b>Apoyo 2°</b>		<b>TOTAL</b>	
11		<b>GRUA EN TRABAJO</b>			<b>GRUA EN TRABAJO</b>	
12	Autobastidor	5514	986		6500	
13	Grua + Ppunta	-651	4651		4000	
14	Gatos				0	
15	Sobrechasis	558	422		980	
16	<b>TARA</b>	5421	6059	0	11480	
17						
18	<b>Estabilidad Longitudinal</b>					
19	Reaccion en apoyo 1° > 0	5421				
20	<b>Estabilidad Transversal</b>					
21	Mom. Tara - Mom. Grua (kg*m) > 0	Estable				
22	<b>Resistencia del bastidor</b>					
23	Momento máx. en trabajo de grua	Mmax (kg*mm)	0	21026601.64	22986644.61	17310985.90
24	Momento resistente del bastidor	2*Wxx (cm3)		1530.37	1542.68	2502.36
25	Limite elastico del bastidor	se (kg/mm2)	26	<b>Sólo sobrechasis</b>	<b>Refuerzo king pin</b>	<b>Refuerzo grua</b>
26	Coficiente de seguridad obtenido	K		1.89	1.74	3.76
27						
28	Conductores	192	-42		150	
29	King pinn	5748	6022		11770	
30	<b>Carga Puntual1</b>	0	1000		1000	
31	<b>Total</b>	<b>11361</b>	<b>13039</b>		<b>24400</b>	

Tabla. 9 .Reparto de pesos con grúa accionada

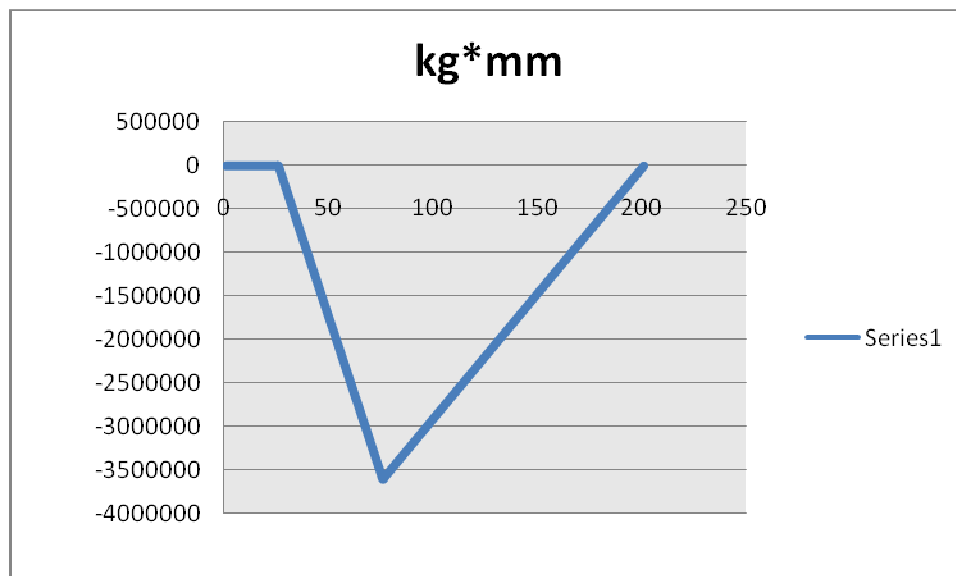
Función y diagrama de momentos en el 1<sup>er</sup> eje.

$$M(x) = \begin{cases} 0 & x < vd \\ MMA1 * (vd - x) & vd < x \leq y \\ R1m1 * (x - y) + MMA1 * (vd - x) & y < x \leq Dgt \\ 0 & x > Dgt \end{cases}$$

En lenguaje de programación:

```
If x < vd Or x > Dgt Then  
  Cells(5 + i, 13) = 0  
Else  
  If x >= vd And x <= y Then  
    Cells(5 + i, 13) = MMA1 * (vd - x)  
  Else  
    If x > y And x <= Dgt Then  
      Cells(5 + i, 13) = R1m1 * (x - y) + MMA1 * (vd - x)  
    End If  
  End If  
End If
```

Cuyo diagrama es:



Gráfica 11. Eje 1°.

Diagrama de suma de momentos.



Gráfico 12. Grúa trabajando con gatos

En el Pgrua se incluye el peso en punta que pueda soportar la grúa.

$$P_{grua} = P_{grua} + P_{punta}$$

### 3.2.7.- Estabilidad grúa trabajando.

#### *3.2.7.1.- Estabilidad longitudinal:*

Para comprobar la estabilidad longitudinal se supone la grúa trabajando en la misma dirección del movimiento del vehículo y hacia atrás. En esta situación hay que comprobar que el sumatorio de cargas en el apoyo delantero es positivo.

Para ello hay que rehacer el reparto de pesos por eje, considerando ahora que los apoyos son los gatos de la grúa en la zona delantera y el eje 2º (o en los gatos estabilizadores traseros en caso de existir).

Además de las cargas habituales en orden de marcha en esta situación aparece un momento concentrado en el centro de la grúa igual al máximo momento de elevación de la grúa (dato del fabricante). Es necesario tener en cuenta que la carga será la menor de las posibles, correspondientes al alcance máximo,  $P_{carga}=0$  (situación más desestabilizadora al alejar al máximo del eje del vehículo el c.d.g. de la grúa).

Si, una vez realizadas las comprobaciones, la carga sobre el apoyo delantero es positiva, existe estabilidad longitudinal cuando la grúa trabaja.

### 3.2.7.2.- Estabilidad Transversal:

Para comprobar la estabilidad transversal se supone la grúa trabajando en posición perpendicular al eje que une los apoyos laterales del vehículo (el ancho máximo delantero y el trasero) ver Figura 12. Si en esta situación el momento generado por la tara del vehículo es superior que el momento de elevación de la grúa la situación se considera estable.

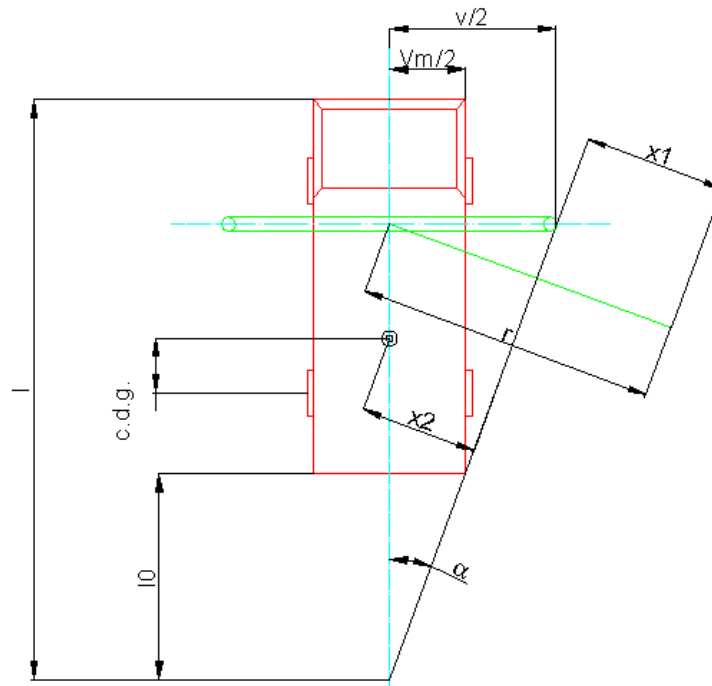


Figura 12 Grúa en trabajo transversal

Donde:

$V \equiv$  Distancia entre apoyos transversales delanteros.

$r \equiv$  Alcance máximo de la grúa.

$c.d.g. \equiv$  Distancia del centro de gravedad de la TARA del vehículo al eje 2°.

$V_m \equiv$  Anchura en apoyos traseros (Vía trasera o anchura de gatos, según corresponda)

De la Figura 12 se deducen los siguientes cálculos:

$$\alpha = \arctg [(V/2 - V_m/2) / (p - y)]$$

$$l = V/2 / \operatorname{tg} \alpha$$

$$l_0 = l - (p - y)$$

$$x_1 = r - l * \sin(\alpha)$$

$$x2 = (c.d.g + l0) * \sin(\alpha)$$

De estos resultados y los datos del fabricante de la grúa se deduce que para que haya estabilidad transversal debe cumplirse:

$$TARA * x2 > Ppunta * x1 + PGRUA * (c.d.g. (grúa)-l * \sin(\alpha))$$

Donde:

Ppunta  $\equiv$  Peso en punta de la grúa

Mg  $\equiv$  Máximo momento de elevación de la grúa

$$c.d.g(grúa) = (Mg - Ppunta * r) / PGRUA$$

La comprobación de ambas estabilidades aparece en la hoja de cálculo de la grúa, como se muestra en la Tabla 9.

### 3.2.8.- Caso práctico.

A continuación se podrán ver distintas hojas de Excel (imágenes copiadas y anexadas de los resultados que calcula el programa) para mostrar el modo de funcionamiento del programa. Estas hojas de cálculo se ejecutan mediante macros hechas con el lenguaje de programación Visual-Basic para el entorno de Microsoft. De cara al usuario, las hojas de cálculo se ejecutan usando los botones habilitados en función de lo que se quiera calcular y el propio programa solicita los datos necesarios para calcular los resultados. Esto se verá más detalladamente a continuación, cuando se desarrolle un ejemplo práctico.

Se pasa ahora a desarrollar un caso particular: este va a consistir en un vehículo de 3 ejes equipado con grúa autocarga entre el eje 1º y 2º y gatos traseros. El King-pin quedará también entre los ejes 1º y 2º. Se colocará la carga puntual opcional en el voladizo posterior para descargar el eje 1º.

#### 3.2.8.1.- Datos.

Una vez abierta la hoja datos, se mostrarán en pantalla los datos de la última vez que se ejecuto la aplicación. Si el usuario quiere realizar modificaciones sobre esta última aplicación sólo tiene que entrar en la celda correspondiente al dato o datos que desee modificar y continuar con los siguientes pasos que se indican posteriormente.

	A	B	C	D	E	F
1	DATOS					
2	Distancia entre ejes 1º y 2º	L1 (mm)	1300	Tandem delantero(si hay un eje)	5000	
3	Distancia entre ejes 2º y 3º	L2 (mm)	3500	Tandem trasero(si hay un eje atras)	6000	
4	Distancia entre ejes 3º y 4º	L3 (mm)	1300	d1	588,10	
5	Longitud desde eje 1º hasta el final de la cabina	Lt (mm)	6800	d2	711,90	
6	Distancia conduct. a eje 1º	a (mm)	0	Longitud desde eje 1º hasta reacción 2	4738,10	
7	Distancia de king pinn a eje 1º	kp (mm)	4500	voladizo técnico útil	1411,90	
8	Distancia centro grua a eje 1º	y (mm)	2500	Voladizo teórico(en ficha técnica)	700	
9	Distancia desde el eje 1º al inicio del sobrecarga	sb (mm)	1500			
10	Distancia de eje 1º a tandem	L(mm)	5388,095238	Distancia de los gatos	0	
11	Voladizo desde tandem	v (mm)	1411,904762			
12	Voladizo delantero	vd (mm)	600			
13	Longitud total	LTt (mm)	7400			
14						
15	Chasis cabina en eje 1º	P1 (Kg)	2500	calcular		
16	Chasis cabina en eje 2º	P2 (Kg)	2500			
17	Chasis cabina en eje 3º	P3 (Kg)	3285,714286			
18	Chasis cabina en eje 4º	P4 (Kg)	2714,285714			
19	Peso de la grua	PGRUA (Kg)	6000	Limpiar celdas		
20	Peso de conductores	PCOND (Kg)	200			
21	Peso del sobrecarga	PSCH (Kg/m)	500			
22	Peso de los gatos	PGATOS (Kg)	0			
23	MMA1	MMA1 (Kg)	7500			
24	MMA2	MMA2 (Kg)	7500			
25	MMA3	MMA3 (Kg)	11500			
26	MMA4	MMA4 (Kg)	9500			
27	MMA	MMA (Kg)	36000			
28						
29	Carga	PCARGA (Kg)	16150			
30						
31						

Figura 13. Pantalla inicio

Si, por el contrario, lo que se desea es resolver un caso distinto se debe ejecutar el botón Limpiar celdas que borrará todos los datos de esta hoja y de las demás. Para comenzar con nuestro caso se ejecuta calcular y el programa comienza. En primer lugar el programa solicita los datos necesarios para rellenar la hoja DATOS y calcular el reparto de pesos por ejes en orden de marcha. La forma de solicitar los datos de entrada es mediante ventanas en las que aparecerá en la parte superior, sobre un fondo azul el tipo de datos que se piden (para esta hoja estos datos pueden ser geométricos o de masas). En el fondo de la pantalla se pedirá el dato que hay que introducir (ver Figura 14).



15	Chasis cabina en eje 1º	P1 (Kg)	
16	Chasis cabina en eje 2º	P2 (Kg)	
17	Chasis cabina en eje 3º	P3 (Kg)	
18	Chasis cabina en eje 4º	P4 (Kg)	
19	Peso de la grúa	PGRUA (Kg)	
20	Peso de conductores	PCOND (Kg)	
21	Peso del sobrechasis	PSCH (Kg/m)	
22	Peso de los gatos	PGATOS (Kg)	
23	MMA1	MMA1 (Kg)	
24	MMA2	MMA2 (Kg)	
25	MMA3	MMA3 (Kg)	
26	MMA4	MMA4 (Kg)	
27	MMA	MMA (Kg)	
28			
29	Carga	PCARGA (Kg)	
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			

**datos geometricos**

distancia entre ejes 1º y 2º(mm)

Aceptar

Cancelar

Figura 14. Ventana de datos de entrada

A continuación se detallan en el mismo orden que aparecen en el programa todos los datos que se solicitarán y el valor (entre paréntesis) que se ha tomado para el caso particular que se está calculando:

Datos geométricos:

Longitud entre ejes 1º y 2º (mm)	(3500 mm)
Longitud entre ejes 2º y 3º (mm)	(1300 mm)
Longitud entre ejes 3º y 4º (mm)	(0 mm)
Distancia de conducto a eje 1º (mm)	(0 mm)
Distancia de king-pin a eje 1º (mm)	(3400 mm)
Distancia de c.d.g de grúa a eje 1º (mm)	(1200 mm)
Longitud de voladizo (mm)	(700 mm)
Distancia desde inicio de sobrechasis a eje 1º (mm)	(600 mm)
Distancia desde gatos estabilizadores traseros a eje 1º (mm)	(5500 mm)
Longitud total (mm)	(6100 mm)
Distancia de carga opcional a eje 1º (mm)	(5500 mm)

---

Datos de masas:

Chasis cabina en tándem delantero (kg): este es un dato del fabricante del vehículo que indica el peso de éste sin carga ni ningún tipo de equipamiento que descansa sobre los ejes delanteros.

(3500 kg)

Chasis cabina en tándem trasero (kg): ídem al caso anterior sobre los ejes traseros.

(3000 kg)

Peso de conductores (kg): por norma se acepta que cada conductor pesa 75 kg. El número de conductores es función del tipo de cabina del vehículo.

(150 kg)

Peso de la grúa (kg): se considera una carga puntual aplicada en el centro geométrico de la grúa autocarga.

(3000 kg)

Peso del sobrechasis (kg): Se considera una carga uniformemente repartida en la longitud del sobrechasis

(200 kg/m)

Peso de los gatos estabilizadores (kg): peso de los gatos traseros estabilizadores de la grúa. Se consideran como una carga puntual aplicada en el centro geométrico de estos. En caso de no haber gatos se debe introducir el valor cero

(600 kg)

Peso de la carga puntual opcional (kg):

(1000 kg)

MMA1 (kg)

(7500 kg)

MMA2 (kg)

(11500 kg)

MMA3 (kg)

(7500 kg)

MMA4 (kg)

(0 kg)

MMA (kg)

(25000 kg)

En el caso de que el vehículo no lleve alguno de los equipos sobre los que se han pedido datos (gatos, grúa....) o su importancia no sea determinante se introducirá el valor cero.

### 3.2.8.2.- Reparto de pesos.

Una vez introducido el último dato el programa genera automáticamente una tabla donde muestra el reparto de pesos por ejes en orden de marcha (ver Tabla 9), donde se detallan los pesos que recaen sobre cada eje. La suma de ellos da como resultado la TARA y la carga TOTAL, tal y como se detalla en la Tabla 9, en orden de marcha.

Debe cumplirse que las cargas totales sobre cada eje no superan la MMA de cada uno de los ejes en orden de marcha.

En caso de necesitar modificar datos, ya sea por sobrepeso en alguno de los ejes o por error al introducir los mismos sólo hay que volver a la página de datos y modificar los mismos manualmente en función de las necesidades que haya. Para ello no hay más que entrar en la celda y modificar el valor según corresponda al caso estudiado. No hay por qué ejecutar una nueva entrada de datos completa, aunque, evidentemente, se puede hacer si así se desea.

	A	B	C	D	E	F
1		EJE 1º	EJE 2º	EJE3º	EJE4º	TOTAL
2		Orden de marcha				
3	Autobastidor	3500	1816	1184	0	6500
4						
5	Grua	2103	543	354	0	3000
6						
7	Sobrechasis	235	451	294	0	980
8						
9	Gatos	-222	498	325	0	600
10						
11	<b>TARA</b>	<b>5616</b>	<b>3307</b>	<b>2157</b>	<b>0</b>	<b>11080</b>
12						
13	Conductores	150	0	0	0	150
14						
15	king pinn	1951	6548	4271	0	12770
16						
17	Carga1	-370	830	541	0	1000
18	<b>TOTAL</b>	<b>7346</b>	<b>10685</b>	<b>6969</b>	<b>0</b>	<b>25000</b>
19	<b>MMA</b>	<b>7500</b>	<b>11500</b>	<b>7500</b>	<b>0</b>	<b>26500</b>

Tabla 10. Reparto de pesos

### 3.2.8.3.- Esfuerzos en orden de marcha.

A continuación se pasará a la hoja Esfuerzos donde se muestran de forma tabulada los esfuerzos sufridos por el bastidor a consecuencia de las cargas. Esta página se mostrará en blanco y con un botón en la parte inferior. Al ejecutar el botón "CALCULAR" el programa creará automáticamente la Tabla 11.

	Grua	King-pinn	Conductores	Gatos	Sobrechasis	ToTaL	Carga P1
0	0	0	0	0	0	0	0
21	48300	10854	0	-2520	4752	70386	9000
42	96600	21708	0	-5040	9504	140772	18000
63	144900	32562	0	-7560	14256	211158	27000
84	193200	43416	0	-10080	19008	281544	36000
105	241500	54270	0	-12600	23760	351930	45000
126	289800	65124	0	-15120	28512	422316	54000
147	338100	75978	0	-17640	33264	492702	63000
168	386400	86832	0	-20160	38016	563088	72000
189	434700	97686	0	-22680	42768	633474	81000
210	483000	108540	0	-25200	47520	703860	90000
231	531300	119394	0	-27720	52272	774246	99000
252	579600	130248	0	-30240	57024	844632	108000
273	627900	141102	0	-32760	61776	915018	117000
294	676200	151956	0	-35280	66528	985404	126000
315	724500	162810	0	-37800	71280	1055790	135000
336	772800	173664	0	-40320	76032	1126176	144000
357	821100	184518	0	-42840	80784	1196562	153000
378	869400	195372	0	-45360	85536	1266948	162000
399	917700	206226	0	-47880	90288	1337334	171000
420	966000	217080	0	-50400	95040	1407720	180000
441	1014300	227934	0	-52920	99792	1478106	189000
462	1062600	238788	0	-55440	104544	1548492	198000
483	1110900	249642	0	-57960	109296	1618878	207000
504	1159200	260496	0	-60480	114048	1689264	216000
525	1207500	271350	0	-63000	118800	1759650	225000
546	1255800	282204	0	-65520	123552	1830036	234000
567	1304100	293058	0	-68040	128304	1900422	243000
588	1352400	303912	0	-70560	133056	1970808	252000
609	1400700	314766	0	-73080	137799,9	2041185,9	261000
630	1449000	325620	0	-75600	142470	2111490	270000
651	1497300	336474	0	-78120	147051,9	2181705,9	279000
672	1545600	347328	0	-80640	151545,6	2251833,6	288000
693	1593900	358182	0	-83160	155951,1	2321873,1	297000
714	1642200	369036	0	-85680	160268,4	2391824,4	306000
735	1690500	379890	0	-88200	164497,5	2461687,5	315000

Tabla 11. Esfuerzos

En la tabla se aprecian varias columnas, que son la distribución de momentos flectores de cada una de las cargas que actúan sobre el vehículo. La suma de ellas da lugar a la columna de "ToTaL". Dichos momentos están calculados punto a punto entre el eje 1º y el final de la cabeza tractora. El programa realiza automáticamente estos cálculos para doscientos puntos intermedios, sea cual sea la longitud del vehículo. De esta forma se consigue que en todas las longitudes la discretización sea suficientemente precisa.

Para ver esta tabla al completo hay que desplazarse en la hoja, ya que no figura al inicio. Ésta llega hasta el valor correspondiente a la distancia desde el eje 1º hasta el final de la cabeza. Dicha tabla no es de importancia vital para el usuario, ya que lo importante son las distribuciones de momentos, aunque estas tablas se pueden ver sin dificultad por aquel usuario que lo desee.

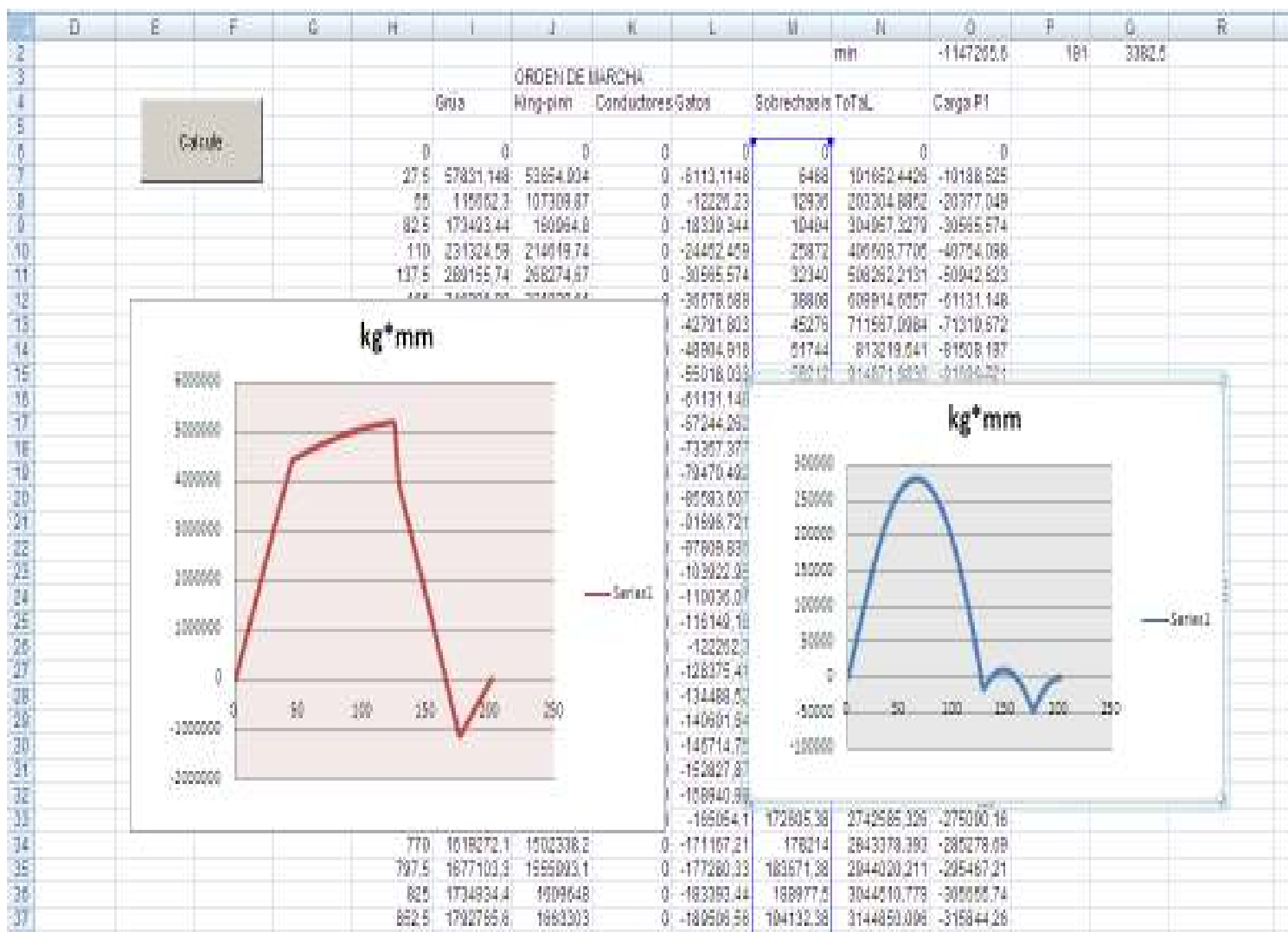
De la columna suma de momentos el programa genera un gráfico en la misma hoja de esfuerzos y además otro igual en una hoja donde sólo está el gráfico, (hoja Mom Esf.). También se muestra en esta hoja (Esfuerzos) el momento máximo (que será el

momento que habrá que tener en cuenta para saber que sobrechasis se debe disponer) que sobre el bastidor actúa.

Máximo momento flect M.max(kg*mm)	3981195,6
-----------------------------------	-----------

*Figura 15. Momento máximo*

La columna primera es la columna de las “x”, es decir, el valor que toma la variable en cada punto mientras se recorre el bastidor. Las demás columnas son la distribución de momentos de las cargas, como se ha mencionado anteriormente. Para estas columnas también se tendrá un gráfico, que el usuario podrá mover entre las distintas columnas para ver la distribución de momentos de cada carga.



**Figura 16. Gráfico cargas**

Se aprecia en la Figura 16 que el gráfico de la derecha corresponde a una carga distribuida continua (sobrechasis). Como se puede observar en la figura el gráfico es el correspondiente al King-pin. Con esto se puede comprobar el valor máximo de cada carga sobre el bastidor. A continuación se muestra la función  $M(x)$  del sobrechasis matemáticamente y en lenguaje de programación.

$$M(x) = \begin{cases} R1sb * x & x < sb \\ R2sb(L1 - x) + R3sb(L1 + L2 - x) - Q(x - Lt)^2 / 2 & sb < x \leq L1 \\ (-x + L1 + L2) * R3sb - 0.5 * Q(x - Lt)^2 & L1 < x \leq (L1 + L2) \\ -0.5 * Q * (x - Lt)^2 & x > (L1 + L2) \end{cases}$$

Función de momentos des sobrechasis en lenguaje de programación.

```

If x <= sb Then
    Cells(5 + i, 13) = R1sb * x
Else
    If x > sb And x <= L1 Then
        Cells(5 + i, 13) = R2sb * (L1 - x) + R3sb * (L1 + L2 - x) - 0.5 * Q * (x - Lt) ^ 2
    Else
        If x > L1 And x <= (L1 + L2) Then
            Cells(5 + i, 13) = R3sb * (L1 + L2 - x) - 0.5 * Q * (x - Lt) ^ 2
        Else
            If x > (L1 + L2) Then
                Cells(5 + i, 13) = -0.5 * Q * (x - Lt) ^ 2
            End If
        End If
    End If
End If
End If

```

El gráfico que se ve en la parte izquierda de la imagen es el correspondiente a la suma de todos los momentos. Este gráfico es diferente al primero que se vio de cabeza tractora de dos ejes, puesto que en éste actúa una carga puntual opcional que el anterior no llevaba.

#### 3.2.8.4.- Inercias.

Se calculará el momento resistente del conjunto chasis-sobrechasis. Para ello se dispone de la hoja INERCIA que se mostrará nuevamente en blanco. Se ejecuta el botón INERCIA. El programa solicitará los datos referentes a chasis, sobrechasis y a posibles refuerzos existentes. Estos datos se pedirán de la misma forma en que se hizo con anterioridad. En esta ocasión aparecerá en la parte superior de las ventanas: datos del chasis, datos del sobrechasis, datos del refuerzo del King-pin, datos del refuerzo de la grúa y datos del refuerzo i, donde i se corresponde con el número del refuerzo del que se piden los datos. Los datos se pedirán en el siguiente orden:

Datos del chasis:

Altura del chasis (mm)	(400 mm)
Anchura del chasis (mm)	(150 mm)
Espesor del chasis (mm)	(8 mm)

Datos del sobrechasis (en el caso que se está estudiando sólo se introduce el tipo de UPN que se haya elegido):

Altura del sobrechasis (mm)	(80 mm)
Anchura del sobrechasis (mm)	(45 mm)
Espesor del sobrechasis (mm)	(6 mm)

Datos del sobrechasis del king-pin:

Altura del chasis (mm)	(70 mm)
Anchura del chasis (mm)	(80 mm)
Espesor del chasis (mm)	(6 mm)
Distancia al inicio del refuerzo del king-pin desde eje 1º	(2800 mm)
Longitud del refuerzo del king-pin	(800 mm)

Datos del sobrechasis de la grúa (en el caso que se está estudiando sólo se introduce el tipo de HEB que se haya elegido):

Altura del chasis (mm)	(300 mm)
Anchura del chasis (mm)	(300 mm)
Espesor del chasis (mm)	(11 mm)
Distancia al inicio del refuerzo de la grúa desde eje 1º	(500 mm)
Longitud del refuerzo de la grúa	(1200 mm)
Número de refuerzos adicionales	(0)

En el caso de haber previsto refuerzos adicionales, se introducirá el número de los refuerzos adicionales que se deseen, y se necesitarán datos referentes a los



refuerzos: altura, anchura, espesor y distancia desde el c.d.g. del refuerzo a la fibra de referencia (zona inferior del chasis). En el caso de que no instale refuerzos en la grúa o en el king-pin, sólo será necesario dar valor cero cuando el programa lo solicite. El caso estudiado es el más usual, ya que es corriente que se disponga un refuerzo en la zona de la grúa al montar ésta y que el refuerzo del king-pin venga instalado de fábrica.

Una vez introducidos todos los datos el programa calculará la inercia y el momento resistente total por zonas. El resultado que se obtendrá por pantalla es el que se muestra en la Figura 17. En ella se observan por separado los datos y las inercias de chasis, sobrechasis, refuerzo grúa y refuerzo king-pin. Los refuerzos adicionales no se muestran ya que el bastidor no lleva. En la parte central de la hoja se muestra la inercia y el momento resistente de las distintas zonas del bastidor.

Nota: Los valores de inercias y el momento resistente se encuentran multiplicados por dos por estar compuesto el bastidor por dos largueros.

CHASIS				
Altura de chasis	h (mm)	400	I11=	800000000
Anchura de chasis	b (mm)	150	I12=	670040064
Espesor de chasis	e (mm)	8		
Area del chasis	A (mm <sup>2</sup> )	5472		
Inercia del chasis	2*I (mm <sup>4</sup> )	277579795,9		129959936
SOBRECHASIS				
Altura de sobrechasis	h' (mm)	80	I'11=	
Anchura de sobrechasis	b' (mm)	45	I'12=	
Espesor de sobrechasis	e' (mm)	6		
Area del sobrechasis	A' (mm <sup>2</sup> )	1100		
Inercia del sobrechasis	2*I' (mm <sup>4</sup> )	89970094,33		
Dist. De c.d.g a fibra ref.	d' (mm)	440	Inercias	1060000
Altura total del conjunto	H (mm)	480		
			Sólo con sobrechas	Con refuerzo king p
Momento de inercia total	2*I <sub>xx</sub> (cm <sup>4</sup> )	36755	39583	114942
Momento resistente total	2*W <sub>xx</sub> (cm <sup>3</sup> )	1530	1543	2502
SOBRECHASIS KING PIN				
Altura de sobrechasis del king pin	h' (mm)	70		
Anchura de sobrechasis del king pin	b' (mm)	80		
Espesor de sobrechasis	e' (mm)	6		
Dist. De c.d.g de sobrechasis a fibra ref	d' (mm)	381,44		
Area del sobrechasis	A' (mm <sup>2</sup> )	864		
Inercia del sobrechasis	2*I' (mm <sup>4</sup> )	28279425,56	I (mm <sup>4</sup> )	670112
SOBRECHASIS GRUA				
Altura de sobrechasis	h' (mm)	300		
Anchura de sobrechasis	b' (mm)	300		
Espesor de sobrechasis	e' (mm)	11		
Dist. De c.d.g a fibra ref.	d' (mm)	556		
Area del sobrechasis	A' (mm <sup>2</sup> )	14900		
Inercia del sobrechasis	2*I' (mm <sup>4</sup> )	781865875,5	I (mm <sup>4</sup> )	251700000
Altura total	Ht (mm)	780		



Figura 17. Inercias

Las tablas referentes a los refuerzos adicionales se mostrarán en pantalla cuando los haya debajo de la tabla "SOBRECHASIS GRUA".

