Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ANEXO I, CÁLCULOS

"ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA SÉPTIMA RELACIÓN DE CAMBIO PARA UNA MOTOCICLETA DE MEDIA CILINDRADA"

PFC presentado para optar al título de Ingeniero Técnico Industrial especialidad MECÁNICA

por **Oscar Comajuán Gutiérrez**

Barcelona, 15 de Junio de 2011

Tutor proyecto: Javier Luzón Narro
Departamento de Ingeniería Mecánica (EM)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDICE ANEXO I (CÁLCULOS)

CAPÍTULO 1: CÁLCULOS DEL ANÁLISIS

1.1. Resistencia a la rodadura

1.1.1. Método Hahn de cálculo de la resistencia a la rodadura

Partiendo de la fórmula:

$$R_R = C_{rr} \times N$$

Donde:

Crr : coeficiente de rodadura

N: carga vertical en newtons sobre el neumático

Y:

$$C_{rr} = \frac{0.019}{\sqrt[3]{{P_k}^2}} + \frac{0.00245}{\sqrt{P_k}} \times \left(\frac{V}{100}\right)^2 + \frac{0.0042}{\sqrt[3]{{P_k}^4}} \times \left(\frac{V}{100}\right)^3$$

Donde:

Pk: Presión en el neumático (*Kg/cm*^{2})

V: Velocidad de traslación del neumático (*km/h*)

Vemos que el valor de C_{rr} no es un valor constante, sino que varía según la velocidad.

Se tratan las presiones de los neumáticos delantero y trasero por separado, así como la carga en cada eje para la carga máxima homologada (proporcionada por el fabricante), dejando como única variable la velocidad.

Para los valores de presión del neumático, se utilizarán los recomendados por el fabricante 2.5 Kg/cm^2 en la rueda delantera y 2.9 Kg/cm^2. Por lo tanto tendremos dos valores de C_{rr}, delantero y trasero.

Para los valores de carga vertical, se útilizarán los máximos especificados por el fabricante:

191,4 kg en el tren delantero, 194.6 kg en el tren trasero.

Mediante la hoja de cálculo Excel, se crea una tabla de valores, de varias columnas, donde la variable (abscisas en el gráfico) es la velocidad en kilómetros por hora, de 0 a 255 en incrementos de 1 km/h.

Los valores calculados mediante la hoja Excel, quedan detallados en el Anexo II tablas, 1.3.1

Vemos pues que para las siguientes velocidades de paso humano (a 4km/h) y con carga máxima, habrá que hacer:

4km/h: 0.037 kN

Es decir, aproximadamente 4 kilogramos de fuerza para mover la moto a paso humano. (Recordando que se desprecia la fuerza necesaria para vencer el rozamiento contra los discos de freno).

1.2. Resistencia que opone el aire

1.2.1. Cálculo del área frontal

Como quedaba explicado en el proyecto, una de las maneras para obtener el área frontal es la de tomar una imagen o fotografía y escalarla para obtener unas medidas que después nos puedan servir para crear una escala medible.

El proceso de este cálculo es el siguiente.

1. Se fotografía la motocicleta desde la parte frontal con el piloto en posición erguida. Altura del piloto 1.78m (dentro de márgenes de la directiva 95/1/CE)
2. Mediante un programa informático de tratamiento de imágenes se selecciona el contorno piloto-motocicleta en la imagen.
3. Mediante el mismo programa informático (de ahora en adelante todos los procesos de tratado de imagen se realizan con el mismo) se borra la parte de la imagen que no queda seleccionada por el contorno. Además se dibuja el contorno de la pierna derecha apoyada en la estribera (previa comparación con imagen real).
4. Se reduce la profundidad del color, ésto es, pasar de todos los colores de la imagen a un número determinado de colores. Hasta más tarde llegar a 2 colores únicos (blanco y negro)
5. Se compara la imagen con otra del perfil de la motocicleta. (De la que ya se conocen las medidas). Igualando la escala de las imágenes. A su vez se dibuja el perfil del neumático trasero y se dobla la imagen
6. Se corta el contorno por la mitad, por tal de hacer el proceso más sencillo. (Posteriormente el área obtenida se multiplicará por 2)
7. Se rellena el contorno de la imagen con un solo color, negro.
8. El mismo programa, nos indica finalmente mediante un histograma la cantidad de píxeles que hay en la imagen de color único.
9. A partir de una distancia conocida (distancia entre ejes) se da un valor de centímetros/pixel.
10. Teniendo el número de pixeles totales del contorno se obtiene el área equivalente en centímetros cuadrados.
11. Se multiplica el área por 2, obteniendo el área frontal.

Quedando el proceso de la siguiente manera:

Paso 1:

Fig 1. Fotografía frontal

Paso 2:

Fig. 2 Contorno seleccionado

Paso 3 - 4:

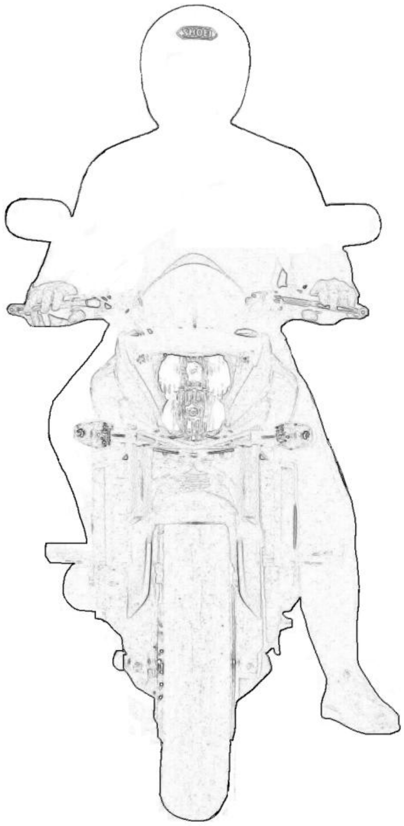

Fig. 3 Contorno

Paso 5 – 6:

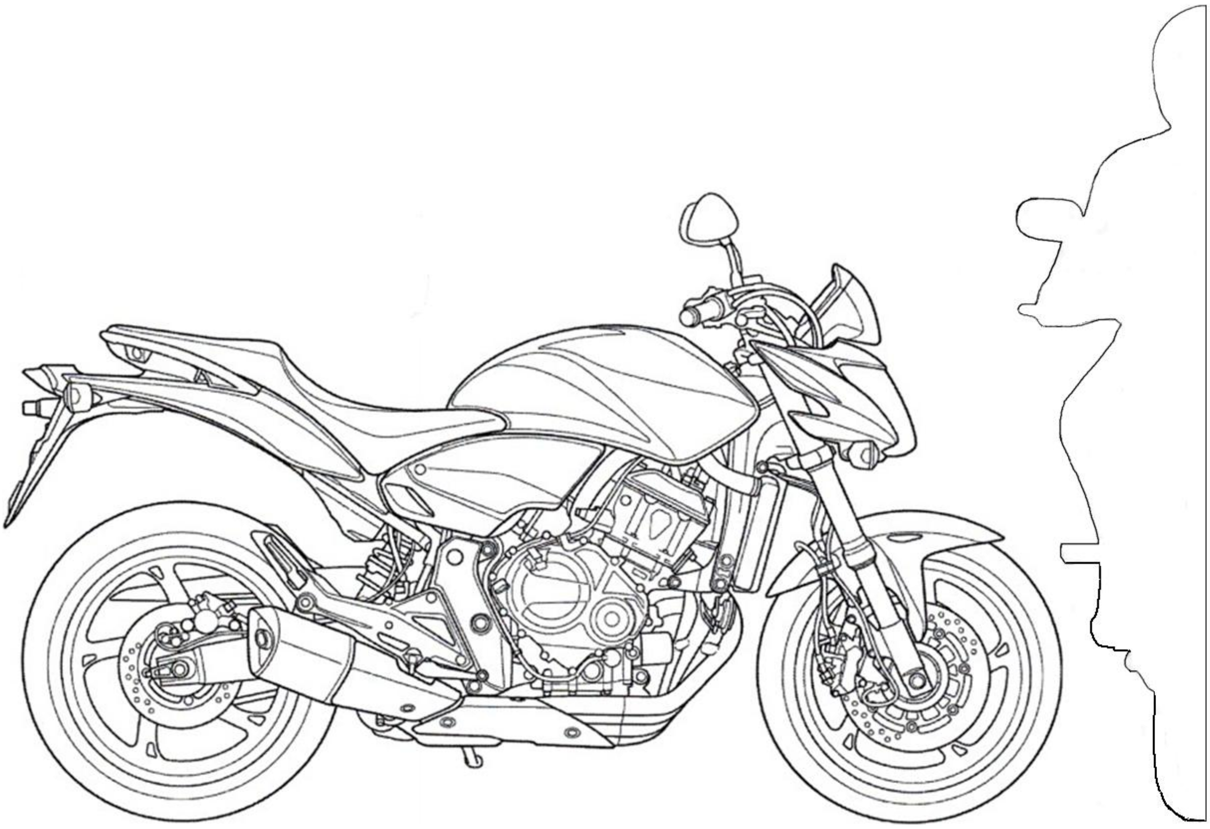

Fig 4. Escalado de imágenes

Paso 7 – 8:

Histograma:

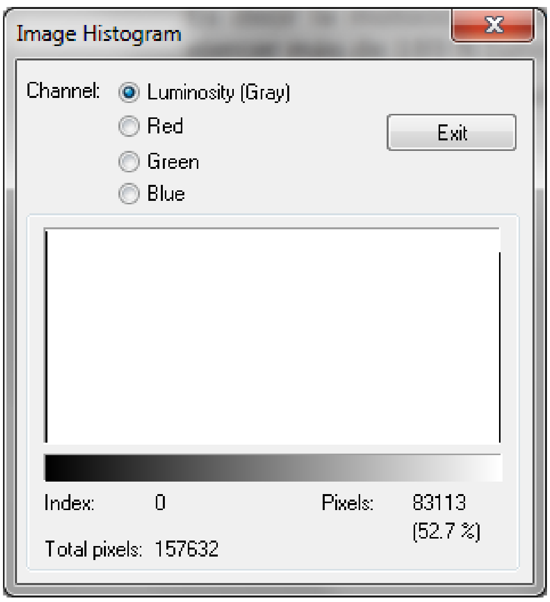

Fig.5 Histograma

Esta imagen tiene un total (en el escalado real de la imagen) de 157632 pixeles, de los cuales un 52.7%, es decir, 83113 píxeles son de color negro.

Paso 9:

Mediante el mismo programa, medimos la distancia en píxeles desde la parte más baja de la rueda a la parte más baja del asiento. Ésta es una medida conocida, dado que es un dato proporcionado por el fabricante.
Tenemos pues:

Distancia entre ejes real: 1435 mm
Distancia entre ejes en píxeles: 742 pixeles.
Escala : 1435 / 742: 1,934 mm/pixel.

IMPORTANTE:

En este punto estamos tomando los píxeles como unidades unidimensionales, pero realmente un píxel representa un área. En el apartado anterior solo considerábamos una dimensión. Para entender un píxel como un área elevamos el valor al cuadrado:

$1{,}934^2$ -> 3.74 mm^2/pixel

Paso 10 – 11:

El contorno tiene 83133 pixeles negros, redondeando al alza:

83150 pixeles * 3.74 mm^2/pixel = 310981mm^2 ≈ 3110 cm^2
Área frontal= 3110 cm^2 *2 = 6220 cm^2 = **0.622 m^2**
Cálculo del coeficiente aerodinámico

Este cálculo, se tratará de una manera distinta. Su cálculo preciso, queda en forma de variable, hasta la realización de los diagramas correspondientes (ver 1.6.2) de manera que se ajustará manualmente bajo una serie de hipótesis que se tratan en el apartado 1.1.2 del proyecto

1.3. Resistencia a la pendiente

$$R_p = W \times \sin\alpha$$

W = Tara + Carga = Carga máxima = 386 kg ≈ 3800 N

$$p = 100 \times \tan\alpha$$

De la que deducimos alfa:

$$\alpha = \tan^{-1}(\frac{p}{100})$$

Si la pendiente es del 5%, entonces:

$$\alpha = \tan^{-1} 0.05$$

$$\alpha = 2.862^{\circ}$$

Por lo tanto:

$$R_p = 3800\ N \times \sin 2.862$$

$$F_p = 0.189\ kN$$

Es decir la motocicleta con carga máxima, en una pendiente del 5% deberá ejercer más de 189 N (unos 19 kg) en el sentido de la marcha.

Este cálculo queda ampliado en el anexo II Tablas, donde se ha realizado el cálculo para pendientes del 0 al 30% en incrementos de 5%.

1.4. Elasticidad del motor

Para encontrar los datos de n_P, n_M , podemos referirnos directamente a los proporcionados por el fabricante, sin embargo para el dato de n_m nos tenemos que servir de la tabla de curva de potencia. Esta tabla la encontraremos en el anexo II Tablas. 1.1

n_P = 12000 rpm.

n_M = 10500 rpm.

