



Trabajo de fin de curso

Se pide realizar un proyecto de diseño y análisis de un sistema de suspensión delantera para un vehículo automóvil de cuatro ruedas, usando el programa de CAD/CAE, Solid Edge v.20 (versión educacional). Se pide únicamente el diseño mecánico de los componentes más básicos que forman parte del mecanismo.

El vehículo va provisto de un motor de combustión interna alternativo (diseñado por Noelia Fernández Díaz y Roberto Purriños Prieto en el curso 2008/2009) y una caja de cambios con diferencial (diseñada por David Saavedra Sánchez y Elena Suárez Santos en el curso 2009/2010).

El profesor de la asignatura proporcionará un archivo de conjunto (que hará las veces de chasis) y contiene una versión simplificada del motor y de la caja de cambios citados. Se proporcionará también un archivo de conjunto para la llanta y el neumático a emplear.

Los alumnos se deberán organizar por equipos de trabajo, de tal forma que cada diseño será llevado a cabo por un equipo formado por dos alumnos.

Especificaciones de diseño

El diseño debe cumplir las siguientes especificaciones.

- La disposición del motor es transversal delantera con caja de cambios y diferencial acoplados.
- El régimen mínimo del motor es de 800 *rpm* y el máximo de 7500 *rpm*.
- La altura mínima del motor sobre el suelo en la posición de equilibrio es de 15 *cm*.
- El tipo de suspensión es a elegir por los futuros ingenieros.
- El muelle y amortiguador de la suspensión se modelizarán mediante leyes lineales: $F = k_m (s - s_0)$ (muelle), $F = -c_m \dot{s}$ (amortiguador). Los coeficientes de rigidez y amortiguamiento, así como la disposición geométrica, se elegirán para que el comportamiento dinámico de la suspensión sea adecuado.
- El ángulo de caída (*camber*) de las ruedas debe ser negativo (parte superior de la rueda hacia adentro) en la franja de trabajo de la suspensión y su valor absoluto no superará los 4°.
- El ángulo de convergencia (*toe*) de las ruedas en la posición de dirección recta, no superará los 1.5° en valor absoluto y debe ser ajustable.
- El ancho de vía, *d*, estará comprendido entre $1400 \text{ mm} < d < 1650 \text{ mm}$.
- La batalla, *L*, es de 2570 *mm* (a efectos de diseño de la dirección).
- Para permitir el no deslizamiento lateral de las 4 ruedas, el mecanismo de dirección debe cumplir lo mejor posible la relación geométrica de Ackerman para ángulos de giro pequeños, $1/\tan \xi - 1/\tan \eta = d/L$ (ver figura 1). De esta forma, el punto de corte de los ejes de las 4 ruedas será el centro instantáneo de rotación (C.I.R.) del movimiento del chasis.
- El chasis tiene las siguientes propiedades de geometría de masas (motor y cambio incluidos), expresadas en ejes locales del propio conjunto:
 - Masa, $m=1158.2 \text{ kg}$.



- Centro de masas, $r_g = [-1.25, 0, 0.25] m$.
- Tensor de inercia en r_g , $I_g = [305, 1520, 1750, 0, 0, 0] kg \cdot m^2$.
- Los neumáticos se modelizarán mediante el modelo lineal de Kelvin-Voigt, $F = k_n \delta + c_n \dot{\delta}$. Su rigidez radial es de $215000 N/m$ y su amortiguamiento de $100 N \cdot s/m$.
- Para los propósitos de diseño del presente trabajo se despreciará la fricción tanto longitudinal como lateral de los neumáticos.
- Aunque no se pide el diseño de la transmisión desde el diferencial hasta la rueda, ningún elemento debe interponerse en el camino de la transmisión. El centro de la rueda debe estar lo más alineado posible con la salida del diferencial.