#### 3.2.8.5.- Estabilidad en orden de marcha.

A continuación se calculará la estabilidad longitudinal y transversal en orden de marcha. Para ello hay que entrar en la hoja ESTABILIDAD, en esta ocasión no toda la tabla se mostrará en blanco. Hay valores que se toman de otras hojas y que son necesarios para distintos cálculos por lo que estos valores no deben borrarse para no alterar otros resultados. Para el cálculo de la estabilidad se debe ejecutar el botón ESTABILIDAD. Los datos que se piden en esta ocasión son las alturas de cada una de las cargas respecto al suelo y las vías tanto delantera como trasera en el orden que a continuación se muestra:

Distancia del centro de gravedad de la carga al suelo	(1400 mm)
Distancia del centro de gravedad del autobastidor al suelo (dato del fabricante)	(1450 mm)
Distancia del centro de gravedad de los conductores al suelo	(1450 mm)
Distancia de los gatos estabilizadores traseros al suelo	(1000 mm)
Distancia del centro de gravedad del sobrechasis al suelo: el centro de gravedad del sobrechasis se toma como si estuviese en su centro geométrico	(1100 mm)
Distancia del centro de gravedad de la grúa al suelo: este se considera que está en su centro geométrico	(1900 mm)
Distancia del c.d.g. del peso puntual opcional al suelo:	(1200 mm)

Los resultados y los datos solicitados para esta hoja se muestran en la figura 18. Se hace notar que en caso de que se cumplan los criterios de estabilidad, aparecerán en la parte inferior de la tabla en la celda correspondiente "OK!!", en caso contrario aparecerá "INESTABLE".

	A	B	C	D	E
3	DATOS				
4	Peso de la carga (kg)	12770			
5	Peso del autobastidor (kg)	6500			
6	Peso de los conductores (kg)	150			
7	Peso de los gatos (kg)	600			
8	Peso del sobrechasis (kg)	980000			
9	Peso de la grúa (kg)	3000			
10	Dist. Del c.d.g. De carga al suelo (mm)	1400			
11	Dist. Del c.d.g. De autob. Al suelo (mm)	1450			
12	Dist. Del c.d.g. De los cond. Al suelo (mm)	1450			
13	Dist. Del c.d.g. De gatos al suelo (mm)	1000			
14	dist del c.d.g. De sobrech. Al suelo (mm)	1100			
15	Dist. Del cdg. De grúa al suelo (mm)	1900			
16	Dist. Del cdg de carga a eje tandem (mm)	613,15789			
17	Dist. de cdg de autob. a eje tandem (mm)	2160,9312			
18	Dist. De cdg de cond. a eje tandem (mm)	4013,1579			
19	Dist. de gatos a eje tandem (mm)	1486,8421			
20	Dist. De cdg de sobrech. a eje tandem (mm)	963,15789			
21	Dist. De cdg de grúa a eje tandem (mm)	2813,1579			
22	Distancia entre apoyos de grua (mm)	3500			
23	Via trasera, si lleva gatos, dist. entre apoyos (mm)	3000			
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30	RESULTADOS				
31	Via media	V (mm)	3250		
32	Distancia del c.d.g. Del conjunto a eje tandem (mm)	S (mm)	970,31685		
33	Altura de c.d.g. del conjunto al suelo (mm)	h (mm)	1108,5641		
34	S/0,33 (mm)=	2940,3541			
35	1,66*V (mm)=	5395			
36	E. Longitudinal (h<S/0,33)	OK!!			
37	E. Transversal (h<1,66*V)	OK!!			
38					
39	Peso opcional1	1000			
40	Distancia del c.d.g. al eje tandem del Peso opc.1	-1486,8421			
41	Dist. de cdg. de Peso opc. al suelo	1200			
	◀ ▶ 🔍	DATOS	REPARTO DE PESOS	ESFUERZOS	INERCIAS
				ESTABILIDAD	GRÚA

Figura 18. Estabilidad

### 3.2.8.6.- Grúa accionada y estabilidad.

Cuando actúe la grúa autocarga (aunque no siempre habrá instalada una grúa sobre el vehículo) habrá que entrar en la hoja GRÚA. Esta hoja se mostrará en blanco al igual que los gráficos que hay en la hoja. Se ejecuta el botón GRÚA.

Al ejecutarlo se pedirán los datos siguientes correspondientes a la grúa:

Datos de la grúa:

Máximo momento de elevación de la grúa (kg*mm)	(20000kg*mm)
Alcance estándar del brazo de la grúa (mm)	(17000 mm)
Peso de la carga en punta del brazo de la grúa cuando ésta está extendida el alcance máximo (kg)	(1000 kg)
Distancia entre apoyos estabilizadores transversales en la zona de la grúa (mm)	(4500 mm)
Vía trasera (mm) (Gatos traseros o en su defecto vía del tandem trasero). Este dato se toma de la hoja ESTABILIDAD	(3000 mm)

El programa calculará automáticamente un nuevo reparto de pesos de igual forma que en la hoja REPARTO DE PESOS, con la diferencia que aquí se calcula con la grúa accionada totalmente extendida hacia la parte trasera del vehículo y cargando el peso en punta mínimo, correspondiente al máximo alcance, por ser ésta la situación más desfavorable.

Además los ejes delanteros no están apoyados en el suelo sino que es el apoyo transversal estabilizador de la grúa quien hace esta función. Si se tienen gatos estabilizadores traseros serán estos quienes hagan de apoyo en la parte posterior del tractocamión, en el caso de que no existan serán los ejes traseros los que sustenten la cabeza tractora.

El reparto de pesos se calcula esta vez en dos bloques: el primero lo forman los pesos que componen la TARA (autobastidor, grúa, gatos estabilizadores y sobrechasis). El segundo grupo lo componen los pesos que quedan hasta la MMA (carga sobre King-pin, conductores y cargas puntuales opcionales), y que sumados a la TARA dan como resultado el reparto de pesos totales.

En esta situación a la carga se le ha restado el peso en punta de la grúa, ya que en la situación más desfavorable la grúa estaría cargada con el peso en punta y si no se restase el valor del peso en punta a la carga el vehículo superaría su MMA. Debido a que una grúa autocarga está destinada únicamente a la carga y descarga de mercancías sobre el propio vehículo que la porta.

El reparto de pesos se ha dividido en dos bloques porque para el cálculo de la estabilidad transversal y longitudinal de la grúa el valor de peso del vehículo que se usa es la TARA, por ser ésta la situación más desfavorable, en la que menos cantidad de masa aporta estabilidad para compensar el momento de elevación de la grúa.

Tras la estabilidad de la grúa se obtiene el máximo momento flector que actúa sobre el bastidor cuando la grúa trabaja. Con dicho valor y el momento resistente del chasis, en ese punto, se calcula el coeficiente de seguridad del bastidor. Este debe ser mayor que el valor prefijado por el usuario para que la situación sea admisible. En caso de no especificarse se acepta el valor 2:1. En caso contrario, habría que aumentar el momento resistente del bastidor o montar una grúa más pequeña.

De igual forma que en la hoja ESFUERZOS, si se desplaza la hoja hacia la derecha aparece una tabla donde se calculan punto a punto los momentos flectores de cada una de las cargas existentes cuando trabaja la grúa y una columna donde se muestra el coeficiente de seguridad en cada punto del bastidor. Estos valores están calculados

en 200 puntos comprendidos entre el inicio y el fin de la cabeza tractora. Con la suma de todos los momentos (momento flector total actuante sobre el bastidor) se dibuja un gráfico. En de la hoja de la Figura 19 aparecen una serie de cálculos intermedios que son necesarios para los definitivos. Estos se han dejado visibles por si al usuario le resultan de interés para entender la situación cuando trabaja la grúa.

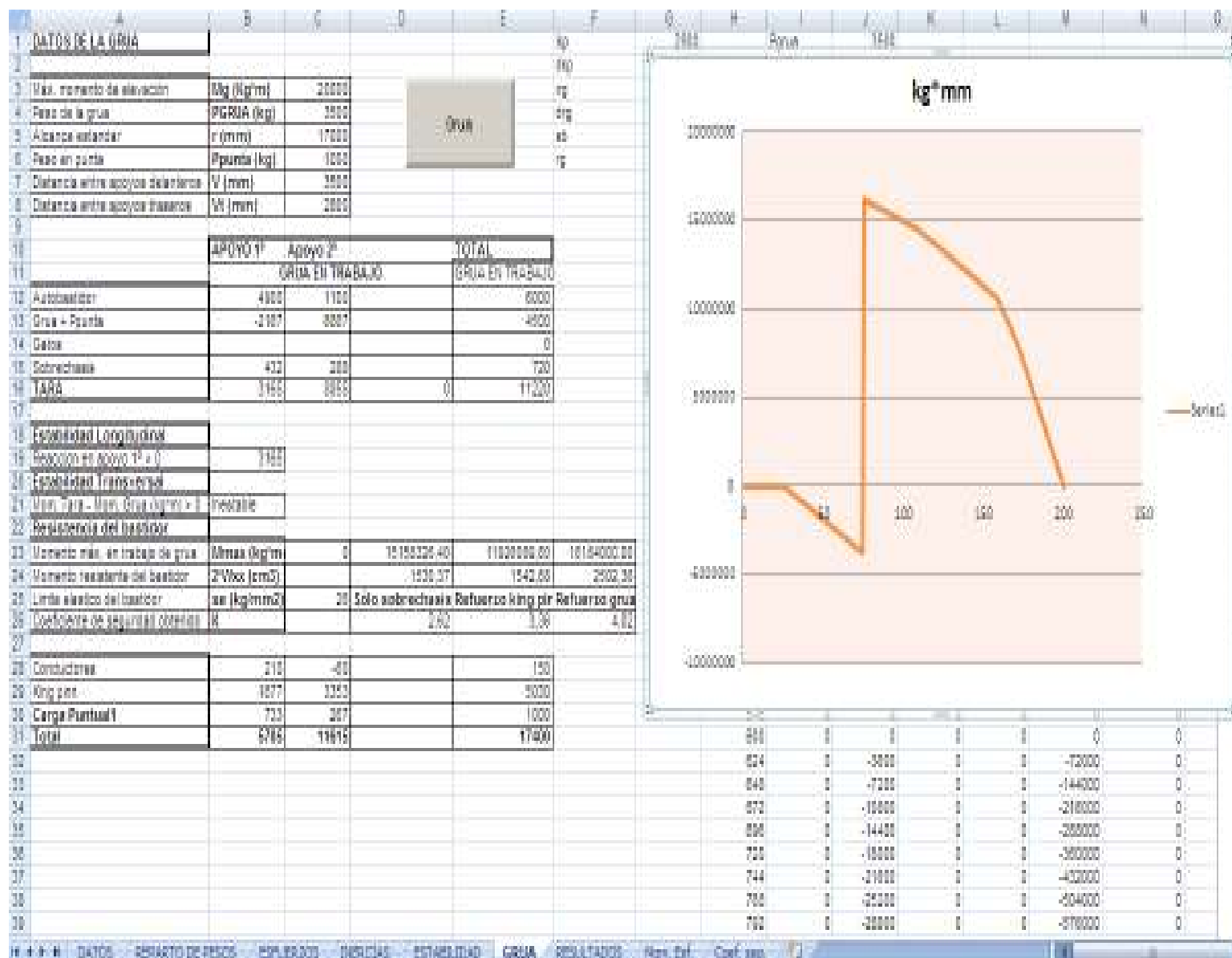


Figura 19. Grúa

De la columna de coeficientes de seguridad se muestra otro gráfico, pero este en una hoja aparte (Coef. Seg.), en el cual se ven tramos constantes con valor diez. Esto se ha hecho cuando el coeficiente de seguridad es superior al valor indicado. Debido a que se obtendrían valores muy grandes en las zonas donde los esfuerzos son muy pequeños y no se podría apreciar con claridad las zonas donde el coeficiente es relativamente pequeño respecto de esos valores. Se puede ver en el Gráfico 13.

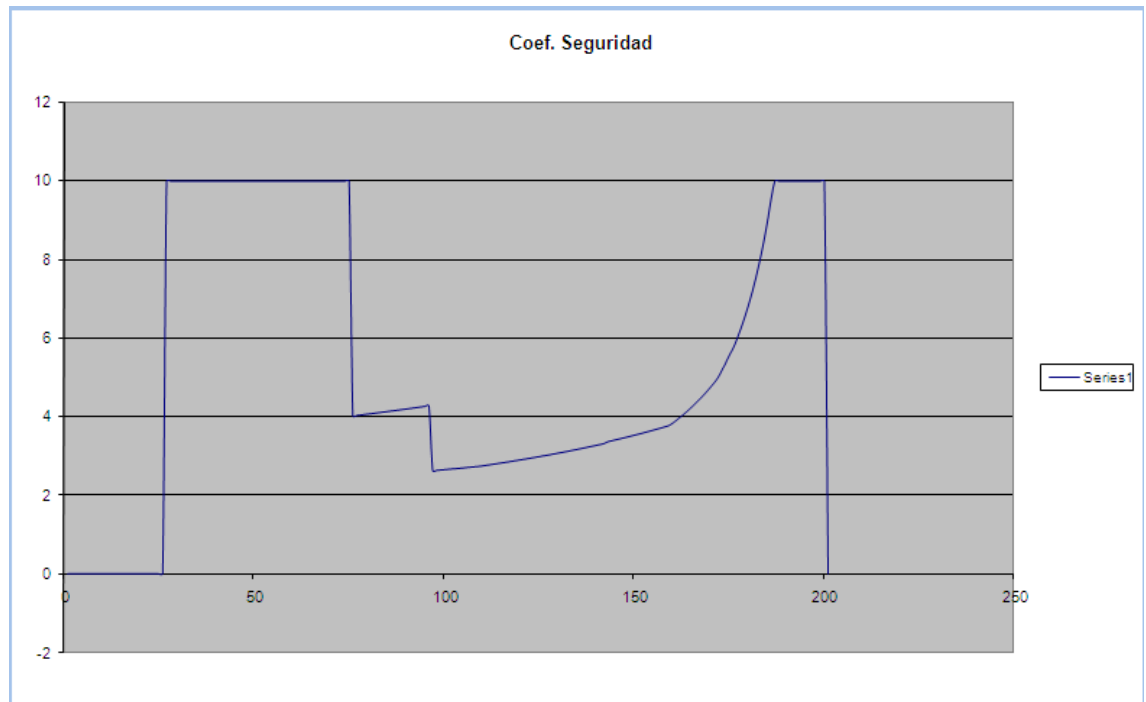


Gráfico 13. (Coeficiente seguridad)

Al igual que en la hoja de ESFUERZOS, se tiene un gráfico para poder ver la distribución de momentos que sobre el bastidor somete cada carga por sí sola.

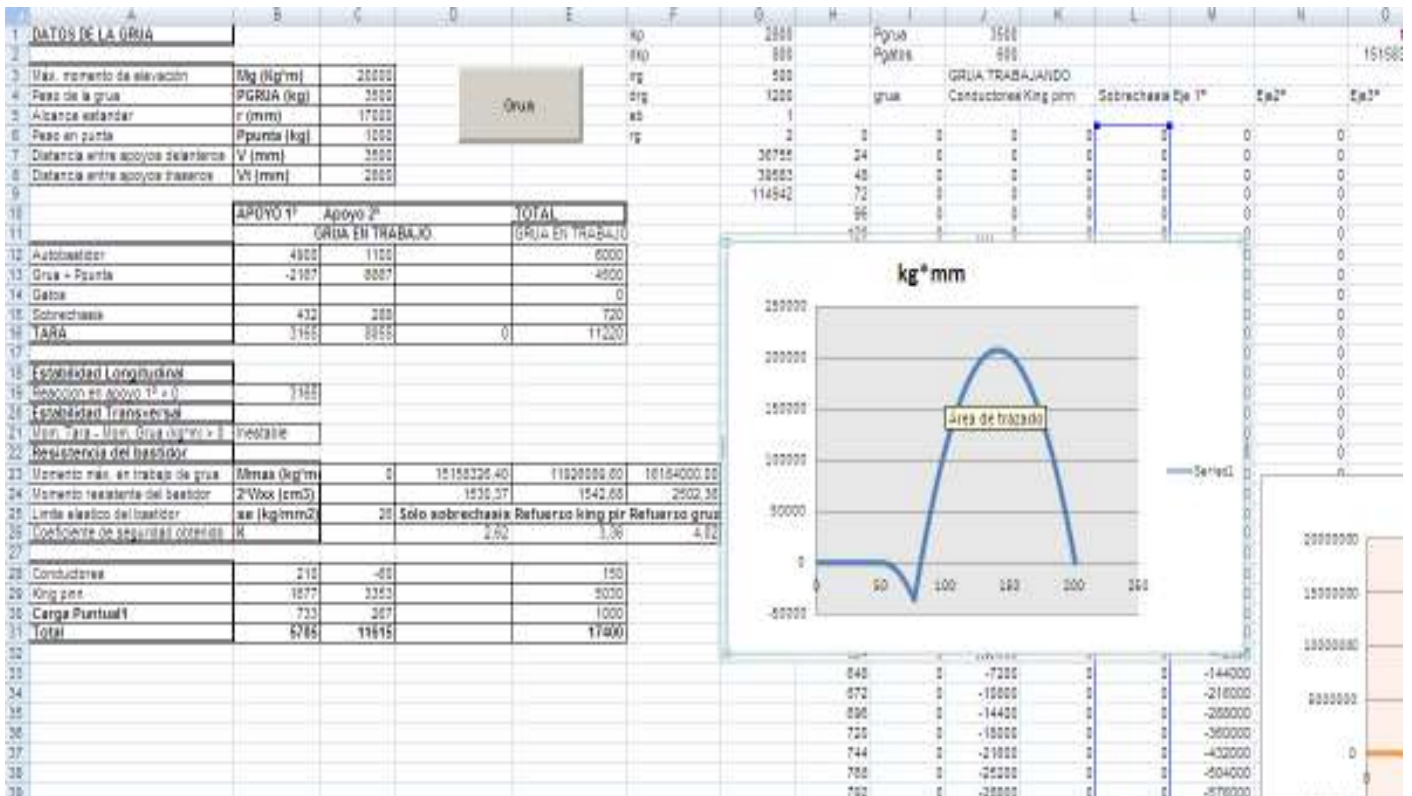


Figura 20. Distribución de Cargas

### 3.2.8.7.- Resultados.

La última hoja del programa es la dedicada al apartado de resultado. Se comprueban los coeficientes de seguridad con los que se trabaja, tanto en orden de marcha como con la grúa trabajando. También se comprobará la seguridad en la conducción según norma.

- **COMPROBACIÓN DEL BASTIDOR:** de hojas anteriores se toman los valores del momento flector máximo, en la situación de trabajo más desfavorable y el momento resistente del bastidor y se calcula el coeficiente de seguridad del bastidor. Este debe ser mayor que el valor prefijado (en este caso, 2:1) para que la situación sea admisible. Se ha tomado como valor del límite elástico del material de chasis y sobrechasis 26 kg/mm<sup>2</sup>. En caso de que el valor del límite elástico sea distinto habría que entrar en la celda correspondiente a este valor y modificarlo manualmente.
- **SEGURIDAD EN LA CODUCCIÓN:** para que se cumpla este requisito el peso del vehículo sobre el eje delantero debe ser mayor a: 25% en el caso de dos ejes y 35% en el caso de tres. Para cuatro ejes no está estipulado. Esto debe cumplirse tanto para el vehículo en vacío (TARA) como cuando esté con la máxima carga (MMA).

COMPROBACION DEL BASTIDOR GRÚA SIN TRABAJAR					
Momento flector máximo	M.max (kg*mm)	3981196			
Momento resistente del bastidor	2*Wxx (mm <sup>3</sup> )	2502358			
Limite elastico del bastidor	se (kg/mm <sup>2</sup> )	26			
Coeficiente de seguridad	K	16,34			
COMPROBACION DEL BASTIDOR GRÚA TRABAJANDO					
Momento flector máximo	M.max (kg*mm)	15158326			
Momento resistente del bastidor	2*Wxx (mm <sup>3</sup> )	1530371			
Limite elastico del bastidor	se (kg/mm <sup>2</sup> )	26			
Coeficiente de seguridad	K	2,62			
SEGURIDAD EN LA CONDUCCION					
Vehiculo sin carga					
TARA EN EJE 1º > 35% TARA		0,500			
Vehiculo con carga					
PESO EN EJE 1º > 35% PESO CARGADO		0,361			

Resultados

Figura 21. Resultados

### 3.3.- Semirremolque.

La configuración genérica de este vehículo sería la siguiente.

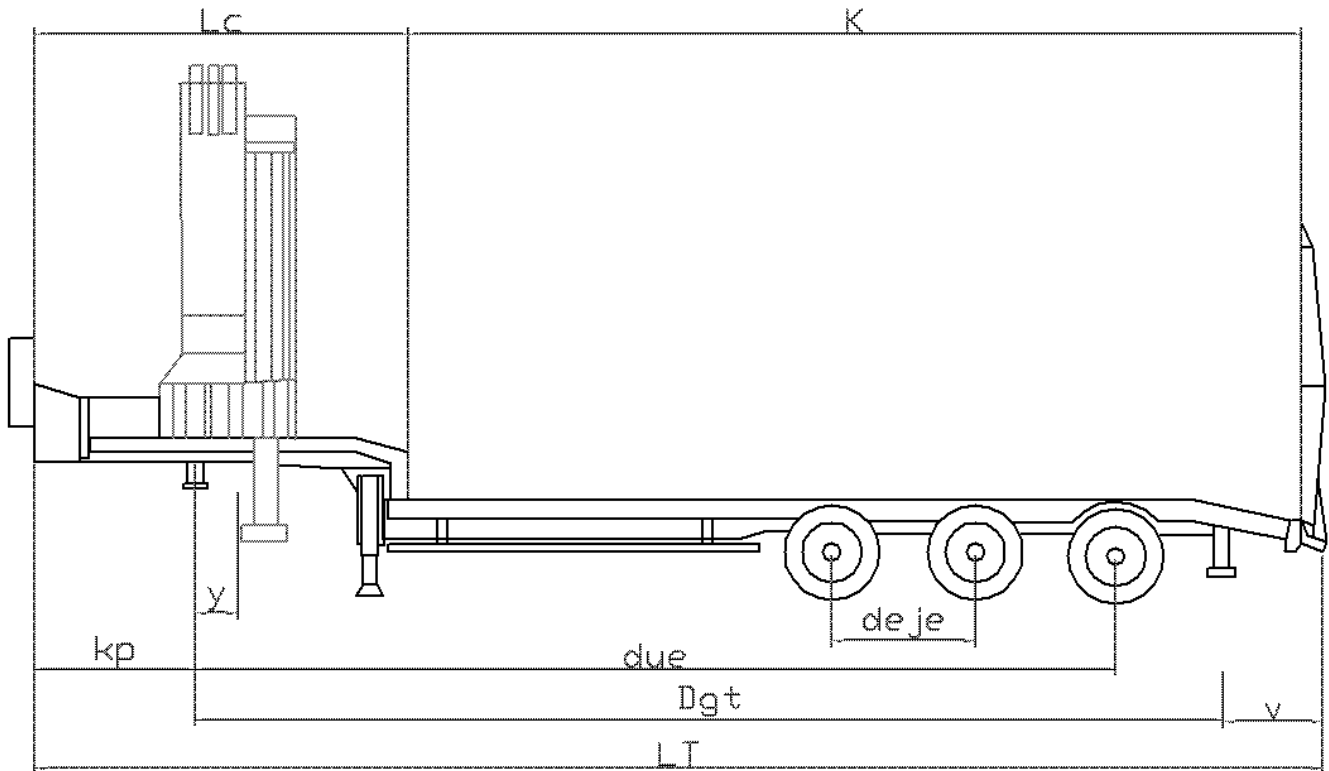


Figura 22. Góndola grúa delantera

#### 3.3.1.- Datos

##### 3.3.1.1.- Datos geométricos.

##### Entrada de datos:

$due$  (mm) = Distancia de King-pin a último eje.

$deje$  (mm) = Distancia entre ejes.

$L_c$  (mm) = Distancia del primer tramo de carga del semirremolque.

$K$  (mm) = Distancia del segundo tramo de carga del vehículo.

$kp$  (mm) = Distancia a king-pin desde el inicio del semirremolque.

$y$  (mm) = Distancia a grúa desde eje King-pin.

$LT$  (mm) = Longitud total del semirremolque.

$v$  (mm) = voladizo trasero.

$Dgt$  (mm) = Distancia a gatos desde eje King-pin.

$Di$  (mm) = Distancia a carga puntual "i" desde eje King-pin.

$dc1$  (mm) = distancia necesaria para el cálculo de la carga 1ª. Varía en función del tipo de semirremolque y del lugar que ocupe la grúa en éste.

$dc2$  (mm) = distancia necesaria para el cálculo de la carga 2ª (si la hay). Varía en función del tipo de semirremolque y del lugar que ocupe la grúa en éste.

$dc3$  (mm) = distancia necesaria para el cálculo de la carga 3ª (si la hay). Varía en función del tipo de semirremolque y del lugar que ocupe la grúa en éste.

De estos datos se obtiene:

Longitud desde King-pin hasta el primer eje.  $L1$  (mm) = due – deje – deje2

Distancia desde eje 1º, hasta c.d.g. del eje tándem.  $d1$ , varia la forma de calcularlo en función de los ejes que se tenga. En el caso de ser tres ejes, como por norma tienen la misma MMA, esta distancia coincidirá con la distancia entre ejes, que también es la misma. Si por el contrario son dos ejes se calculará por equilibrio de momentos.

Distancia entre apoyos de la hipotética viga biapoyada.  $Bt$  (mm) =  $L1 + d1$

Distancia desde el c.d.g. del eje tándem a último eje.  $d2$  (mm) = deje –  $d1$

*3.3.1.2.- Datos de pesos.*

Entrada de datos:

$Ptd$  (kg) = Tara sobre el conjunto de ejes traseros.

$Pkp$  (kg) = Tara en King-pin.

$Pgr$  (kg) = Masa de la grúa.

$Pg$  (kg) = Masa de los gatos.

$Q$  (kg) = Masa del sobrechasis por metro.

$MMA1$  (kg) = Masa máxima autorizada sobre el 1º.

$MMA2$  (kg) = Masa máxima autorizada sobre el 2º.

$MMA3$  (kg) = Masa máxima autorizada sobre el 3º.

$MMAkp$  (kg) = Masa máxima autorizada sobre el kp.



MMA (kg) = Masa máxima autorizada.

Pi (kg) = Masa de la carga puntual opcional "i".

q1 (kg) = peso por metro de la carga distribuida 1ª.

q2 (kg) = peso por metro de la carga distribuida 2ª.

q3 (kg) = peso por metro de la carga distribuida 3ª.

De estos datos se obtiene:

Tara sobre el eje 1º. Peje1 (kg) = Ptd/3

Tara sobre el eje 2º. Peje2 (kg) = Ptd/3

Tara sobre el eje 3º. Peje3 (kg) = Ptd/3

Pcarga (kg) = MMA – Ptd – Pkp – Pg – Pgs – Q \* (Lc + K) – q1 \* (Lc – dc1) –  $\sum_{i=1}^n Pi$

Carga distribuida sobre la cama del semirremolque. q2 (kg/m) = Pcarga/dc2

Cuando no se trate de este caso es posible que q2 sea un dato de entrada y lo que se tenga que calcular sea q3 o q1 siendo q2 y q3 cero, todo depende del tipo de semirremolque y del lugar que ocupe la grúa en éste.

### 3.3.2.- Reparto de pesos por eje en orden de marcha.

$$\sum F = 0 \quad ; \quad \sum M = 0$$

Grúa

$$Rkpgr = Pgr * (Bt - y) / Bt$$

$$Rtgr = Pgr - Rkpgr$$

Gatos

$$Rkpg = Pg * (Bt - Dgt) / Bt$$

$$Rtg = Pg - Rkpg$$

Peso puntual opcional 1º

$$Rkpp1 = Pp1 * (Bt - D1) / Bt$$

$$Rtp1 = Pp1 - Rkpp1$$

Peso puntual opcional 2º

$$Rkpp2 = Pp2 * (Bt - D2) / Bt$$

$$Rtp2 = Pp2 - Rkpp2$$

Peso puntual opcional 3º

$$Rkpp3 = Pp3 * (Bt - D3) / Bt$$

$$Rtp3 = Pp3 - Rkpp3$$

Sobrechasis en función del tipo de semirremolque (en lenguaje de compilación).

```
If Tipo = 1 Or Tipo = 2 Then
  Rtsb =  $Q * (L_{tt}^2 - k_p^2) / (2000 * B_t)$ 
  Rkpsb =  $Q * L_T / 1000 - R_{tsb}$ 
Else
  If Tipo = 3 Then
    Rtsb =  $0.5 * Q * ((L_c - k_p)^2 + 2 * K * (L_T - k_p - 0.5 * K)) / (1000 * B_t)$ 
    Rkpsb =  $Q * (L_c + K) / 1000 - R_{tsb}$ 
  End If
End If
```

Cargas en función del tipo de semirremolque y del lugar que ocupe la grúa en éste.

```
If Tipo = 1 Then
  If Pgr = 0 Then
    Rtq1 =  $q_1 * ((L_T - k_p)^2 - (k_p - d_{c1})^2) / (2000 * B_t)$ 
    Rkpq1 =  $q_1 * (L_T - d_{c1}) / 1000 - R_{tq1}$ 
    Rkpq3 = 0
    Rkpq2 = 0
  End If
  If Pgr > 0 Then
    If y < k_p Then 'plataforma grúa delantera
      Rtq1 =  $q_1 * ((d_{ue} + v)^2 - d_{c1}^2) / (2000 * B_t)$ 
      Rkpq1 =  $q_1 * (d_{ue} + v - d_{c1}) / 1000 - R_{tq1}$ 
      Rkpq3 = 0
      Rkpq2 = 0
    Else
      If 0 < y And y < L1 Then 'plataforma grúa central
        Rkpq1 =  $q_1 * d_{c1} * (B_t + k_p - 0.5 * d_{c1}) / (1000 * B_t)$ 
        Rtq1 =  $q_1 * d_{c1} / 1000 - R_{kpq1}$ 
        Rtq2 =  $q_2 * d_{c2} * (d_{ue} + v - d_{c2} / 2) / (1000 * B_t)$ 
        Rkpq2 =  $q_2 * d_{c2} / 1000 - R_{tq2}$ 
        Rkpq3 = 0
      Else
        If y > L1 Then 'plataforma grúa trasera
          Rtq1 =  $q_1 * ((d_{c1} - k_p)^2 - k_p^2) / (2000 * B_t)$ 
          Rkpq1 =  $q_1 * d_{c1} / 1000 - R_{tq1}$ 
          Rkpq3 = 0
          Rkpq2 = 0
        End If
      End If
    End If
  End If
End If
End If
End If

If Tipo = 2 Then
  If Pgr = 0 Then
    Rtq1 =  $q_1 * ((L_c - k_p)^2 - k_p^2) / (2000 * B_t)$ 
    Rkpq1 =  $q_1 * L_c / 1000 - R_{tq1}$ 
    Rtq2 =  $q_2 * K * (K / 2 + L_c - k_p) / (1000 * B_t)$ 
```

```

Rkpq2 = q2 * K / 1000 - Rtq2
Rkpq3 = 0
End If
If Pgr > 0 Then
  If y < kp Then 'góndola grúa delantera
    Rtq1 = q1 * K * (K / 2 + Lc - kp) / (1000 * Bt)
    Rkpq1 = q1 * K / 1000 - Rtq1
    Rkpq3 = 0
    Rkpq2 = 0
  Else
    If 0 < y And y < L1 Then 'góndola grúa central
      Rtq1 = q1 * ((Lc - kp) ^ 2 - (kp - dc1) ^ 2) / (2000 * Bt)
      Rkpq1 = q1 * (Lc - dc1) / 1000 - Rtq1
      Rtq2 = q2 * dc2 * (-kp + Lc + dc2 / 2) / (1000 * Bt)
      Rkpq2 = q2 * dc2 / 1000 - Rtq2
      Rtq3 = q3 * dc3 * (-kp + LT - dc3 / 2) / (1000 * Bt)
      Rkpq3 = q3 * dc3 / 1000 - Rtq3
    Else
      If y > L1 Then 'góndola grúa trasera
        Rtq1 = q1 * ((Lc - kp) ^ 2 - (kp - dc1) ^ 2) / (2000 * Bt)
        Rkpq1 = q1 * (Lc - dc1) / 1000 - Rtq1
        Rtq2 = q2 * dc2 * (dc2 / 2 + Lc - kp) / (1000 * Bt)
        Rkpq2 = q2 * dc2 / 1000 - Rtq2
        Rkpq3 = 0
      End If
    End If
  End If
End If
End If
End If

If Tipo = 3 Then
  If Pgr = 0 Then
    Rtq1 = q1 * ((Lc - kp) ^ 2 - kp ^ 2) / (2000 * Bt)
    Rkpq1 = q1 * Lc / 1000 - Rtq1
    Rtq2 = q2 * K * (LT - kp - K / 2) / (1000 * Bt)
    Rkpq2 = q2 * K / 1000 - Rtq2
    Rkpq3 = 0
  End If
  If Pgr > 0 Then
    If y < kp Then 'góndola grúa lantera
      Rtq1 = q1 * K * (-K / 2 + LT - kp) / (1000 * Bt)
      Rkpq1 = q1 * K / 1000 - Rtq1
      Rkpq3 = 0
      Rkpq2 = 0
    Else
      If 0 < y And y < L1 Then 'góndola grúa central
        Rtq1 = q1 * ((Lc - kp) ^ 2 - (kp - dc1) ^ 2) / (2000 * Bt)
        Rkpq1 = q1 * (Lc - dc1) / 1000 - Rtq1
        Rtq2 = q2 * dc2 * (-kp + LT - K + dc2 / 2) / (1000 * Bt)
        Rkpq2 = q2 * dc2 / 1000 - Rtq2
        Rtq3 = q3 * dc3 * (-kp + LT - dc3 / 2) / (1000 * Bt)
        Rkpq3 = q3 * dc3 / 1000 - Rtq3
      Else
        If y > L1 Then 'góndola grúa trasera

```

```

Rtq1 = q1 * ((Lc - kp) ^ 2 - (kp - dc1) ^ 2) / (2000 * Bt)
Rkpq1 = q1 * (Lc - dc1) / 1000 - Rtq1
Rtq2 = q2 * dc2 * (dc2 / 2 + LT - K - kp) / (1000 * Bt)
Rkpq2 = q2 * dc2 / 1000 - Rtq2
Rkpq3 = 0
End If
End If
End If
End If
End If

```

Con la suma de la TARA y estas cargas se obtiene el TOTAL que recae sobre cada apoyo del semirremolque. Se debe tener en cuenta que el reparto de pesos de las cargas 1,2 y 3 varía según el tipo de semirremolque y el lugar que ocupe en éste la grúa, como ya se mencionó anteriormente.