Sirviéndonos de la descripción en el apartado 1.1.2, n_m es igual al régimen del motor en el que el par motor es igual al par motor a régimen de potencia máxima, pero antes de llegar al régimen del par motor. Por lo tanto, si miramos la tabla vemos que el par motor a régimen de potencia máxima es de unos 60 Nm. De hecho, podríamos calcularlo exactamente dado que el dato de potencia máxima se conoce: 75 kW (~102CV) @ 12000 rpm

$$P[W] = \frac{2\pi n}{60} \times M[Nm]$$
$$M[Nm] = \frac{60}{2\pi n} \times P[W]$$
$$M[Nm] = \frac{60}{2\pi n} \times 75kW$$
$$M[Nm] = \frac{60}{2\pi \times 12000} \times 75000$$
$$M = 59.68Nm$$

Tomaremos pues 60 Nm. Y miramos en la tabla de la página siguiente.

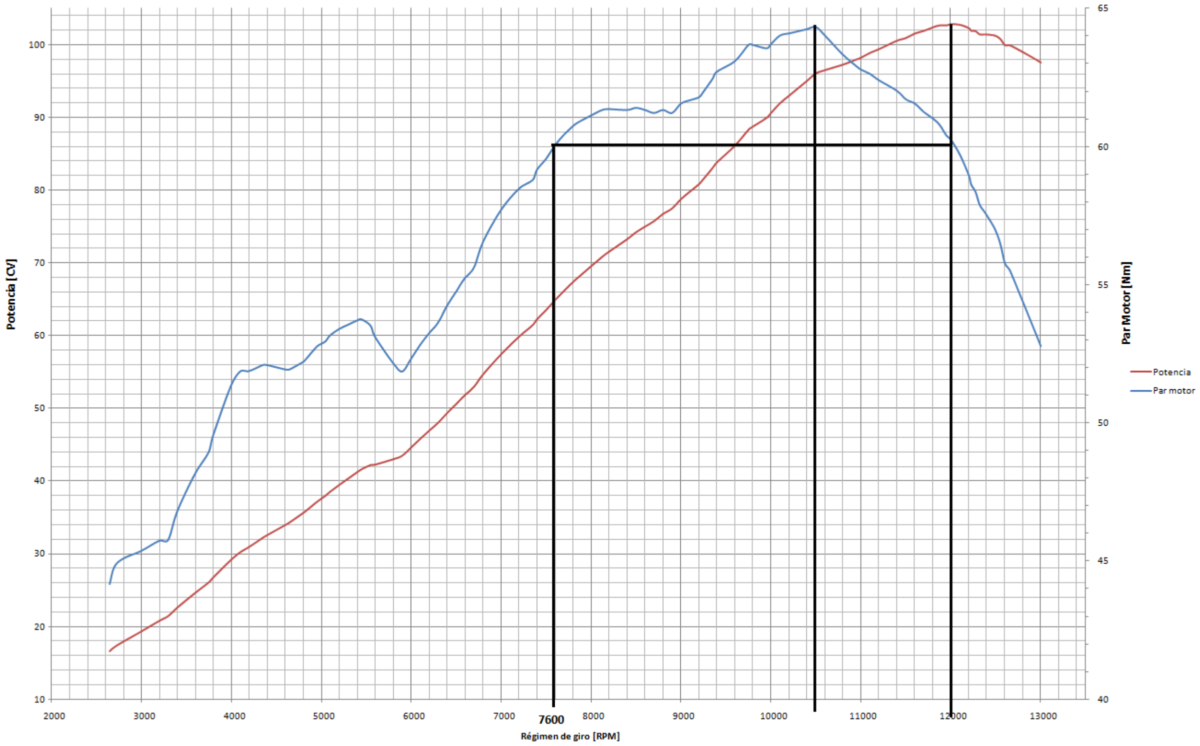

Fig. 6 Curva de par motor - potencia

Por lo tanto n_m será aproximadamente: 7600 rpm

Tenemos entonces los dos posibles cálculos de la elasticidad del motor:

$E = \frac{n_P}{n_M}$ o $E = \frac{{n_P}^2}{n_M \times n_m}$

En el primer caso E= 1.142857 en el segundo caso E= 1.8045112

Tomaremos **E=1.142857** por ser más desfavorable, el motor es menos elástico.

1.5. Determinación del número de marchas

Teniendo los valores del campo de cambio de marchas C=2.5114 y de la elasticidad del motor E=1.142857 el cálculo de Z, siguiendo:

$$Z = \frac{\log C}{\log E} + 1$$

$$Z = \frac{\log 2.5114}{\log 1.142857} + 1$$

$$Z = \frac{0.3999158}{0.05799189} + 1$$

$$Z = 7.8961705$$

Se redondea pues a $Z = 8$.

1.5.1. *Escalonamiento geométrico*

Partiendo de:

$$C = \alpha^{(Z-1)}$$

$$\alpha = \sqrt[(Z-1)]{C}$$

Tenemos que Z, en realidad son 6 en la actual motocicleta y C, calculado anteriormente es igual a 2.5114 por lo tanto:

$$\alpha = \sqrt[(6-1)]{2.5114}$$

$$\alpha = 1.16587$$

Es decir, para comprobar si la actual caja de cambios ha sido diseñada bajo un escalonamiento geométrico, todas las relaciones alfa deberían ser iguales a 1.16587.

Tenemos las relaciones i_j:

i_1 = 2.750

i_2 = 1.9375

i_3 = 1.555556

i_4 = 1.34782609

i_5 = 1.2083333

i_6 = 1.0952381

Se puede calcular la relación alfa para cada marcha α_j considerando:

$$\alpha_j = \frac{i_j}{i_{j+1}}$$

Por lo tanto:

$\alpha_1 = i_1/\ i_2 = 2.750/1.9375 = 1.41935$

$\alpha_2 = i_2/\ i_3 = 1.9375/1.555556 = 1.24553571$

$\alpha_3 = i_3/\ i_4 = 1.555556/1.34782609 = 1.15412186$

$\alpha_4 = i_4/\ i_5 = 1.34782609/1.2083333 = 1.11544228$

$\alpha_5 = i_5/\ i_6 = 1.2083333/1.0952381 = 1.10326087$

Nótese que no se puede dar una relación alfa para la sexta velocidad, dado que no existe una séptima.

1.5.2. Escalonamiento hipergeométrico

Teniendo:

$\alpha_1 = 1.41935$

$\alpha_2 = 1.24553571$

$\alpha_3 = 1.15412186$

$\alpha_4 = 1.11544228$

$\alpha_5 = 1.10326087$

Y sabiendo que:

$$\beta_j = \frac{\alpha_j}{\alpha_{j+1}}$$

Entonces:

$\beta_1 = \alpha_1 / \alpha_2 = 1.41935 / 1.24553571 = 1.1395537$

$\beta_2 = \alpha_2 / \alpha_3 = 1.24553571 / 1.15412186 = 1.0792064$

$\beta_3 = \alpha_3 / \alpha_4 = 1.15412186 / 1.11544228 = 1.0346765$

$\beta_4 = \alpha_4 / \alpha_5 = 1.11544228 / 1.10326087 = 1.0110413$

1.6. Diagramas

1.6.1. Diagrama velocidad – régimen del motor

Para la realización de este diagrama se ha utilizado una hoja de cálculos Excel, que se adjunta con el proyecto.

A continuación se detalla cómo se ha realizado esta hoja de cálculo.

Partiendo de:

$$v = n_m \times \frac{1}{(i_i \times i_t)} \times 2\pi \times r_{din} \times \frac{60}{1000}$$

donde:

v = Velocidad del vehículo [km/h]

n_m = Régimen del motor [rpm]

i_i = Relación de transmisión de cada marcha

i_t = Relación de transmisión del puente (reducciones primaria x final)

r_{din} = Radio dinámico del neumático [m]

Este cálculo nos dará una velocidad máxima teórica, para una relación de cambio en concreto a un número determinado de régimen de giro del motor.

Una manera sencilla de obtener el diagrama, es la de crear una tabla de valores de velocidad. Para ello y dado que las relaciones de cambio son constantes, se puede dar una tabla previa a la tabla del diagrama, en la que se calcule la velocidad en kilómetros por hora por cada 1000 rpm, para cada una de las seis relaciones de cambio.

Previamente calcularemos los valores que van a ser constantes en este cálculo:

La relación de transmisión del puente y la del radio dinámico.

Relación de transmisión del puente

Se conoce como i_t no es más que la multiplicación de las relaciones de la transmisión (o reducción) primaria por la final, las cuales vienen dadas por el fabricante.

$$i_t = reducción\,primaria \times reducción\,final$$

$$i_t = 76/36 \times 43/16$$

$$i_t = 2.111 \times 2.688$$

$$\boldsymbol{i_t = 5.674368}$$

Radio dinámico

El radio dinámico de un neumático, es la distancia entre el centro de la rueda y el pavimento. Dado que este dato exacto, que sigue la directiva europea 92/23/CE, es prácticamente imposible de calcular, dado que depende de la deformación del neumático en sí, y esto a su vez depende de los componentes de fabricación de éste, añadido a que ningún fabricante consultado (Michelin, Dunlop, Bridgestone) ha podido facilitar el dato de la deformación típica de sus neumáticos sobre condiciones normales para los neumáticos de tipo 180/55/R17, se tomará el radio teórico de la rueda como si no existiera deformación de la goma.

El radio dinámico del neumático se puede calcular a partir de la lectura de los datos del neumático.

XXX/YY/ZZ

Donde:

XXX = Anchura nominal del neumático en milímetros entre bordes de rodadura.

YY = Relación de aspecto entre la altura del perfil y la anchura del neumático, en tanto por ciento.

ZZ = Diámetro de la llanta en pulgadas.

Tenemos pues que:

$$diámetro[mm] = ZZ * 25.4\ \frac{mm}{pulgada} + 2 \times \left(XXX\ \times \frac{YY}{100}\right)$$

$$diámetro[mm] = 17 * 25.4\ \frac{mm}{pulgada} + 2 \times \left(180\ \times \frac{55}{100}\right)$$

$$diámetro[mm] = 431.8\ + 2 \times 99$$

$$diámetro[mm] = 431.8\ + 2 \times 99$$

$$diámetro = 629.8\, mm$$

Por lo tanto:

$$radio = \frac{629.8\, mm}{2}\ , r = 314.9\, mm, \qquad \boldsymbol{r = 0.3149\, m}$$

Tabla velocidad/1000 rpm

Teniendo el coeficiente de relación del puente, el radio dinámico y las relaciones de todas las marchas, podemos calcular para una n_m = 1000 rpm, la velocidad que se alcanzaría con el motor a 1000 para cada marcha, o lo que es lo mismo, la cantidad de kilómetros por hora que crece la velocidad por cada 1000 revoluciones del motor para una marcha determinada.

i_t = 5.674368	**i_3 = 1.555556**
r_{din} = 0.3149 m	**i_4 = 1.34782609**
n_m = 1000 rpm	**i_5 = 1.2083333**
i_1 = 2.750	**i_6 = 1.0952381**
i_2 = 1.9375	

Tendremos pues v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, y v_6

$$v_{1\,[km/h]} = n_m \times \frac{1}{(i_1 \times i_t)} \times 2\pi \times r_{din} \times \frac{60}{1000}$$

$$v_1\,[km/h] = 1000rpm \times \frac{1}{(2.75 \times 5.674368)} \times 2\pi \times 0.3149 \times \frac{60}{1000}$$

$$v_1\,[km/h] = 1000rpm \times \frac{1}{15.604512} \times 2\pi \times 0.018894$$

$$v_1\,[km/h] = 1000rpm \times \frac{1}{15.604512} \times 2\pi \times 0.018894$$

$$v_1\,[km/h] = \frac{118.71450319}{15.604512}$$

$$v_1 = 7.6077037\ km/h$$

Calculado para las demás:

$$v_2 = 10.795245\ km/h$$

$$v_3 = 13.445492\ km/h$$

$$v_4 = 15.520167\ km/h$$

$$v_5 = 17.318862\ km/h$$

$$v_6 = 19.757149\ km/h$$

Obteniendo la siguiente tabla

Marcha engranada	**Km/h por cada 1000 rpm**
1	7,60770367
2	10,7952451
3	13,4454917
4	15,5201669
5	17,3188618
6	19,1061051

Tabla 2. Velocidad por cada 1000 rpm

A partir de esta tabla solo queda establecer el campo de revoluciones para obtener la siguiente tabla de valores de velocidades y revoluciones.

Se calcula a partir de las revoluciones desde 1000 hasta 13500 (corte de inyección del motor) en incrementos de 1000 y 500 (para 13000 a 13500).

A partir de la hoja Excel queda entonces calculada la siguiente tabla de valores.