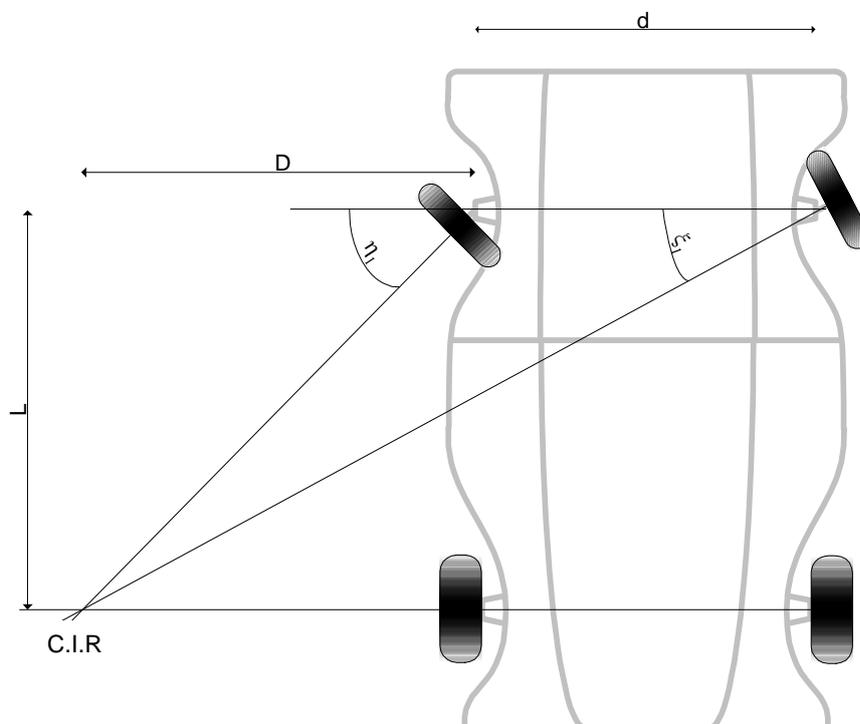


Figura 1. Condición de Ackerman para la dirección.

Requisitos mínimos a cumplir por el proyecto a desarrollar

Los requisitos mínimos que debe cumplir el proyecto serán:

- Todas las piezas que se diseñen deberán tener definido su **material**, siendo posible así calcular propiedades físicas o hacer cálculos resistentes sobre las piezas diseñadas.
- Se deberá realizar, como mínimo, un **plano del conjunto (explodonado o no) con lista de piezas** donde se muestre claramente el despiece del **conjunto completo** (excluyendo el motor y el cambio proporcionados) con sus correspondientes materiales y el **número de piezas** de cada tipo.



- El **diseño de la dirección** se llevará a cabo mediante un programa desarrollado por cada equipo en MATLAB que resolverá el problema de síntesis cinemática para que se cumpla aproximadamente la condición de Ackerman.
- Se **comprobará gráficamente** sobre el montaje final, que **la condición de Ackerman** se cumple aceptablemente para distintos ángulos de giro.
- Se deberá realizar un **análisis cinemático** del sistema de dirección.
- Se deberá realizar un **análisis de la dinámica vertical** de $\frac{1}{4}$ del vehículo completo circulando a 20 km/h sobre el perfil de carretera proporcionado por el profesor. El diseño de la suspensión debe ser tal que la rueda en ningún momento pierda el contacto con el suelo (la fuerza de contacto debe ser mayor que cero).
- Para el análisis anterior, se obtendrán **gráficas** de la distancia del muelle, fuerzas del muelle y amortiguador, fuerza del neumático, altura del centro de la rueda y altura del centro de masas del chasis.
- Para los anteriores análisis cinemático y dinámico, se empleará el programa de dinámica de sistemas multicuerpo ADAMS, a través del módulo "Motion" de Dynamic Designer.
- Se deberá realizar el **cálculo resistente**, por elementos finitos del brazo sobre el que actúa el muelle-amortiguador, sometido a los esfuerzos resultantes de la dinámica en el instante pésimo de la maniobra.
- Se deberá realizar el **análisis modal** de la barra de dirección, comprobando que las frecuencias naturales de la misma están lejos de las frecuencias de funcionamiento del motor, de forma que no se transmitan vibraciones indeseadas al conductor.
- Se valorará que el diseño de los conjuntos sea **paramétrico** y **asociativo**. Paramétrico significa que las piezas deberán proceder de bocetos debidamente acotados y estarán diseñadas para una fácil modificación de las dimensiones y/o geometría. Asociativo significa que si existen piezas que deban encajar unas con otras, sus medidas deberán estar relacionadas de cara a una fácil modificación de los conjuntos.
- La **jerarquía** del conjunto resultante debe ser la siguiente:
 - $\frac{1}{4}$ Vehículo- $\frac{1}{2}$ Vehículo (conjunto padre).
 - Chasis simplificado: puede ser modificado a conveniencia (*) para añadir todos aquellos sistemas de coordenadas, bocetos, etc. necesarios para montar sobre él los elementos de la suspensión, dirección, etc.
 - Piezas y subconjuntos de la suspensión: a diseñar por cada equipo.
 - Piezas y subconjuntos de la dirección: a diseñar por cada equipo.
 - Conjunto rueda: puede ser modificado a conveniencia (*) para añadir todos aquellos elementos que se consideren necesarios.