### 3.3.3.- Distribución de momentos flectores. (En orden de marcha)

A continuación se muestra en la Figura 23 las cargas que recaen sobre el bastidor del vehículo, así como su distribución de momentos en éste.

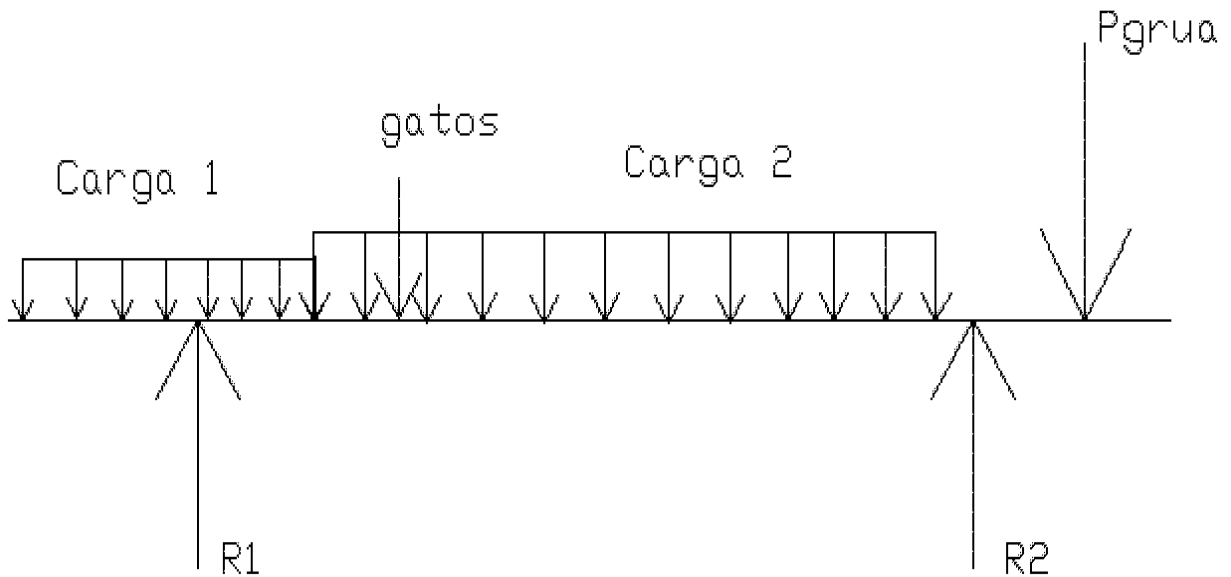


Figura 23. Viga biapoyada

Se mostrará el diagrama de momentos flectores totales de la viga que aparece en la figura, pero antes se va a poner un ejemplo de la función momentos de la grúa como carga puntual y del sobrechasis como carga distribuida continua en lenguaje de programación Visual Basic. Esta función es válida para uno, dos y tres ejes.

Rkpgr (kg) =Masa de la grúa sobre el en el King-pin

Rgr1 (kg) = Masa de la grúa sobre el eje 1º

Rgr2 (kg) = Masa de la grúa sobre el eje 2º

Rgr3 (kg) = Masa de la grúa sobre el eje 3º

Grúa delantera:

$$M(x) = \begin{cases} 0 & x < (y + kp) \\ -Pgr * (x - y - kp) & (y + kp) < x \leq kp \\ Rkpgr * (x - kp) + Pgr * (y + kp - x) & kp < x \leq (L1 + kp) \\ Rgr2 * (deje + kp + L1 - x) + Rgr3 * (2 * deje + kp + L1 - x) & (L1 + kp) < x \leq (L1 + kp + deje) \\ Rgr3 * (deje + kp + Bt - x) & (L1 + kp + deje) < x \leq (due + kp) \\ 0 & x > (due + kp) \end{cases}$$

Grúa intermedia:

$$M(x) = \begin{cases} 0 & x < kp \\ Rkpgr * (x - kp) & kp < x \leq (kp + y) \\ Rkpgr * y + (Rkpgr - Pgr) * (x - kp - y) & (kp + y) < x \leq (L1 + kp) \\ Rgr2 * (deje + kp + L1 - x) + Rgr3 * (2 * deje + kp + L1 - x) & (L1 + kp) < x \leq (L1 + kp + deje) \\ Rgr3 * (deje + kp + Bt - x) & (L1 + kp + deje) < x \leq (due + kp) \\ 0 & x > (due + kp) \end{cases}$$

Grúa trasera:

$$M(x) = \begin{cases} 0 & x < kp \\ Rkpgr * (x - kp) & kp < x \leq (kp + L1) \\ Rgr2 * (deje + kp + L1 - x) + Rgr3 * (2 * deje + kp + L1 - x) + Pgr * (x - y - kp) & (kp + L1) < x \leq (L1 + kp + deje) \\ Pgr * (x - kp - y) + Rgr3 * (deje + kp + Bt - x) & (L1 + kp + deje) < x \leq (due + kp) \\ Pgr * (x - kp - y) & (due + kp) < x \leq (y + kp) \\ 0 & x > (y + kp) \end{cases}$$

Cada una de las funciones corresponde a los lugares donde puede ir instalada la grúa, de ahí que sea muy importante el lugar que ésta ocupa en el semirremolque. En este caso no importa el tipo de semirremolque que se tenga, pero en el caso del sobrechasis sí que es importante, ya que la función varía de uno a otro, como se verá a continuación.

Función en lenguaje de programación.

```
If y < 0 Then
    If x < (kp + y) Then
        Cells(5 + i, 8) = 0
    Else
        If x >= (y + kp) And x <= kp Then
            Cells(5 + i, 8) = -Pgr * (x - kp - y)
        Else
            If x > kp And x <= (L1 + kp) Then
                Cells(5 + i, 8) = Rkpgr * (x - kp) + Pgr * (y + kp - x)
            Else
                If x > (L1 + kp) And x <= (L1 + kp + deje) Then
                    Cells(5 + i, 8) = Rgr2 * (deje + kp + L1 - x) +
                        +Rgr3*(2*deje + kp + L1 - x)
                Else
                    If x > (L1 + kp + deje) And x < (due + kp) Then
                        Cells(5 + i, 8) = Rgr3 * (deje + kp + Bt - x)
                    Else
                        If x >= (due + kp) Then
                            Cells(5 + i, 8) = 0
                        End If
                    End If
                End If
            End If
        End If
    End If
Else
    If (y + kp) >= kp And y < L1 Then
        If x < kp Then
            Cells(5 + i, 8) = 0
        Else
            If x >= kp And x <= (kp + y) Then
                Cells(5 + i, 8) = Rkpgr * (x - kp)
            Else
                If x > (kp + y) And x <= (L1 + kp) Then
                    Cells(5 + i, 8) = Rkpgr * y + (Rkpgr - Pgr) * (x - kp - y)
                Else
                    If x > (L1 + kp) And x <= (L1 + kp + deje) Then '4
                        Cells(5 + i, 8) = Rgr2 * (deje + kp + L1 - x) +
                            +Rgr3 * (2 *deje + kp + L1 - x)
                    Else
                        If x > (L1 + kp + deje) And x < (due + kp) Then
                            Cells(5 + i, 8) = Rgr3 * (deje + kp + Bt - x)
                        Else
                            If x >= (due + kp) Then
                                Cells(5 + i, 8) = 0
                            End If
                        End If
                    End If
                End If
            End If
        End If
    End If
End If
```

```

End If
End If
Else
If y > due Then
If x < kp Then
Cells(5 + i, 8) = 0
Else
If x >= kp And x <= (kp + L1) Then
Cells(5 + i, 8) = Rkpgr * (x - kp)
Else
If x > (kp + L1) And x <= (L1 + kp + deje) Then
Cells(5 + i, 8) = Rgr2 * (deje + kp + L1 - x) +
+Rgr3 * (2 * deje + kp + L1 - x) + Pgr * (x - y - kp)

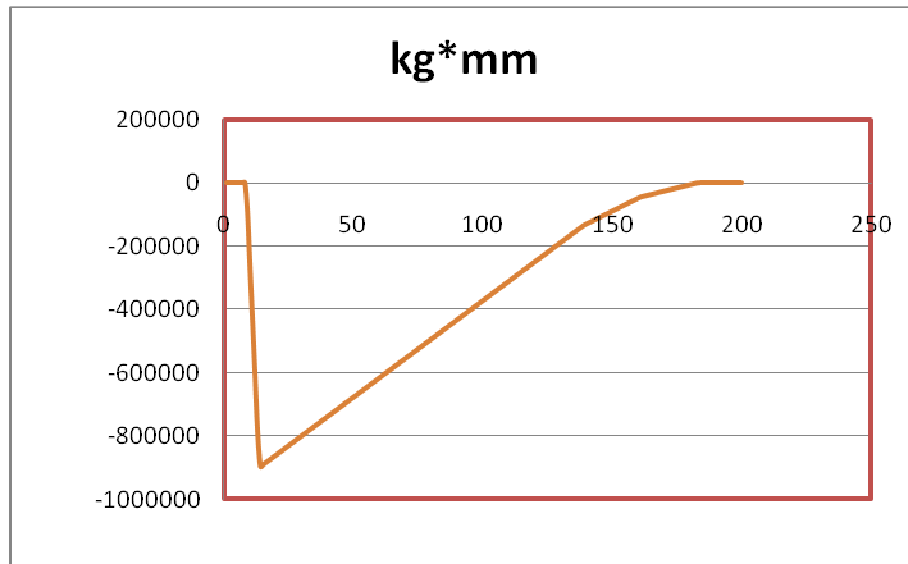
Else
If x > (L1 + kp + deje) And x <= (due + kp) Then
Cells(5 + i, 8) = Pgr * (x - kp - y) +
+Rgr3 * (deje + kp + Bt - x)

Else
If x > (due + kp) And x < (y + kp) Then
Cells(5 + i, 8) = Pgr * (x - kp - y)
Else
If x >= (y + kp) Then
Cells(5 + i, 8) = 0
End If
End If
End If
End If
End If
End If
End If
End If
End If

```

Para que se recorra toda la función es necesario un bucle "For" que itere dicha ecuación tantas veces como tramos del bastidor se deseen. La letra "i" que aparece en la función de momentos en lenguaje de programación es un contador que va desde cero a doscientos, y se utiliza para que cada valor se escriba en una casilla de la misma columna en Excel. La "x" se incrementa cada vez que se recorre el bucle, el valor que se incrementa es el resultado de dividir la longitud del vehículo entre las divisiones que se deseen de él, en este caso doscientas.

La gráfica que se muestra es la correspondiente a una grúa delantera.



Gráfica 14. Grúa accionada situada delante

Función momentos del sobrechasis como carga distribuida continua.

Plataforma y góndola.

$$M(x) = \begin{cases} -Q \cdot x^2 / 2000 & x < kp \\ Rkpsb \cdot (x - kp) - Q \cdot x^2 / 2000 & kp < x \leq (kp + L1) \\ Rsb2 \cdot (deje + L1 + kp - x) + Rsb3 \cdot (2 \cdot deje + L1 + kp - x) - (Q \cdot (x - LT)^2) / 2000 & (kp + L1) < x \leq (L1 + kp + deje) \\ Rsb3 \cdot (deje + Bt + kp - x) - (Q \cdot (x - LT)^2) / 2000 & (L1 + kp + deje) < x \leq (kp + due) \\ -(Q \cdot (x - LT)^2) / 2000 & x > (kp + due) \end{cases}$$



Góndola cuello cisne.

$$M(x) = \begin{cases} -Q * x^2 / 2000 & x < kp \\ Rkpsb * (x - kp) - Q * x^2 / 2000 & kp < x \leq Lc \\ Rkpsb * (x - kp) - Q * (x - Lc) * Lc / 1000 - (Q * Lc^2) / 2000 & Lc < x \leq (LT - K) \\ Rsb1 * (L1 + kp - x) + Rsb2 * (deje + L1 + kp - x) + Rsb3 * (L2 + deje + L1 + kp - x) - (Q * (x - LT)^2) / 2000 & (LT - K) < x \leq (kp + L1) \\ Rsb2 * (deje + L1 + kp - x) + Rsb3 * (L2 + deje + L1 + kp - x) - (Q * (x - LT)^2) / 2000 & (kp + L1) < x \leq (kp + L1 + deje) \\ Rsb3 * (deje + L1 + L2 + kp - x) - (Q * (x - LT)^2) / 2000 & (kp + L1 + deje) < x \leq (kp + due) \\ -(Q * (x - LT)^2) / 2000 & x > (kp + due) \end{cases}$$

Función de momentos del sobrechasis en lenguaje de programación.

```

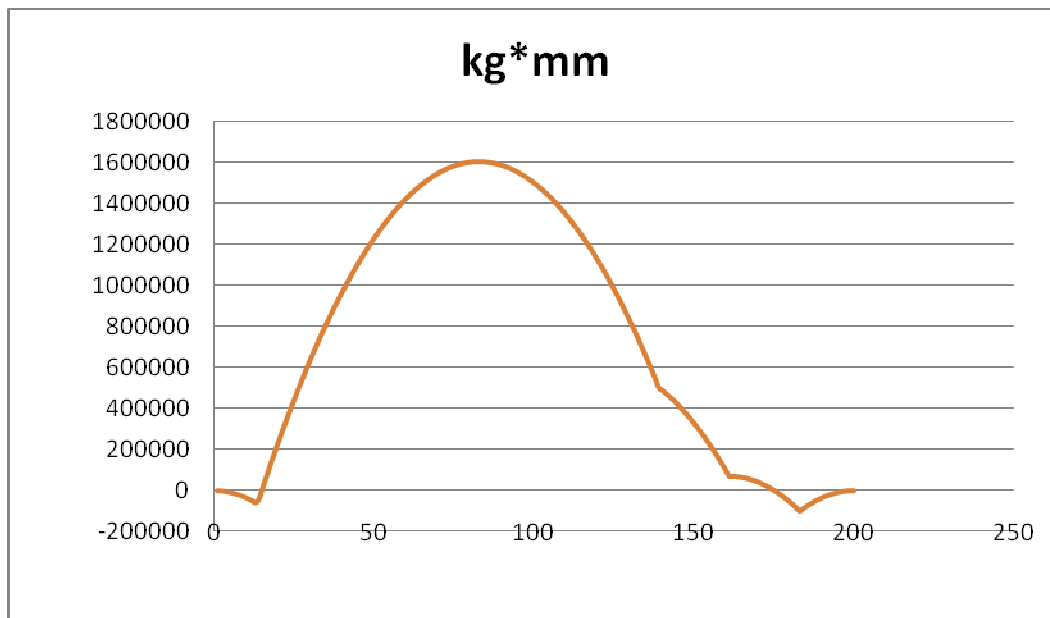
If Tipo = 1 Or Tipo = 2 Then
  If x < kp Then
    Cells(5 + i, 10) = -Q * x ^ 2 / 2000
  Else
    If x >= kp And x < (kp + L1) Then '
      Cells(5 + i, 10) = Rkpsb * (x - kp) - Q * x ^ 2 / 2000
    Else
      If x >= (kp + L1) And x < (L1 + kp + deje) Then
        Cells(5 + i, 10) = Rsb2 * (deje + L1 + kp - x) +
          +Rsb3 * (2 * deje + L1 + kp - x) - (Q * (x - LT) ^ 2) / 2000
      Else
        If x >= (L1 + kp + deje) And x < (kp + due) Then
          Cells(5 + i, 10) = Rsb3 * (deje + Bt + kp - x)
            - (Q * (x - LT) ^ 2) / 2000
        Else
          If x >= (kp + due) Then
            Cells(5 + i, 10) = -(Q * (x - LT) ^ 2) / 2000
          End If
        End If
      End If
    End If
  End If
End If

```

```
End If

If Tipo = 3 Then
  If x < kp Then
    Cells(5 + i, 10) = -Q * x ^ 2 / 2000
  Else
    If x >= kp And x < Lc Then
      Cells(5 + i, 10) = Rkpsb * (x - kp) - Q * x ^ 2 / 2000
    Else
      If x >= Lc And x < (LT - K) Then
        Cells(5 + i, 10) = Rkpsb * (x - kp) - Q * (x - Lc) * Lc / 1000
          - (Q * Lc ^ 2) / 2000
      Else
        If x >= (LT - K) And x < (kp + L1) Then
          Cells(5 + i, 10) = Rsb1 * (L1 + kp - x) + Rsb2 * (deje + L1 + kp - x)
            + Rsb3 * (L2 + deje + L1 + kp - x) - (Q * (x - LT) ^ 2) / 2000
        Else
          If x >= (kp + L1) And x < (L1 + deje + kp) Then
            Cells(5 + i, 10) = Rsb2 * (deje + L1 + kp - x) + Rsb3 * (L2 + deje
              + L1 + kp - x) - (Q * (x - LT) ^ 2) / 2000
          Else
            If x >= (L1 + deje + kp) And x < (due + kp) Then
              Cells(5 + i, 10) = Rsb3 * (deje + L1 + L2 + kp - x)
                - (Q * (x - LT) ^ 2) / 2000
            Else
              If x >= (due + kp) Then
                Cells(5 + i, 10) = -(Q * (x - LT) ^ 2) / 2000
              End If
            End If
          End If
        End If
      End If
    End If
  End If
End If
```

Esta es la distribución de momentos en una plataforma de tres ejes que produce el sobrechasis.



Gráfica 15. Sobrechasis

Se debe tener en cuenta que sólo se atiende a los flectores ya que los axiles y los cortantes son despreciables frente a éstos. Esta gráfica se corresponde a la suma de momentos flectores de todas las cargas en orden de marcha sobre una plataforma.

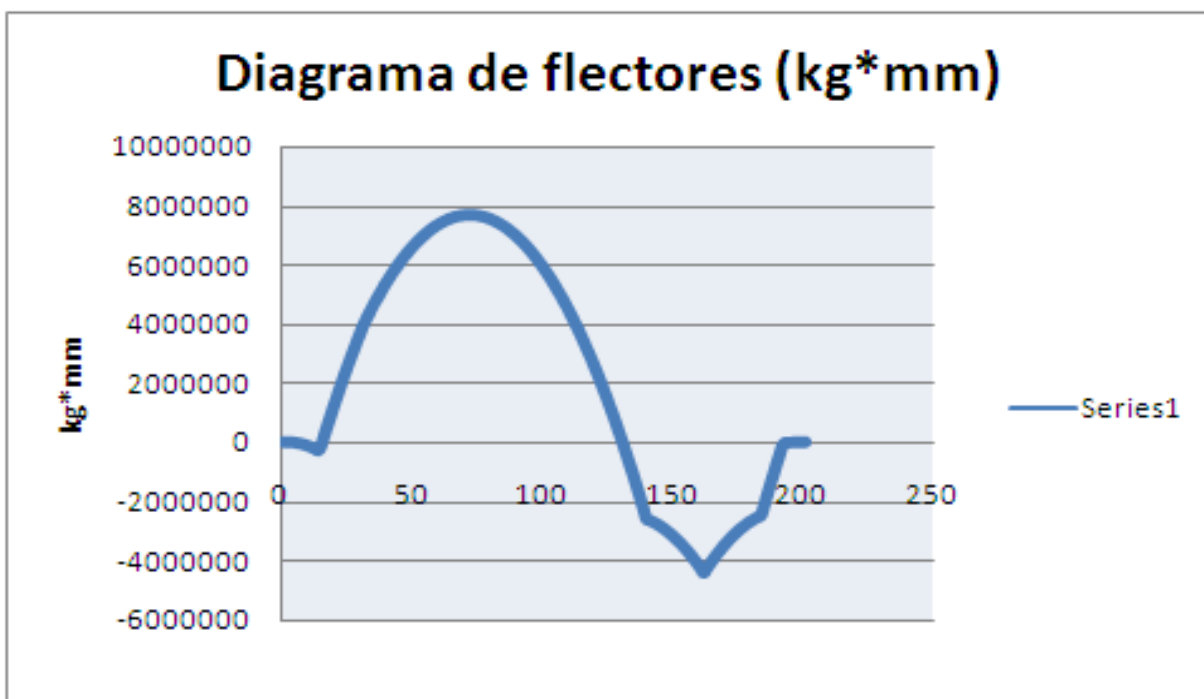


Gráfico 16. (Diagrama de momentos flectores

### 3.3.4.- Cálculo de inercia del bastidor y sobrebastidor.

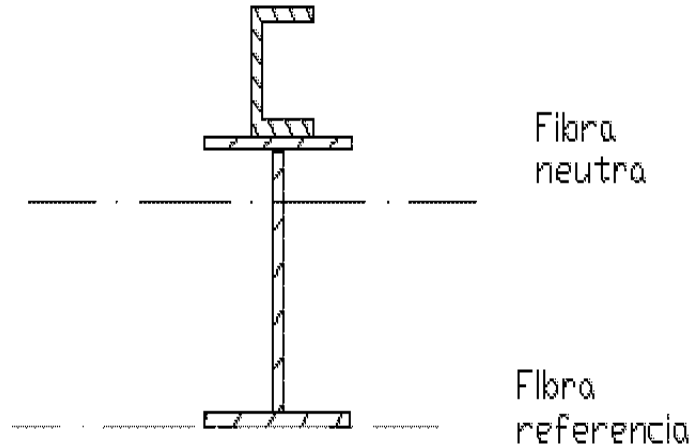


Figura 24. Bastidor y sobrebastidor

Para el cálculo de los momentos de inercia del sistema chasis-sobrechasis se parte de 3 configuraciones básicas dependiendo de la forma del sobrechasis (chasis siempre en forma de I):

- Sobrechasis en rectángulo hueco.
- Sobrechasis en forma de U.
- Sobrechasis en forma I.

Se calcula el momento de inercia respecto a la fibra de referencia usando el teorema de Steiner. El resultado obtenido se multiplica por 2, puesto que hay dos largueros.

Los cálculos necesarios para el UPN, serán los mismo que para el U, pero en éste no se calculará la inercia ya que está tabula y almacenada en el programa. Los datos de los perfiles IPE también están almacenados en el programa.

El cálculo será el siguiente:

Inercia del chasis:

$$I_{xx}(\text{chasis}) = 1/12 b h^3 - 1/12 (b-e) (h-2e)^3$$

Inercia del sobrechasis:

$$\begin{aligned} I_{xx}(\text{sobrechasis}) &= 1/12 b' h'^3 - 1/12 (b' - e')(h' - 2e')^3 && \text{(Perfil en U)} \\ I_{xx}(\text{sobrechasis}) &= 1/12 b' h'^3 - 1/12 (b' - 2e')(h' - 2e')^3 && \text{(Perfil cerrado)} \end{aligned}$$

El cálculo de la inercia de los perfiles tabulados se llevará a cabo mediante Steiner, teniendo en cuenta que tanto sus inercias como sus áreas son conocidas de antemano.

Aplicando Steiner:

$$I_{xx}(\text{total}) = I_{xx}(\text{chasis}) + A(\text{chasis}) * (h/2 - Y)^2 + I_{xx}(\text{sobrechasis}) + A(\text{sobrechasis}) * (h + h'/2 - Y)^2$$

Donde:

$A(\text{chasis})$  = área del chasis

$A(\text{sobrechasis})$  = área del sobrechasis

$Y$  = distancia desde la fibra neutra a la fibra de referencia

$$Y = (A(\text{chasis}) * h/2 + A(\text{sobrechasis}) * d') / (A(\text{chasis}) + A(\text{sobrechasis}))$$

En los casos que sea necesario reforzar el bastidor (aumentar su momento de inercia), se hará añadiendo una o varias platabandas de distintas formas según necesidades, como se mencionó anteriormente.

Desde el punto de vista del cálculo se resuelve añadiendo un término más a la ecuación anterior por cada platabanda, de forma que se puede expresar como sigue:

$$I_{xx}(\text{completo}) = I_{xx}(\text{total}) + [A(\text{chasis}) + A(\text{sobrechasis})] * (Y - Y')^2 + \sum [I_{xx}(\text{platabanda } i) + A(\text{platabanda } i) * (d_i' - Y')^2]$$

$$Y' = [ (A(\text{chasis}) + A(\text{sobrechasis})) * Y + \sum A_i * d_i ] / (A_{ch} + A_{sb} + \sum A_i)$$

Donde, en este último caso, habría que tener en cuenta el área de las platabandas para el cálculo de  $Y'$ .

Los perfiles utilizados en el cuello son de distinta altura a los utilizados en la cama. Esta discontinuidad se ha resuelto mediante un perfil con forma de trapecio. Como se aprecia en la Figura 25. En este caso para este tipo de góndola no es necesario. En la realidad el perfil que une el cuello y la cama no tiene forma recta, sino que describe una curva con forma de parábola, pero se ha resuelto de este modo por la simplicidad en los cálculos, ya que no difiere mucho de la realidad.

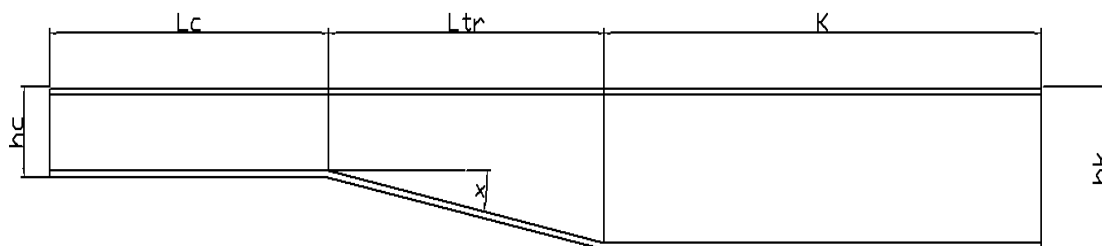


Figura 25. Viga de transición

Para calcular la inercia en el tramo de transición se ha supuesto la unión de los perfiles mediante un perfil trapezoidal. La inercia, el área, el momento resistente, la distancia desde la fibra de referencia a la fibra neutra y la altura del mismo está todo en función de 'x'. En la hoja de inercia se muestran todos estos datos en una tabla que recorre todo el bastidor. En esta tabla además de los datos antes indicados aparecen alternativamente en la última columna unos y dos indicando esto la zona donde existe un mayor esfuerzo, siendo uno la parte inferior de la viga y dos la superior.

La inercia se obtendrá mediante el uso de Steiner y las funciones que a continuación se muestran:

$$\alpha = \arctg \frac{(h_k - h_c)}{Ltr}$$

$$tg \alpha = \frac{\Delta h}{Lc - x} \rightarrow \Delta h = tg \alpha * (Lc - x)$$

$$\Delta h = \frac{(h_k - h_c)}{Ltr} * (Lc - x)$$

$$A(x) = (Ac + \Delta h * e_m) \leftarrow e_m = \frac{e_c + e_k}{2}$$

$$I(x) = \frac{b * h'^3}{12} - \frac{(b - e) * (h' - 2e)^3}{12} \leftarrow h' = (hc + \Delta h)$$

$$W(xmáx) = \frac{I(x)}{Y(xmáx)}$$

$e_c = \text{espesor\_cuello}$

$e_k = \text{espesor\_cama}$

$e_m = \text{espesor\_medio}$

$h_c = \text{altura\_cuello}$

$h_k = \text{altura\_cama}$

En este caso los puntos más desfavorables del chasis no tienen porque coincidir con la zona de la grúa o del King-pin ya que se tienen zonas muy desfavorables en el centro del bastidor debido a las cargas distribuidas. El sobrechasis puede ser discontinuo en la zona de la grúa, a causa de que al poner el refuerzo de la grúa (si lo llevase) aparece por pantalla la opción de instalar o no el sobrechasis del bastidor, en dicha zona.

### 3.3.5- Cálculo de la estabilidad longitudinal y transversal en orden de marcha.

Para el cálculo de la estabilidad longitudinal y transversal en orden de marcha de un vehículo es necesario calcular previamente el centro de gravedad del vehículo con

respecto a los ejes traseros y la altura del mismo centro de gravedad respecto al suelo.

El centro de gravedad del vehículo se calcula como el promedio de todos los elementos que componen el vehículo. Así se tiene:

Distancia del c.d.g. del conjunto a eje 2º  $\equiv S = [\Sigma (\text{Peso} * \text{c.d.g.})] / \text{MMA}$

Altura de c.d.g. del conjunto al suelo  $\equiv h = [\Sigma (\text{Peso} * h(\text{c.d.g.}))] / \text{MMA}$

Vía media  $\equiv V = (\text{vía delantera} + \text{vía trasera}) / 2$

Donde:

Peso = peso del elemento

c.d.g. = distancia del centro de gravedad del elemento al eje 2º

h (c.d.g.) = altura del centro de gravedad del elemento respecto al suelo

MMA = Peso máximo admitido del vehículo

#### Estabilidad longitudinal

Se considera que existe estabilidad longitudinal en orden de marcha si:

$$h < S / 0,33$$

#### Estabilidad transversal

Se considera que existe transversal en orden de marcha si:

$$h < 1,66 * V$$

#### Consideraciones adicionales

Las constantes que se aplican para la comprobación de estabilidad tanto transversal como longitudinal (1,66 y 0,33 respectivamente) son distintas en función de la documentación que se estudie y responden a una serie de cálculos que no son de interés para este manual.