	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
RPM						
1000	7,61	10,80	13,45	15,52	17,32	19,11
2000	15,22	21,59	26,89	31,04	34,64	38,21
3000	22,82	32,39	40,34	46,56	51,96	57,32
4000	30,43	43,18	53,78	62,08	69,28	76,42
5000	38,04	53,98	67,23	77,60	86,59	95,53
6000	45,65	64,77	80,67	93,12	103,91	114,64
7000	53,25	75,57	94,12	108,64	121,23	133,74
8000	60,86	86,36	107,56	124,16	138,55	152,85
9000	68,47	97,16	121,01	139,68	155,87	171,95
10000	76,08	107,95	134,45	155,20	173,19	191,06
11000	83,68	118,75	147,90	170,72	190,51	210,17
12000	91,29	129,54	161,35	186,24	207,83	229,27
13000	98,90	140,34	174,79	201,76	225,15	248,38
13500	102,70	145,74	181,51	209,52	233,80	257,93

Tabla 3. Velocidades teóricas en km/h por cada rpm

De esta tabla obtenemos la siguiente gráfica

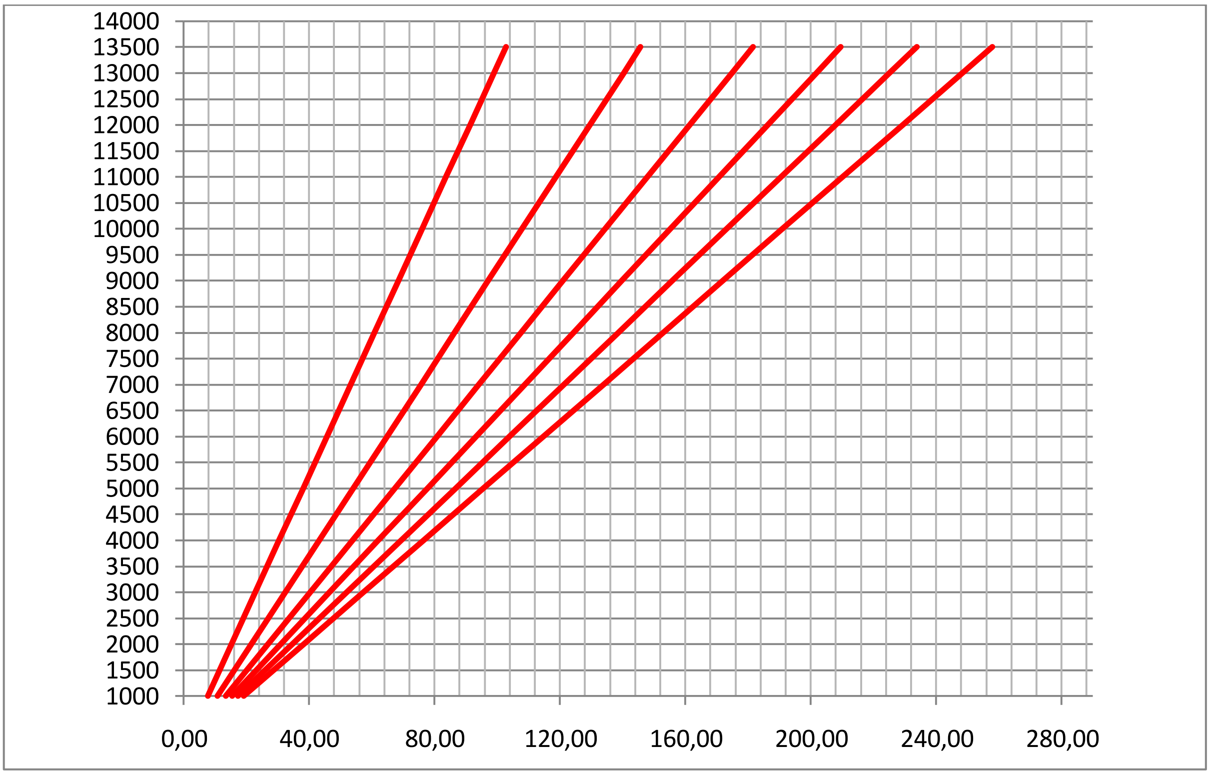

Fig. 7 Desarrollos de las relaciones de cambio. RPM / Velocidad

Esta gráfica será editada manualmente para corresponderse con el diagrama explicado en el apartado 1.3.1 del proyecto.

1.6.2. Diagrama de fuerza – velocidad

Para la realización de este diagrama se ha utilizado una hoja de cálculos Excel, que se adjunta con el proyecto.

A continuación se detalla cómo se ha realizado esta hoja de cálculo.

Cálculo de la fuerza motor

El primer paso para la realización de este diagrama es obtener la fuerza tangencial de la rueda para cada marcha seleccionada. Partiendo de la ecuación

$$F_T = M_m \times i_i \times i_t \times \frac{1}{r_{din}} \times \mu_{i.total}$$

donde:

F_T = Fuerza de tracción sobre las ruedas

M_m = Par motor

i_i = Relación de transmisión de cada marcha

i_t = Relación de reducción primaria x final

r_{din} = Radio dinámico de la rueda

$\mu_{i.total}$ = Rendimiento total de la transmisión en cada marcha

Debemos considerar una serie de puntos:

Se desconoce el rendimiento de la caja de cambios. Típicamente el rendimiento de una caja de cambios tiene valores de rendimiento muy elevados, pero esto depende en gran medida de factores tales como los materiales, el número de dientes en contacto, la relación de transmisión en sí, el lubricante utilizado, el desgaste producido por el uso, etc. Por estos motivos, y por tal de simplificar el cálculo, se obviará el rendimiento del sistema, considerándose el 100%

Por otra parte, se debe tener en cuenta que el dato de M_m ya representa una serie de valores en sí mismo. Es la curva de par motor. Por lo tanto, la manera de representar la fuerza tangencial, también será una serie de valores. Considerando que esta curva de par motor es siempre la misma, la única manera de hacerla variar es multiplicarla mediante la transmisión. Así de esta manera tendremos una familia de 6 curvas con la forma la curva del par motor, cada una por cada marcha seleccionada. Dado que para una marcha en concreto, la curva de par motor cambia con las revoluciones (por lo tanto la fuerza tangencial de la rueda al pasar por la transmisión), y que para las revoluciones hay establecida una velocidad de giro de la rueda, se encuentra finalmente la relación Fuerza – velocidad.

Finalmente dado que como se ha comentado, se dispone de una tabla de valores de par motor por régimen de giro, se puede establecer la relación de par motor fuerza tangencial en tanto por uno para cada relación de cambio, para luego más tarde multiplicarla por la curva de par motor, es decir, calcular cuál sería la cantidad de fuerza tangencial (en Newtons) de la rueda para cada marcha, suponiendo que el par motor fuera 1N. Si posteriormente multiplicamos esa relación por todos los valores de la curva de par motor, obtenemos la fuerza tangencial de la rueda con exactamente la misma forma que la curva de par motor.

Partiendo pues de:

$$F_T = M_m \times i_i \times i_t \times \frac{1}{r_{din}} \times \mu_{i.total}$$

$F_T = M_m \times i_i \times i_t \times \frac{1}{r_{din}} \times 1$ (se considera rendimiento 100%)

$$F_{Ti} = M_m \times i_i \times i_t \times \frac{1}{0.3149m}$$

$$F_{Ti} = 1Nm \times i_i \times 5.674368 \times \frac{1}{0.3149m}$$

Si $i_1 = 2.75$

$$F_{T1} = 1Nm \times i_1 \times 5.674368 \times \frac{1}{0.3149m}$$

$$F_{T1} = 1Nm \times 2.75 \times 5.674368 \times \frac{1}{0.3149m}$$

$$\boldsymbol{F_{T1} = 49.5538N}$$

Es decir, por cada Newton-metro que entregue el motor, la rueda trasera, entrega en fuerza tangencial 49.5538N. Calculando para el resto de marchas, obtenemos la siguiente tabla.

Marcha engranada	**Fuerza tangencial de la rueda en N, por cada Nm entregado por el motor**
1	49,55386472
2	34,92195994
3	28,03847764
4	24,29040351
5	21,7676613
6	19,73144795

Tabla 3. Fuerza tangencial de la rueda en, por 1 Nm de par motor

A partir de estos valores, y modificando la tabla 2, de tal manera que sea también en tanto por 1, es decir, dando la velocidad en km/h por cada 1 revolución por minuto del motor. Obtenemos la siguiente tabla, como combinación de ambas.

Marcha engranada	**Relación velocidad tangencial de la rueda km/h por cada RPM**	**Relación Fuerza tangencial de la rueda en N, por cada Nm del motor**
1	0,007607704	49,55386472
2	0,010795245	34,92195994
3	0,013445492	28,03847764
4	0,015520167	24,29040351
5	0,017318862	21,7676613
6	0,019106105	19,73144795

Tabla 4

El siguiente paso es sencillo, consta en multiplicar las dos columnas de la tabla 4 por las correspondientes columnas de la tabla 1 del Anexo II, Tablas. Obteniendo así 12 columnas, cada una correspondiente al valor de Fuerza tangencial y velocidad tangencial en la rueda, para cada marcha, para todos los valores del régimen de RPM que se habían parametrizado (ver Anexo II 1.6.1)

Posteriormente, mediante la hoja de cálculo se crea un gráfico de dispersión de valores de líneas suavizadas, con 6 series, una por cada marcha.

Finalmente obtenemos el siguiente gráfico, como se explicó en el apartado 1.3.1 del proyecto, en el eje de las ordenadas, la fuerza tangencial en kN, y en el eje de las abscisas, la velocidad.

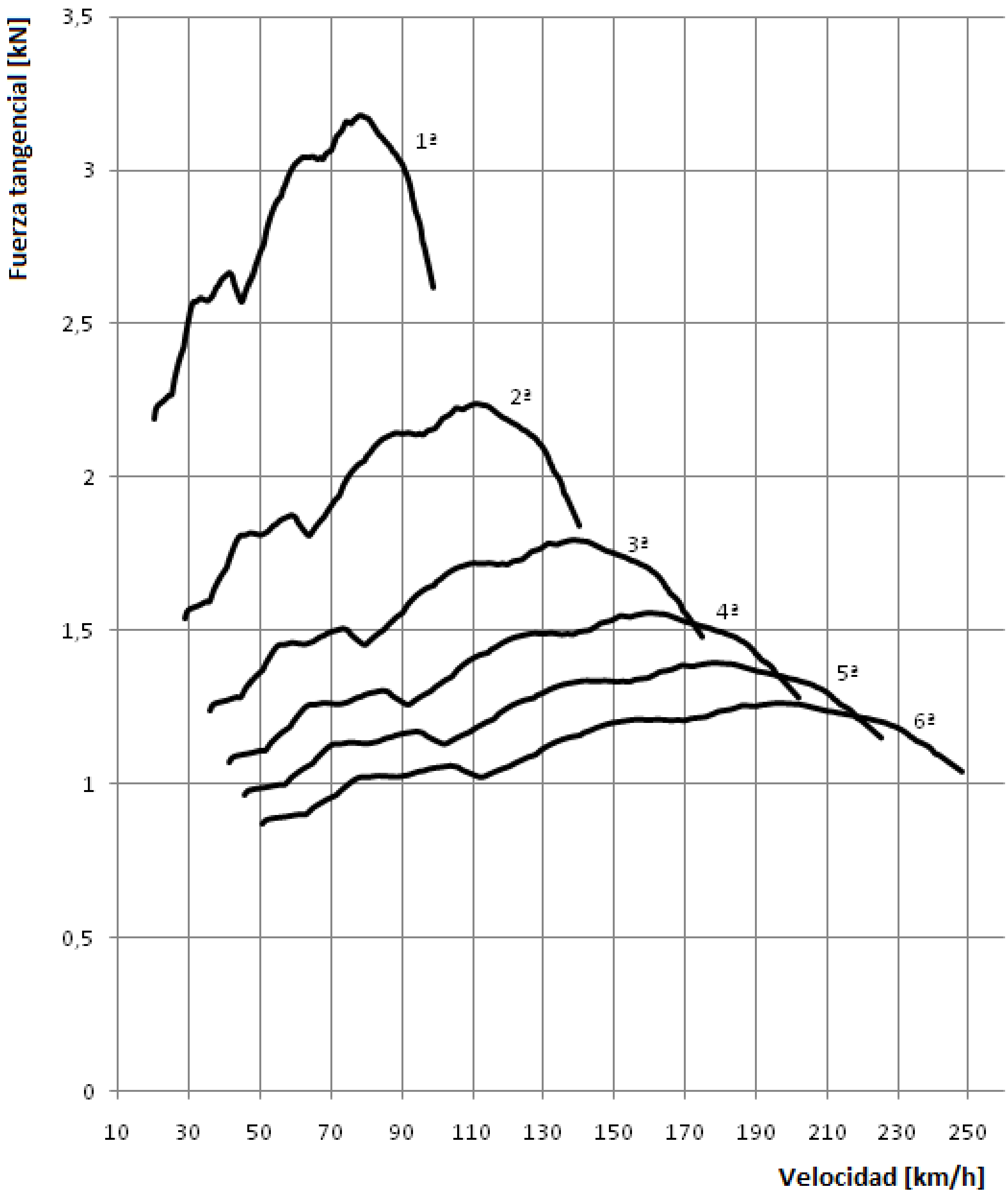

Fig. 8 Fuerza motor - velocidad

A continuación se detalla el cálculo de las resistencias

Cálculo de las resistencias

Las resistencias a la rodadura y a la pendiente fueron calculadas en los apartados 1.1 y 1.3 del presente anexo.