NOTA (*) Las modificaciones introducidas no pueden afectar a las piezas proporcionadas por el profesor, ni se puede modificar la ubicación de las mismas en los subconjuntos proporcionados.



Material a entregar

Deberá entregarse al profesor de la asignatura:

- Los ficheros de **Solid Edge v20 (versión educacional)** realizados (piezas, conjuntos, planos, archivos de datos, análisis, etc.) que se consideren necesarios para la completa definición del proyecto. Evitar entregar videos.
- Los ficheros de **MATLAB** que resuelven el problema de síntesis cinemática del mecanismo de dirección diseñado.
- Un breve **documento** donde se indique, de forma **clara y detallada**, cuáles son los archivos concretos con las soluciones al diseño pedido. El documento se elaborará teniendo en cuenta las siguientes normas:
 - Formato del archivo: PDF (*Portable Document Format*) o PS (*PostScript*).
 - Extensión máxima: 2 páginas.
 - Formato de papel: DIN A4.
 - Márgenes (Izquierdo/Derecho/Superior/Inferior): 2 cm / 2 cm / 2 cm / 2 cm.
 - Fuente: Arial 12.
 - Interlineado: Sencillo.
- La **entrega** de todos los archivos del proyecto se realizará directamente al profesor de la asignatura, en el aula de informática III.
- Cada equipo deberá **defender** su diseño para obtener una evaluación favorable del trabajo.

El **plazo límite** de entrega del proyecto es el **06/06/2011**.

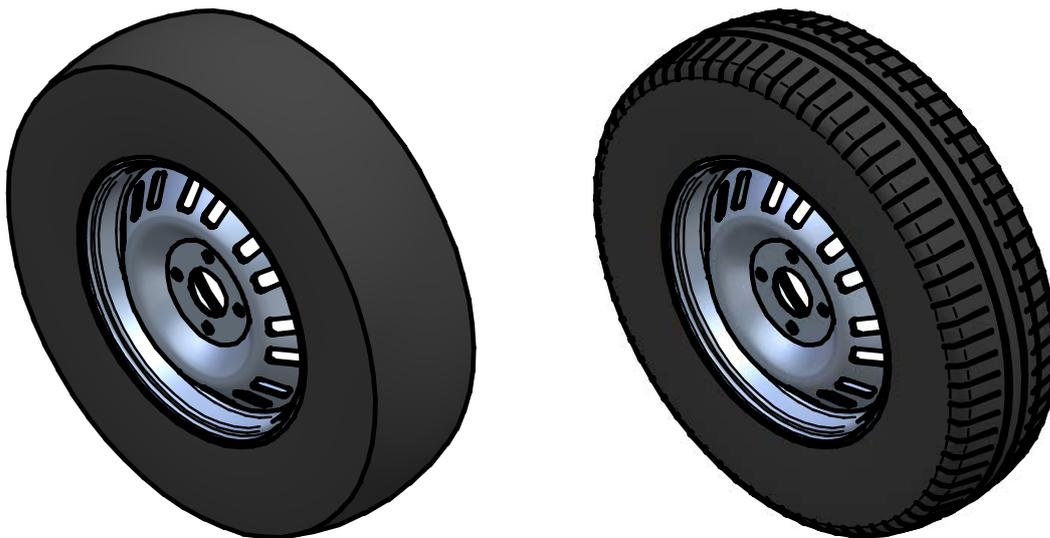


Figura 2. Conjunto_rueda con neumático a) simplificado “Simplificar_modelo=1”, b) real “Simplificar_modelo=0”.