Para la realización de este manual se han adoptado los valores arriba expuestos por ser los que mejor se adaptan al fin deseado.

### 3.3.6.- Distribución de momentos flectores y reparto de pesos con grúa trasera actuando.

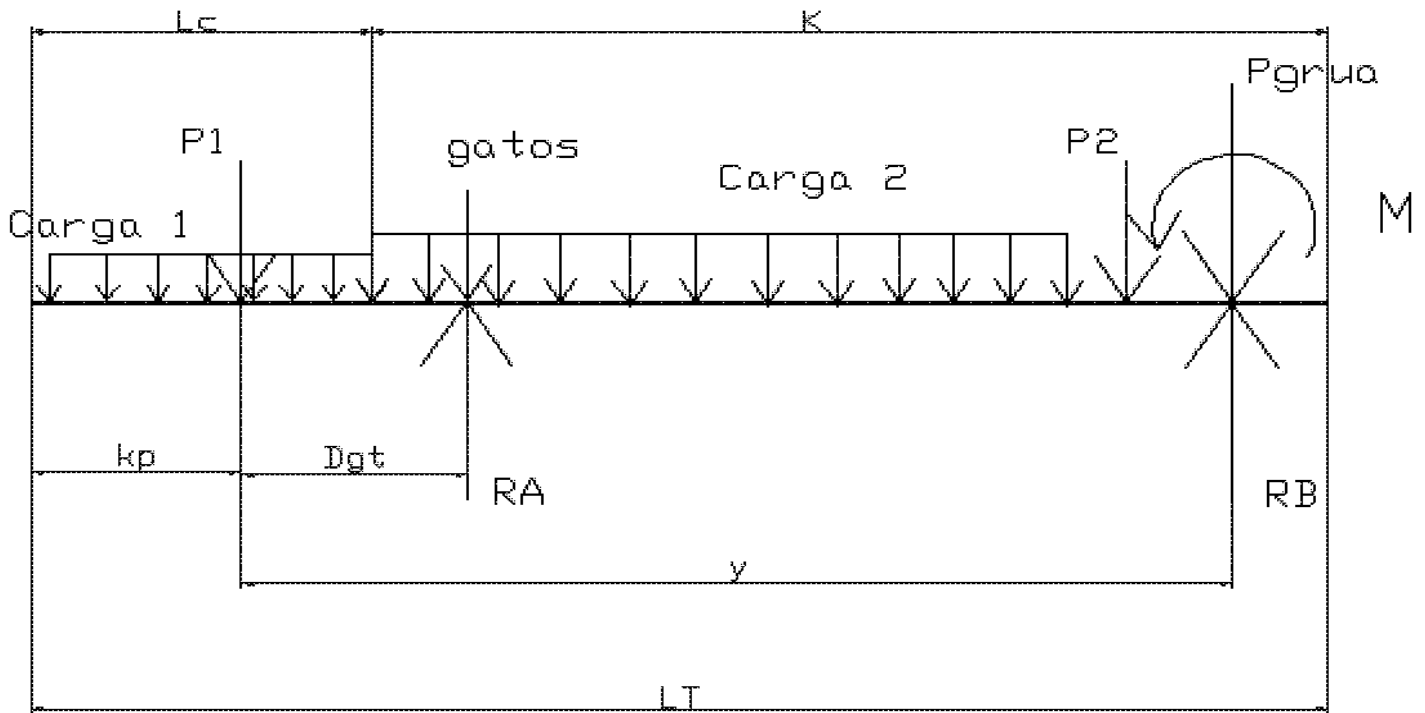


Figura 26. Góndola Grúa accionada, con gatos estabilizadores traseros

El reparto de pesos depende tanto de los ejes que se tengan como de tipo de semirremolque que se haya elegido.

da = Distancia entre apoyos con la grúa actuando. Si se dispone de gatos estabilizadores será la distancia entre ellos pudiendo estar la grúa en cualquier posición de las posibles. En caso contrario gatos será la distancia desde los gatos de la grúa al centro teórico formado por los ejes del semirremolque, bien sean uno, dos o tres.

dv = Distancia desde el inicio del semirremolque al primer apoyo con la grúa actuando. Si la grúa es delantera o intermedia serán los gatos de la grúa el primer apoyo, pero si es trasera dicho apoyo serán bien los gatos si los hay, bien el King-pin.

dvt = Distancia desde el segundo apoyo al final del semirremolque.  
dvt = LT-da-dv

Peso puntual opcional 1º.

$$R1Pp1 = Pp1 * (dv + da - D1 - kp) / da$$

$$R2Pp1 = Pp1 - R1Pp1$$



Peso puntual opcional 2°.

$$R1Pp2 = Pp2 * (dv + da - D2 - kp) / da$$

$$R2Pp2 = Pp2 - R1Pp2$$

Peso puntual opcional 3°.

$$R1Pp3 = Pp3 * (dv + da - D3 - kp) / da$$

$$R2Pp3 = Pp3 - R1Pp3$$

Eje 1°.

$$R1Pe1 = Pe1 * (dv + da - L1 - kp) / da$$

$$R2Pe1 = Pe1 - R1Pe1$$

Eje 2°

$$R1Pe2 = Pe2 * (dv + da - L1 - deje - kp) / da$$

$$R2Pe2 = Pe2 - R1Pe2$$

Eje 3°

$$R1Pe3 = Pe3 * (dv + da - due - kp) / da$$

$$R2Pe3 = Pe3 - R1Pe3$$

King-pin

$$R1kp = Pkp * (dv + da - kp) / da$$

$$R2kp = Pkp - R1kp$$

Código de programación necesario para calcular las reacciones de la grúa, dependiendo de la zona que ocupe ésta en el semirremolque.

```
If y < 0 Then
    R1m1 = Pgr - M / da
    R2m1 = M / da
Else
    If y > 0 And y <= L1 Then
        R1m1 = Pgr - M / da
        R2m1 = M / da
        R1m2 = Pgr + M / da
        R2m2 = -M / da
    Else
        If y >= due Then
            R1m1 = M / da
            R2m1 = Pgr - M / da
        End If
    End If
End If
```

Para el cálculo de las reacciones de las cargas q1,q2 y q3 depende tanto de la posición de la grúa como del tipo de semirremolque, como a continuación se muestran en el fragmento de código de programación que abajo se muestra.

Tipo 1 corresponde a plataforma, tipo 2 a góndola y tipo 3 a góndola cuello cisne.

```

If Tipo = 1 Or Tipo = 2 Then
    RQ2 = Q * ((da + dvt) ^ 2 - dv ^ 2) / (2000 * da)
    RQ1 = Q * LT / 1000 - RQ2
Else
    If Tipo = 3 Then
        RQ1 = Q * ((K - dvt) ^ 2 - dvt ^ 2) / (2000 * da) + Q * Lc * (da + dv - Lc / 2) / (1000 * da)
        RQ2 = Q * (K + Lc) / 1000 - RQ1
    End If
End If

If Tipo = 1 Then
    If Pgr > 0 Then
        If y < kp Then
            R2q1 = q1 * (LT - dc1 - kp) * ((LT - kp - dc1) * 0.5 + dc1 + kp - dv) / (1000 * da)
            R1q1 = q1 * (LT - dc1 - kp) / 1000 - R2q1
            R1q3 = 0
            R2q3 = 0
            R1q2 = 0
            R2q2 = 0
        Else
            If 0 < y And y < L1 Then
                R2q1 = q1 * dc1 * (-dv + 0.5 * dc1) / (1000 * da)
                R1q1 = q1 * dc1 / 1000 - R2q1
                R1q2 = q2 * ((dc2 - dvt) ^ 2 - dvt ^ 2) / (2000 * da)
                R2q2 = q2 * dc2 / 1000 - R1q2
                R1q3 = 0
                R2q3 = 0
            Else
                If y > L1 Then
                    R1q1 = q1 * dc1 * (da + dv - dc1 / 2) / (1000 * da)
                    R2q1 = q1 * dc1 / 1000 - R1q1
                    R1q3 = 0
                    R2q3 = 0
                    R1q2 = 0
                    R2q2 = 0
                End If
            End If
        End If
    End If
End If

If Tipo = 2 Or Tipo = 3 Then
    If Pgr > 0 Then
        If y < kp Then
            R2q1 = q1 * K * (LT - K / 2 - dv) / (1000 * da)
            R1q1 = q1 * K / 1000 - R2q1
            R1q3 = 0
        End If
    End If
End If

```

```

R2q3 = 0
R1q2 = 0
R2q2 = 0
Else
  If 0 < y And y < L1 Then
    R2q1 = q1 * (-Lc + dc1) * (dv - dc1 / 2 - Lc / 2) / (1000 * da)
    R1q1 = q1 * (Lc - dc1) / 1000 - R2q1
    R1q2 = q2 * dc2 * (K - dvt - dc2 / 2) / (1000 * da)
    R2q2 = q2 * dc2 / 1000 - R1q2
    R1q3 = q3 * ((dc3 - dvt) ^ 2 - dvt ^ 2) / (2000 * da)
    R2q3 = q3 * dc3 / 1000 - R1q3
  Else
    If y > L1 Then
      R1q1 = q1 * (Lc - dc1) * (da + dv - dc1 / 2 - Lc / 2) / (1000 * da)
      R2q1 = q1 * (Lc - dc1) / 1000 - R1q1
      R2q2 = q2 * dc2 * (dc2 / 2 + LT - K - dv) / (1000 * da)
      R1q2 = q2 * dc2 / 1000 - R2q2
      R1q3 = 0
      R2q3 = 0
    End If
  End If
End If
End If
End If

```

59						
60	<b>Reparto de pesos</b>					
61		<b>Apoyo 1º</b>	<b>Apoyo 2</b>			<b>Total</b>
62	Autobastidor	3200	5800	0	0	9000
63	Grua +	1905	2095	0	0	4000
64	Grua -		0	0	0	0
65	Sobrecasis	1214	1146	0	0	2360
66	<b>TARA</b>	<b>6318</b>	<b>9042</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>15360</b>
67	Carga1	11954	9686	0	0	21640
68	Carga 2	0	0	0	0	0
69	Carga 3	0	0	0	0	0
70	Peso p. 1	0	0	0	0	0
71	Peso p. 2	0	0	0	0	0
72	Peso p. 3	0	0	0	0	0
73	<b>ToTaL</b>	<b>18272</b>	<b>18728</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>37000</b>
74						

Tabla12. Reparto de pesos, grúa actuando

Función momentos del sobrechasis como carga distribuida continua. Sólo se van a mostrar las del caso de grúa trasera.

Grúa trasera sin gatos, en plataforma.

$$M(x) = \begin{cases} -(q1 * x^2) / 2000 & x < dv \\ R1q1 * (x - dv) - (q1 * x^2) / 2000 & dv < x \leq (dv + da) \\ R2q1 * (da + dv - x) & dv + da < x \leq dc1 \\ 0 & x > dc1 \end{cases}$$

Grúa trasera sin gatos, en góndolas, para la carga 1.

$$M(x) = \begin{cases} 0 & x < dc1 \\ -(q1 * (x - dc1)^2) / 2000 & dc1 \leq x \leq Lc \\ -q1 * (Lc - dc1) * (x - Lc) / 1000 - (q1 * (Lc - dc1)^2) / 2000 & Lc < x \leq dv \\ R2q1 * (da + dv - x) & dv < x \leq (dv + da) \\ 0 & x > (dv + da) \end{cases}$$

Grúa trasera sin gatos, en góndolas, para la carga 2.

$$M(x) = \begin{cases} 0 & (LT - K) < x \\ -(q1 * (x - dc1)^2) / 2000 & (LT - K) \leq x \leq dv \\ -q1 * (Lc - dc1) * (x - Lc) / 1000 - (q1 * (Lc - dc1)^2) / 2000 & dv < x \leq (LT - K + dc2) \\ R2q1 * (da + dv - x) & (LT - K + dc2) < x \leq (dv + da) \\ 0 & x > (dv + da) \end{cases}$$

Función de momentos de las cargas que sobre el semirremolque pueden actuar en función del tipo de que se trate y del lugar de la grúa. Sólo se va a mostrar el código del caso sin gatos.

**'Grúa delantera**

```
If y < 0 Then
  If Tipo = 1 Then
    If x < dv Then
      Cells(5 + i, 10) = 0
    Else
      If x >= dv And x < (kp + dc1) Then
        Cells(5 + i, 10) = R1q1 * (x - dv)
      Else
```

```

    If x >= (kp + dc1) And x < (dv + da) Then
        Cells(5 + i, 10) = R1q1 * (x - dv) - (q1 * (x - kp - dc1) ^ 2) / 2000
    Else
        If x >= (da + dv) Then
            Cells(5 + i, 10) = -(q1 * (x - LT) ^ 2) / 2000
        End If
    End If
End If
End If
Else
    If Tipo = 2 Or Tipo = 3 Then
        If x <= dv Then
            Cells(5 + i, 10) = 0
        Else
            If x > dv And x <= (LT - K) Then
                Cells(5 + i, 10) = R1q1 * (x - dv)
            Else
                If x > (LT - K) And x <= (da + dv) Then
                    Cells(5 + i, 10) = R1q1 * (x - dv) - (q1 * (x - LT + K) ^ 2) / 2000
                Else
                    If x > (da + dv) Then
                        Cells(5 + i, 10) = -(q1 * (x - LT) ^ 2) / 2000
                    End If
                End If
            End If
        End If
    End If
End If
End If 'y<0

```

### 'Grua intermedia

```

If y >= 0 And y < L1 Then
    If Tipo = 1 Then
        If x < dc1 Then
            Cells(5 + i, 10) = -(q1 * x ^ 2) / 2000
        Else
            If x >= dc1 And x < dv Then
                Cells(5 + i, 10) = -q1 * dc1 * (x - dc1 / 2) / 1000
            Else
                If x >= dv And x < (da + dv) Then
                    Cells(5 + i, 10) = R2q1 * (da + dv - x)
                Else
                    If x >= (da + dv) Then
                        Cells(5 + i, 10) = 0
                    End If
                End If
            End If
        End If
    End If
    If x < dv Then
        Cells(5 + i, 11) = 0
    Else
        If x >= dv And x < (LT - dc2) Then

```

```

Cells(5 + i, 11) = R1q2 * (x - dv)
Else
  If x >= (LT - dc2) And x < (da + dv) Then
    Cells(5 + i, 11) = R2q2 * (LT - dvt - x) - (q2 * (x - LT) ^ 2) / 2000
  Else
    If x >= (da + dv) Then
      Cells(5 + i, 11) = -(q2 * (x - LT) ^ 2) / 2000
    End If
  End If
End If
End If
End If 'Tipo 1

If Tipo = 2 Then
  If x >= dc1 And x < Lc Then 'q1
    Cells(5 + i, 10) = -(q1 * (x - dc1) ^ 2) / 2000
  Else
    If x >= Lc And x < dv Then
      Cells(5 + i, 10) = -q1 * (Lc - dc1) * (x - Lc) / 1000 - (q1 * (Lc - dc1) ^ 2) / 2000
    Else
      If x >= dv And x < (da + dv) Then
        Cells(5 + i, 10) = R1q1 * (x - dv) - q1 * (Lc - dc1) * (x - dc1 / 2 - Lc / 2)
          / 1000 'R2q1 * (da + dv - x)
      Else
        If x >= (da + dv) Or x < dc1 Then
          Cells(5 + i, 10) = 0
        End If
      End If
    End If
  End If
End If
If x < Lc Then 'q2
  Cells(5 + i, 11) = 0
Else
  If x >= Lc And x <= (Lc + dc2) Then
    Cells(5 + i, 11) = -(q2 * (x - Lc) ^ 2) / 2000
  Else
    If x > (Lc + dc2) And x <= dv Then
      Cells(5 + i, 11) = -q2 * dc2 * (x - Lc - dc2 / 2) / 1000
    Else
      If x > dv And x <= (da + dv) Then
        Cells(5 + i, 11) = R2q2 * (da + dv - x)
      Else
        If x > (da + dv) Then
          Cells(5 + i, 11) = 0
        End If
      End If
    End If
  End If
End If
End If
If x < dv Then 'q3
  Cells(5 + i, 12) = 0
Else
  If x >= dv And x < (LT - dc3) Then
    Cells(5 + i, 12) = R1q3 * (x - dv)
  End If
End If

```

```
Else
  If x >= (LT - dc3) And x < (da + dv) Then
    Cells(5 + i, 12) = R1q3 * (x - dv) - (q3 * (x - LT + dc3) ^ 2) / 2000
  Else
    If x >= (da + dv) Then
      Cells(5 + i, 12) = -(q3 * (x - LT) ^ 2) / 2000
    End If
  End If
End If
End If
End If 'Tipo 2

If Tipo = 3 Then
  If x >= dc1 And x < Lc Then 'q1
    Cells(5 + i, 10) = -(q1 * (x - dc1) ^ 2) / 2000
  Else
    If x >= Lc And x < dv Then
      Cells(5 + i, 10) = -q1 * (Lc - dc1) * (x - Lc) / 1000 - (q1 * (Lc - dc1) ^ 2) / 2000
    Else
      If x >= dv And x < (da + dv) Then
        Cells(5 + i, 10) = R2q1 * (da + dv - x)
      Else
        If x >= (da + dv) Or x < dc1 Then
          Cells(5 + i, 10) = 0
        End If
      End If
    End If
  End If
End If
If x < (LT - K) Then 'q2
  Cells(5 + i, 11) = 0
Else
  If x >= (LT - K) And x <= (LT - K + dc2) Then
    Cells(5 + i, 11) = -(q2 * (x - LT + K) ^ 2) / 2000
  Else
    If x > (LT - K + dc2) And x <= dv Then
      Cells(5 + i, 11) = -q2 * dc2 * (x - LT + K - dc2 / 2) / 1000
    Else
      If x > dv And x <= (da + dv) Then
        Cells(5 + i, 11) = R2q2 * (da + dv - x)
      Else
        If x > (da + dv) Then
          Cells(5 + i, 11) = 0
        End If
      End If
    End If
  End If
End If
End If
If x < dv Then 'q3
  Cells(5 + i, 12) = 0
Else
  If x >= dv And x < (LT - dc3) Then
    Cells(5 + i, 12) = R1q3 * (x - dv)
  Else
    If x >= (LT - dc3) And x < (da + dv) Then
```

```
Cells(5 + i, 12) = R1q3 * (x - dv) - (q3 * (x - LT + dc3) ^ 2) / 2000
Else
  If x >= (da + dv) Then
    Cells(5 + i, 12) = -(q3 * (x - LT) ^ 2) / 2000
  End If
End If
End If
End If
End If 'Tipo 3
End If 'y intermedia
```

### 'Grua trasera

```
If y > due Then
  If Tipo = 1 Then
    If x < dv Then
      Cells(5 + i, 10) = -(q1 * x ^ 2) / 2000
    Else
      If x >= dv And x < (da + dv) Then
        Cells(5 + i, 10) = R1q1 * (x - dv) - (q1 * x ^ 2) / 2000
      Else
        If x >= (da + dv) And x < dc1 Then
          Cells(5 + i, 10) = R2q1 * (da + dv - x)
        Else
          If x >= dc1 Then
            Cells(5 + i, 10) = 0
          End If
        End If
      End If
    End If
  End If
  End If 'Tipo =1

  If x > dc1 And x < Lc Then 'Tipo 2, Tipo 3
    Cells(5 + i, 10) = -(q1 * (x - dc1) ^ 2) / 2000
  Else
    If x >= Lc And x < dv Then
      Cells(5 + i, 10) = -q1 * (Lc - dc1) * (x - Lc) / 1000 - (q1 * (Lc - dc1) ^ 2) / 2000
    Else
      If x >= dv And x < (dv + da) Then
        Cells(5 + i, 10) = R2q1 * (da + dv - x)
      Else
        If x >= (dv + da) Or x < dc1 Then
          Cells(5 + i, 10) = 0
        End If
      End If
    End If
  End If
  End If
  End If 'Tipo =1

  If x < (LT - K) Or x > (da + dv) Then
    Cells(5 + i, 11) = 0
  Else
    If x > (LT - K) And x < dv Then
      Cells(5 + i, 11) = -(q2 * (x - LT + K) ^ 2) / 2000
    Else
```



```

If x >= dv And x < (LT - K + dc2) Then
  Cells(5 + i, 11) = R1q2 * (x - dv) - (q2 * (x - LT + K) ^ 2) / 2000
Else
  If x >= (LT - K + dc2) And x < (da + dv) Then
    Cells(5 + i, 11) = R2q2 * (da - x + dv)
  End If
End If
End If
End If
End If
End If 'y trasera
  
```

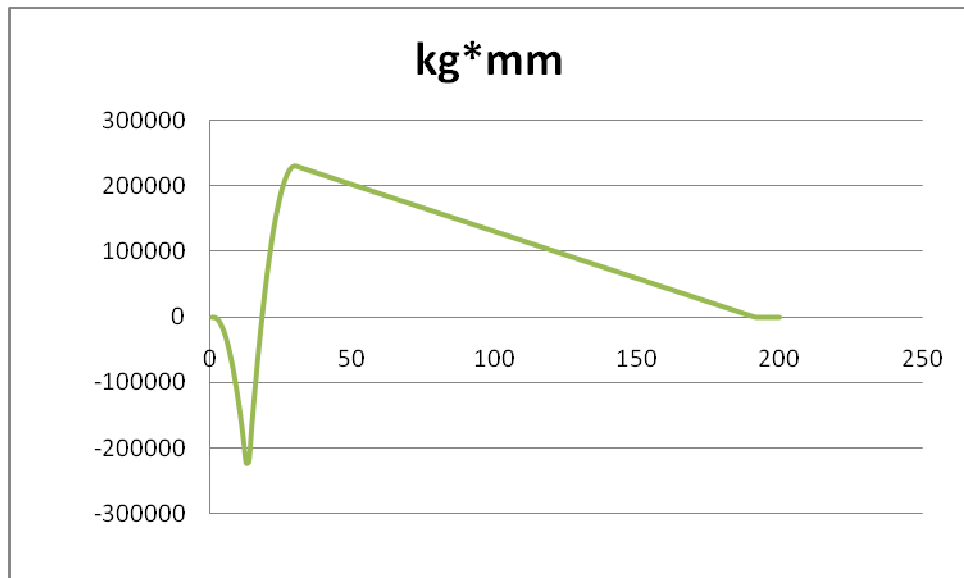


Gráfico 17. q1 con grúa delantera

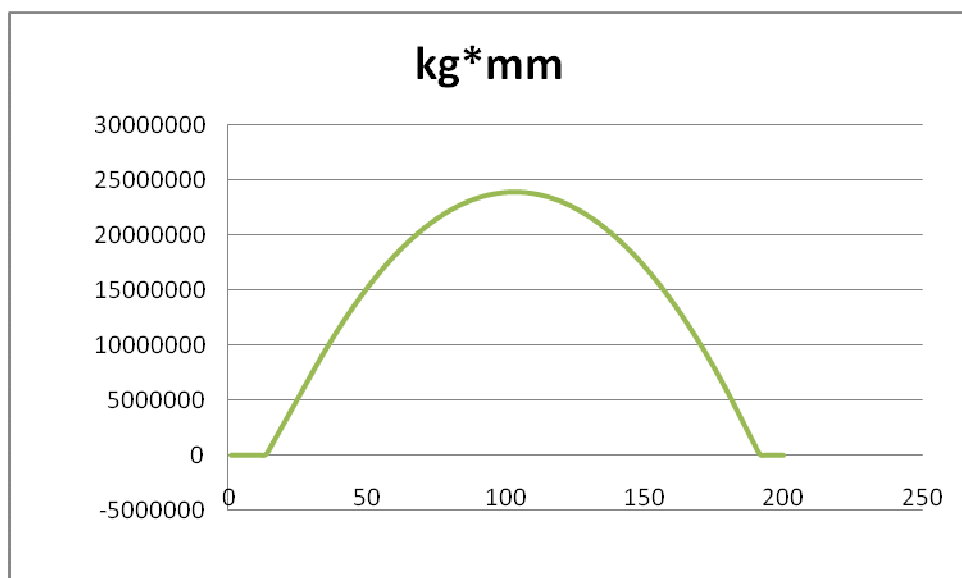


Gráfico 18. q2 con grúa delantera

Flectores grúa trasera accionada con gatos estabilizadores

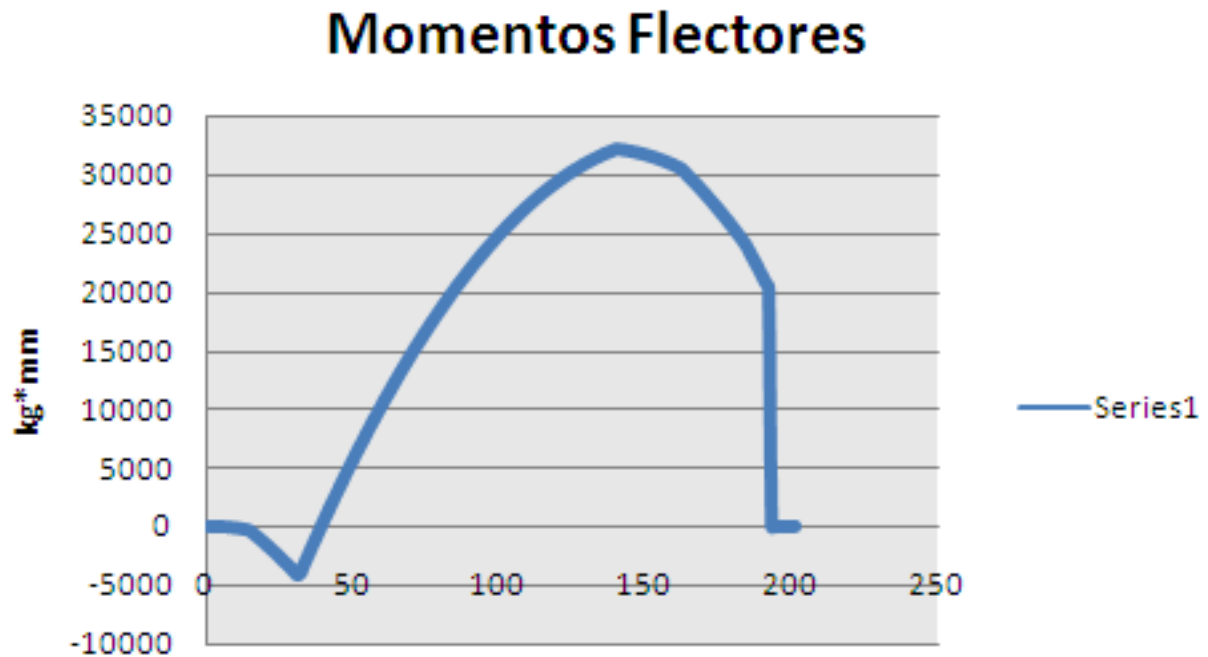


Gráfico 19. Accionamiento de grúa trasera

En el Pgrua se incluye el peso en punta que pueda soportar la grúa.

$$P_{grua} = P_{grua} + P_{punta}$$

### 3.3.7.- Estabilidad de la grúa actuando.

#### *3.3.7.1.- Estabilidad longitudinal:*

Para comprobar la estabilidad longitudinal se supone la grúa trabajando en la misma dirección del movimiento del vehículo y hacia delante en el caso de grúa trasera y hacia atrás en el caso de grúa delantera. Para el caso de grúa intermedia habrá de comprobarse en ambos sentidos, como se hará en el ejemplo de cada caso. En esta situación hay que comprobar que el sumatorio de cargas en el apoyo delantero y trasero es positivo.

Para ello hay que rehacer el reparto de pesos por eje, considerando ahora que los apoyos son los gatos o el king-pin delante y los apoyos de la grúa detrás.

Además de las cargas habituales ahora hay que aplicar un momento concentrado en el centro de la grúa igual al máximo momento de elevación de la grúa (dato del

fabricante) y tener en cuenta que la carga es nula,  $P_{carga}=0$  (situación más desfavorable).

Si, una vez calculado todo ello, la carga sobre el apoyo delantero o trasero en función del tipo del lugar de la grúa es positiva, existe estabilidad longitudinal cuando la grúa actúa.

### 3.3.7.2.- Estabilidad Transversal:

Para comprobar la estabilidad transversal se supone la grúa trabajando en posición perpendicular al eje que une el ancho máximo delantero y el trasero (ver Figura 27). Si en esta situación el momento generado por la tara del vehículo es mayor que el momento de elevación de la grúa la situación es estable.

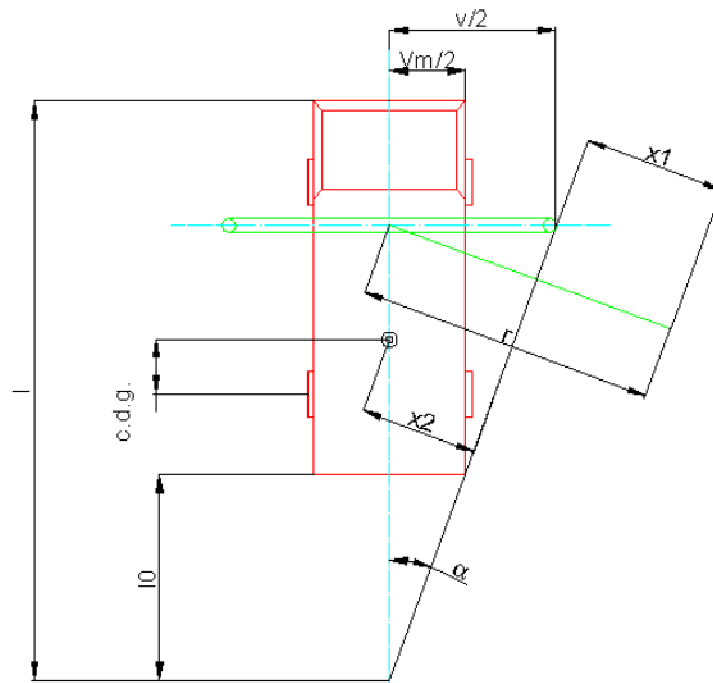


Figura 27. Grúa en trabajo, estabilidad transversal

Donde:

$V$  (mm)  $\equiv$  Distancia entre apoyos transversales delanteros.

$R$  (mm)  $\equiv$  Alcance máximo de la grúa.

$c.d.g.$ (mm)  $\equiv$  Distancia del centro de gravedad de la TARA del vehículo al eje 2º.

$V_m$  (mm)  $\equiv$  Anchura en apoyos traseros (Vía trasera o anchura de gatos, según corresponda)

De la Figura 12 se deducen los siguientes cálculos:

$$\alpha = \arctg [(V/2 - V_m/2) / (p - y)]$$

$$l \text{ (mm)} = V/2 / \operatorname{tg} \alpha$$

$$l_0 \text{ (mm)} = l - (p - y)$$

$$x_1 \text{ (mm)} = r - l * \sin(\alpha)$$

$$x_2 \text{ (mm)} = (c.d.g + l_0) * \sin(\alpha)$$

De estos resultados y los datos del fabricante de la grúa se deduce que para que haya estabilidad transversal debe cumplirse:

$$TARA * x_2 > P_{\text{punta}} * x_1 + P_{\text{GRUA}} * (c.d.g. \text{ (grúa)} - l * \sin(\alpha))$$

Donde:

$P_{\text{punta}}$  (kg)  $\equiv$  Peso en punta de la grúa

$Mg$  (kg\*mm)  $\equiv$  Máximo momento de elevación de la grúa

$c.d.g$  (grúa) (mm)  $= (Mg - P_{\text{punta}} * r) / P_{\text{GRUA}}$

### 3.3.8.- Caso práctico

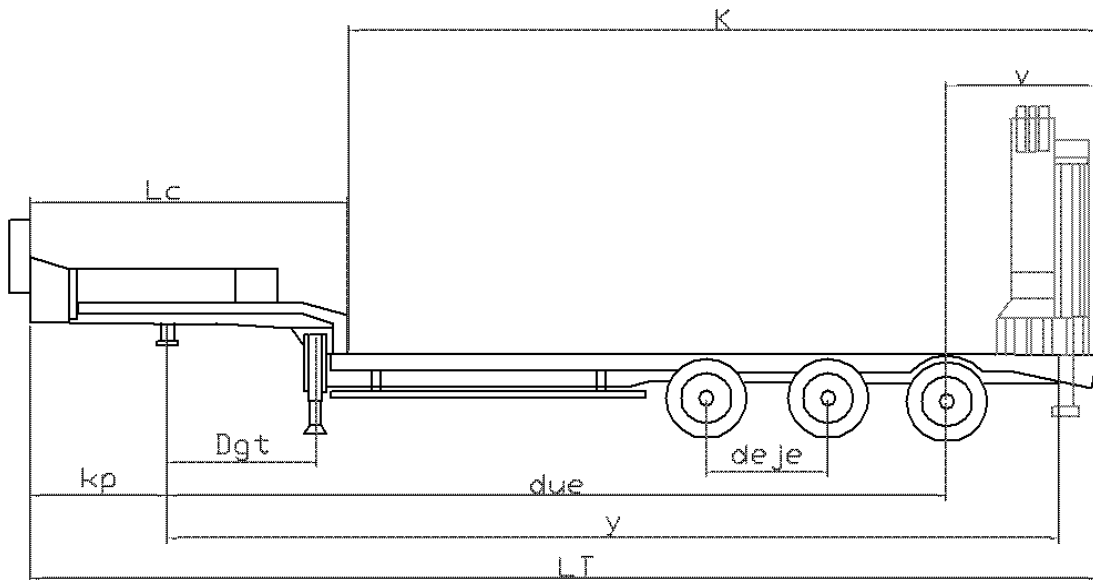


Figura 28. Góndola con grúa trasera

### Góndola grúa trasera.

#### 3.3.8.1.- Datos.

Al igual que con el tractocamión se van a mostrar distintas hojas Excel donde se podrá observar como se ejecuta el programa, desde la toma inicial de datos en la primera hoja hasta las comprobaciones en la última. En este caso no se atenderá tanto al funcionamiento de programa ya que se vio anteriormente con el tractocamión y si se prestará especial atención a las diferencias que presenta el semirremolque respecto al tractocamión.