El cálculo de la resistencia aerodinámica, quedó congelado en el apartado 1.2 dado que no se disponía del dato de C_x. Una vez calculada la fuerza tangencial de la rueda (ver apartado anterior), es decir, la fuerza de empuje del vehículo.

Podemos determinar cuál sería el C_x partiendo de las premisas comentadas en el apartado 1.1.2 del proyecto:

1. El conductor deberá tener una masa de 75 kg ± 5 y una altura de 1,75m ± 0,05.
2. Deberá colocarse en el asiento previsto para el conductor con los pies en los pedales o reposapiés y los brazos normalmente extendidos
3. Las pruebas deberán efectuarse en una carretera que no tenga más del 1 % de pendiente en sentido longitudinal. (Se tomará 0%)
4. Condiciones atmosféricas:
   - Presión atmosférica: 97 ± 10 kPa. (Tomaremos 101.325 kPa, 1 atm al nivel del mar)
   - Temperatura: comprendida entre 278 y 308 K. (5 ~ 35 ºC). Tomaremos 15ºC → densidad del aire 1.18 kg/m^3.
   - Velocidad media del viento, medida a 1 m por encima del nivel del suelo: < 3 m/s, permitiéndose ráfagas < 5 m/s. (Tomaremos 4 m/s)
5. Velocidad máxima homologada del vehículo 225 km/h.
6. Área frontal: (solo piloto) 0.62m^2.

Tomamos pues, la ecuación:

$$F_T = R_A + R_R$$

Donde:

F_T = Fuerza tangencial de la rueda (o fuerza de empuje total si se asume una tracción del 100%) de la motocicleta a 225 km/h en 6ª velocidad.

R_A = Resistencia aerodinámica

R_R = Resistencia a la rodadura

(Se desprecia la resistencia a la pendiente, por tomarse el 0%)

Se iguala la resistencia aerodinámica (en función de C_x) más la resistencia a la rodadura a 225 km/h (62.5 m/s) con la fuerza que ejerce el motor a 225 km/h. Dado que esta es la velocidad máxima alcanzable y la única variable es C_x podremos calcularla.

Por lo tanto, consultando las tablas:

$F_T \approx 1.2$kN

$R_R = 0.068$ kN

$R_A = \frac{\rho}{2} \times C_x \times A_f \times {v_r}^2$

Si:

$$R_A = \frac{1.18}{2} \times C_x \times 0.62 \times (62.5 + 4)^2$$

Entonces:

$$1200N = \frac{1.18\ kg/m^3}{2} \times C_x \times 0.62 \times (66.55m/s)^2 + 68N$$

$$1200N - 68N = \frac{1.18\ kg/m^3}{2} \times C_x \times 0.62 \times (66.55m/s)^2$$

$$1132N = 0.59kg/m^3 \times C_x \times 0.62 \times (66.55m/s)^2$$

$$1132N = 0.59kg/m^3 \times C_x \times 0.62 \times (66.55m/s)^2$$

$$1132N = \frac{1620.1\ kg}{m/s^2} \times C_x$$

$$1132N = 1620.1N \times C_x$$

$$C_x = \frac{1132N}{1620.1N}$$

$$\boldsymbol{C_x = 0.698}$$

Tomaremos pues para el cálculo de la resistencia aerodinámica **C_x = 0.7**. Y se creará una tabla con los valores de A_f = 0.68 (ver 1.1.2 del proyecto), en función de la velocidad. Con valores de 0 a 255 km/h en incrementos de 1 km/h. (ver Anexo II, 1.5)

De esta manera tenemos las tablas 1.3, 1.4 y 1.5 para los valores de carga máxima, área frontal, coeficiente aerodinámico y rodadura, con la que crear la tabla de Resistencias para el diagrama de fuerza velocidad (ver Anexo II, 1.6.2)

Finalmente, y de manera análoga al cálculo de fuerza del motor, se crea un gráfico de dispersión, mediante la hoja de Excel, de valores de líneas suavizadas, con 6 series, una por cada valor de pendiente de 0 a 30%.

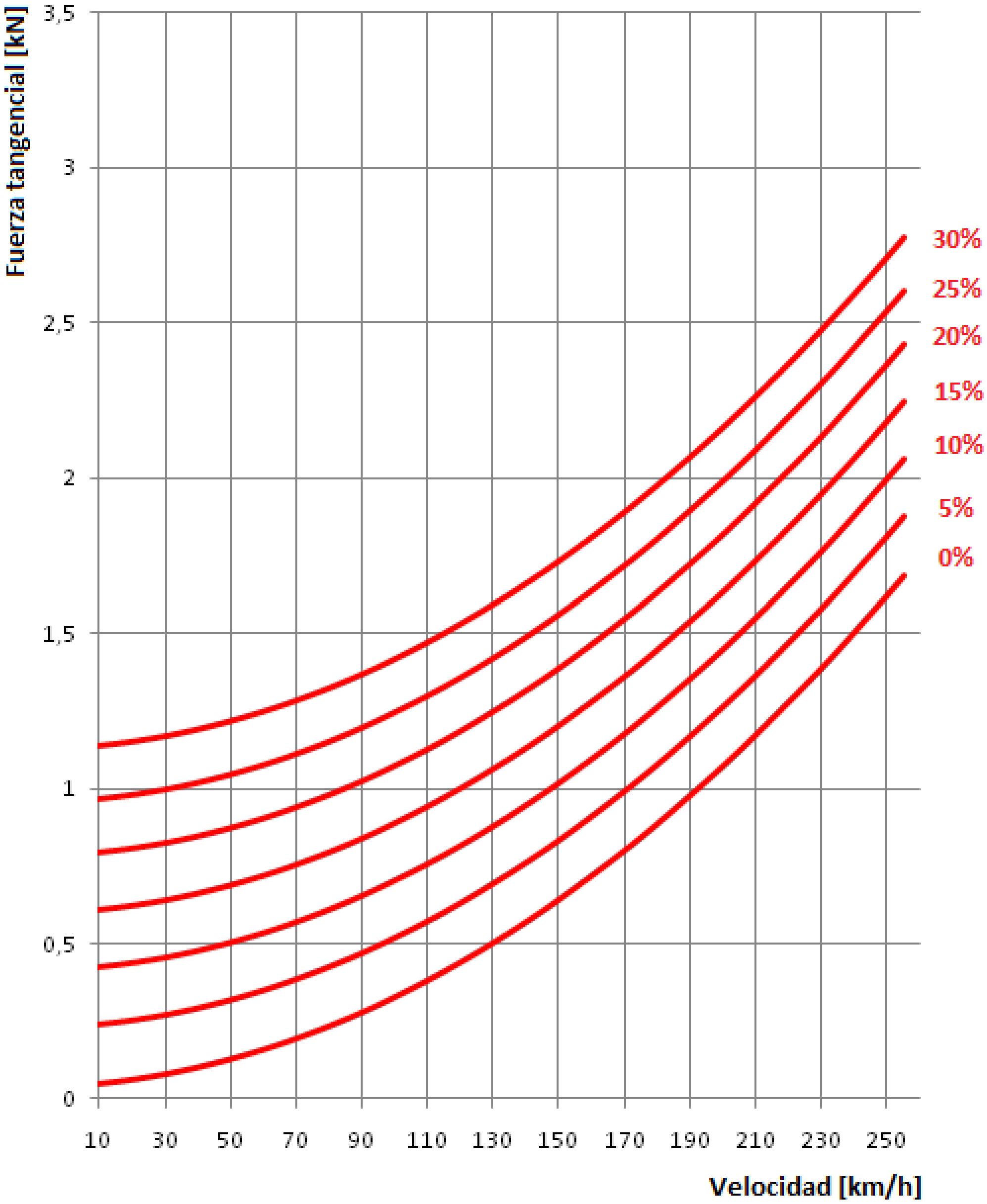

Fig. 9 Resistencias – velocidad

Combinando ambos diagramas, obtenemos el diagrama de fuerza velocidad.

Se añade, además, la curva de potencia máxima. Queda representada por una línea en forma de hipérbole. (Ver Anexo II, apartado 1.6.3)

1.7. Tiempo de recuperación

El tiempo de recuperación como se explica en el apartado 1.4.1 del proyecto, es el tiempo necesario para acelerar al vehículo desde 80 hasta 120 km/h.

Obviamente existe la manera trivial, empírica; cronómetro mediante, de calcular este tiempo, pero esto solo nos serviría para dar un resultado que estaría relacionado con las condiciones (como por ejemplo las atmosféricas) en las que se hicieran en ese momento y que pueden no ser las mismas que las condiciones requeridas para otro tipo de datos como el de velocidad máxima, etc. expuestos en la directiva 95/01/CE.

Dado que el diagrama (ver anexo II 1.6.3) calculado anteriormente, está calculado con las condiciones de esta directiva, se procederá al cálculo de este dato, de manera teórica, sirviéndonos de éste.

Lo primero a considerar es obtener una fórmula matemática para obtener este cálculo.

En el diagrama tenemos en el eje de las abscisas, la velocidad (v) y en las ordenadas la Fuerza en función de esta velocidad F(v). Cabe decir que la curva que representa la curva motor no representa toda la fuerza disponible de aceleración ya que hay una curva de resistencia R(v) que se opone a esta. Por lo tanto nuestra fuerza neta o fuerza disponible de aceleración será:

$$F_{da}(v) = F(v) - R(v)$$

Dónde:

$F_{da}(v)$ = Función de la fuerza disponible o neta de aceleración

F(v) = Función de la fuerza motor.

R(v) = Función de la resistencia total de avance.

De esta manera, y expresado gráficamente F_{da} resulta de:

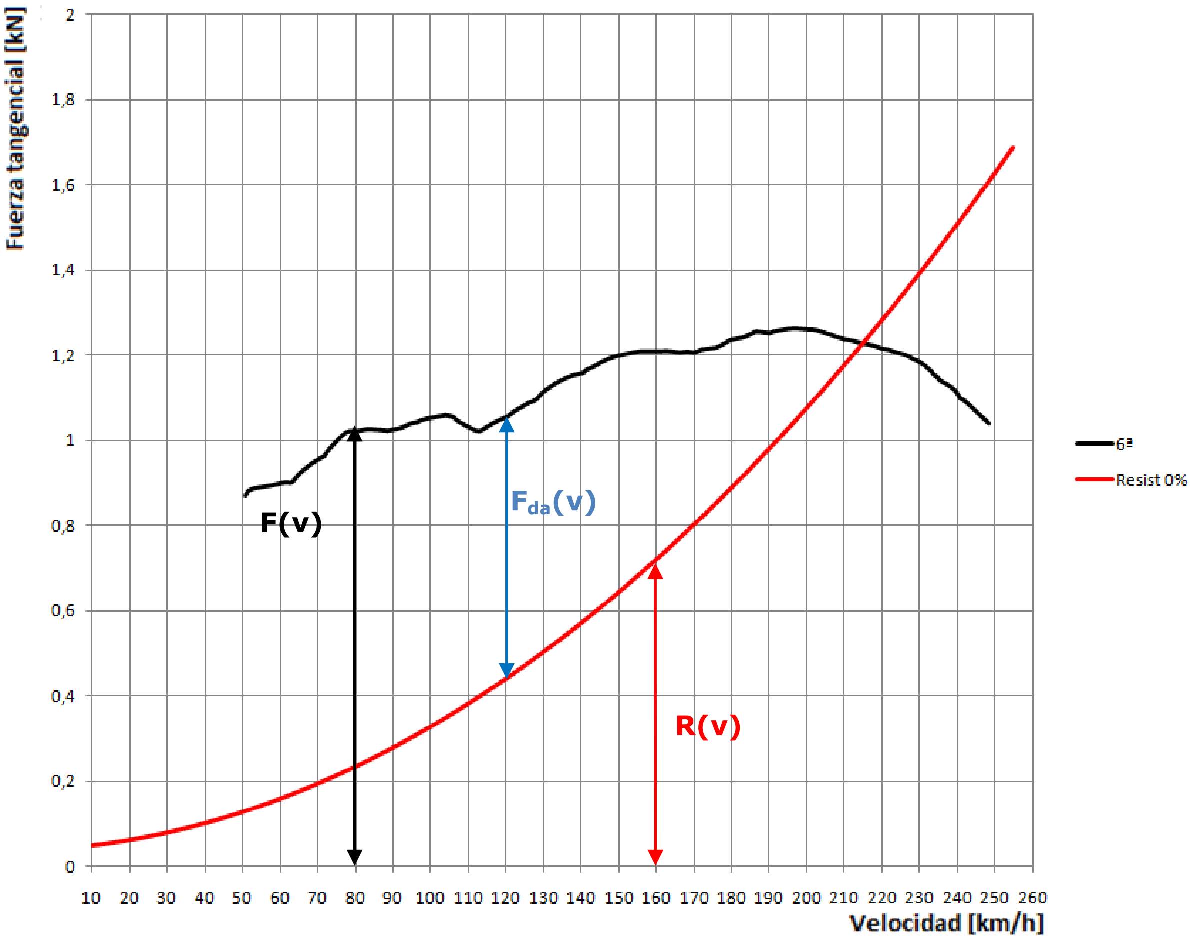

Fig. 10 Diagrama de fuerza disponible de aceleración

Teniendo entonces $F_{da}(v)$:

Sabemos, por la segunda ley de Newton que la fuerza es igual a la masa por la aceleración:

$$F = m * a$$

En nuestro caso, debido a que tenemos una resistencia:

$$F_{da} = m * a$$

Además, nuestra fuerza neta no es constante. Depende, en este caso de la velocidad. Por lo tanto nuestra aceleración instantánea, también dependerá de la velocidad. Por lo tanto para una relación de transmisión y una pendiente concretas (en nuestro caso, sexta y 0%, respectivamente) y teniendo en cuenta que la aceleración es la variación de la velocidad en el tiempo:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

Tendremos que:

$$F_{da}(v) = m * \frac{dv}{dt}$$

Entonces:

$$dt = m * \frac{dv}{F_{da}(v)}$$

Integrando a ambos lados de la ecuación:

$$\int dt = \int m * \frac{dv}{F_{da}(v)}$$

Tendemos que:

$$t_{1,2} = \int_{v_1}^{v_2} m * \frac{dv}{F_{da}(v)}$$

Y como la masa es constante:

$$t_{1,2} = m * \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{F_{da}(v)}$$

Así, finalmente tenemos que el tiempo para acelerar entre dos velocidades conocidas es el resultado de multiplicar la integral definida entre esas dos velocidades por la masa del vehículo.

A partir de aquí surge el siguiente problema: para integrar debemos tener una función. Nuestras curvas, son el resultado de crear una tabla de dispersión de valores concretos, el cual posteriormente la hoja de cálculo se encarga de unir mediante una línea suavizada.

La solución pasa por crear una línea de tendencia polinómica que cumpla con los valores tanto de fuerza como de resistencia. Para ello y dado que estas curvas (por facilitar la comprensión) no se encuentran en el S.I crearemos otro diagrama, con las curvas de fuerza y resistencia con Newtons en las ordenadas y metros/segundo en las abscisas. (ver tabla Anexo II, 1.7.1 y 1.7.2).

Una vez tenemos estas tablas creamos otro gráfico de dispersión y agregamos líneas de tendencia a las curvas de fuerza y resistencia:

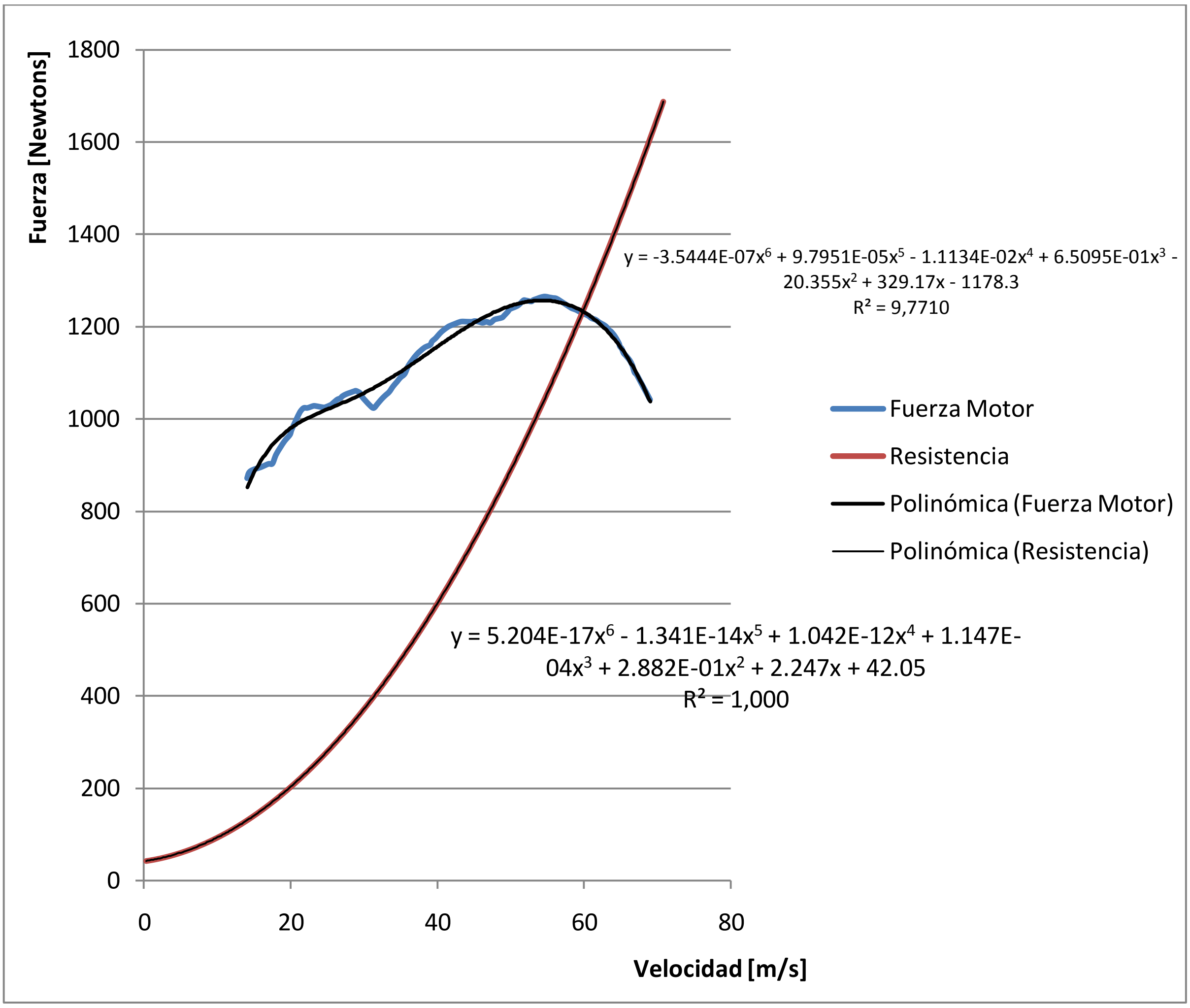

Fig. 11 Diagrama fuerza – Resistencia. Línea de tendencia polinómica

Podemos ver como la curva de fuerza como tal no se puede conseguir en forma polinómica, pero es muy aproximado.

Así de esta manera ya tenemos dos funciones F(v) y R(v)

Como vimos en el apartado anterior:

$$F_{da}(v) = F(v) - R(v)$$

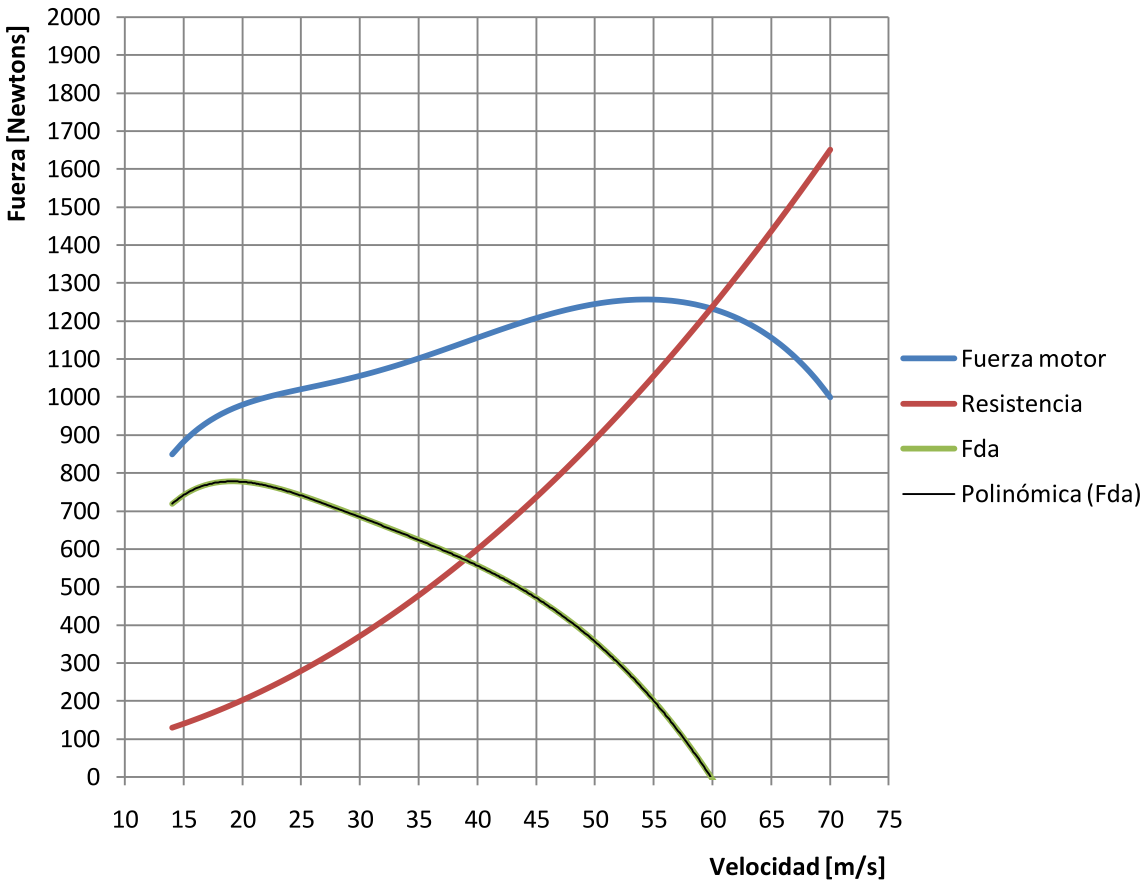

Fig. 12 Diagrama fuerza-resistencia vs. velocidad

Obtenemos la curva:

$$F_{da}(v) = -3.54440 \times 10^{-7}x^6 + 9.7951 \times 10^{-5}x^5 - 0.011134x^4 + 0.650835x^3 - 20.6432x^2 + 326.923x - 1220.35$$

La cuál ya podemos integrar. Cabe recordar que si queremos saber el tiempo que se tarda en acelerar desde 80 a 120 km/h, esto debe ser sustituido en la integral definida como metros/segundo, es decir, 22.222 y 33.333 respectivamente.

El resultado de la integral es el siguiente:

$$\int_{22.222}^{33.333} \frac{1}{-3.54440 \times 10^{-7}x^6 + 9.7951 \times 10^{-5}x^5 - 0.011134x^4 + 0.650835x^3 - 20.6432x^2 + 326.923x - 1220.35} dx =$$

=0.0151804336145139

Por lo tanto:

$$t_{1,2} = m * 0.0151804336145139$$

IMPORTANTE:

Antes de proseguir con el cálculo, se debe considerar lo siguiente:

La aceleración de la motocicleta afecta al incremento de velocidad de traslación del conjunto de sus masas (m) y **al aumento de las velocidades de rotación de las masas giratorias**. Esto pueden ser desde las ruedas, hasta los elementos de motor y transmisión, como el cigüeñal, el volante de inercia del motor, todos los elementos de la caja de cambios, etc.

Dado que este cálculo es muy complicado, no por su complejidad, sino por la consideración de todos los elementos y sus velocidades angulares, se disponen de unas tablas donde se puede hallar un **coeficiente de mayoración** de masas γ_m que multiplicará a la masa. Según *Fundamentals of Vehicle Dynamics. Gillespile T.D.* el coeficiente de mayoración de masas para un turismo pequeño es de 1.11 para relaciones de marcha largas, es decir un 11% más.

Dado que no se dispone de dato para el coeficiente de mayoración de una motocicleta, tomaremos la mitad de este porcentaje, como una buena aproximación. (entre otros motivos, por tener solo 2 ruedas a acelerar). Así tomaremos $\boldsymbol{\gamma_m}$ **= 1.055**.

Finalmente pues, tenemos que el tiempo que se tarda de acelerar, desde 80 a 120 km/h, es aproximadamente:

Para un piloto de 75 kg:

$$t_{1,2} = m \times \gamma\text{m} \ \times 0.0151804336145139$$

$$t_{1,2} = (203 + 75) \times 1.055 \ \times 0.0151804336145139$$

$$\boldsymbol{t_{1,2} = 4.45\ segundos}$$

Para carga máxima (386 kg):

$$t_{1,2} = 386 \times 1.055 \ \times 0.0151804336145139$$

$$\boldsymbol{t_{1,2} = 6.18192\ segundos}$$

1.8. Curva de consumo de combustible

Los datos obtenidos en las diversas pruebas de consumo fueron los siguientes.