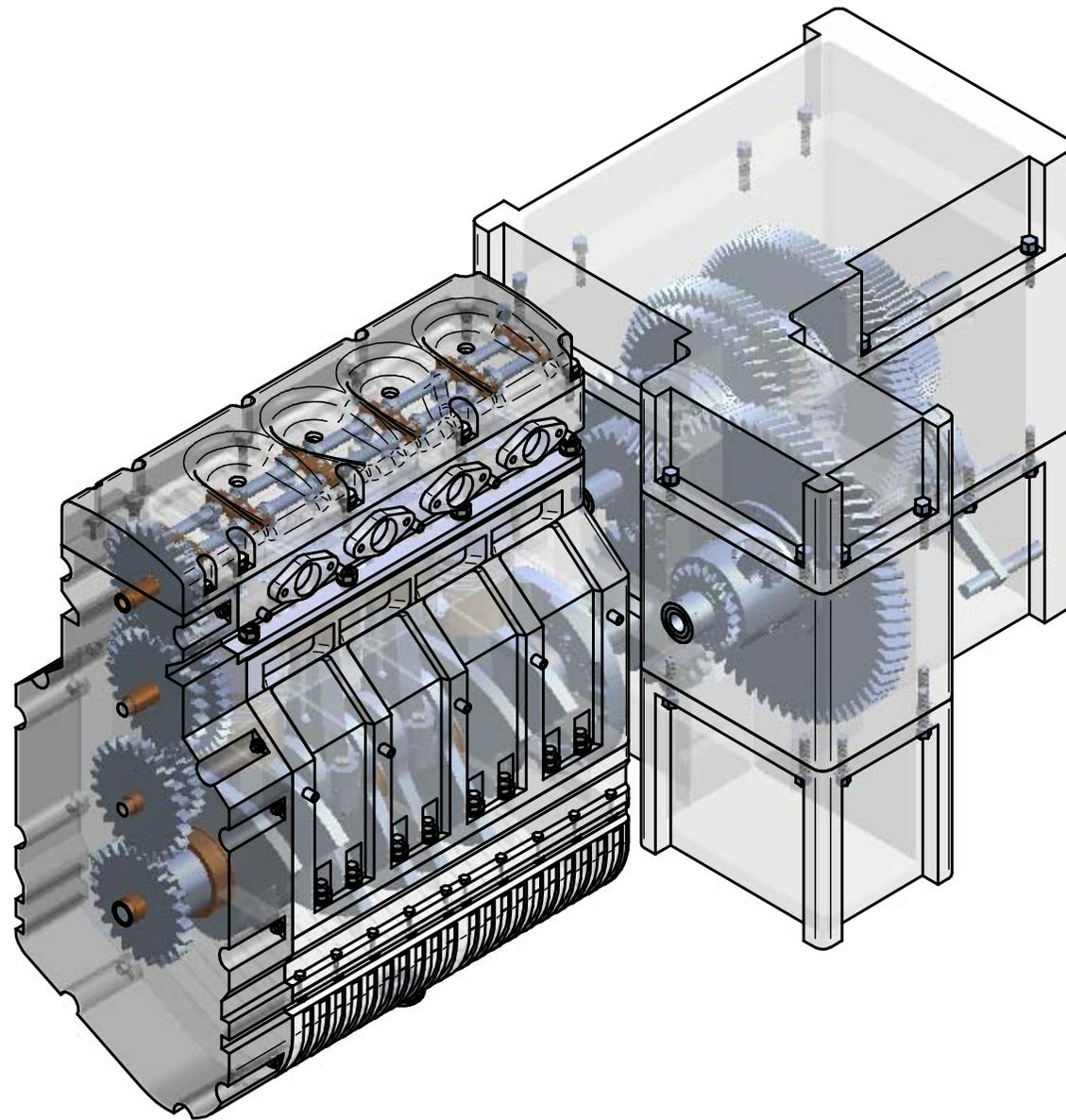


Figura 3. Motor + caja de cambios.