	A	B	C	D	E	F
1	Datos				2	
2	Distancia de kp a último eje	due (mm)	10000	L1	7400	
3	Distancia entre ejes	deje (mm)	1300	Bt	8700	
4	Voladizo posterior	v (mm)	1000	d1	650	
5	Voladizo anterior	kp (mm)	800	d2	650	
6	Distancia de kp a grua	y (mm)	10500	deje2 (mm)	1300	
7	Distancia de kp a gatos	Dgt (mm)	1000			
8	Distancia de kp al inicio de sobrechasis	sb (mm)	0			
9	Longitud ToTaL	LT (mm)	11800			
10	Longitud cuello	Lc (mm)	1800			
11	Longitud cama	K (mm)	10000			Datos
12	Longitud del tramo de transición	Ltr (mm)	0			
13						
14	Peso sobre el kp	Pkp (kg)	2500			
15	Peso sobre centro de ejes	Ptd (kg)	6000			
16	Peso sobre eje 1º	Peje1 (kg)	2000	q1 (kg/m)	1000	
17	Peso sobre eje 2º	Peje2 (kg)	2000	q2 (kg/m)	1088	
18	Peso sobre eje 3º	Peje3 (kg)	2000	q3 (kg/m)	0	
19	Peso grua	Pgr (kg)	4500	dc1 (mm)	100	
20	Peso gatos	Pg (kg)	600	dc2 (mm)	9500	
21	Sobrechasis	Q (Kg/m)	200	dc3 (mm)	0	
22	Masa Máxima autorizada eje 1º	MMA1 (kg)	9500			
23	Masa Máxima autorizada eje 2º	MMA2 (kg)	9500			
24	Masa máxima autorizada eje 3º	MMA3 (kg)	9500			
25	Masa máxima autorizada kp	MMAkp (kg)	11000			
26	Masa máxima autorizada semirremolqu	MMA (kg)	28000			
27						
28	Peso de la carga	Pcarga (kg)	10340			
29						
30	Carga opcional 1	P1 (kg)	0			
31	Carga opcional 2	P2 (kg)	0			
32	Carga opcional 3	P3 (kg)	0			
33	Distancia de carga opc. 1	D1 (mm)	0			
34	Distancia de carga opc. 2	D2 (mm)	0			
35	Distancia de carga opc. 3	D3 (mm)	0			

Figura 29. Datos góndola

En este caso no se va a proceder a introducir los datos, sino que emplearemos los utilizados por última vez, debido a que al abrirse el programa lo hace con los últimos datos introducidos. Si se quisiera introducir otros nuevos solo bastaría con modificar el valor sobre la celda o en su defecto el botón “Datos” con lo que se borraría todo lo anterior y se ejecutaría el programa de nuevo.

#### Datos geométricos:

Distancia entre king-pin y último eje <i>due</i> (mm)	(10000 mm)
Distancia entre ejes <i>deje</i> (mm)	(1300 mm)
Distancia de último eje al final del semirremolque <i>v</i> (mm)	(1000 mm)
Distancia del inicio de la góndola al King-pin <i>kp</i> (mm)	(800 mm)
Distancia de king-pin a grúa <i>y</i> (mm)	(10500 mm)
Distancia de c.d.g de gatos estabilizadores a <i>kp</i> (mm)	(1000 mm)
Distancia del inicio del semirremolque a sobrechasis <i>sb</i> (mm)	(0 mm)
Longitud total <i>LT</i> (mm)	(11800 mm)
Longitud del cuello del semirremolque <i>Lc</i> (mm)	(1800 mm)
Longitud de la cama del semirremolque <i>K</i> (mm)	(10000 mm)
Distancia desde el king-pin a la carga puntual <i>i</i> (mm)	(0 mm)
Distancia desde el principio de la góndola al inicio de la carga 1ª <i>dc1</i> (mm)	(100 mm)
Distancia desde el inicio de la cama al final de la carga 2ª <i>dc2</i> (mm)	(9500 mm)

Las distancias *dc1*, *dc2* y *dc3* son variables según el tipo de semirremolque que se tenga, en este caso *dc3*=0, ya que sólo hay dos zonas de carga diferenciadas, en el caso de tenerse una góndola con grúa intermedia si se tendrían tres zonas de carga diferenciadas.

#### Datos de pesos:

Semirremolque sobre king-pin (kg): este es un dato del fabricante del vehículo que indica el peso de éste sin carga ni ningún tipo de equipamiento que recaer sobre king-pin.

(2500 kg)

Semirremolque en ejes traseros (kg): ídem que el anterior sobre los ejes traseros.

(6000 kg)

Masa de la grúa (kg): se considera una carga puntual aplicada en el centro geométrico de la grúa autocarga.

(3500 kg)

Masa del sobrecasis (kg): Se considera una carga uniformemente repartida en la longitud del sobrecasis

(200 kg/m)

Masa de los gatos estabilizadores (kg): peso de los gatos estabilizadores de la grúa. Se consideran como una carga puntual aplicada en el centro geométrico de estos. En caso de no haber gatos se debe introducir el valor cero

(600 kg)

Peso de la carga puntual opcional  $i$  (kg):

(0 kg)

MMA1 (kg)

(9500 kg)

MMA2 (kg)

(9500 kg)

MMA3 (kg)

(9500 kg)

MMAkp (kg)

(11000 kg)

MMA (kg)

(32000 kg)

$q_1$  (kg/m)

(1000 kg/m)

Con las cargas distribuidas  $q_1$ ,  $q_2$  y  $q_3$  ocurre lo mismo que con las distancias  $dc_1$ ,  $dc_2$  y  $dc_3$ , varían según el tipo de semirremolque y el lugar que la grúa ocupe en éste. En algunos casos el programa solicitará por pantalla al usuario alguna de las cargas y en otros no solicitará ninguna. Ello es debido a que al haber dos zonas de carga se pide al usuario la carga que desea disponer en la primera de estas zonas y el programa calcula la segunda como el cociente entre la carga admisible del semirremolque (una vez puestas todas sus cargas, grúa, gatos, sobrecasis...) y la distancia  $dc_2$ , que es la zona dedicada a carga en la cama, ya que toda la cama no se puede utilizar debido a que la grúa se encuentra en la zona trasera de ésta.

En el caso de que el vehículo no lleve alguno de los equipos sobre los que se han pedido datos (gatos, grúa....) o su importancia no sea determinante se introducirá el valor cero.

Los datos que se aprecian en la Figura 29 y que no se piden al usuario, son combinaciones de los datos ya introducidos.

Una de las diferencias más notables de este programa con respecto al del tractocamión es que las cargas puntuales opcionales están limitadas a tres ya que no es una situación habitual, mientras que en el tractocamión se pueden considerar cuantas se quiera.

### 3.3.8.2.-Reparto de pesos en orden de marcha.

- Autobastidor:
  - Autobastidor  $k_p$  (kg)=  $P_{kp}$
  - Autobastidor 1 (kg)=  $P_{td}/3$
  - Autobastidor 2 (kg)=  $P_{td}/3$

- Autobastidor 3 (kg) =  $P_{td}/3$
- Grúa:
  - $P_{grúa\ kp} (kg) = P_{grúa} * (Bt - y) / Bt$
  - $P_{grúa\ 1} (kg) = P_{grúa} * y / (3 * Bt)$
  - $P_{grúa\ 2} (kg) = P_{grúa} * y / (3 * Bt)$
  - $P_{grúa\ 3} (kg) = P_{grúa} * y / (3 * Bt)$
- Sobrechasis:
  - $P_{sobrechasis\ kp} (kg) = Q * (Lc + K) - (P_{sobrechasis\ 1}) * 3$
  - $P_{sobrechasis\ 1} (kg) = Q * ((Lc + K - kp)^2 - kp^2) / (Bt * 6)$
  - $P_{sobrechasis\ 2} (kg) = Q * ((Lc + K - kp)^2 - kp^2) / (Bt * 6)$
  - $P_{sobrechasis\ 3} (kg) = Q * ((Lc + K - kp)^2 - kp^2) / (Bt * 6)$
- Gatos:
  - $P_{gatos\ kp} (kg) = P_g * (Bt - Dgt) / Bt$
  - $P_{gatos\ 1} (kg) = P_g * Dgt / (Bt * 3)$
  - $P_{gatos\ 2} (kg) = P_g * Dgt / (Bt * 3)$
  - $P_{gatos\ 3} (kg) = P_g * Dgt / (Bt * 3)$

La suma de las cargas estudiadas hasta ahora resulta la TARA

- Peso carga 1:
  - $P_{carga\ 1, kp} (kg) = q_1 * (Lc - dc_1) - (P_{carga\ 1,1}) * 3$
  - $P_{carga\ 1,1} (kg) = q_1 * ((Lc - kp)^2 - (kp - dc_1)^2) / (6 * Bt)$
  - $P_{carga\ 1,2} (kg) = q_1 * ((Lc - kp)^2 - (kp - dc_1)^2) / (6 * Bt)$
  - $P_{carga\ 1,3} (kg) = q_1 * ((Lc - kp)^2 - (kp - dc_1)^2) / (6 * Bt)$
- Peso carga 2:
  - $P_{carga\ 2, kp} (kg) = q_2 * dc_2 - (P_{carga\ 2,1}) * 3$
  - $P_{carga\ 2,1} (kg) = q_2 * dc_2 * (Lc - kp + dc_2) / (6 * Bt)$
  - $P_{carga\ 2,2} (kg) = q_2 * dc_2 * (Lc - kp + dc_2) / (6 * Bt)$
  - $P_{carga\ 2,3} (kg) = q_2 * dc_2 * (Lc - kp + dc_2) / (6 * Bt)$
- Peso carga puntual  $i$ :
  - $P_{carga\ i\ kp} (kg) = P_i * (Bt - Di) / Bt$
  - $P_{carga\ i\ 1} (kg) = P_i * Di / (Bt * 3)$
  - $P_{carga\ i\ 2} (kg) = P_i * Di / (Bt * 3)$
  - $P_{carga\ i\ 3} (kg) = P_i * Di / (Bt * 3)$

Una vez introducido el último dato el programa genera automáticamente una tabla donde muestra el reparto de pesos por ejes en orden de marcha (ver Tabla 13), donde se detallan los pesos que recaen sobre cada eje. La suma de ellos da como resultado la TARA y la carga TOTAL, tal y como se detalla sobre la Tabla 13.

Debe cumplirse que las cargas totales no superan la MMA de cada uno de los ejes en orden de marcha, ni la MMA del vehículo.



En caso de necesitar modificar datos, ya sea por sobrepeso en alguno de los ejes o por error al introducir los mismos sólo hay que volver a la página de datos y modificar los mismos manualmente en función de las necesidades que haya. Para ello no hay más que entrar en la celda y modificar el valor según corresponda al caso estudiado. No hay por qué ejecutar una nueva entrada de datos completa, aunque, evidentemente, se puede hacer si así se desea.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		king-pin	Eje 1º	Eje 2º	Eje 3º	ToTal		King-pinn	Ejes	ToTal
2										
3	Autobastidor	2500	2000	2000	2000	8500		2500	6000	8500
4										
5	Grua	-931	1810	1810	1810	4500		-931	5431	4500
6										
7	Gatos	531	23	23	23	600		531	69	600
8										
9	Sobrechasis	977	461	461	461	2360		977	1383	2360
10										
11	<b>Tara</b>	<b>3077</b>	<b>4294</b>	<b>4294</b>	<b>4294</b>	<b>15960</b>		<b>3077</b>	<b>12883</b>	<b>15960</b>
12										
13	Carga 1	1671	10	10	10	1700		1671	29	
14										
15	Carga 2	4862	3159	3159	3159	14340		4862	9478	14340
16										
17	Carga 3	0	0	0	0	0		0	0	0
18										
19	Peso p. 1	0	0	0	0	0		0	0	0
20										
21	Peso p. 2	0	0	0	0	0		0	0	0
22										
23	Peso p. 3	0	0	0	0	0		0	0	0
24										
25	<b>ToTaL</b>	<b>9610</b>	<b>7463</b>	<b>7463</b>	<b>7463</b>	<b>32000</b>		<b>9610</b>	<b>22390</b>	<b>32000</b>
26	<b>MMA</b>	<b>11000</b>	<b>9500</b>	<b>9500</b>	<b>9500</b>	<b>39500</b>		<b>11000</b>	<b>28500</b>	<b>39500</b>

Tabla 13. Reparto de pesos góndola

En la Tabla 13 aparecen dos tablas dentro de ésta:

- En la primera aparece el reparto de pesos por eje y el total.
- En la segunda tenemos un reparto de pesos por apoyos, ya que la primera columna coincide con la de la primera tabla que muestra el peso de cada carga

que recae sobre el king-pin y la segunda es la suma de las columnas de los ejes. Se ha hecho de este modo porque a la hora de comprobar el semirremolque es mucho más sencillo pesar los ejes traseros en báscula conjuntamente que por separado.

### 3.3.8.3.- Momentos flectores en orden de marcha.

A continuación se verán en la Figura 29 los esfuerzos sufridos por el bastidor en orden de marcha, tanto tabulados como graficados. También se mostrará el máximo momento flector en valor absoluto.

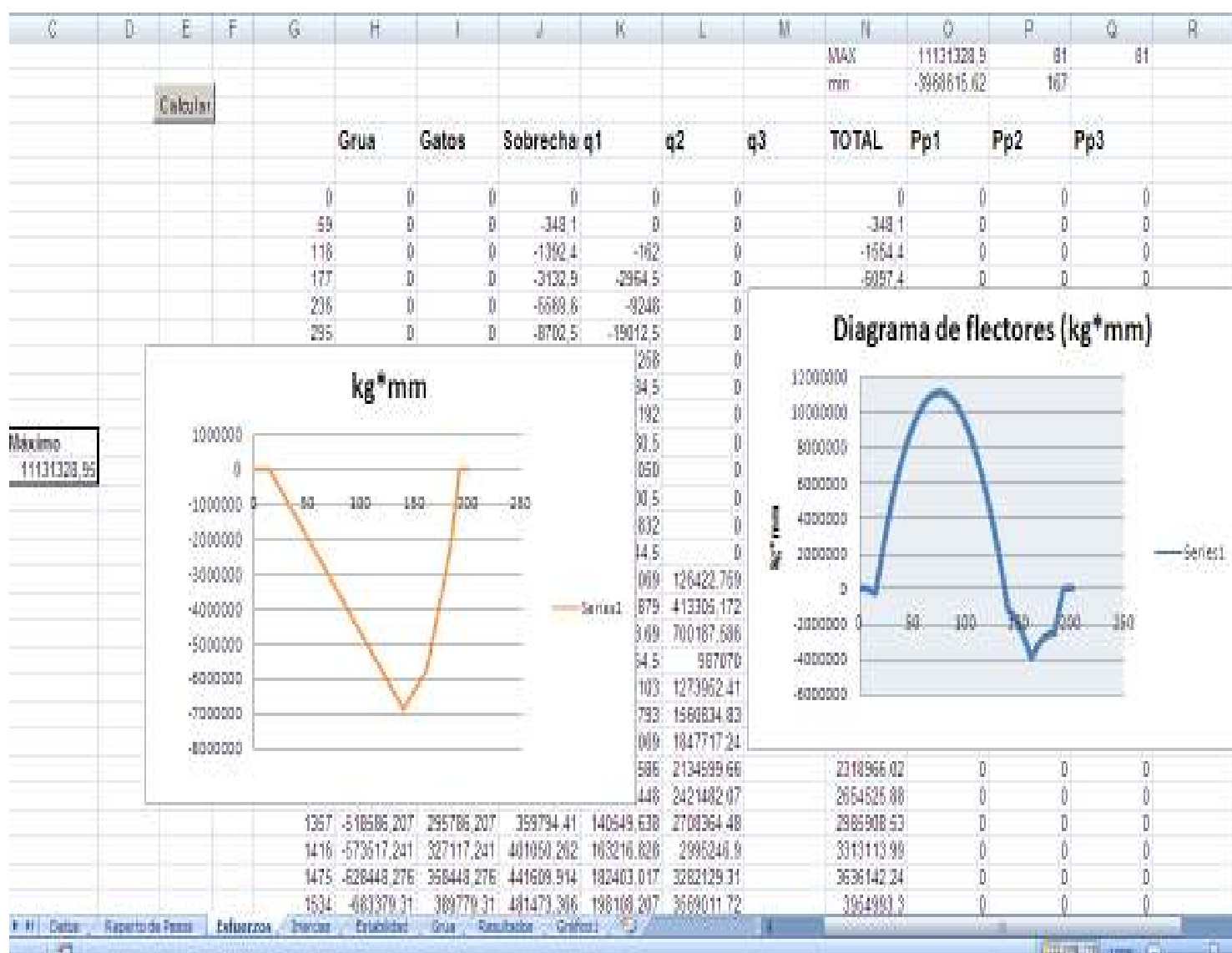


Figura 30. Esfuerzos góndola

Al igual que en el caso de la cabeza tractora se pueden observar dos gráficos distintos, el de la izquierda es un gráfico auxiliar (correspondiente a la grúa como carga puntual) para poder comprobar de forma visual los esfuerzos que cada carga

por separado introduce sobre el bastidor. Para ello es necesario que el usuario elija la columna del esfuerzo a verificar ya que el gráfico aparece en la última columna que se comprobó. El gráfico de la derecha muestra el total de los esfuerzos sufridos por el semirremolque. Dicho gráfico es el número 16, antes mostrado.

En la parte de la memoria dedicada a la cabeza tractora se muestra una imagen con la tabla al completo, pero aquí se va a omitir ya que tiene la misma estructura y lo que varía son las cargas y los datos.

#### 3.3.8.4.- Inercias.

Debido a que lo se va a realizar es una reforma de un vehículo que en su origen no disponía de grúa autocarga, a la hora de instalar ésta suele ser necesario reforzar el bastidor, amén de la zona de la grúa. Por esto aparece en el programa una hoja (INERCIAS) dedica a calcular el momento resistente del conjunto chasis-sobrechasis.

Ahora se mostrarán los datos introducidos para el caso que se está estudiando.

Datos del chasis cuello:

Altura del chasis (mm)	(240 mm)
Anchura del chasis (mm)	(120 mm)
Espesor del chasis (mm)	(7 mm)

Datos del chasis cama:

Altura del chasis (mm)	(400 mm)
Anchura del chasis (mm)	(160 mm)
Espesor del chasis (mm)	(8 mm)

A diferencia del chasis de la cabeza tractora, en este se tienen dos perfiles semejantes pero de distinta altura, unidos mediante un perfil de forma trapezoidal (Figura 25).

Datos del sobrechasis (en el caso que se está estudiando sólo se introduce el tipo de UPN que se haya elegido):

Altura del sobrechasis (mm)	(80 mm)
Anchura del sobrechasis (mm)	(45 mm)
Espesor del sobrechasis (mm)	(6 mm)

Datos del refuerzo de la grúa (en el caso que se está estudiando sólo se introduce el tipo de HEB que se haya elegido):

Altura del chasis (mm)	(300 mm)
------------------------	----------

Anchura del chasis (mm)	(300 mm)
Espesor del chasis (mm)	(11 mm)
Distancia al inicio del refuerzo de la grúa desde inicio de semirremolque	(9000 mm)
Longitud del refuerzo de la grúa	(2000 mm)
Número de refuerzos adicionales	(0)

En la zona de refuerzo de la grúa se puede decidir si el sobrechasis del bastidor es continuo en dicha zona o no, es decir, si hay o no sobrechasis además del refuerzo de la grúa.

En el caso de haber previsto refuerzos adicionales, se introducirá el número de los refuerzos adicionales que se deseen, y se pedirían datos referentes a los refuerzos: altura, anchura, espesor y distancia desde el c.d.g. del refuerzo a la fibra de referencia.

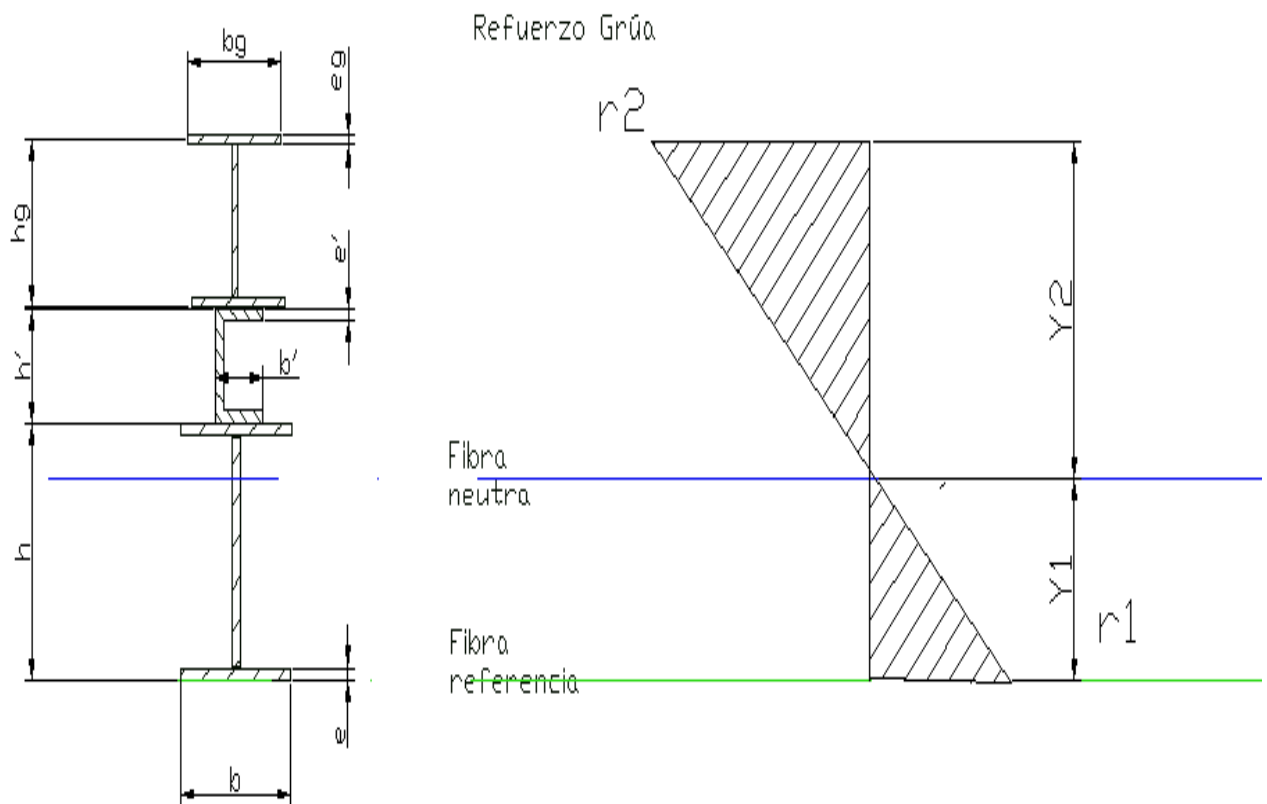
Una vez introducidos todos los datos el programa calculará la inercia, el momento resistente, el área, la altura y la distancia de la fibra neutra a la línea de referencia en todos los puntos del bastidor en forma de tabla, como a continuación se muestra.

E	F	G	H	I	J	K	L
x	A(x)	I(x)	Y1(x)	Y2(x)	h(x)	W(x)	
0	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
59	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
118	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
177	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
236	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
295	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
354	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
413	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
472	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
531	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
590	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
649	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
708	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
767	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
826	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
885	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
944	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
1003	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
1062	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
1121	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
1180	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
1239	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
1298	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
1357	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
1416	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
1475	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
1534	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
1593	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
1652	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
1711	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
1770	3908	73639007	165,03582	154,96418	320	446200,14	1
1829	6732	327341757	239,21569	240,78431	480	1359481,2	2
1888	6732	327341757	239,21569	240,78431	480	1359481,2	2
1947	6732	327341757	239,21569	240,78431	480	1359481,2	2
2006	6732	327341757	239,21569	240,78431	480	1359481,2	2
2065	6732	327341757	239,21569	240,78431	480	1359481,2	2

Tabla 14. Inercias

El chasis está discretizado en los mismos intervalos que para el cálculo de los esfuerzos. Las columnas no tienen dificultad de interpretación salvo la última. Ésta es una columna auxiliar para el cálculo del momento resistente, ya que para el cálculo de éste se necesita la mayor “Y” (distancia de la fibra de referencia al extremo más alejado). Porque a la hora de calcular el coeficiente de seguridad del bastidor se debe tener en cuenta que “Y” se ha utilizado ya que el acero de los refuerzos puede ser de distinta resistencia al del bastidor.

Los cálculos necesarios para la realización de la tabla ya se han mostrado con anterioridad.



*Figura 31. Tensiones*

En la Figura 31 se muestra cómo quedará la hoja de inercias. En los datos referentes al chasis hay dos columnas a diferencia de las demás tablas, debido a que tiene dos perfiles de distinta altura. Los refuerzos adicionales aparecerán bajo la tabla Refuerzo Grúa, cuando los haya.

Nota: Los valores de inercias y el momento resistente se encuentran multiplicados por dos por estar compuesto el bastidor por dos largueros.

	A	B	C	D	E	F
1	<b>CHASIS</b>		<b>cuello</b>	<b>cama</b>		
2	Altura de chasis cuello, cama	<b>h (mm)</b>	240	400		
3	Anchura de chasis cuello, cama	<b>b (mm)</b>	120	160		
4	Espesor de chasis cuello, cama	<b>e (mm)</b>	6	8		
5	Área del chasis cuello, cama	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	2808	5632		
6	Inercia del chasis cuello, cama	<b>2*I (mm<sup>4</sup>)</b>	51285312	272214699		
7						
8	<b>SOBRECHASIS</b>					
9	Altura de sobechasis	<b>h' (mm)</b>	80			
10	Anchura de sobrechasis	<b>b' (mm)</b>	45			
11	Espesor de sobrechasis	<b>e' (mm)</b>	6			
12	Área del sobrechasis	<b>A' (mm<sup>2</sup>)</b>	1100			
13	Inercia del sobrechasis	<b>2*I' (mm<sup>4</sup>)</b>	2120000			
14						
15						
16						
17	<b>SOBRECHASIS GRUA</b>					
18	Altura de sobechasis de la grua	<b>h' (mm)</b>	300			
19	Anchura de sobrechasis de la grua	<b>b' (mm)</b>	300			
20	Espesor de sobrechasis	<b>e' (mm)</b>	11			
21	Area del sobrechasis	<b>A' (mm<sup>2</sup>)</b>	14900			
22	Inercia del sobrechasis	<b>2*I' (mm<sup>4</sup>)</b>	503400000			
23						
24						
25						
26						

Inercias

Figura 32. Inercias góndola

### 3.3.8.5.- Estabilidad en orden de marcha.

Para el cálculo de la estabilidad longitudinal y transversal en orden de marcha hay que entrar en la hoja ESTABILIDAD, en esta ocasión no toda la tabla se mostrará en blanco. Hay valores que se toman de otras hojas y que son necesarios para distintos cálculos por lo que estos valores no deben borrarse para no alterar otros resultados. Para el cálculo de la estabilidad se debe ejecutar el botón ESTABILIDAD. Los datos que se piden en esta ocasión son las alturas de cada una de las cargas respecto al suelo y las vías tanto delantera como trasera en el orden que a continuación se muestra:

Distancia del centro de gravedad de la carga 1 al suelo	(1450 mm)
Distancia del centro de gravedad de la carga 2 al suelo	(1000 mm)
Distancia del centro de gravedad de la carga 3 al suelo	(0 mm)
Distancia del centro de gravedad del autobastidor al suelo (dato del fabricante)	(700 mm)
Distancia de c.d.g. de los gatos al suelo	(600 mm)

---

Distancia del centro de gravedad del sobrechasis al suelo: el centro de gravedad del sobrechasis se toma como si estuviese en su centro geométrico  
(1100 mm)

Distancia del centro de gravedad de la grúa al suelo: este se considera que está en su centro geométrico  
(1300 mm)

Distancia del c.d.g. del peso puntual opcional  $\dot{\mathbf{i}}$  al suelo: (0 mm)

Vía delantera (3000 mm)

Vía trasera (3500 mm)

Las cargas opcionales son cero, ya que no hay ninguna.

Los resultados y los datos solicitados para esta hoja se muestran en la Figura 33. Se hace notar que en caso de que se cumplan los criterios de estabilidad, aparecerán en la parte inferior de la tabla en la celda correspondiente "OK!!", en caso contrario aparecerá "INESTABLE".