Velocidad [km/h]	Consumo [l/100km]
70	4,9
75	4,8
80	4,75
85	4,7
90	4,65
95	4,7
100	4,75
105	4,9
110	5,25
115	5,5
120	5,8
125	6,1
130	6,4
135	6,8
140	7,4
145	7,9
150	9

Estos consumos fueron determinados a velocidad constante en sexta marcha, con pendiente 0%, en posición natural de conducción.

El dato del peso es totalmente irrelevante, ya que, aunque modifica en cierto punto la resistencia a la rodadura, éste sólo es relevante para una pendiente determinada.

El único dato no recogido en la prueba es la variación de velocidad en el viento, pero podremos considerar que los datos, son representativos y coherentes.

El hecho de que solo se haya considerado el cálculo de 70 a 150 km/h es por considerar un margen útil de utilización de la marcha más larga, es decir, fuera del rango de estas velocidades es más que probable que se pudieran obtener consumos que siguieran la tendencia de los datos obtenidos, pero el propósito del proyecto es mantenernos en un margen de velocidad de entre 100 a 120 km/h como velocidad de crucero.

Por último, obtenemos a partir de la hoja de cálculo, un gráfico de dispersión al que agregamos una línea de tendencia para obtener una tabla de consumo en incrementos de 1 km/h. (ver Anexo II, 1.8)

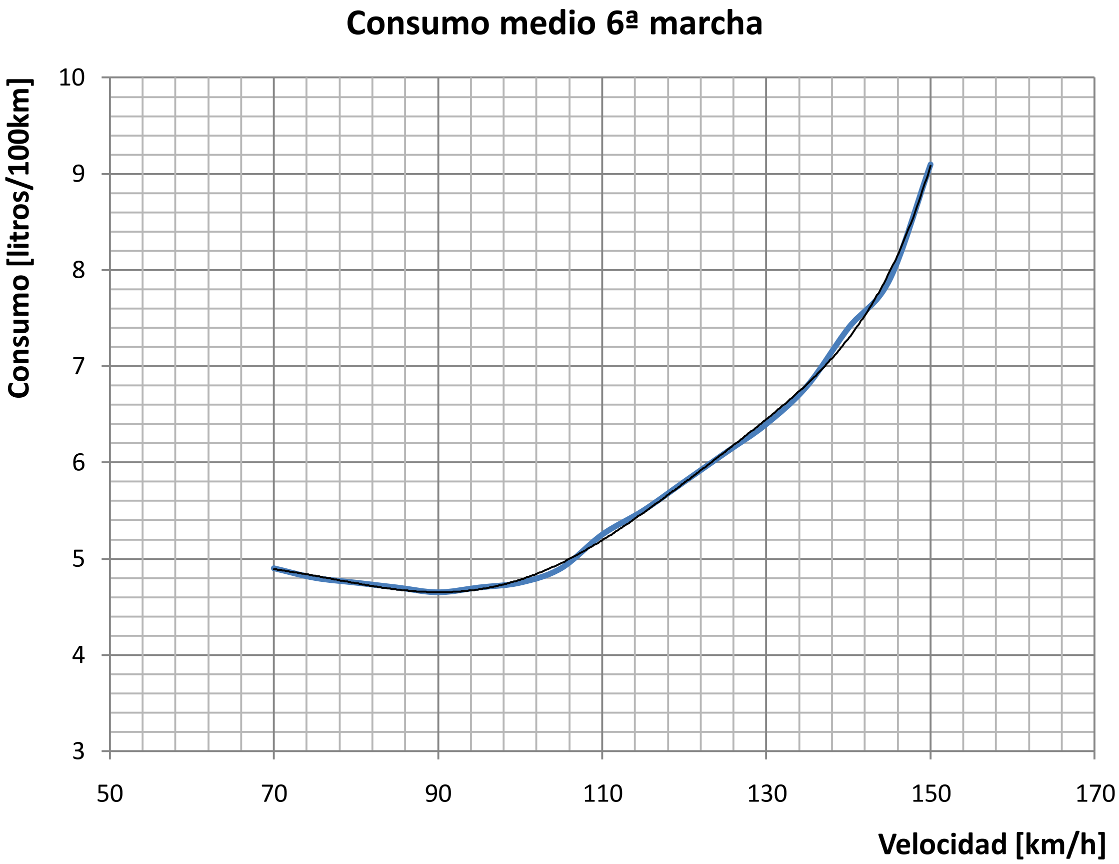

Fig. 13 Consumo medio en 6ª marcha

CAPÍTULO 2: CÁLCULOS DE LA FASE DE DISEÑO

2.1. Elección de la relación de cambio

2.1.1. Tendencia del escalonamiento

Hay tres posibles maneras de proyectar la siguiente relación de cambio: Proyectarlo desde beta, desde alfa o desde i.

Partiendo de la tabla obtenida durante el apartado 1.2.4 del proyecto:

	relación *i*	**relación *α***	**relación *β***
1º (33/12)	2,75		
		1,41935484	
2º (31/16)	1,9375		1.1395537
		1,24553571	
3º (28/18)	1,55555556		1.0792064
		1,15412186	
4º (31/23)	1,34782609		1.0346765
		1,11544228	
5º (29/24)	1,20833333		1.0110413
		1,10326087	
6º (23/21)	1,0952381		

Se reordenan los datos por tal de poder asignar el valor de una marcha a cada tipo de relación:

	i	alfa	beta
1º (33/12)	2,75	1,41935484	1,13955371
2º (31/16)	1,9375	1,24553571	1,07920641
3º (28/18)	1,55555556	1,15412186	1,03467646
4º (31/23)	1,34782609	1,11544228	1,01104128
5º (29/24)	1,20833333	1,10326087	
6º (23/21)	1,0952381		

A partir de esta tabla, mediante la hoja de cálculo creamos un diagrama de dispersión, donde en el eje de las abscisas es la marcha seleccionada y en las ordenadas las relaciones i, alfa y beta:

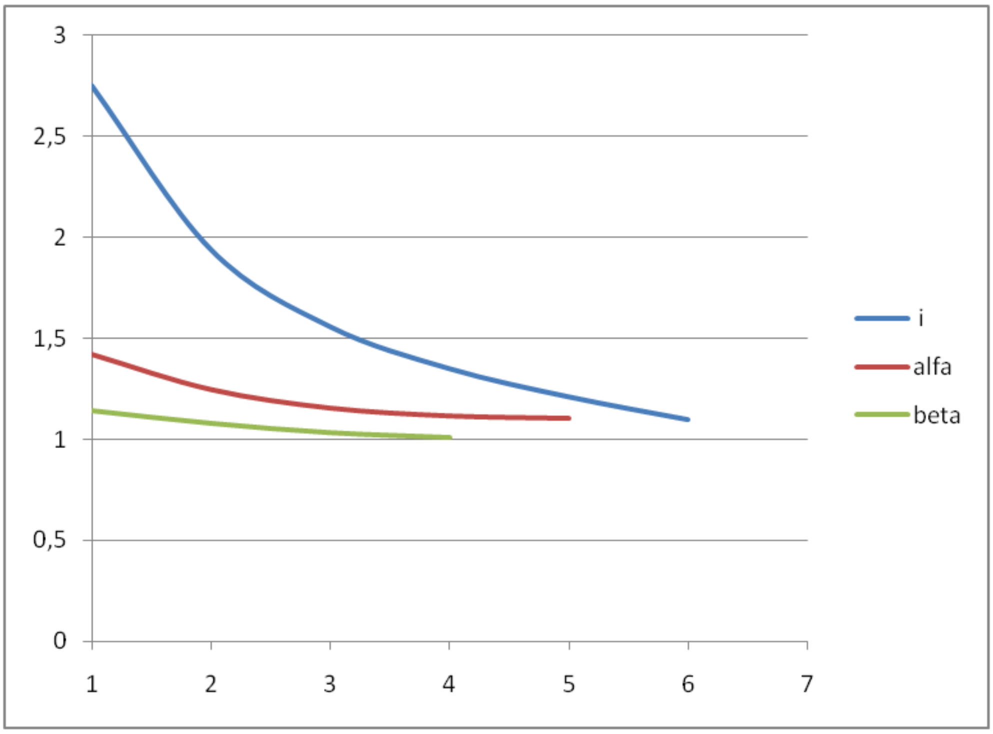

Fig. 14 Tendencia de la relación de transmisión

Como ya se ha hecho anteriormente obtenemos gracias a la hoja de cálculo la función polinómica que cumple la curva de cada una de las relaciones:

Las funciones obtenidas son las siguientes:

Beta:

Y_b = 8,462394464778810E-04x^3+2,831233237461820E-03x^2 -7,476467064319440E-02x + 1,210640903589880E

Alfa:

y_a = 1,431216035570060E-04x^4 - 6,376384100633460E-03x^3 + 7,588290148353850E-02x^2 - 3,589799642209640E-01x + 1,708685163940220

i:

y_i = -7,185271451390920E-04x^5 + 1,704300379584820E-02x^4 - 1,664492034783790E-01x^3 + 8,525653468136910E-01x^2 - 2,438422331497140E+00x + 4,485981711418480

Veamos a continuación el caso de beta:

Teniendo:

$\beta_4 = \alpha_4 / \alpha_5$

a su vez:

$\alpha_5 = i_5 / i_6$

Por lo tanto si damos un valor nuevo β_5 , acabaremos obteniendo:

$\beta_5 = \alpha_5 / \alpha_6$

$\alpha_6 = i_6 / i_7$

obteniendo:

$$i_6 = i_7 \times \alpha_6$$

$$\boldsymbol{i_7 = \frac{i_6}{\alpha_6}}$$

Y:

$$\alpha_5 = \beta_5 \times \alpha_6$$

$$\boldsymbol{\alpha_6 = \frac{\alpha_5}{\beta_5}}$$

Por lo tanto:

$$i_7 = \frac{i_6}{\frac{\alpha_5}{\beta_5}}$$

$$\boldsymbol{i_7 = \frac{i_6 \times \beta_5}{\alpha_5}}$$

A partir de $\boldsymbol{\beta_5}$ podemos obtener la relación $\mathbf{i_7}$.

Para obtener $\boldsymbol{\beta_5}$ simplemente se le da el valor x=5 a la anterior línea de tendencia antes calculada. Calculado a partir de la hoja de cálculo, obtenemos $\boldsymbol{i_7 = 1.0060092}$

Para el caso de la proyección desde *alfa* se realiza de manera análoga, pero omitiendo los pasos de *beta* a *alfa*, y asignando x=6. Del mismo modo, para el caso de proyección de *i*, se obtiene directamente desde x=7.

Las tablas de proyección obtenidas son las siguientes:

Desde Beta:

	i	alfa	beta
1º (33/12)	2,75	1,41935484	1,139553706
2º (31/16)	1,9375	1,24553571	1,079206411
3º (28/18)	1,55555556	1,15412186	1,034676456
4º (31/23)	1,34782609	1,11544228	1,011041277
5º (29/24)	1,20833333	1,10326087	**1,013378312**
6º (23/21)	1,0952381	1,08869596	
7ª	**1,00600915**		

Desde alfa:

	i	alfa	beta
1º (33/12)	2,75	1,41935484	1,13955371
2º (31/16)	1,9375	1,24553571	1,07920641
3º (28/18)	1,55555556	1,15412186	1,03467646
4º (31/23)	1,34782609	1,11544228	1,01104128
5º (29/24)	1,20833333	1,10326087	0,9923097
6º (23/21)	1,0952381	1,09477646	
7ª	**1,00042167**		

Desde i:

	i	alfa	beta
1º (33/12)	2,75	1,41935484	1,13955371
2º (31/16)	1,9375	1,24553571	1,07920641
3º (28/18)	1,55555556	1,15412186	1,03467646
4º (31/23)	1,34782609	1,11544228	1,01104128
5º (29/24)	1,20833333	1,10326087	0,78175198
6º (23/21)	**1,0952381**	0,86247637	
7ª	**0,94461698**		

2.2. Curva de consumo combustible 6ª

Partiendo de los datos del apartado 1.8:

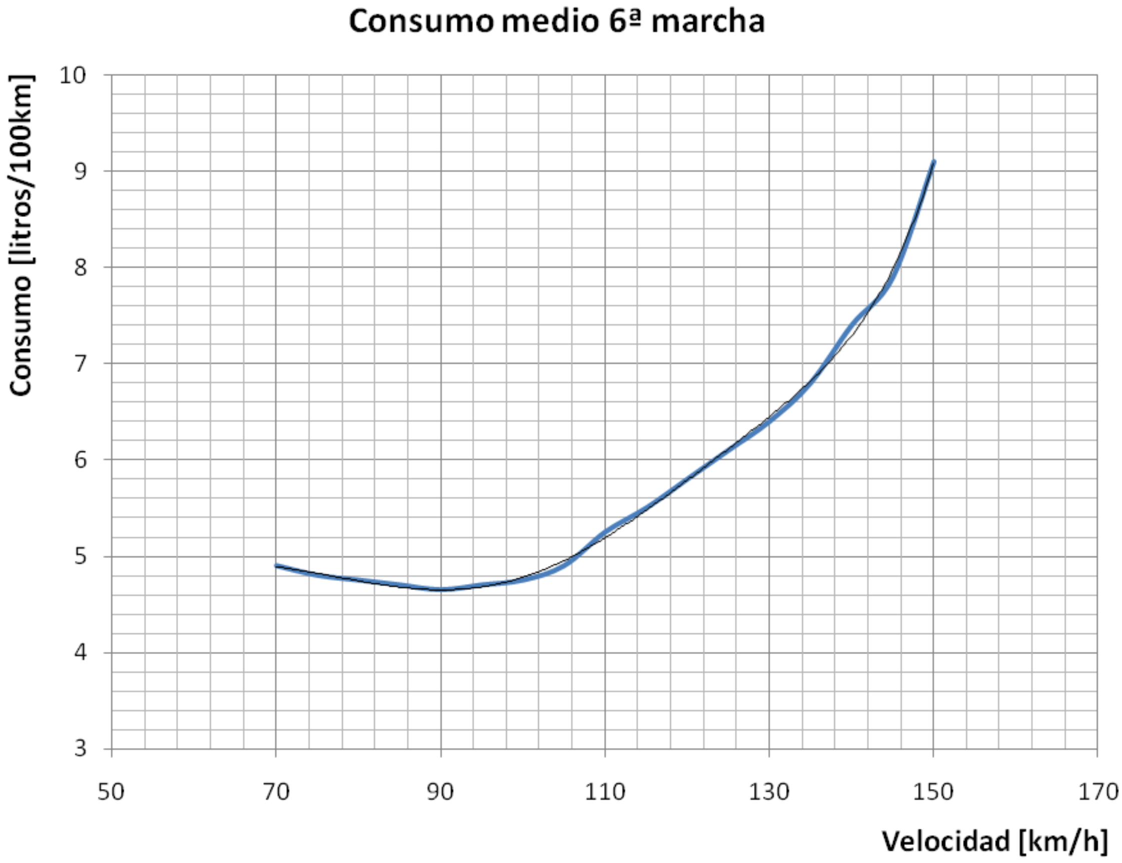

Fig.15 Curva de consumo absoluto medio en 6ª marcha

Se obtuvo una tabla de consumo en función de la velocidad en 6ª velocidad (Anexo II, 1.8)

Si esos valores se multiplican por la densidad de combustible y los pasamos de 100km a horas (según la velocidad, tiempo tardado en recorrer los 100 kilómetros). Obtendremos gramos a la hora, veamos el ejemplo de 120 km/h:

Consumo en litros/100 km a 120 km/h = 5.784278 litros/100 km

Densidad de la gasolina: 680g/litro

$$\frac{5.784278\ litros}{100\ km} \times \frac{680 gramos}{litro} \times \frac{120 km}{hora}$$

$$\frac{\mathbf{4719.97\ g}}{\mathbf{h}}$$

Por otra parte, la potencia necesaria a 120 km/h la obtenemos de multiplicar la fuerza necesaria para moverse a esta velocidad por la velocidad. Los datos los obtenemos de la tabla calculada del apartado 1.7.2 del Anexo II, calculada en el apartado 1.7 del presente anexo.

Fuerza necesaria a 120 km/h = 441.4563 N

Por lo tanto la potencia necesaria:

$$\frac{120\ km}{h} \times \frac{1h}{3600s} \times \frac{1000m}{km} \times 441.4563N = 14715.21W$$

Expresado en CV:

$$14715.21W \times \frac{1CV}{736\ W} = 19.99\ CV$$

Finalmente tendremos que el consumo específico a 120 km/h es:

$$\boldsymbol{\frac{4719.97\ g}{20\ Cv\ \times h} \approx \frac{236.116g}{Cv \times h}}$$

Es decir, se consumen a 120 km/h 236.116 gramos de combustible por cada caballo generado. Por lo tanto si a 120 km/h afrontamos una pendiente, necesitaremos generar mayor potencia (mayor fuerza por igual velocidad) y por lo tanto se consumirán más gramos de combustible.

Como se ha comentado, típicamente, la gráfica de consumo específico se representa con las unidades de RPM en el eje de las abscisas.

Generamos pues una tabla mediante la hoja de cálculo, por cada valor de velocidad y potencia, para operar de la manera anterior con la tabla de consumo absoluto, obteniendo la tabla del anexo II 2.1.

Se elabora pues el gráfico de consumo específico. (ver página siguiente)

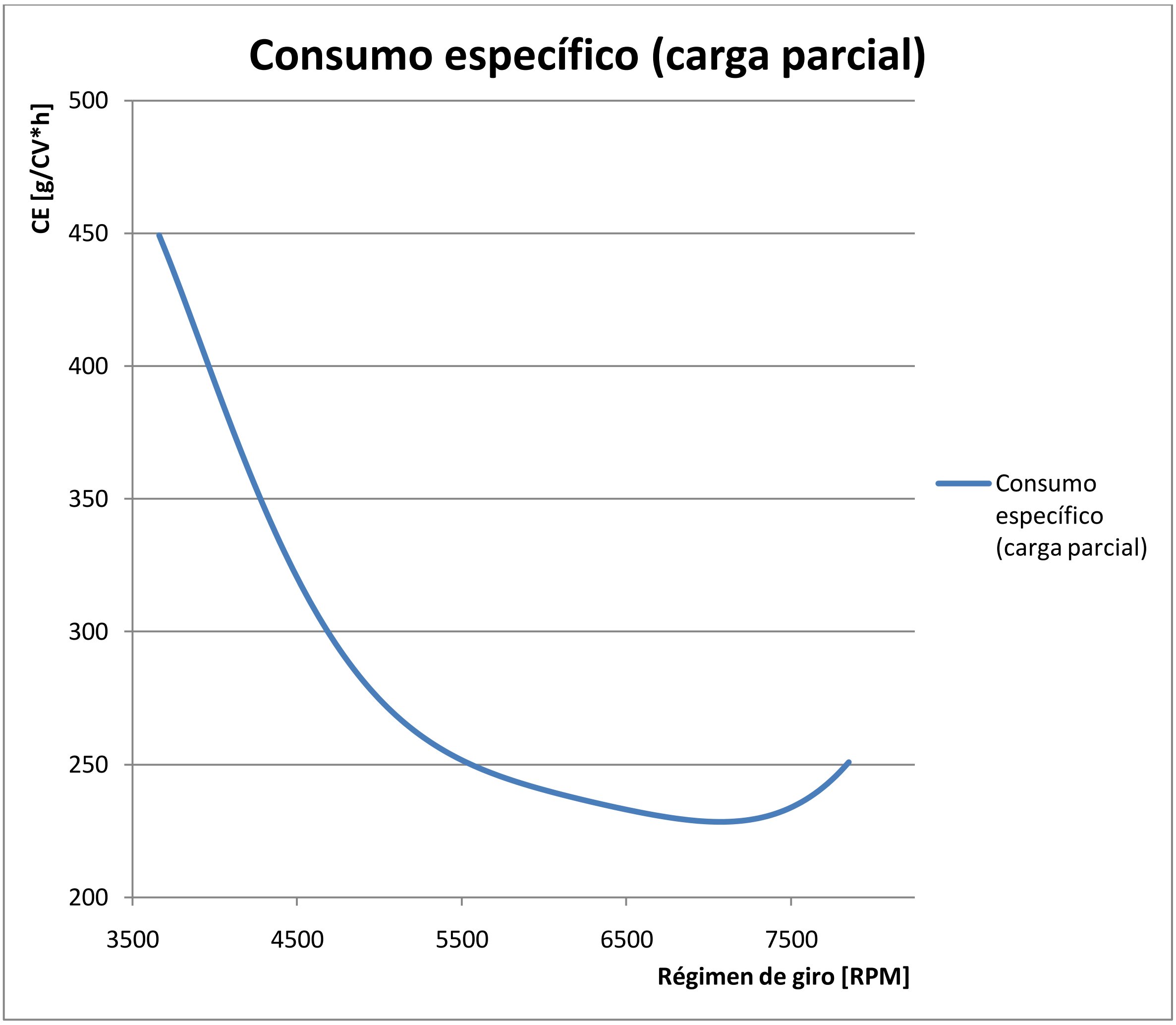

Fig. 16 Curva de consumo específico a carga parcial en 6ª marcha

2.3. Curva de consumo específico según porcentaje de carga motor

Partiendo del cálculo del apartado anterior 2.2, en la que tenemos una curva de consumo específico en la cual no conocíamos la carga, sino el régimen de giro, para conseguir la misma curva de consumo específico deberemos pasar de régimen de giro a carga motor.

Para ello se parte del gráfico comentado en el apartado 2.4.2 del proyecto, calculando su línea de tendencia.

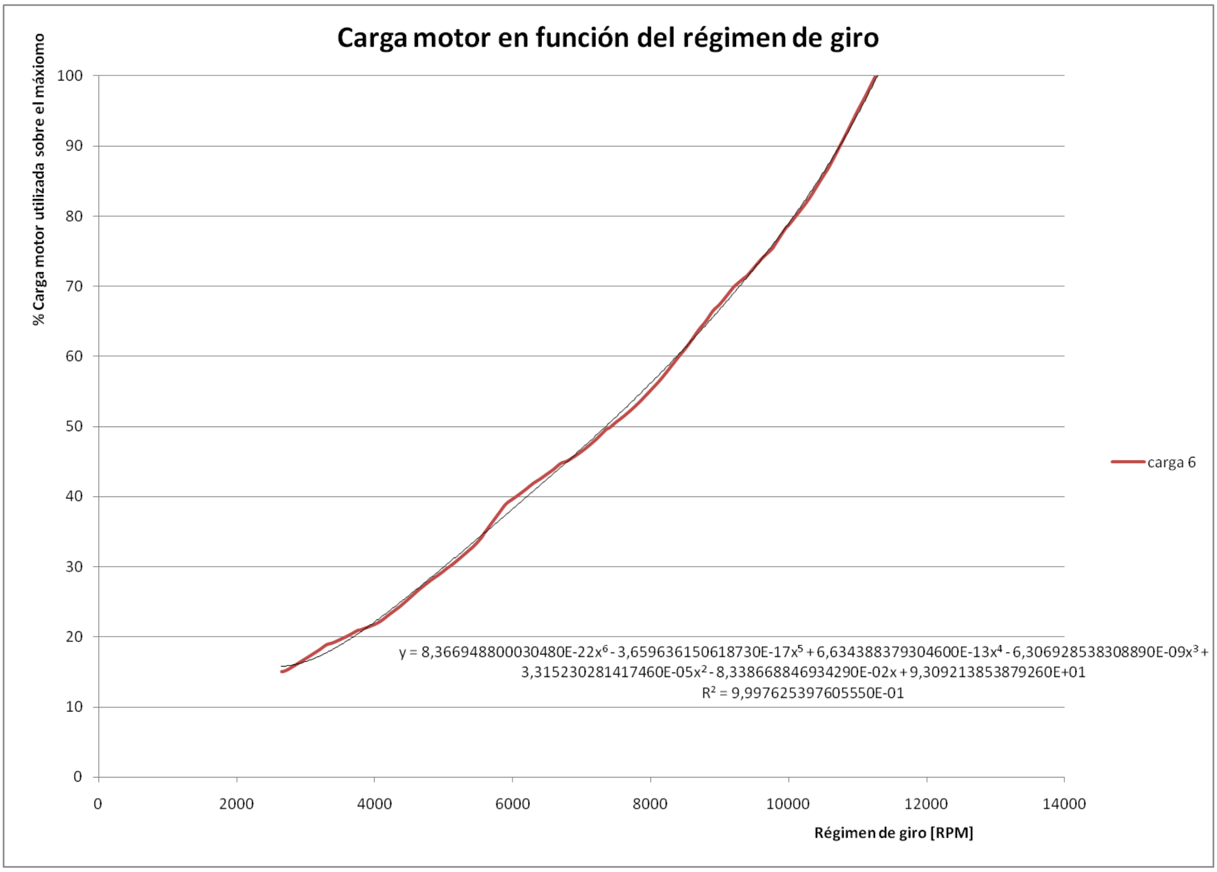

Fig. 17 Carga motor en función del régimen de giro

La función obtenida es la siguiente:

$$Y = 8{,}366948800030480E\text{-}22x^6 - 3{,}659636150618730E\text{-}17x^5 + 6{,}634388379304600E\text{-}13x^4 - 6{,}306928538308890E\text{-}09x^3 + 3{,}315230281417460E\text{-}05x^2 - 8{,}338668846934290E\text{-}02x + 9{,}309213853879260E\text{+}01$$

A partir de esta línea de tendencia, en la que para cualquier régimen de giro sabremos que carga motor representa, siempre y cuando sea la sexta velocidad, si se asocia a los datos de la tabla del Anexo II 2.1, se podrá asignar directamente un valor de carga motor a un valor de consumo específico y con ello crear finalmente el gráfico de consumo específico en función de la carga motor.