	A	B	C	D
1	ESTABILIDAD LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL EN ORDEN DE MARCHA			
2				
3	DATOS			
4	Peso de la carga 1ª (kg)	100		
5	Peso de la carga 2ª (kg)	14340		
6	Peso de la carga 3ª (kg)	0		
7	Peso del autobastidor (kg)	8500		
8	Peso de los gatos (kg)	600		
9	Peso del sobrecasis (kg)	2360		
10	Peso de la grúa (kg)	4500		
11	Peso opcional 1º (kg)	0		
12	Peso opcional 2º (kg)	0		
13	Peso opcional 3º(kg)	0		
14	Dist. de c.d.g. de carga 1ª al suelo (mm)	1450		
15	Dist. de c.d.g. de carga 2ª al suelo (mm)	1000		
16	Dist. de c.d.g. de carga 3ª al suelo (mm)	0		
17	Dist. de c.d.g. de autobastidor al suelo (mm)	700		
18	Dist. de c.d.g. de gatos al suelo (mm)	600		
19	Dist. de c.d.g. de sobrecasis al suelo (mm)	800		
20	Dist. de c.d.g. de grúa al suelo (mm)	1300		
21	Dist. de c.d.g. de P. opcional 1º al suelo (mm)	0		
22	Dist. de c.d.g. de P. opcional 2º al suelo (mm)	0		
23	Dist. de c.d.g. de P. opcional 3º al suelo (mm)	0		
24	Dist. de c.d.g. de carga 1ª a eje tandem (mm)	8550		
25	Dist. de c.d.g. de carga 2ª a eje tandem (mm)	2950		
26	Dist. de c.d.g. de carga 3ª a eje tandem (mm)	0		
27	Dist. de c.d.g. de autobastidor a eje tandem (mm)	8700		
28	Dist. de c.d.g. de gatos a eje tandem (mm)	7700		
29	Dist. de c.d.g. de sobrecasis a eje tandem (mm)	2800		
30	Dist. de c.d.g. de grúa a eje tandem (mm)	-1800		
31	Dist. de c.d.g. de P.opcional 1º a eje tandem (mm)	7700		
32	Dist. de c.d.g. de P.opcional 2º a eje tandem (mm)	7191		
33	Dist. de c.d.g. de P.opcional 3º a eje tandem (mm)	8700		
34	Distancia entre apoyos de grua (mm)	3000		
35	Via trasera, si lleva gatos, dist. entre apoyos (mm)	3500		
36				
37				
38				
39				
40	RESULTADOS			
41	Via media	V (mm)	3250	
42	Distancia del c.d.g. Del conjunto a eje tandem (mm)	S (mm)	3955,1316	
43	Altura de c.d.g.del conjunto al suelo (mm)	h (mm)	787,11724	
44	S/0,33 (mm)=	11985,247		
45	1,66*V (mm)=	5395		
46	E. Longitudinal ( $h < S/0,33$ )	OK!!		
47	E. Transversal ( $h < 1,66*V$ )	OK!!		
48				
49				
50				

Figura 33. Estabilidad en orden de marcha

### 3.3.8.6.- Distribución de momentos y estabilidad con la grúa accionada.

Si el vehículo lleva grúa habrá que pasar a la hoja de cálculo en la que se resuelve dicho caso. Se volverá a hacer un nuevo reparto de pesos además de una nueva distribución de momentos. Serán necesarios nuevos datos referentes a la grúa:

Datos de la grúa:

Máximo momento de elevación de la grúa (kg*mm)	(20000kg*mm)
Alcance estándar del brazo de la grúa (mm)	(17000 mm)
Peso de la carga en punta del brazo de la grúa cuando ésta está extendida el alcance máximo (kg)	(1000 kg)
Distancia entre apoyos estabilizadores transversales en la zona de la grúa (mm)	(3500 mm)
Vía delantera (mm) (Gatos estabilizadores delanteros o en su defecto cero por ser el king-pin el apoyo). (3000 mm)	

El programa calculará un nuevo reparto de pesos igual que en orden de marcha, con la diferencia de que aquí se calcula con la grúa actuando totalmente extendida hacia la parte delantera del vehículo y cargando el peso máximo (peso en punta), por ser ésta la situación más desfavorable.

Además los ejes traseros no están apoyados en el suelo sino que es el apoyo transversal estabilizador de la grúa quien hace esta función. Si se tienen gatos estabilizadores delanteros serán estos quienes hagan de apoyo en la parte anterior del semirremolque, en el caso de que no existan será el king-pin (estando sobre la cabeza tractora) quien sustente la góndola.

Tras la estabilidad de la grúa se obtiene el máximo momento flector que actúa sobre el bastidor cuando la grúa trabaja. Con dicho valor y el momento resistente del chasis, en ese punto, se calcula el coeficiente de seguridad del semirremolque. Éste debe ser mayor que el valor prefijado por el usuario (en este caso, 2:1) para que la situación sea admisible. En caso contrario, habría que aumentar el momento resistente del bastidor o montar una grúa más pequeña.

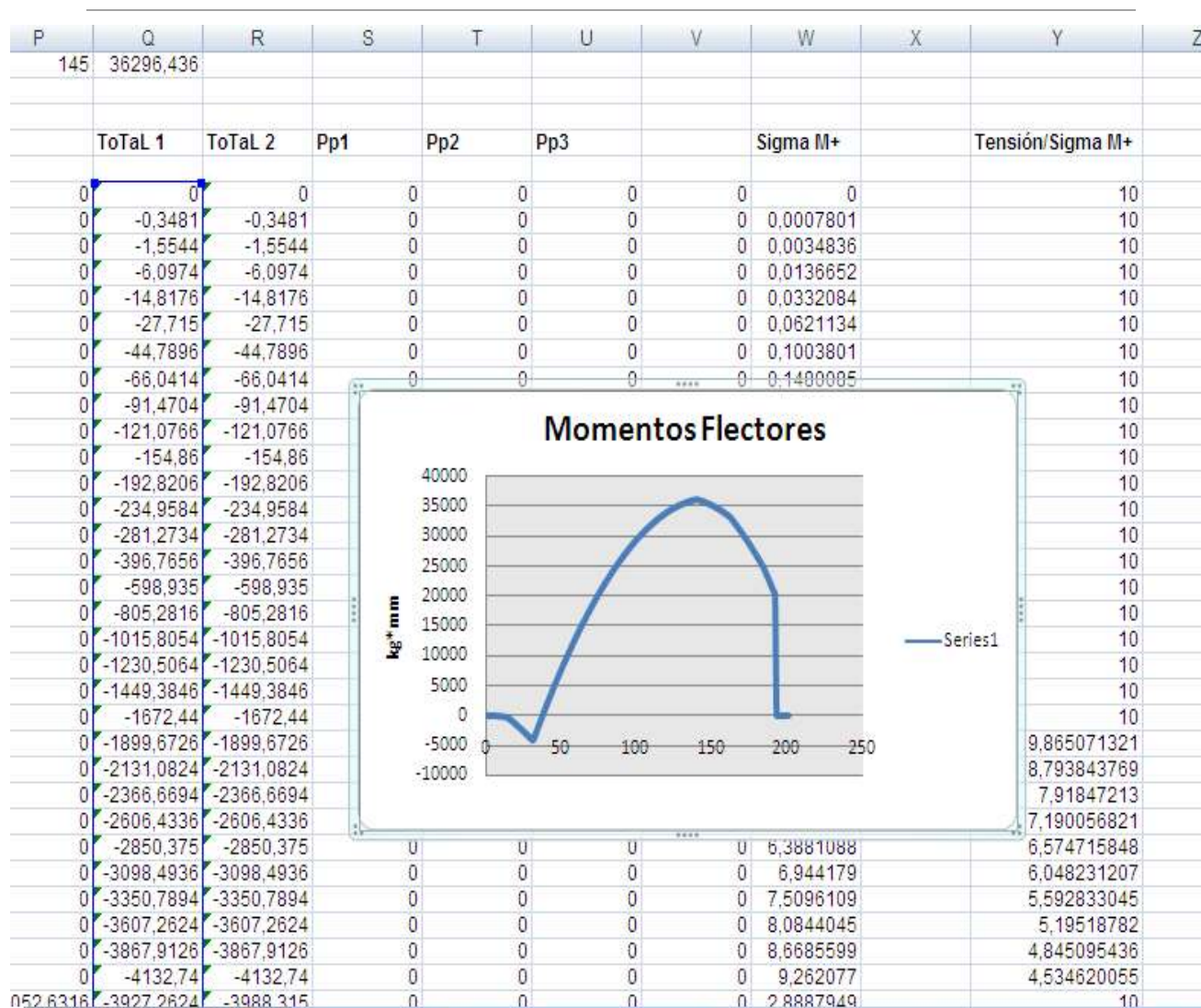


Figura 34 Tensiones

En la Figura 34 se observan columnas que no se han visto antes ni en las hojas de esfuerzos ni en la propia hoja de grúa del tractocamión. También es poco usual que aparezcan dos columnas de momentos totales pero esto se verá cuando se estudie el caso de grúa intermedia. La columna "W" de la Figura 34 muestra la tensión máxima en cada punto del bastidor que puede quedar por debajo de la fibra neutra o por encima.

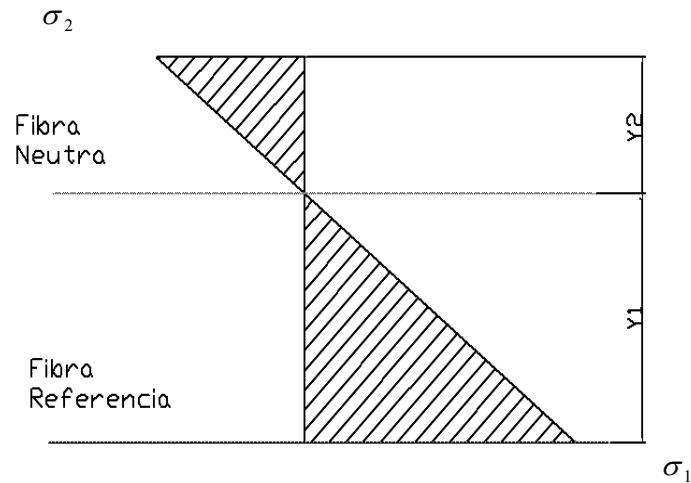


Figura 35. Tensiones

En la Figura 35 la tensión máxima está por debajo de la fibra neutra por lo que la tensión admisible que se debe usar es la del bastidor, normalmente 42 kg/mm<sup>2</sup>. Si la máxima estuviese por arriba la tensión admisible a utilizar sería la del refuerzo, que es introducida por el usuario.

$$\text{Sigma + : } \sigma = \frac{M(x)}{W(x_{\text{máx}})}$$

Una vez explicadas las particularidades del semirremolque con respecto al tractocamión se pasará a mostrar los diagramas y las tablas de los momentos al igual que se hizo en la cabeza tractora. Se volverá a realizar el reparto de pesos sobre los apoyos, pero esta vez no se verá en una hoja aparte si no que se podrá observar en la parte inferior izquierda de la hoja.

59						
60	<b>Reparto de pesos</b>					
61		<b>Apoyo 1º</b>	<b>Eje 1</b>	<b>Eje 2</b>	<b>Eje 3</b>	<b>Total</b>
62	Autobastidor	1933	2356	2356	2356	9000
63	Grua +	1778	741	741	741	4000
64	Grua -		0	0	0	0
65	Sobrechasis	944	472	472	472	2360
66	TARA	4655	3568	3568	3568	15360
67	Carga1	7574	4689	4689	4689	21640
68	Carga 2	0	0	0	0	0
69	Carga 3	0	0	0	0	0
70	Peso p. 1	0	0	0	0	0
71	Peso p. 2	0	0	0	0	0
72	Peso p. 3	0	0	0	0	0
73	ToTaL	12229	8257	8257	8257	37000
74						

Tabla 15. Reparto de pesos

En la Tabla 15 se observa como no se sobrepasa la MMA de los ejes, y como en la parte delantera apoya sobre los gatos estabilizadores de la grúa no se tiene ningún problema.

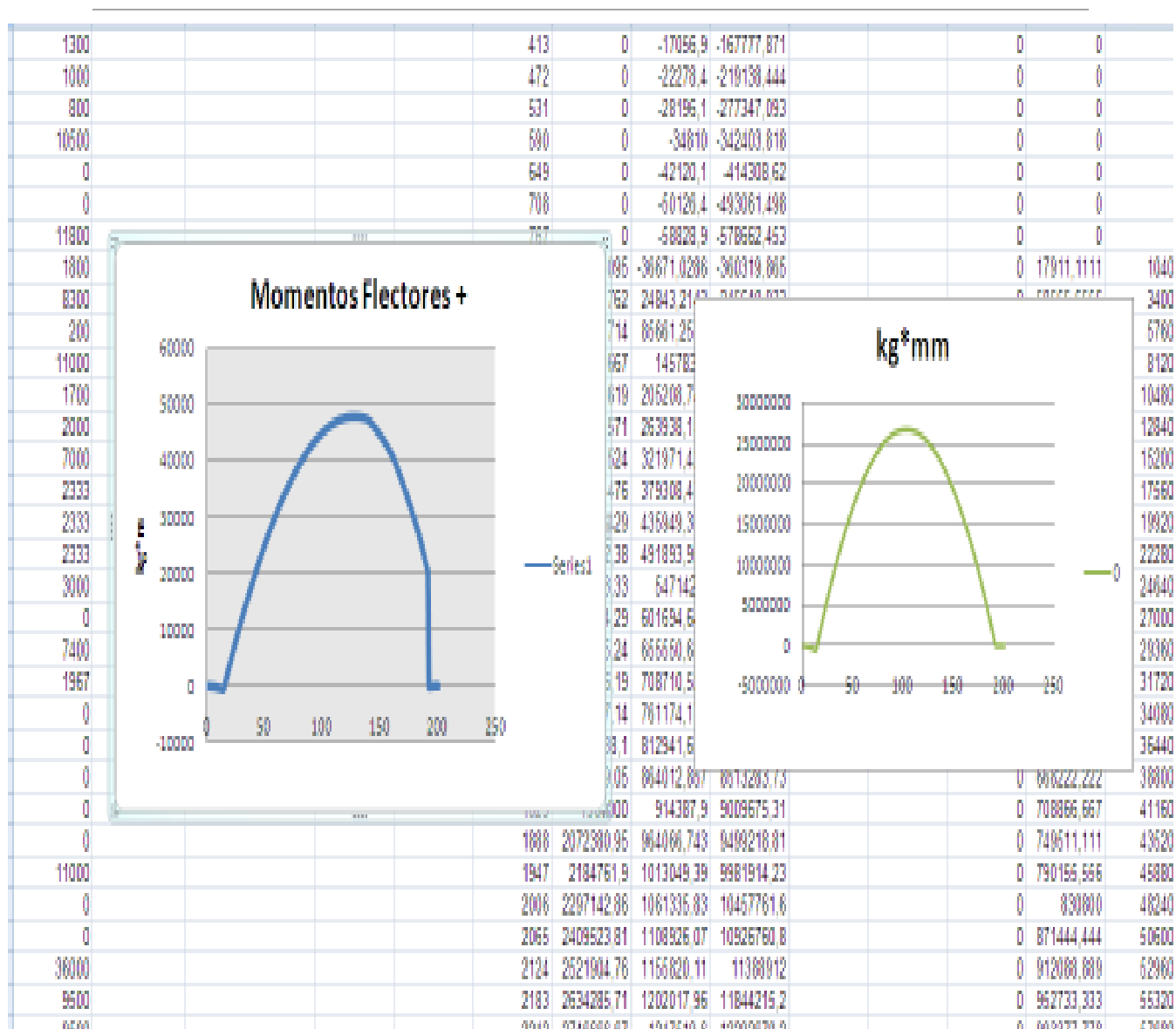


Figura 36. Gráficos de momentos

Como en la hoja de esfuerzos, también se disponen de dos gráficos, uno para los momentos totales y otro para comprobar los momentos que cada carga introduce sobre el bastidor.

De la columna de coeficientes de seguridad se hace otro gráfico, pero este en una hoja aparte (Coef. Seg.), en el cual se ven tramos constantes con valor diez, esto se ha hecho cuando el coeficiente de seguridad es superior al valor indicado. Debido a que se obtendrían valores muy grandes en las zonas donde los esfuerzos son muy pequeños y no se podría apreciar con claridad las zonas donde el coeficiente es relativamente pequeño respecto de esos valores. Se puede ver en el Gráfico 20.

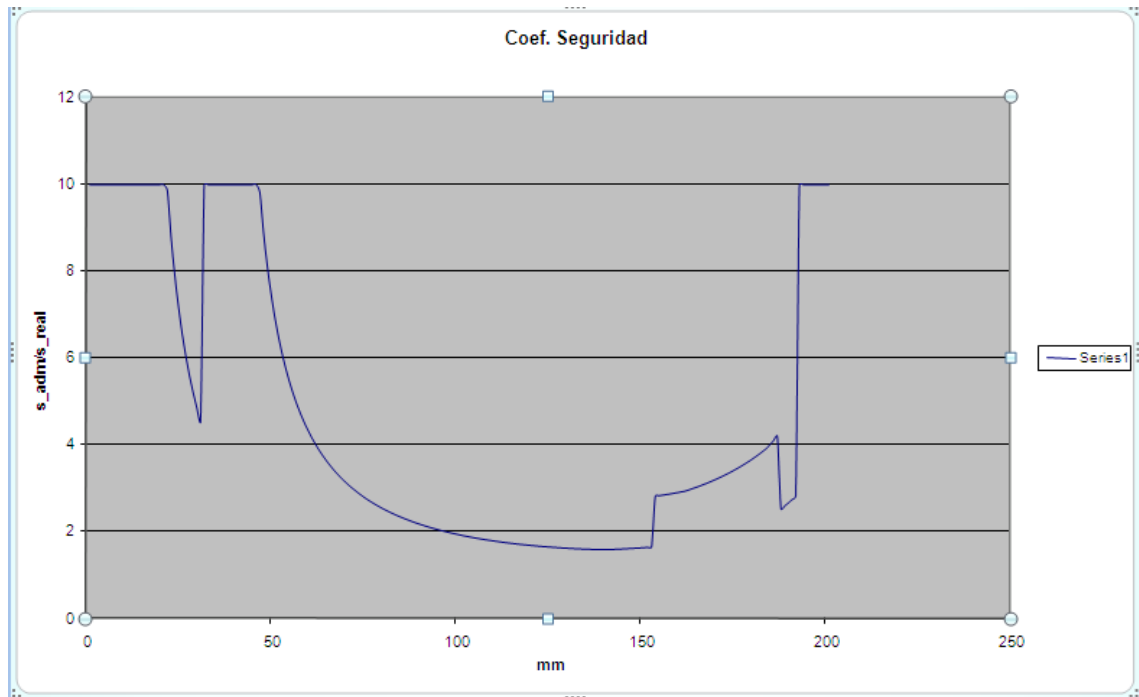


Gráfico 20. Coef. seguridad

#### *Estabilidad longitudinal:*

Para el cálculo de la estabilidad transversal y longitudinal de la grúa el valor de peso del vehículo que se usa es la TARA, por ser ésta la situación más desfavorable. Ya que es la que menos masa aporta para compensar el momento de elevación de la grúa. Y se debe cumplir que  $1,15 \cdot \text{Mom.tara} > \text{Mom.peso.punta}$ , por defecto o el coeficiente de seguridad que el usuario considere oportuno.

En esta situación a la carga se le ha restado el peso en punta de la grúa, ya que en la situación más desfavorable la grúa estaría cargada con el peso en punta y si no se restase el valor del peso en punta a la carga el vehículo superaría su MMA. Debido a que una grúa autocarga está destinada únicamente a la carga y descarga de mercancías sobre el propio vehículo que la porta.

#### *Estabilidad Transversal:*

Para comprobar la estabilidad transversal se supone la grúa trabajando en posición perpendicular al eje que une el ancho máximo delantero y el trasero (ver Figura 37). Si en esta situación el momento generado por la tara del vehículo es mayor que el momento de elevación de la grúa la situación es estable.

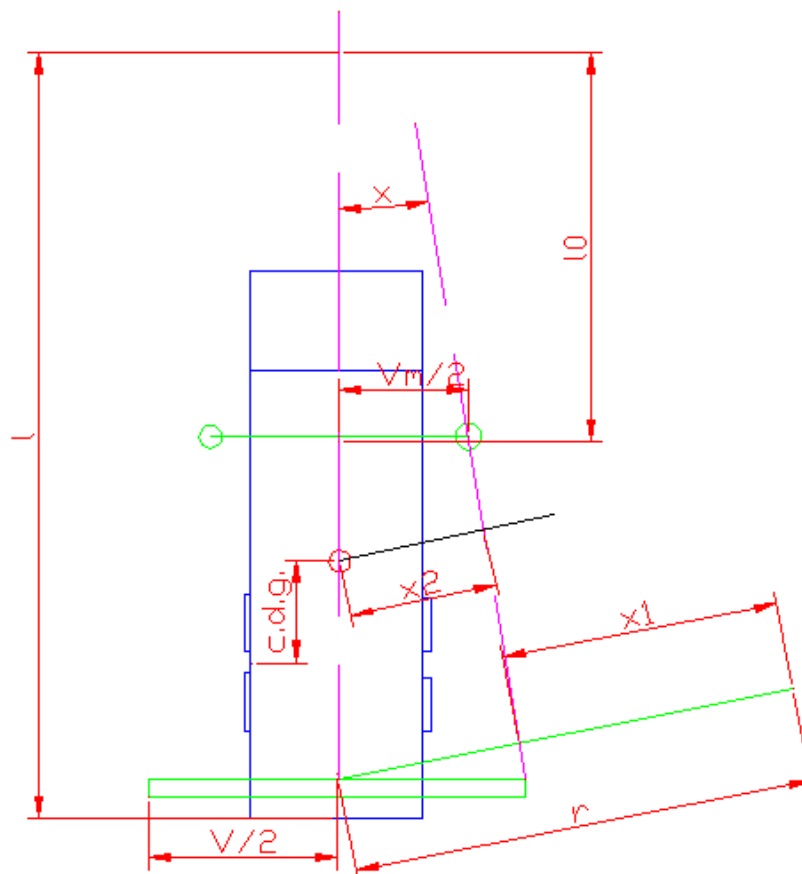


Figura 37. Grúa en accionamiento

Donde:

$V$  (mm)  $\equiv$  Distancia entre apoyos transversales delanteros.

$R$  (mm)  $\equiv$  Alcance máximo de la grúa.

c.d.g.(mm)  $\equiv$  Distancia del centro de gravedad de la TARA del vehículo al eje 2º.

$V_m$  (mm)  $\equiv$  Anchura en apoyos traseros (Vía trasera o anchura de gatos, según corresponda)

De la figura 12 se deducen los siguientes cálculos:

$$\alpha = \arctg [(V/2 - V_m/2) / (p - y)]$$

$$l = V/2 / \tan \alpha$$

$$l_0 = l - (p - y)$$

$$x_1 = r - l * \sin(\alpha)$$

$$x_2 = (c.d.g. + l_0) * \sin(\alpha)$$

De estos resultados y los datos del fabricante de la grúa se deduce que para que haya estabilidad transversal debe cumplirse:

$$TARA * x_2 > P_{punta} * x_1 + P_{GRUA} * (c.d.g. (grúa) - l * \sin(\alpha))$$



Donde:

Ppunta  $\equiv$  Peso en punta de la grúa

Mg  $\equiv$  Máximo momento de elevación de la grúa

c.d.g (grúa) = (Mg – Ppunta \* r) / PGRUA

### 3.3.8.7.- Resultados.

El último paso antes de finalizar la ejecución de la herramienta es pasar a la hoja de resultados donde se podrá comprobar el coeficiente de seguridad con el que trabaja el vehículo tanto en orden de marcha como actuando la grúa. En el semirremolque no se verificará la seguridad en la conducción ya que no está recogido por norma.

	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>COMPROBACION DEL BASTIDOR GRÚA TRABAJANDO</b>						
2							
3	Momento flector máximo	M.max (kg*mm)	36296436				
4	Momento resistente del bastidor	2*Wxx (mm3)	1359481				
5	Limite elastico del bastidor	se (kg/mm2)	30				
6	Coeficiente de seguridad	K	1,12				
7							
8							
9							
10							
11	<b>COMPROBACION DEL BASTIDOR GRÚA SIN TRABAJAR</b>						
12							
13	Momento flector máximo	M.max (kg*mm)	11131329				
14	Momento resistente del bastidor	2*Wxx (mm3)	1359481				
15	Limite elastico del bastidor	se (kg/mm2)	30				
16	Coeficiente de seguridad	K	3,66				
17							
18							

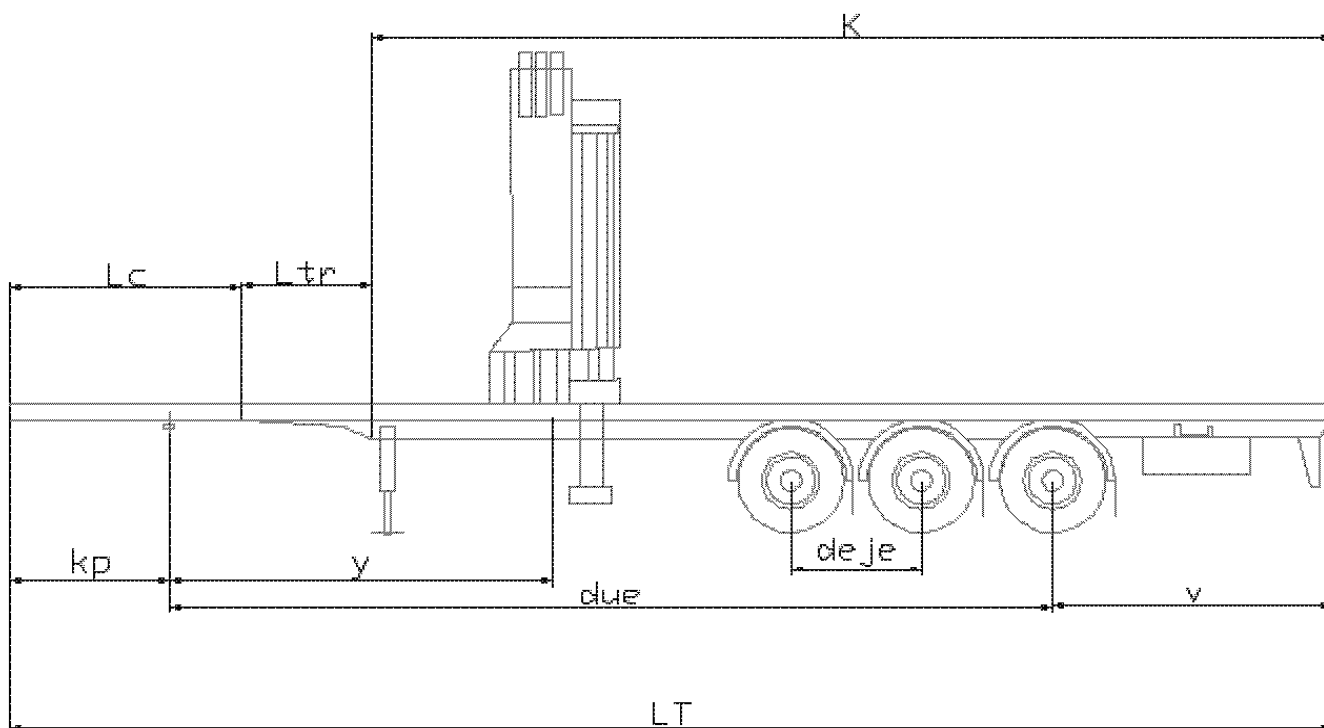
Resultados

Figura38. Resultados Góndola

En esta hoja no se muestra el coeficiente de seguridad mínimo con el que se trabaja, sino que se muestra el coeficiente de seguridad del momento flector máximo, que como ya se ha dicho no tiene que coincidir con el menor coeficiente de seguridad.

### 3.3.9- Plataforma. (Grúa intermedia)

La configuración genérica de este vehículo sería la siguiente.



*Figura 39. Plataforma grúa intermedia*

#### 3.3.9.1- Datos.

Al igual que con el tractocamión se van a mostrar distintas hojas Excel donde se podrá ver como se ejecuta el programa, desde la toma de datos en la primera hoja hasta las comprobaciones en la última. En este caso no se atenderá tanto al funcionamiento de programa ya que se vio anteriormente con el tractocamión y si se prestará especial atención a las diferencias que presenta el semirremolque respecto al tractocamión.

	A	B	C	D	E	F
1	Datos				1	
2	Distancia de kp a último eje	due (mm)	10200	L1	7600	
3	Distancia entre ejes	deje (mm)	1300	Bt	8900	
4	Voladizo posterior	v (mm)	1000	d1	1300	
5	Voladizo anterior	kp (mm)	800	d2	1300	
6	Distancia de kp a grua	y (mm)	4000	deje2 (mm)	1300	
7	Distancia de kp a gatos	Dgt (mm)	0			
8	Distancia de kp al inicio de sobrechasis	sb (mm)	0			
9	Longitud ToTaL	LT (mm)	12000			
10	Longitud cuello	Lc (mm)	2000			
11	Longitud cama	K (mm)	8500			Datos
12	Longitud del tramo de transición	Ltr (mm)	1500			
13						
14	Peso sobre el kp	Pkp (kg)	2000			
15	Peso sobre centro de ejes	Ptd (kg)	8000			
16	Peso sobre eje 1º	Peje1 (kg)	2667	q1 (kg/m)	1641	
17	Peso sobre eje 2º	Peje2 (kg)	2667	q2 (kg/m)	1641	
18	Peso sobre eje 3º	Peje3 (kg)	2667	q3 (kg/m)	0	
19	Peso grua	Pgr (kg)	3000	dc1 (mm)	2800	
20	Peso gatos	Pg (kg)	0	dc2 (mm)	7500	
21	Sobrechasis	Q (Kg/m)	200	dc3 (mm)	0	
22	Masa Máxima autorizada eje 1º	MMA1 (kg)	9500			
23	Masa Máxima autorizada eje 2º	MMA2 (kg)	9500			
24	Masa máxima autorizada eje 3º	MMA3 (kg)	9500			
25	Masa máxima autorizada kp	MMAkp (kg)	11000			
26	Masa máxima autorizada semirremolqu	MMA (kg)	32000			
27						
28	Peso de la carga	Pcarga (kg)	16900			
29						
30	Carga opcional 1	P1 (kg)	0			
31	Carga opcional 2	P2 (kg)	0			
32	Carga opcional 3	P3 (kg)	0			
33	Distancia de carga opc. 1	D1 (mm)	0			
34	Distancia de carga opc. 2	D2 (mm)	0			

Datos   Reparto de Pesos   Esfuerzos   Inercias   Estabilidad   Grua   Resultados   Gráfico1

Listo

Figura 40. Grúa intermedia, datos

En este caso no se va a proceder a introducir los datos, sino que nos valen los utilizados por última vez, debido a que al abrirse el programa lo hace con los últimos datos introducidos. Si se quisiera introducir otros nuevos solo bastaría con modificar el valor sobre la celda o en su defecto el botón "Datos" con lo que se borraría todo lo anterior y se ejecutaría el programa de nuevo.

Datos geométricos:

Distancia entre king-pin y último eje *due* (mm)

(10200 mm)

Distancia entre ejes <i>deje</i> (mm)	(1300 mm)
Distancia de último eje al final del semirremolque <i>v</i> (mm)	(1000 mm)
Distancia del inicio del semirremolque al King-pin (mm)	(800 mm)
Distancia de king-pin a grúa <i>y</i> (mm)	(4000 mm)
Distancia de c.d.g de gatos estabilizadores a <i>kp</i> (mm)	(0 mm)
Distancia del inicio del semirremolque a sobrechasis <i>sb</i> (mm)	(0 mm)
Longitud total <i>LT</i> (mm)	(12000 mm)
Longitud del cuello del semirremolque <i>Lc</i> (mm)	(2000 mm)
Longitud de la cama del semirremolque <i>K</i> (mm)	(8500 mm)
Distancia desde el king-pin a la carga puntual <i>i</i> (mm)	(0 mm)
Distancia desde el principio del semirremolque al final de la carga 1ª <i>dc1</i> (mm)	(100 mm)
Distancia desde el final del semirremolque al inicio de la carga 2ª <i>dc2</i> (mm)	(9500 mm)

Las distancias *dc1*, *dc2* y *dc3* son variables según el tipo de semirremolque que se tenga, en este caso *dc3=0*, ya que sólo hay dos zonas de carga diferenciadas, en el caso de tenerse una góndola con grúa intermedia si se tendrían tres zonas de carga diferenciadas.

#### Datos de pesos:

Semirremolque sobre king-pin (kg): este es un dato del fabricante del vehículo que indica el peso de éste sin carga ni ningún tipo de equipamiento que recae sobre king-pin.  
(2000 kg)

Semirremolque en ejes traseros (kg): ídem que el anterior sobre los ejes traseros.  
(8000 kg)

Masa de la grúa (kg): se considera una carga puntual aplicada en el centro geométrico de la grúa autocarga.  
(3000 kg)

Masa del sobrechasis (kg): Se considera una carga uniformemente repartida en la longitud del sobrechasis  
(200 kg/m)

Masa de los gatos estabilizadores (kg): peso de los gatos estabilizadores de la grúa. Se consideran como una carga puntual aplicada en el centro geométrico de estos. En caso de no haber gatos se debe introducir el valor cero  
(0 kg)

Peso de la carga puntual opcional *i* (kg):  
(0 kg)

MMA1 (kg)  
(9500 kg)

MMA2 (kg)	(9500 kg)
MMA3 (kg)	(9500 kg)
MMAkp (kg)	(11000 kg)
MMA (kg)	(32000 kg)
q1 (kg/m)	(1641 kg/m)
q2 (kg/m)	(1641 kg/m)

Con las cargas distribuidas  $q1$ ,  $q2$  y  $q3$  ocurre lo mismo que con las distancias  $dc1$ ,  $dc2$  y  $dc3$ , varían según el tipo de semirremolque y el lugar de la grúa en éste. En algunos casos el programa solicitará por pantalla al usuario alguna de las cargas y en otros no solicitará ninguna. En este caso al haber dos zonas de carga de distinta distancia pero de igual carga sólo se piden al usuario las distancias  $dc1$  y  $dc2$ . El programa calcula la carga como el cociente entre la carga admisible del semirremolque (una vez puestas todas sus cargas, grúa, gatos, sobrechasis...) y la suma de las distancias  $dc1$  y  $dc2$ .

En el caso de que el vehículo no lleve alguno de los equipos sobre los que se han pedido datos (gatos estabilizadores, grúa....) o su importancia no sea determinante se introducirá el valor cero.

Los datos que se aprecian en la Figura 44 y que no se piden al usuario, son combinaciones de los datos ya introducidos.

Una de las diferencias más notables de este programa con respecto al del tractocamión es que las cargas puntuales opcionales están limitadas a tres por no ser una situación usual (igual para todos los semirremolques), mientras que en el tractocamión se pueden poner cuantas se quiera.

### 3.3.9.2.- Reparto de pesos.

- Autobastidor:
  - Autobastidor kp (kg)= Pkp
  - Autobastidor 1 (kg)= Ptd/3
  - Autobastidor 2 (kg)= Ptd/3
  - Autobastidor 3 (kg)= Ptd/3
  
- Grúa:
  - P.grúa kp (kg) = Pgrua \* (Bt - y) / Bt
  - P.grúa 1 (kg) = Pgrua \* y / ( 3 \* Bt)
  - P.grúa 2 (kg) = Pgrua \* y / ( 3 \* Bt)
  - P.grúa 3 (kg) = Pgrua \* y / ( 3 \* Bt)

- Sobrechasis:
  - $P.\text{sobrechasis } kp \text{ (kg)} = Q * LT - (P.\text{sobrechasis } 1) * 3$
  - $P.\text{sobrechasis } 1 \text{ (kg)} = Q * ((LT - kp)^2 - kp^2) / (Bt * 6)$
  - $P.\text{sobrechasis } 2 \text{ (kg)} = Q * ((LT - kp)^2 - kp^2) / (Bt * 6)$
  - $P.\text{sobrechasis } 3 \text{ (kg)} = Q * ((LT - kp)^2 - kp^2) / (Bt * 6)$

La suma de las cargas estudiadas hasta ahora resulta la TARA

- Peso carga 1:
  - $P.\text{carga } 1, kp \text{ (kg)} = q1 * dc1 * (Bt + kp - dc1/2) / Bt$
  - $P.\text{carga } 1,1 \text{ (kg)} = (q1 * dc1 - (P.\text{carga } 1, kp)) / 3$
  - $P.\text{carga } 1,2 \text{ (kg)} = (q1 * dc1 - (P.\text{carga } 1, kp)) / 3$
  - $P.\text{carga } 1,3 \text{ (kg)} = (q1 * dc1 - (P.\text{carga } 1, kp)) / 3$
- Peso carga 2:
  - $P.\text{carga } 2, kp \text{ (kg)} = q2 * dc2 - (P.\text{carga } 2,1) * 3$
  - $P.\text{carga } 2,1 \text{ (kg)} = q2 * dc2 * (due + v - dc2 / 2) / Bt$
  - $P.\text{carga } 2,2 \text{ (kg)} = q2 * dc2 * (due + v - dc2 / 2) / Bt$
  - $P.\text{carga } 2,3 \text{ (kg)} = q2 * dc2 * (due + v - dc2 / 2) / Bt$
- Peso carga puntual opcional  $i$ :
  - $P.\text{carga } i \text{ } kp \text{ (kg)} = Pi * (Bt - Di) / Bt$
  - $P.\text{carga } i \text{ } 1 \text{ (kg)} = Pi * Di / (Bt * 3)$
  - $P.\text{carga } i \text{ } 2 \text{ (kg)} = Pi * Di / (Bt * 3)$
  - $P.\text{carga } i \text{ } 3 \text{ (kg)} = Pi * Di / (Bt * 3)$

Una vez introducido el último dato el programa genera automáticamente una tabla donde muestra el reparto de pesos por ejes en orden de marcha (ver Tabla 16), donde se detallan los pesos que recaen sobre cada eje. La suma de ellos da como resultado la TARA y la carga TOTAL, tal y como se detalla sobre la Tabla 16.

Debe cumplirse que las cargas totales no superan la MMA de cada uno de los ejes en orden de marcha, ni la MMA del vehículo.

En caso de necesitar modificar datos, ya sea por sobrepeso en alguno de los ejes o por error al introducir los mismos sólo hay que volver a la página de datos y modificar los mismos manualmente en función de las necesidades que haya. Para ello no hay más que entrar en la celda y modificar el valor según corresponda al caso estudiado.

No hay por qué ejecutar una nueva entrada de datos completa, aunque, evidentemente, se puede hacer si así se desea

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		king-pin	Eje 1º	Eje 2º	Eje 3º	Total		King-pinn	Ejes	ToTal
2										
3	Autobastidor	2000	2667	2667	2667	10000	Autobastido	2000	8000	10000
4										
5	Grua	1652	449	449	449	3000	Grua	1652	1348	3000
6										
7	Gatos	0	0	0	0	0	Gatos	0	0	0
8										
9	Sobrechasis	998	467	467	467	2400	Sobrechasis	998	1402	2400
10										
11	Tara	4649	3584	3584	3584	15400	Tara	4649	10751	15400
12										
13	Carga 1	4208	101	101	101	4513	Carga 1	4208	304	
14										
15	Carga 2	1969	3373	3373	3373	12087	Carga 2	1969	10118	12087
16										
17	Carga 3	0	0	0	0	0	Carga 3	0	0	0
18										
19	Peso p. 1	0	0	0	0	0	Peso p. 1	0	0	0
20										
21	Peso p. 2	0	0	0	0	0	Peso p. 2	0	0	0
22										
23	Peso p. 3	0	0	0	0	0	Peso p. 3	0	0	0
24										
25	ToTaL	10827	7058	7058	7058	32000	ToTaL	10827	21173	32000
26	MMA	11000	9500	9500	9500	39500	MMA	11000	28500	39500

Tabla 16. Reparto de pesos, plataforma

En la Tabla 16 aparecen a su vez dos tablas:

- En la primera aparece el reparto de pesos por eje y el total.
- En la segunda tenemos un reparto de pesos por apoyos, ya que la primera columna coincide con la de la primera tabla que muestra el peso de cada carga

que recae sobre el king-pin y la segunda es la suma de las columnas de los ejes. Se ha hecho de este modo porque a la hora de comprobar el semirremolque es mucho más sencillo pesar los ejes traseros en báscula conjuntamente que por separado.

### 3.3.9.3.- Distribución de momentos flectores en orden de marcha.

A continuación se muestra en la figura 41 las cargas que recaen sobre el bastidor del vehículo, así como su distribución de momentos en éste.

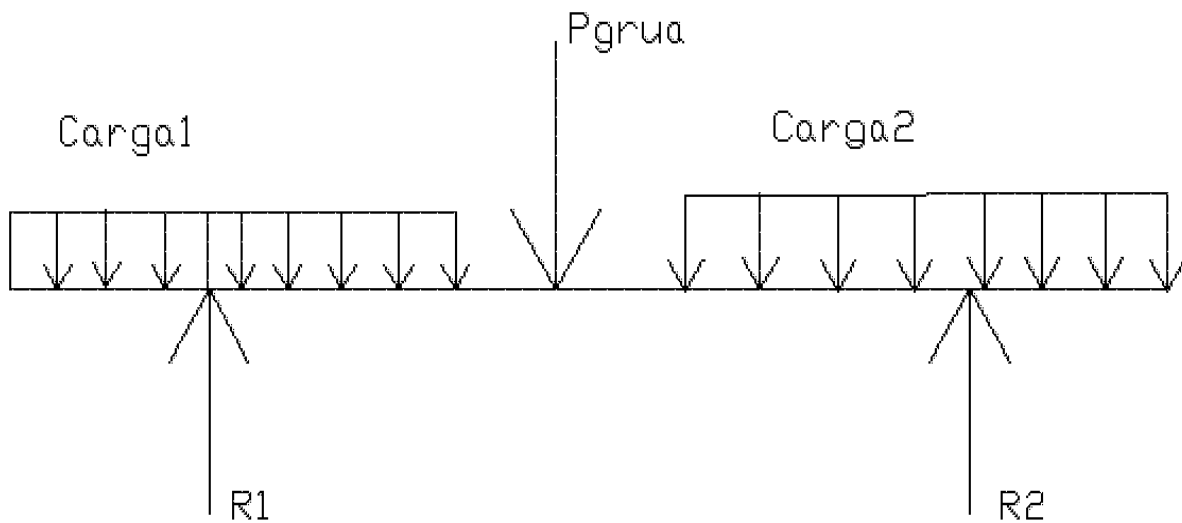


Figura 41. (Viga biapoyada)

Aplicando superposición se obtiene el diagrama de momentos flectores en orden de marcha. Se debe tener en cuenta que sólo se atiende a los flectores ya que los axiles y los cortantes son despreciables frente a éstos.

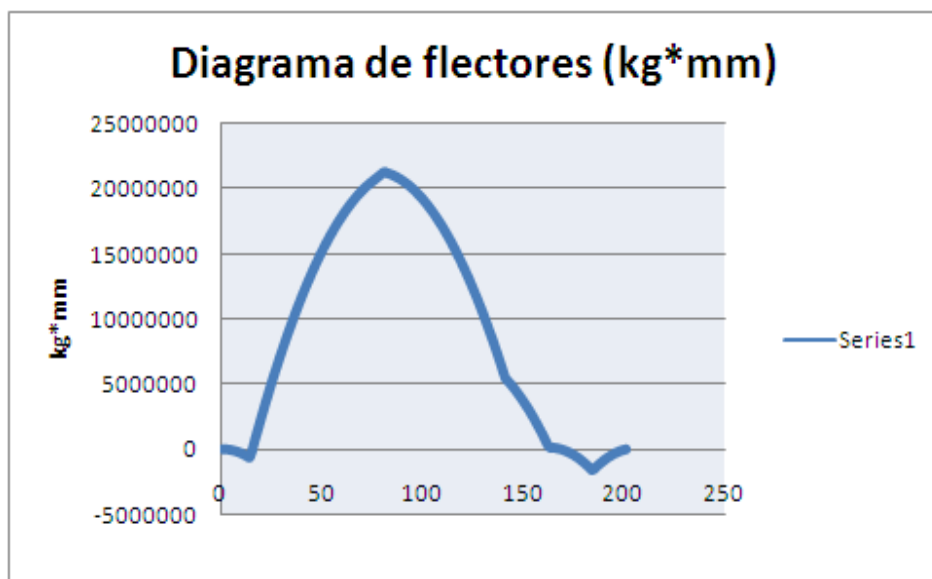
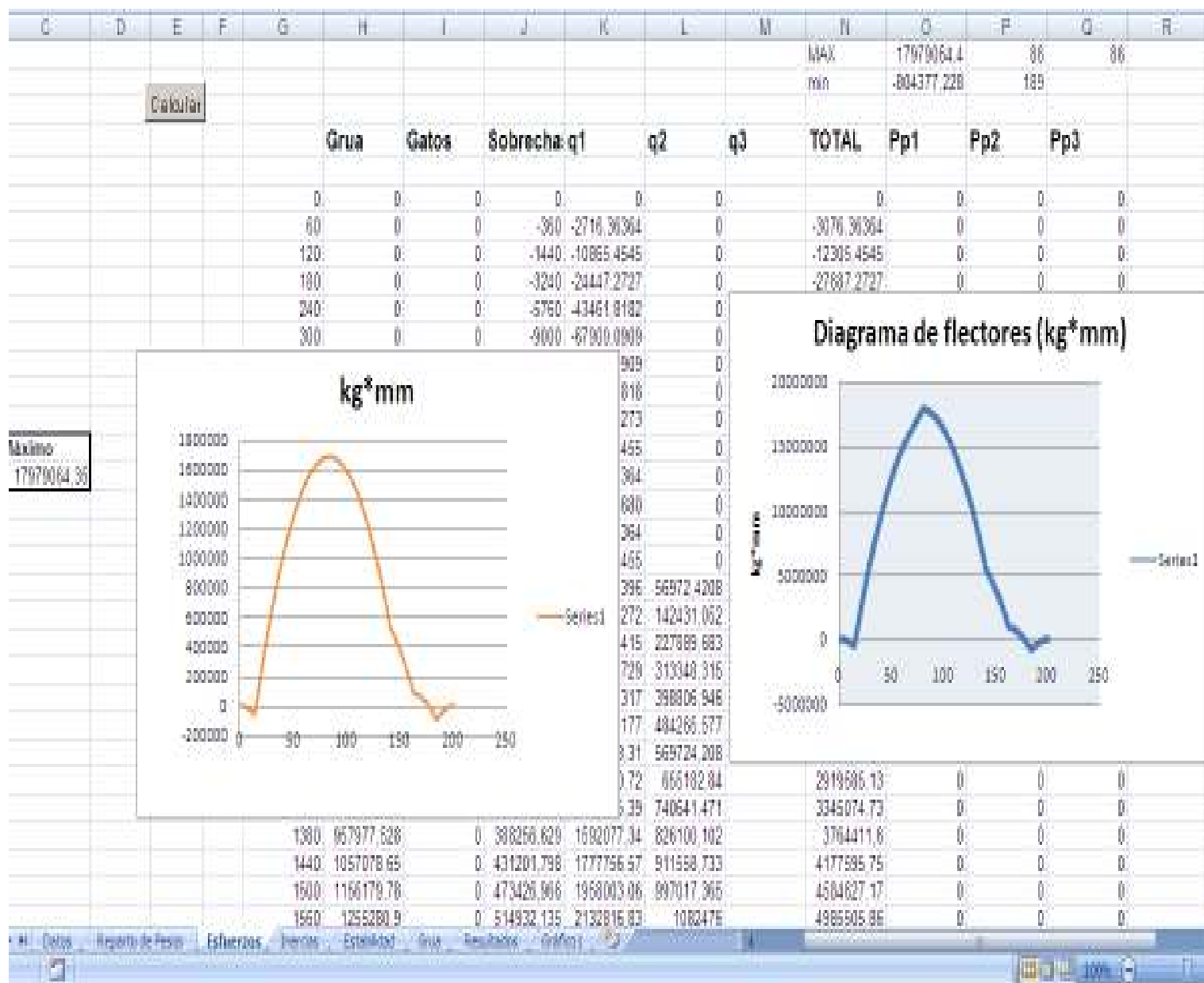


Gráfico 21. (Esfuerzos grúa intermedia)



A continuación se verán en la Figura 42 los esfuerzos sufridos tanto tabulados como graficados. También se mostrará el máximo momento flector en valor absoluto.



*Figura 42. Esfuerzos plataforma*

Al igual que en el caso de la cabeza tractora se pueden observar dos gráficos distintos, el de la izquierda es un gráfico auxiliar (correspondiente al sobrechasis como carga distribuida) para poder comprobar de forma visual los esfuerzos que cada carga por separado introduce sobre el bastidor. Para ello es necesario que el usuario elija la columna del esfuerzo a verificar ya que el gráfico aparece en la última columna que se comprobó. El gráfico de la derecha muestra el total de los esfuerzos sufridos por el semirremolque.

#### 3.3.9.4.- Cálculo de la inercia del bastidor.

Debido a que lo se va a realizar es una reforma de un vehículo que en su origen no disponía de grúa autocarga, a la hora de instalar ésta suele ser necesario reforzar el bastidor, amén de la zona de la grúa. Por esto aparece en el programa una hoja (INERCIAS) dedica a calcular el momento resistente del conjunto chasis-sobrechasis.

A continuación se mostrarán los datos introducidos para el caso que se está estudiando.

Datos del chasis cuello:

Altura del chasis (mm)	(240 mm)
Anchura del chasis (mm)	(120 mm)
Espesor del chasis (mm)	(7 mm)

Datos del chasis cama:

Altura del chasis (mm)	(400 mm)
Anchura del chasis (mm)	(180 mm)
Espesor del chasis (mm)	(8 mm)

A diferencia del chasis de la cabeza tractora, en este se tienen dos perfiles semejantes pero de distinta altura, unidos mediante un perfil de forma trapezoidal (Figura 25).

Datos del sobrechasis (en el caso que se está estudiando sólo se introduce el tipo de UPN que se haya elegido):

Altura del sobrechasis (mm)	(80 mm)
Anchura del sobrechasis (mm)	(45 mm)
Espesor del sobrechasis (mm)	(6 mm)

Datos del refuerzo de la grúa (en el caso que se está estudiando sólo se introduce el tipo de HEB que se haya elegido):

Altura del chasis (mm)	(300 mm)
Anchura del chasis (mm)	(300 mm)
Espesor del chasis (mm)	(11 mm)
Distancia al inicio del refuerzo de la grúa desde inicio de semirremolque	(3500 mm)
Longitud del refuerzo de la grúa	(2000 mm)
Número de refuerzos adicionales	(1)

Altura del refuerzo	(20 mm)
Anchura del refuerzo	(100 mm)
Distancia del c.d.g. a la fibra de referencia	(390 mm)

En la zona de refuerzo de la grúa se puede decidir si el sobrechasis del bastidor es continuo en dicha zona o no, es decir, si hay o no sobrechasis además del refuerzo de la grúa.

Una vez introducidos todos los datos el programa calculará la inercia, el momento resistente, el área, la altura y la distancia de la fibra neutra a la línea de referencia en todos los puntos del bastidor en forma de tabla, como a continuación se muestra en la Tabla 17.

	A(x)	I(x)	Y1(x)	Y2(x)	h(x)	W(x)	
0	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
60	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
120	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
180	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
240	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
300	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
360	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
420	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
480	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
540	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
600	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
660	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
720	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
780	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
840	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
900	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
960	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1020	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1080	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1140	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1200	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1260	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1320	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1380	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1440	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1500	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1560	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1620	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1680	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1740	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1800	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1860	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1920	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
1980	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1
2040	6362	154715903	232,54323	107,45677	340	665321,05	1

Tabla 17. Inercias plataforma

El chasis está discretizado en los mismos intervalos que para el cálculo de los esfuerzos. Las columnas no tienen dificultad de interpretación salvo la última. Ésta es una columna auxiliar para el cálculo del momento resistente, ya que para el cálculo de éste se necesita la mayor "Y" (distancia de la fibra de referencia al extremo más alejado). Porque a la hora de calcular el coeficiente de seguridad del bastidor se debe tener en cuenta que "Y" se ha utilizado ya que el acero de los refuerzos puede ser de distinta resistencia al del bastidor.

Los cálculos necesarios para la realización de la Tabla ya se han mostrado con anterioridad.

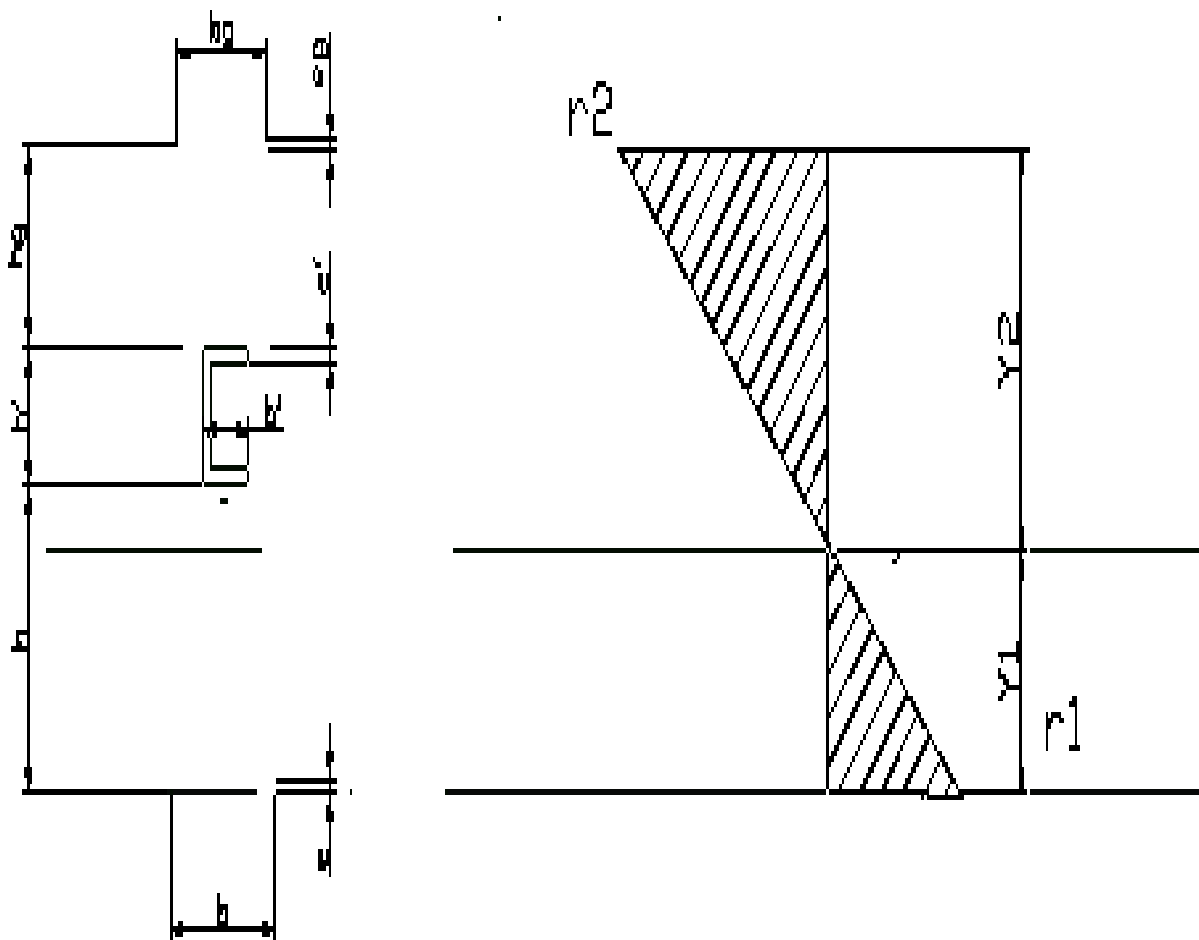


Figura 43. Tensiones

En la Figura 43 se muestra cómo quedará la hoja de inercias. En los datos referentes al chasis hay dos columnas a diferencia de las demás tablas, debido a que tiene dos perfiles de distinta altura.

Nota: Los valores de inercias y el momento resistente se encuentran multiplicados por dos por estar compuesto el bastidor por dos largueros.

	A	B	C	D	E	F
1	<b>CHASIS</b>					
2	Altura de chasis cuello, cama	h (mm)	240	400		
3	Anchura de chasis cuello, cama	b (mm)	120	180		
4	Espesor de chasis cuello, cama	e (mm)	7	8		
5	Área del chasis cuello, cama	A (mm <sup>2</sup> )	3262	5952		
6	Inercia del chasis cuello, cama	2*I (mm <sup>4</sup> )	59083518,7	296804352		
7						
8	<b>SOBRECHASIS</b>					
9	Altura de sobechasis	h' (mm)	80			
10	Anchura de sobrechasis	b' (mm)	45			
11	Espesor de sobrechasis	e' (mm)	6			
12	Área del sobrechasis	A' (mm <sup>2</sup> )	1100			
13	Inercia del sobrechasis	2*I' (mm <sup>4</sup> )	2120000			
14						
15						
16						
17	<b>SOBRECHASIS GRUA</b>					
18	Altura de sobechasis de la grua	h' (mm)	300			
19	Anchura de sobrechasis de la grua	b' (mm)	300			
20	Espesor de sobrechasis	e' (mm)	11			
21	Area del sobrechasis	A' (mm <sup>2</sup> )	14900			
22	Inercia del sobrechasis	2*I' (mm <sup>4</sup> )	503400000			
23						
24	<b>REFUERZO 1</b>					
25	Altura del refuerzo 1	h1 (mm)	20			
26	Anchura del refuerzo 1	b1 (mm)	100			
27	Dist. c.d.g. a x-x 1	d1 (mm)	390	490		
28	Area del refuerzo 1	a1 (mm <sup>2</sup> )	2000			
29	Inercia de los refuerzos1	2*I1 (mm <sup>4</sup> )	133333,333			
30						

Inercias

Datos
Reparto de Pesos
Esfuerzos
**Inercias**
Estabilidad
Grua
Resultados
Gráfico1

Listo

Figura 44. Inercias plataforma

### 3.3.9.5.- Estabilidad en orden de marcha.

Para el cálculo de la estabilidad longitudinal y transversal en orden de marcha hay que entrar en la hoja ESTABILIDAD, en esta ocasión no toda la tabla se mostrará en blanco. Hay valores que se toman de otras hojas y que son necesarios para distintos cálculos por lo que estos valores no deben borrarse para no alterar otros resultados. Para el cálculo de la estabilidad se debe ejecutar el botón ESTABILIDAD. Los datos que se piden en esta ocasión son las alturas de cada una de las cargas respecto al suelo y las vías tanto delantera como trasera en el orden que a continuación se muestra:

---

Distancia del centro de gravedad de la carga 1 al suelo	(1300 mm)
Distancia del centro de gravedad de la carga 2 al suelo	(1300 mm)
Distancia del centro de gravedad de la carga 3 al suelo	(0 mm)
Distancia del centro de gravedad del autobastidor al suelo (dato del fabricante)	(800 mm)
Distancia de c.d.g. de los gatos estabilizadores al suelo	(0 mm)
Distancia del centro de gravedad del sobrechasis al suelo: el centro de gravedad del sobrechasis se toma como si estuviese en su centro geométrico	(1140 mm)
Distancia del centro de gravedad de la grúa al suelo: este se considera que está en su centro geométrico	(1500 mm)
Distancia del c.d.g. del peso puntual opcional <b>i</b> al suelo:	(0 mm)
Vía delantera	(3500 mm)
Vía trasera	(2550 mm)

Las cargas opcionales son cero, ya que no hay ninguna.

Los resultados y los datos solicitados para esta hoja se muestran en la Figura 45. Se hace notar que en caso de que se cumplan los criterios de estabilidad, aparecerán en la parte inferior de la tabla en la celda correspondiente "OK!!", en caso contrario aparecerá "INESTABLE".



	A	B	C	D
1	ESTABILIDAD LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL EN ORDEN DE MARCHA			
2				
3	DATOS			
4	Peso de la carga 1ª (kg)	4512,6214		
5	Peso de la carga 2ª (kg)	12087,379		
6	Peso de la carga 3ª (kg)	0		
7	Peso del autobastidor (kg)	10000		
8	Peso de los gatos (kg)	0		
9	Peso del sobrechasis (kg)	2100		
10	Peso de la grúa (kg)	3000		
11	Peso opcional 1º (kg)	0		
12	Peso opcional 2º (kg)	0		
13	Peso opcional 3º(kg)	0		
14	Dist. de c.d.g. de carga 1ª al suelo (mm)	1300		
15	Dist. de c.d.g. de carga 2ª al suelo (mm)	1300		
16	Dist. de c.d.g. de carga 3ª al suelo (mm)	0		
17	Dist. de c.d.g. de autobastidor al suelo (mm)	800		
18	Dist. de c.d.g. de gatos al suelo (mm)	0		
19	Dist. de c.d.g. de sobrechasis al suelo (mm)	1140		
20	Dist. de c.d.g. de grúa al suelo (mm)	1500		
21	Dist. de c.d.g. de P. opcional 1º al suelo (mm)	0		
22	Dist. de c.d.g. de P. opcional 2º al suelo (mm)	0		
23	Dist. de c.d.g. de P. opcional 3º al suelo (mm)	0		
24	Dist. de c.d.g. de carga 1ª a eje tandem (mm)	8300		
25	Dist. de c.d.g. de carga 2ª a eje tandem (mm)	1450		
26	Dist. de c.d.g. de carga 3ª a eje tandem (mm)	0		
27	Dist. de c.d.g. de autobastidor a eje tandem (mm)	8900		
28	Dist. de c.d.g. de gatos a eje tandem (mm)	8900		
29	Dist. de c.d.g. de sobrechasis a eje tandem (mm)	2900		
30	Dist. de c.d.g. de grúa a eje tandem (mm)	4900		
31	Dist. de c.d.g. de P.opcional 1º a eje tandem (mm)	7288		
32	Dist. de c.d.g. de P.opcional 2º a eje tandem (mm)	7288		
33	Dist. de c.d.g. de P.opcional 3º a eje tandem (mm)	8900		
34	Distancia entre apoyos de grua (mm)	3500		
35	Via trasera, si lleva gatos, dist. entre apoyos (mm)	2550		
36				
38				
39				
40	RESULTADOS			
41	Via media	V (mm)	3025	
42	Distancia del c.d.g. Del conjunto a eje tandem (mm)	S (mm)	5197,8377	
43	Altura de c.d.g.del conjunto al suelo (mm)	h (mm)	966,45469	
44	S/0,33 (mm)=	15751,023		
45	1,66*V (mm)=	5021,5		
46	E. Longitudinal (h<S/0,33)	OK!!		
47	E. Transversal (h<1,66*V)	OK!!		
48				
49				

Figura 45. Estabilidad plataforma

### 3.3.9.6- Distribución de momentos flectores y cálculo de estabilidad cuando la grúa es central y está accionada.

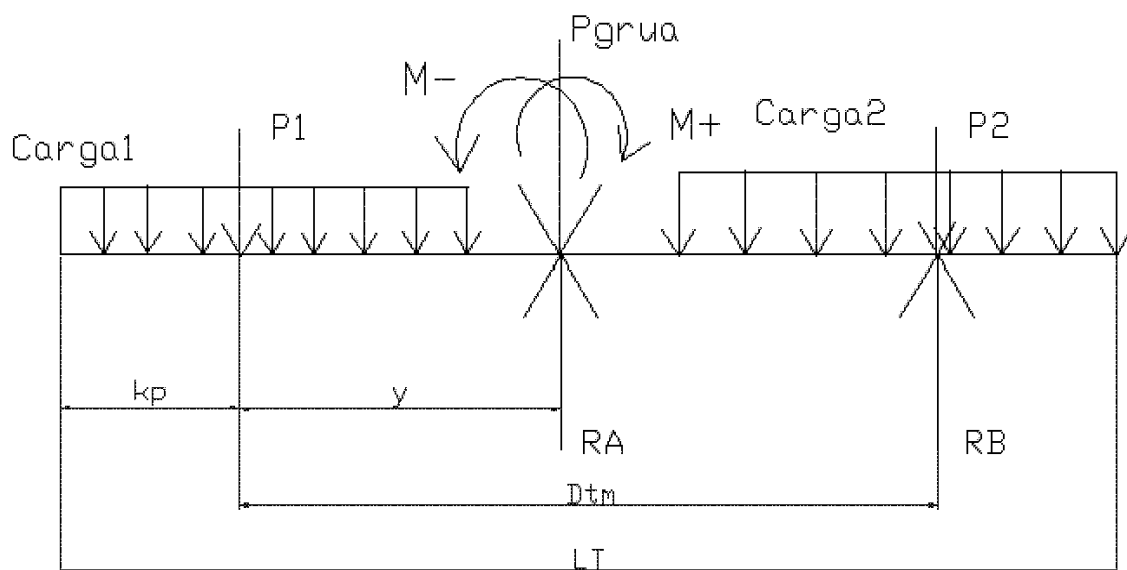


Figura 46. Viga biapoyada grúa intermedia en accionamiento

Si el vehículo lleva grúa habrá que pasar a la hoja de cálculo en la que se resuelve dicho caso. Se volverá a calcular un nuevo reparto de pesos además de una nueva distribución de momentos. Serán necesarios nuevos datos técnicos de la grúa:

Datos de la grúa:

Máximo momento de elevación de la grúa (kg*mm)	(20000kg*mm)
Alcance estándar del brazo de la grúa (mm)	(17000 mm)
Peso de la carga en punta del brazo de la grúa cuando ésta está extendida el alcance máximo (kg)	(1000 kg)
Distancia entre apoyos estabilizadores transversales en la zona de la grúa (mm)	(3500 mm)
Vía trasera (mm) (Gatos estabilizadores traseros o en su defecto ancho de los ejes traseros).	(2500 mm)

El programa calculará un nuevo reparto de pesos igual que en orden de marcha, con la diferencia de que aquí se calcula con la grúa actuando totalmente extendida hacia la parte delantera y trasera del vehículo y cargando el peso máximo (peso en punta), por ser ésta la situación más desfavorable.

Los ejes traseros están apoyados en el suelo y son quienes hacen la función de apoyo trasero. Serán los gatos estabilizadores de la grúa quienes hagan de apoyo en la parte anterior del semirremolque.



Con el máximo momento flector que actúa sobre el bastidor cuando la grúa trabaja y el momento resistente del chasis, en ese punto, se calcula el coeficiente de seguridad del semirremolque. Éste debe ser mayor que el valor prefijado por el usuario (para este caso, 2:1) para que la situación sea admisible. En caso contrario, habría que aumentar el momento resistente del bastidor o montar una grúa más pequeña. Para este caso (grúa intermedia) se deben realizar dos comprobaciones ya que la grúa actúa en dos sentidos, por lo que habrá una situación más desfavorable que otra y deben de ser admisibles ambas.

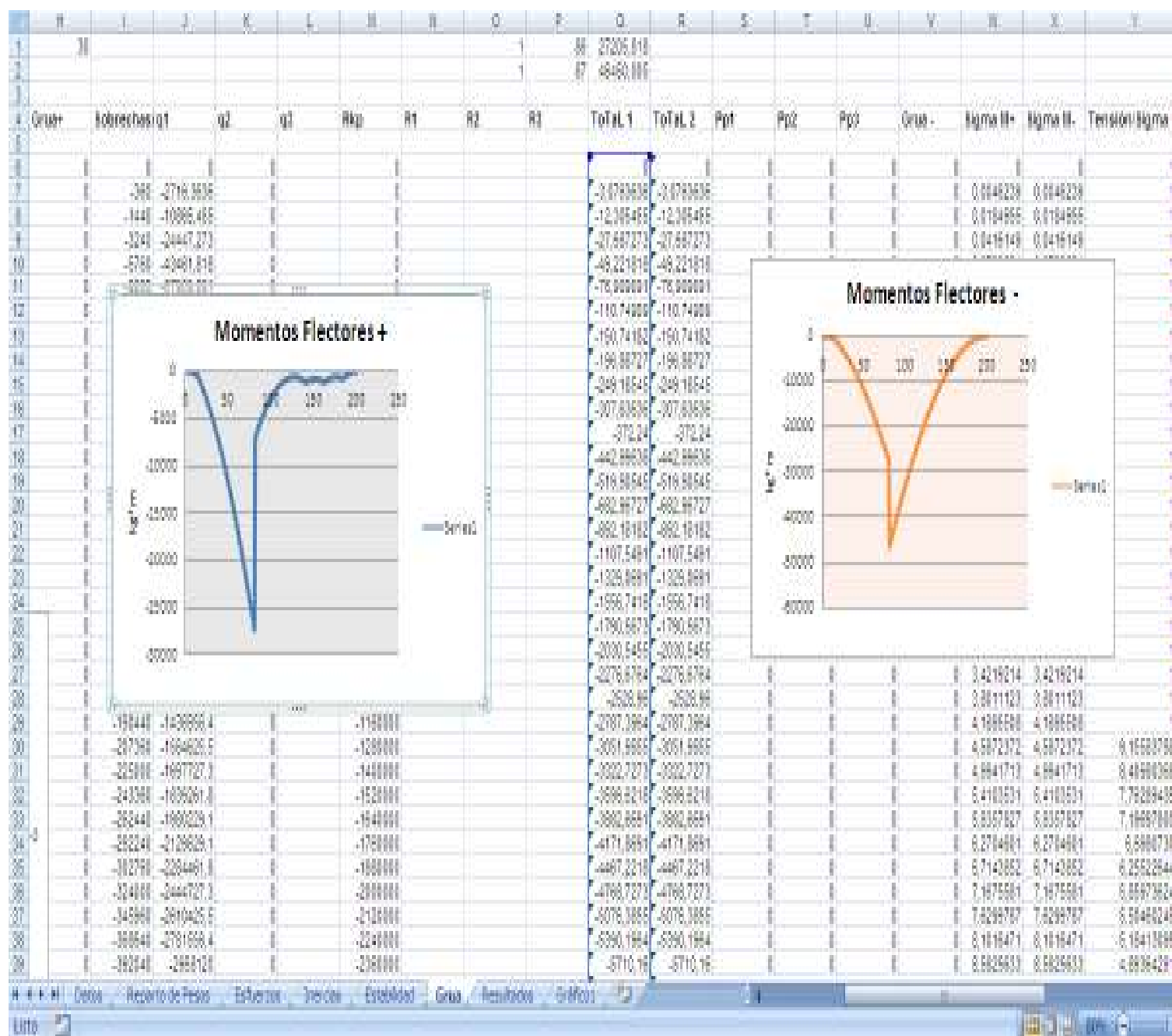


Figura 47. Grúa intermedia actuando

En la Figura 47 se observan dos columnas de momentos totales, debido esto, a que se tienen dos momentos distintos cuando la grúa es intermedia de igual modulo pero de sentido contrario. La columna *Total 1* será la suma de los momentos introducidos por cada carga además del momento de la grúa cuando ésta actúe hacia delante. La *Total 2* será igual pero el momento que se le suma es el debido a la grúa actuando hacia atrás. Como consecuencia se necesitan dos gráficos, dos columnas de tensiones y dos columna de coeficientes de seguridad. Aunque aparezcan dos columnas de coeficientes de seguridad el programa actuará sólo sobre aquella que contenga el menor coeficiente de seguridad que no tiene porque coincidir con el mayor flector que sobre el bastidor actúe, ya que se tienen distintos aceros en el conjunto chasis-sobrechasis.

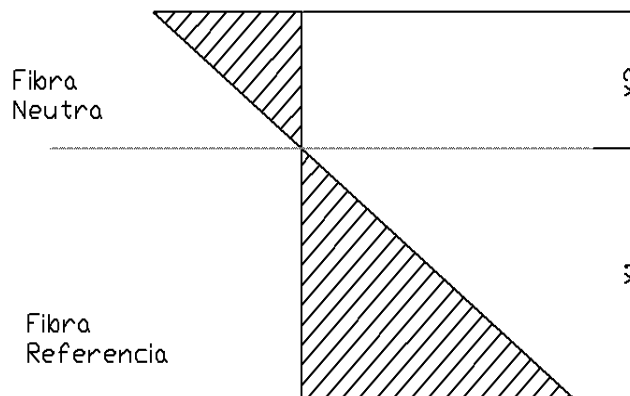


Figura 48. Tensiones

En la Figura 48 la tensión máxima está por debajo de la fibra neutra por lo que la tensión admisible que se debe usar es la del bastidor, normalmente 42 kg/mm<sup>2</sup>. Si la máxima estuviese por arriba la tensión admisible a utilizar sería la del refuerzo, que es introducida por el usuario.

$$\text{Sigma} + : \quad \sigma = \frac{M(x)}{W(x_{\text{máx}})}$$

Reparto de pesos:

Se hace un nuevo reparto de pesos con el que se podrá comprobar si sobrepasamos los ejes en el caso de no tener gatos o el peso que recae sobre cada apoyo.

59							
60	<b>Reparto de pesos</b>						
61		<b>Apoyo 1º</b>	<b>Eje 1</b>	<b>Eje 2</b>	<b>Eje 3</b>	<b>Total</b>	
62	Autobastidor	3164	1945	1945	1945	9000	
63	Grúa +	364	1212	1212	1212	4000	
64	Grúa -	7636	-1212	-1212	-1212	4000	
65	Sobrechasis	1545	272	272	272	2360	
66	<b>TARA</b>	<b>12708</b>	<b>2217</b>	<b>2217</b>	<b>2217</b>	<b>19360</b>	
67	Carga1	8993	-937	-937	-937	6183	
68	Carga 2	4075	3794	3794	3794	15457	
69	Carga 3	0	0	0	0	0	
70	Peso p. 1	0	0	0	0	0	
71	Peso p. 2	0	0	0	0	0	
72	Peso p. 3	0	0	0	0	0	
73	<b>ToTaL</b>	<b>25777</b>	<b>5074</b>	<b>5074</b>	<b>5074</b>	<b>41000</b>	
74							
75							

Tabla 18. Reparto pesos

Se observa claramente en la Tabla el poco peso que soportan los ejes, y esto es debido a que la grúa es central y le queda un gran voladizo con mucha carga anterior a los apoyos delanteros que en este caso son los gatos de la propia grúa. A causa de esto los ejes soportan muy poco peso, y puede dar el caso de vuelco. Aunque bien este vuelco es difícil ya que el semirremolque suele trabajar enganchado al tractocamión.

The screenshot displays a structural analysis software interface with the following components:

- Input Data Table (DATOS DE LA GRUA):**

Máx. momento de flect. (kgmm)	28000
Peso de la grúa (kg)	3000
Altura desde r (mm)	17000
Peso en punta (kg)	1000
Distancia entre v' (mm)	3500
Distancia entre v (mm)	2550
- Calculation Results Table:**

	Grúa	solrestasig1	q2	q3	Rq1	R1	R2	R3	Total 1	To
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	-350	-2716.3536	0	0	0	0	0	-3.0763536	-3
100	0	-1440	-10995.455	0	0	0	0	0	-12.385455	-12
150	0	-3240	-24447.273	0	0	0	0	0	-27.687273	-27
200	0	-5750	-43481.518	0	0	0	0	0	-49.221518	-49
250	0	-8000	-57300.001	0	0	0	0	0	-75.300001	-75
300	0	-12000	-67780.001	0	0	0	0	0	-110.740001	-110
350	0	-17200	-80000.001	0	0	0	0	0	-157.200001	-157
- Graphs:**
  - kg/mm:** A line graph showing shear force. It starts at 0, rises to a peak of approximately 280,000 kg/mm at x=100, and then decreases to 0 at x=350.
  - Momentos Flectores +:** A line graph showing positive bending moments. It starts at 0, reaches a minimum of approximately -28,000 kg·m at x=100, and then increases back to 0 at x=350.
  - Momentos Flectores -:** A line graph showing negative bending moments. It starts at 0, reaches a maximum of approximately -49,000 kg·m at x=200, and then decreases back to 0 at x=350.

39	5.1	4000					900	1	-90000	-200000	1		-200000				-400000	-
40	5.2	7000					2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
41	5.3	1					2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
42	5.4	2000					2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
43	5.4.1	4000					2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
44	5.4.2	4000					2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
45	5.4.3	4000					2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
46	5.4.4	10000					2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
47	5.5	1000					2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
48	5.6	1000					2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
49	5.7	8000					2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
50	5.8	1					2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
51	5.9	1					2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
52	6.0	1					2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
53							2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
54	6.1	1000					2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
55							2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
56	6.2						2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
57							2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
58							2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
59							2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
60	Grúa intermedia						2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
61		Grúa <sup>1</sup>	Grúa <sup>2</sup>	Grúa <sup>3</sup>	Grúa <sup>4</sup>	Grúa <sup>5</sup>	2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
62	Grúa 1	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
63	Grúa 2	4000	1000	1000	1000	4000	2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
64	Grúa 3	8000	-1000	-1000	-1000	4000	2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
65	Grúa 4	8000	900	900	900	2000	2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
66	Grúa 5	10000	2000	2000	2000	10000	2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
67	Grúa 6	4000	-1100	-1100	-1100	2000	2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
68	Grúa 7	2000	2000	2000	2000	1000	2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
69	Grúa 8	1	1	1	1	1	2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
70	Grúa 9	1	1	1	1	1	2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
71	Grúa 10	1	1	1	1	1	2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
72	Grúa 11	1	1	1	1	1	2000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
73	Grúa 12	20000	2000	2000	2000	20000	4000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
74							4000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-
75							4000	1	-40000	-200000	1		-200000				-400000	-

Figura 49. Grúa intermedia actuando

Como en la hoja de esfuerzos, también se disponen un gráfico adicional para comprobar los momentos que cada carga introduce sobre el bastidor. Además de dos gráficos de coeficientes de seguridad uno para cada columna. Se ha introducido para que sea más fácil para el usuario comprobar el comportamiento de la grúa sobre el bastidor en los casos.

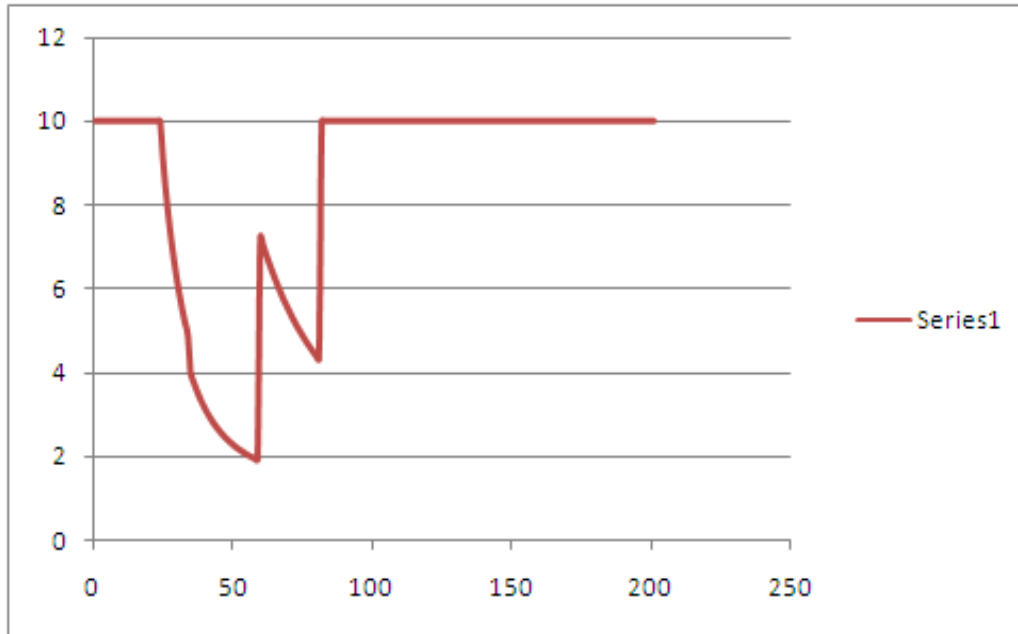


Gráfico 22. Coeficiente de seguridad +

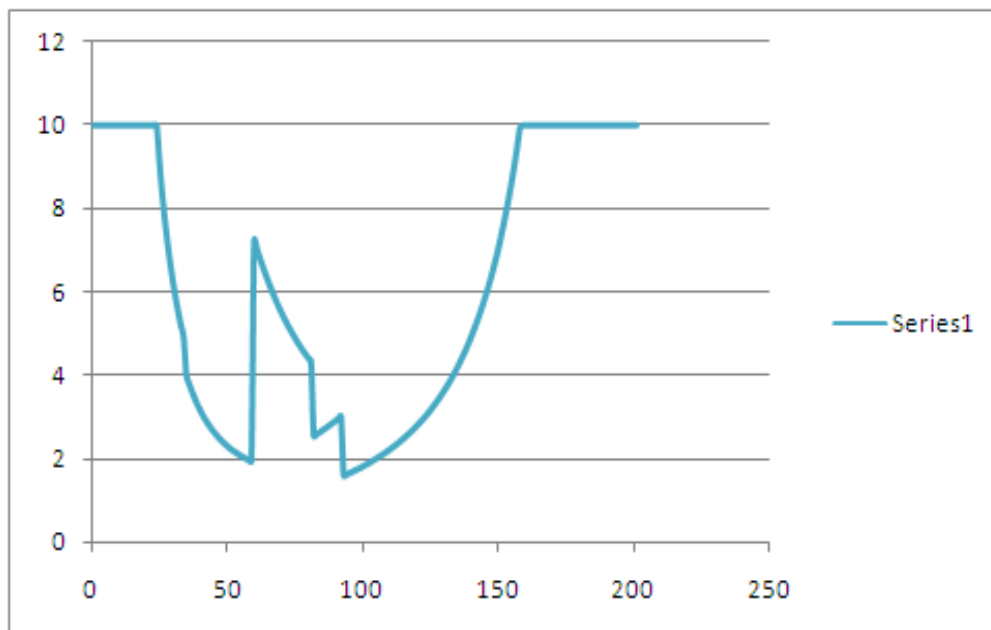


Gráfico 23. Coeficiente de seguridad +

Se aprecian tramos constantes con valor diez, esto se ha hecho cuando el coeficiente de seguridad es superior al valor indicado. Debido a que se obtendrían valores muy grandes debido a cargas relativamente pequeñas y no se podría apreciar con claridad las zonas donde el coeficiente es relativamente pequeño respecto de esos valores.

### Estabilidad transversal y longitudinal.

Para el cálculo de la estabilidad transversal y longitudinal de la grúa el valor de peso del vehículo que se usa es la TARA, por ser ésta la situación más desfavorable. Ya que es la que menos masa aporta para compensar el momento de elevación de la grúa. Y se debe cumplir que  $1,15 \cdot \text{Mom.tara} > \text{Mom.peso.punta}$ , por defecto o el coeficiente de seguridad que el usuario considere oportuno.

En esta situación a la carga se le ha restado el peso en punta de la grúa, ya que en la situación más desfavorable la grúa estaría cargada con el peso en punta y si no se restase el valor del peso en punta a la carga el vehículo superaría su MMA. Debido a que una grúa autocarga está destinada únicamente a la carga y descarga de mercancías sobre el propio vehículo que la porta.

Hay que comprobar dos casos:

- 1º Grúa actuando hacia delante.
- 2º Grúa actuando hacia atrás.

#### Caso primero:

Se supone la grúa trabajando en posición perpendicular al eje que une el ancho máximo delantero y el trasero (ver Figura 49). Si en esta situación el momento generado por la tara del vehículo es mayor que el momento de elevación de la grúa la situación es estable. (Se ha utilizado la figura del caso Góndola con grúa trasera, ya que sirve igualmente)

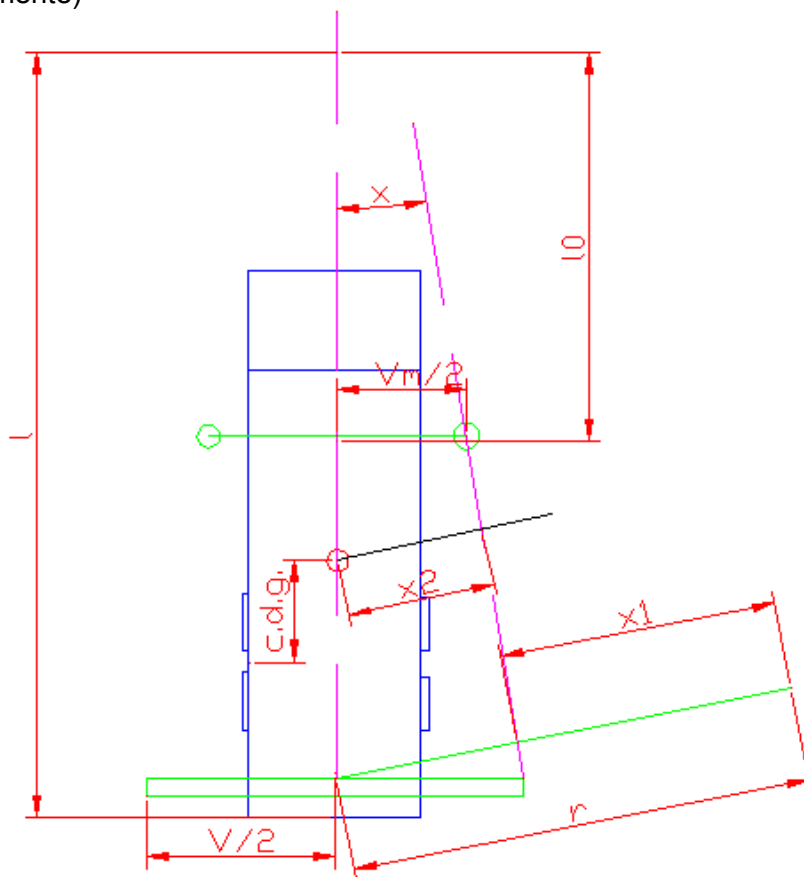


Figura 49. Grúa intermedia actuando hacia delante

### Caso segundo:

Se supone la grúa trabajando en posición perpendicular al eje que une el ancho máximo delantero y el trasero (ver Figura 50). Si en esta situación el momento generado por la tara del vehículo es mayor que el momento de elevación de la grúa la situación es estable. (Se ha utilizado la figura del caso del tractocamión, ya que sirve igualmente)

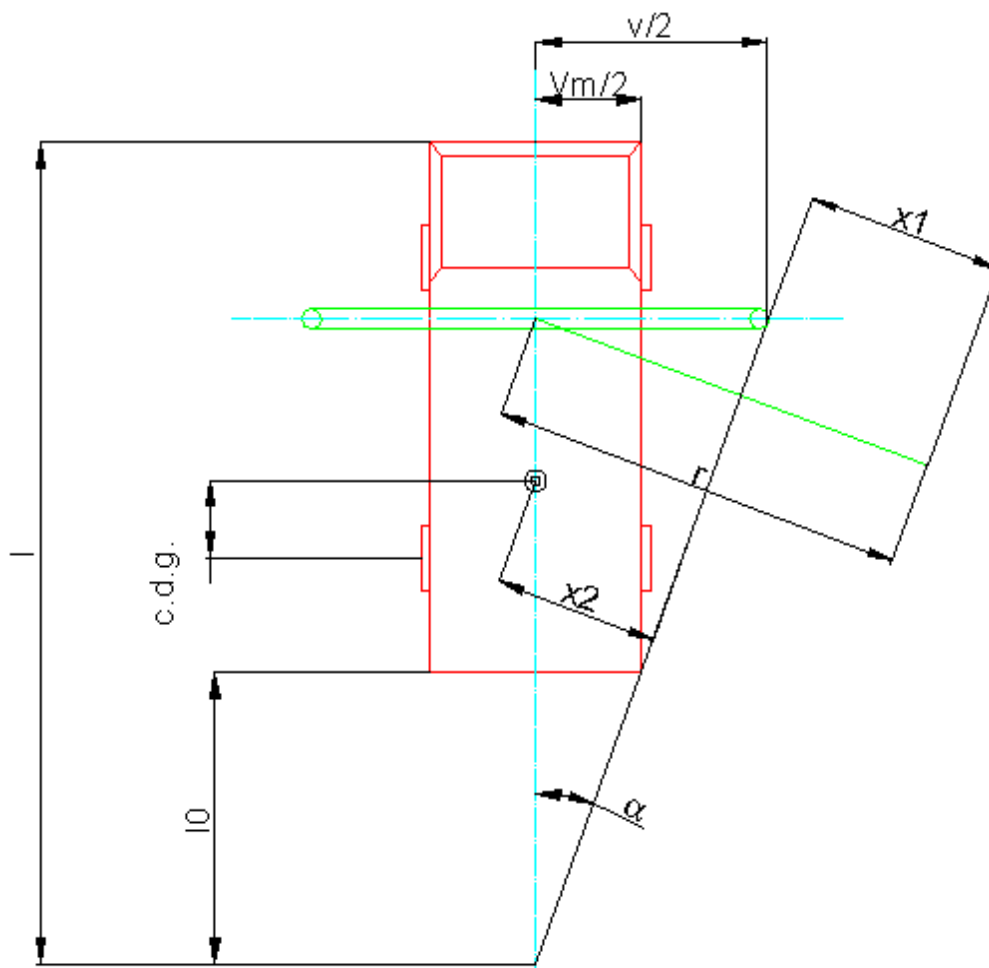


Figura 50. Grúa intermedia accionada hacia atrás

Donde:

$V$  (mm)  $\equiv$  Distancia entre apoyos transversales delanteros.

$R$  (mm)  $\equiv$  Alcance máximo de la grúa.

$c.d.g.$  (mm)  $\equiv$  Distancia del centro de gravedad de la TARA del vehículo al eje 2°.

$V_m$  (mm)  $\equiv$  Anchura en apoyos traseros (Vía trasera o anchura de gatos, según corresponda)



De la Figura 12 se deducen los siguientes cálculos:

$$\alpha = \arctg [(V/2 - Vm/2) / (p - y)]$$

$$l = V/2 / \operatorname{tg} \alpha$$

$$l_0 = l - (p - y)$$

$$x_1 = r - l * \sin(\alpha)$$

$$x_2 = (c.d.g + l_0) * \sin(\alpha)$$

De estos resultados y los datos del fabricante de la grúa se deduce que para que haya estabilidad transversal debe cumplirse:

$$TARA * x_2 > P_{\text{punta}} * x_1 + P_{\text{GRUA}} * (c.d.g(\text{grúa}) - l * \sin(\alpha))$$

Donde:

$P_{\text{punta}}$  (kg)  $\equiv$  Peso en punta de la grúa  
 $M_g$  (kg\*mm)  $\equiv$  Máximo momento de elevación de la grúa  
 $c.d.g(\text{grúa})$  (mm)  $= (M_g - P_{\text{punta}} * r) / P_{\text{GRUA}}$

### 3.3.9.7.- Resultados.

El último paso antes de finalizar la ejecución de la herramienta es pasar a la hoja de resultados donde se podrá comprobar el coeficiente de seguridad con el que trabaja el vehículo tanto en orden de marcha como actuando la grúa. En el semirremolque no se verificará la seguridad en la conducción ya que no está recogido por norma.

	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>COMPROBACION DEL BASTIDOR GRÚA TRABAJANDO</b>						
2							
3	Momento flector máximo	<i>M.max (kg*mm)</i>	46450005				
4	Momento resistente del bastidor	<i>2*Wxx (mm3)</i>	2790625				
5	Limite elastico del bastidor	<i>se (kg/mm2)</i>	42				
6	Coeficiente de seguridad	<i>K</i>	2,52				
7							
8							
9							
10							
11	<b>COMPROBACION DEL BASTIDOR GRÚA SIN TRABAJAR</b>						
12							
13	Momento flector máximo	<i>M.max (kg*mm)</i>	17979064				
14	Momento resistente del bastidor	<i>2*Wxx (mm3)</i>	2790625				
15	Limite elastico del bastidor	<i>se (kg/mm2)</i>	42				
16	Coeficiente de seguridad	<i>K</i>	6,52				
17							

Resultados

Figura 51. Resultados plataforma

En esta hoja no se muestra el coeficiente de seguridad mínimo con el que se trabaja, sino que se muestra el coeficiente de seguridad del momento flector máximo, que como ya se ha dicho no tiene que coincidir con el menor coeficiente de seguridad.

## 4.- Conclusión.

Todos los objetivos del PFC han sido cumplidos satisfactoriamente. Se ha creado con éxito el programa para el cálculo de la instalación y comprobación de una grúa autocarga en los siguientes vehículos industriales: tractocamiones y semirremolques.

Con dicho programa se han abarcado la total amplitud de casos distintos que se han presentado. Se han realizado tablas y diagramas de momentos flectores acordes con las cargas que sobre los vehículos han recaído. Así como la obtención de su máximo y la comprobación de su coeficiente de seguridad según la posición de éste máximo en el bastidor.

Al no ser el bastidor continuo debido a los refuerzos que se hayan podido instalar sobre éste, aparecen zonas con distinto momento de inercia. Debido a esta discontinuidad en el bastidor es importante saber qué zona es la que consta con menor coeficiente de seguridad, ya que dicha zona no tiene porque coincidir con el lugar donde se encuentre el máximo momento flector.

En lo referente a la programación propiamente dicha, ha sido un trabajo extenso y arduo, ya que se ha necesitado conocer en profundidad el lenguaje en sí (Visual Basic), así como su aplicación para el Excel. Se han contabilizado más diez mil líneas de código. La extensión del código se debe principalmente a: las instrucciones anidadas que abarcan todas las posibilidades diferentes que en cada caso se presentan y a los bucles que recogen tanto las cargas puntuales opcionales como el barrido de todas las funciones de los momentos flectores.

En definitiva se ha resuelto con esta herramienta una de las Reformas de Importancia en Vehículos Industriales más laboriosa en (tractocamión y semirremolque). Dicha reforma como ya se ha mencionada anteriormente consiste en la instalación de una grúa autocarga así como los elementos necesarios para la sustentación del vehículo. Esta tipología de programa, con las modificaciones correspondientes, podría ser ampliada a otras Reformas de Importancia, proyecto que se espera abarcar en un futuro no muy lejano.

## 5.- Bibliografía.

Centro de formación Exit: Técnico en Office. Libro Excel.

Walter Mora F., José Luis Espinoza B. Programación Visual Basic (VBA) para Excel y Análisis Numérico. Versión 0.1. Escuela de Matemática. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Octubre 2005.

Michael Halvorson, Michael J. Young. Microsoft Office XP Running. McGraw-Hill Profesional. Pág. (1186-1246).

Manual de Reformas de Importancia en vehículos de carretera. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Reglamento General de Vehículos. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Real Decreto 736/1988, de 8 de julio, por el que se regula la tramitación de las reformas de importancia de vehículos de carretera y se modifica el artículo 252 del Código de la Circulación

Real decreto 2140/1985, de 9 de octubre, por el que se dictan normas de homologación de tipos de vehículos automóviles, remolques y semirremolques, así como de partes y piezas de dichos vehículos.

Real Decreto 1457/1986, de 10 de enero, por el que se regulan la actividad industrial y la prestación de servicios en los talleres de reparación de vehículos automóviles, de sus equipos y componentes.

Amalia Santana Hidalgo. Índice de Reformas de Importancia.

Manuel Cascajosa. Ingeniería de Vehículos. Sistemas de Cálculo. Tébar. Hiab. Grúas autocarga.

<http://www.hiab.es/Productos/Gr%C3%BAas-Forestales-y-de-Reciclaje/Product-page/?productGroupId=15012&productId=24484> [Consulta 20 de Septiembre 2008]

Pm. Grúas.

[http://pm.pm-group.eu/\\_vti\\_g5\\_DetModel.aspx\\_IdModello\\_44025S+J903,20-rpstry\\_31\\_.sphtml](http://pm.pm-group.eu/_vti_g5_DetModel.aspx_IdModello_44025S+J903,20-rpstry_31_.sphtml) [consulta 20 de Septiembre 2008]

Mycsa. Grúas, [en línea]

[http://www.mycsamulder.es/Raiz\\_desarrollo/V5/producto.asp?ident=39](http://www.mycsamulder.es/Raiz_desarrollo/V5/producto.asp?ident=39) [Consulta 21 de Septiembre de 2008]

Palfinger. Grúas, [en línea]

[http://www.palfinger.com/palfinger/3235\\_EN.6205FE98a8f614adeb071dae0c6924a9fb8ca](http://www.palfinger.com/palfinger/3235_EN.6205FE98a8f614adeb071dae0c6924a9fb8ca) [Consulta 21 de Septiembre 2008]

Fassi. Grúas, [en línea]

<http://www.fassigroup.com/cgi-bin/WebObjects/fassi.woa/wa/page?lan=esp&id=1089581&idHP=1077952&path=Fassi.Casa+Madre.Gru+senza+compromessi.La+tua+Fassi+nasce+per+te> [Consulta 21 de Septiembre de 2008]

Foxes Team. Reference for Clsmathparser., [en línea]

<http://www.deeplunar.org/fusm/matematicas/metodosnumericos/clsMathParser.pdf> [Consulta 12 de noviembre de 2008]

Miliarium. Prontuario perfiles laminados IPE, [en línea]

<<http://www.miliarium.com/Paginas/Prontu/Tablas/Perfiles/IV-2.htm>> [30 de septiembre 2008]

Miliarium. Prontuario perfiles laminados HEB, [en línea]

<http://www.miliarium.com/Paginas/Prontu/Tablas/Perfiles/HEB.htm> [Consulta 1 de Noviembre 2008]

Jansa. Prontuario perfiles laminados en caliente, [en línea]

<http://www.jansa.com/data/files/pdf/perfiles-laminados-caliente.pdf> [Consulta 1 de noviembre de 2008]

Actm-Trailor. Góndola tres ejes, [en línea]

<http://www.actm-trailor.com/assets/files/pdf/actm/6%20essieux.pdf> [Consulta 2 de Febrero 2009]

Lamberet. Fichas técnicas, [en línea]

<http://www.lamberet.fr/es/espace-telechargement.asp> [Consulta 2 de Febrero 2009]

Montalban. Datos técnicos góndola cuello de cisne, [en línea]

<http://www.montalbanmtb.es/> [Consulta 2 de Febreo 2009]

Leciñena. Ficha técnica, [en línea]

<http://www.lecinena.com/files/ES/201%20LEC%20GDL.pdf> [Consulta 5 de Febrero 2009]