La tabla creada queda reflejada en el Anexo II, 2.3

Y el gráfico realizado es el siguiente:

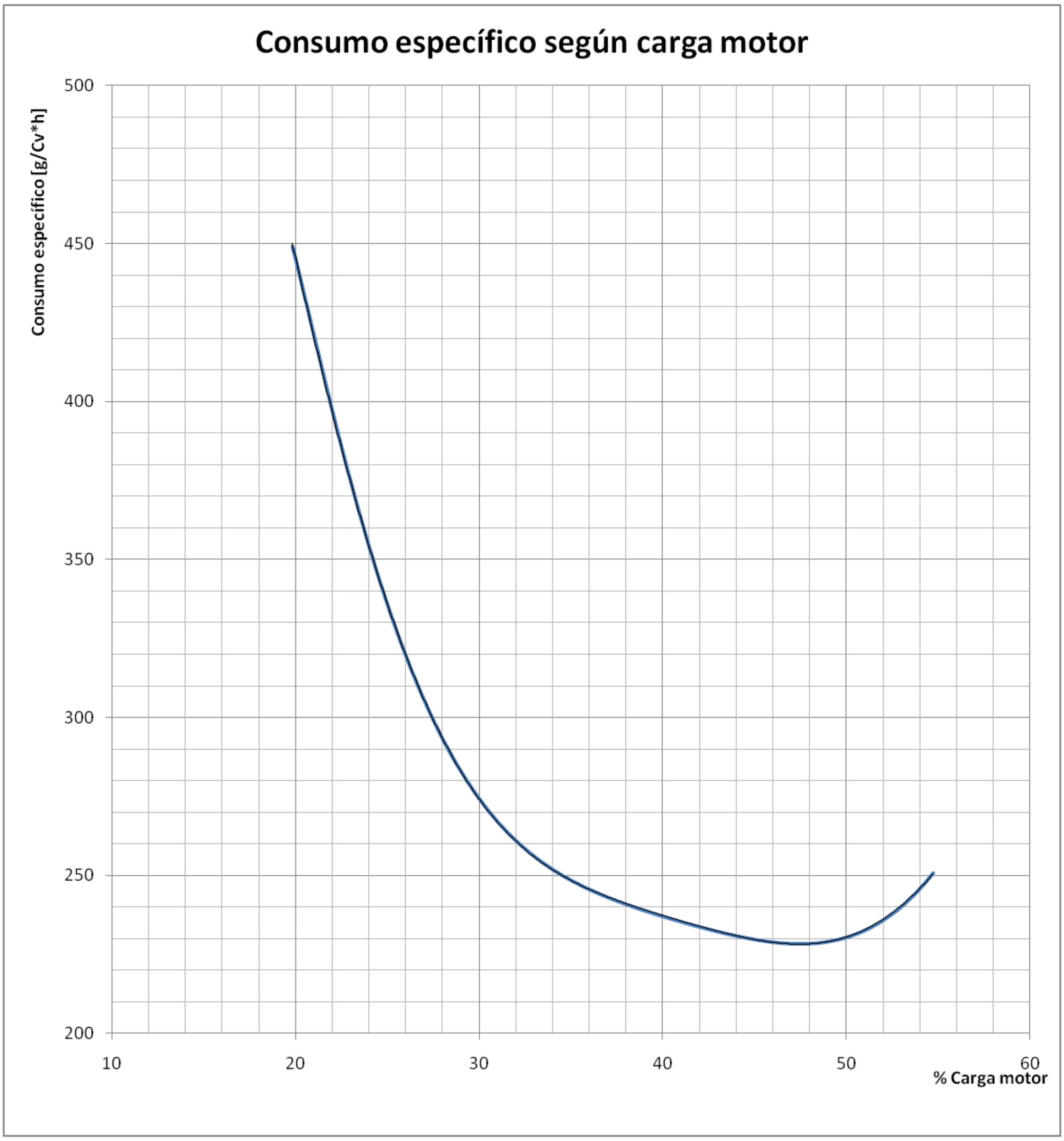

Fig. 18 Consumo específico según carga motor

Finalmente el dato que será necesario para el resto de cálculos que se realicen será la línea de tendencia del gráfico de la figura anterior, que expresara cuál es el valor de consumo específico que tendrá el motor en función de la carga motor. La línea de tendencia, queda calculada mediante la hoja de cálculo:

$y = -1{,}248475299892030E\text{-}06x^6 + 2{,}964382580666660E\text{-}04x^5 - 2{,}809946400024980E\text{-}02x^4 + 1{,}347156020643650E{+}00x^3 - 3{,}364262747078470E{+}01x^2 + 3{,}894016209733720E{+}02x - 1{,}035415939616740E{+}03$

2.4. Cálculo de consumo medio para 7ª marcha

A continuación se expone un ejemplo del cálculo del consumo para una de las 7 marchas para un valor de 120 km/h.

Tomaremos el ejemplo de la relación de cambio 7C, especificada en el apartado 2.5 del proyecto.

i_{7C} = 0.95017

1. Función de consumo específico en relación con la carga motor:

$y = -1{,}248475299892030E\text{-}06x^6 + 2{,}964382580666660E\text{-}04x^5 - 2{,}809946400024980E\text{-}02x^4 + 1{,}347156020643650E{+}00x^3 - 3{,}364262747078470E{+}01x^2 + 3{,}894016209733720E{+}02x - 1{,}035415939616740E{+}03$

2. Función de carga motor de 7C en función del régimen de giro (especificada en el proyecto apartado 2.5)

$y = 1{,}251237649960040E\text{-}21x^6 - 5{,}456596690514120E\text{-}17x^5 + 9{,}860958194778380E\text{-}13x^4 - 9{,}344884443051690E\text{-}09x^3 + 4{,}900255885687570E\text{-}05x^2 - 1{,}227721975878540E\text{-}01x + 1{,}347536697666710E{+}02$

3. Régimen de giro que tendrá el motor, para alcanzar 120 km/h:

120 km/h = 33.333 m/s

$$\frac{33.333\,m}{s} \times \frac{1rev}{2\times\pi\times rdin} = \frac{33.333m \times rev}{s\times 2\times\pi\times 0.3149m}$$
$$\frac{16.84714\,rev}{s}$$

Velocidad de giro de la rueda a régimen del motor:

$$\frac{16.84714\,rev}{s} \times \frac{60s}{1\,min} = 1010.824\ \frac{rev}{m}$$

$$velocidad\ de\ giro\ de\ la\ rueda \times it = \omega r \times i_{p\times} i_{7c\times} i_f$$

Donde:

i_t: reducción total de transmisión

i_p: reducción primaria

i_f: reducción final

$$1010.824\,rpm\ \times 2.111 \times 0.95017 \times 2.688 = 5449.97\,RPM$$

Nótese, que este dato ya era conocido, se ha realizado porque es de ésta manera por la cual se deducirán el resto de valores de régimen de giro del motor para diferentes velocidades (en incrementos de 1 km/h).

Se aplica ahora la línea de tendencia del punto 2:

% carga motor = f(RPM) =1,251237649960040E-21*5450^6 - 5,456596690514120E-17*5450^5 + 9,860958194778380E-13*5450^4 - 9,344884443051690E-09*5450^3 + 4,900255885687570E-05*5450^2 - 1,227721975878540E-01*5450 + 1,347536697666710E+02

Carga motor = 48.80 %

Se aplica ahora la línea de tendencia del punto 1:

CE [g/CV*h] = f(% carga motor)= -1,248475299892030E-06*48.80^6 + 2,964382580666660E-04*48.80^5 - 2,809946400024980E-02*48.80^4 + 1,347156020643650E+00*48.80^3 - 3,364262747078470E+01*48.80^2 + 3,894016209733720E+02*48.80 - 1,035415939616740E+03

Consumo específico = 228.828373 g/Cv*h

Ya conocido el consume específico:

4. Cálculo de la potencia necesaria para circular a 120 km/h

Hay varias maneras de calcular esto, igual de válidas, la más sencilla es suponer:

Potencia = fuerza necesaria x *velocidad*

La fuerza necesaria, se tiene calculada anteriormente, en el punto 2.2 del presente anexo, en forma de línea de tendencia polinómica (para pendiente 0% y carga máxima), sustituyendo en dicha función:

F. necesaria a 120 km/h (33.333 m/s) = 441.45 Newtons

Potencia [W] = 441.45 N x 33.333 m/s = 14714.99 W = 19.99 Cv

5. Consumo por unidad de tiempo:

Consumo específico = 260.124018 g/(Cv·h)

Generándose 20 Cv:

$$\frac{228.828373\ g}{Cv \cdot h} \times 19.99Cv \approx \mathbf{457.2791}\ {}^{\boldsymbol{g}}\!/\!_{\boldsymbol{h}}$$

Conociendo la densidad del combustible (gasolina)

$$\rho_{gasolina} = 680\ {}^{g}\!/\!_{l}$$

$$\frac{457.2791\ g}{h} \times \frac{l}{680\ g} = 6.72688\ {}^{l}\!/\!_{h}$$

Expresado en litros/100 km:

$$\frac{6.72688\ l}{h} \times \frac{h}{120\ km} = 0.05605\ {}^{l}\!/\!_{km}$$

Es decir, **5.605 l/100 km**

A partir de la hoja de cálculo se realizan los cálculos de consumo medio de los puntos A, B, C. Para los valores desde 70 a 150 km/h.

2.5. Cálculo de la comparativa prestacional

2.5.1. *Sólo piloto de 75 kg. Área frontal reducida. Pendiente 0%.*

Utilizando la hoja de cálculo, que se dispone en el formato digital, cabe únicamente recalcular cuál es la nueva curva de carga motor bajo estas condiciones las cuales pasarán de:

Características dinámicas	
Densidad del aire [kg/m3]	1,18
Velocidad aire [km/h]	14,4
Cx	0,7
Af	0,68
Peso [kg]	386
Peso tren delantero [kg] 49.6%	191,456
Peso tren trasero [kg] 50.4%	198,404
Presión delantera [bar]	2,5
Presión trasera [bar]	2,9

A:

Características dinámicas	
Densidad del aire [kg/m3]	1,18
Velocidad aire [km/h]	14,4
Cx	0,7
Af [m^2]	0,62
Peso [kg]	278
Peso tren delantero [kg] 49.6%	137,888
Peso tren trasero [kg] 50.4%	142,892
Presión delantera [bar]	2,5
Presión trasera [bar]	2,9

Correspondientes a utilizar el área frontal sin el margen de 10%, considerado en el proyecto, de más y del peso (203+75) kg del conjunto piloto-motocicleta.

El proceso del cálculo es exactamente el mismo que el que se ha realizado para anteriores cálculos. A continuación se enumera el proceso (ver hoja de cálculo):

1. Se obtiene, a partir de la hoja de cálculo Excel las nuevas curvas de carga según las condiciones antes descritas. Una curva de carga para cada pendiente. Las curvas obtenidas son las siguientes:

Pendiente 0%: y = -2,481541837659080E-24x6 + 7,638185776314660E-21x5 + 6,123675977372940E-19x4 + 1,770296434694350E-09x3 + 2,016898751142470E-05x2 + 5,690222650167860E-04x + 3,114637386411210E-02

Pendiente 5%: y = 4,963083675318170E-24x6 - 3,417910291069110E-21x5 + 2,619100319165430E-18x4 + 1,770296204733230E-09x3 + 2,016898753874800E-05x2 + 5,690222699650420E-04x + 1,671964168416970E-01

Donde "y" es la resistencia obtenida en kN
Donde "x" es la velocidad en km/h

2. Dado que se posee la relación entre RPM y velocidad para cada marcha se extrapolan los valores de resistencia en cada curva de pendiente, obteniendo los valores de resistencia en función de las RPM. Se calcula una línea de tendencia de cada una de ellas.

3. A su vez se conoce la fuerza tangencial máxima de la rueda en cada velocidad, en función de valores de revoluciones. Se resta a estos valores los extrapolados por la línea de tendencia generada en el punto 2. Consiguiendo los valores de fuerza neta disponible.

4. A partir de los valores de fuerza neta disponible, se calculan los valores de fuerza utilizada (carga motor) en porcentaje sobre la máxima fuerza tangencial para esas revoluciones y se calculan sus líneas de tendencia. Con esto se consiguen, finalmente, los datos de porcentaje de carga motor en función del régimen de giro para cada uno de los cuatro casos.
   - En 6ª con 0% de pendiente.
   - En 6ª con 5% de pendiente.
   - En 7ª con 0% de pendiente.
   - En 7ª con 5% de pendiente.

Se genera un gráfico con el que calcular las líneas de tendencia, que a continuación se sustituirán en las tablas de cálculo de consumo.
Ver siguiente página.

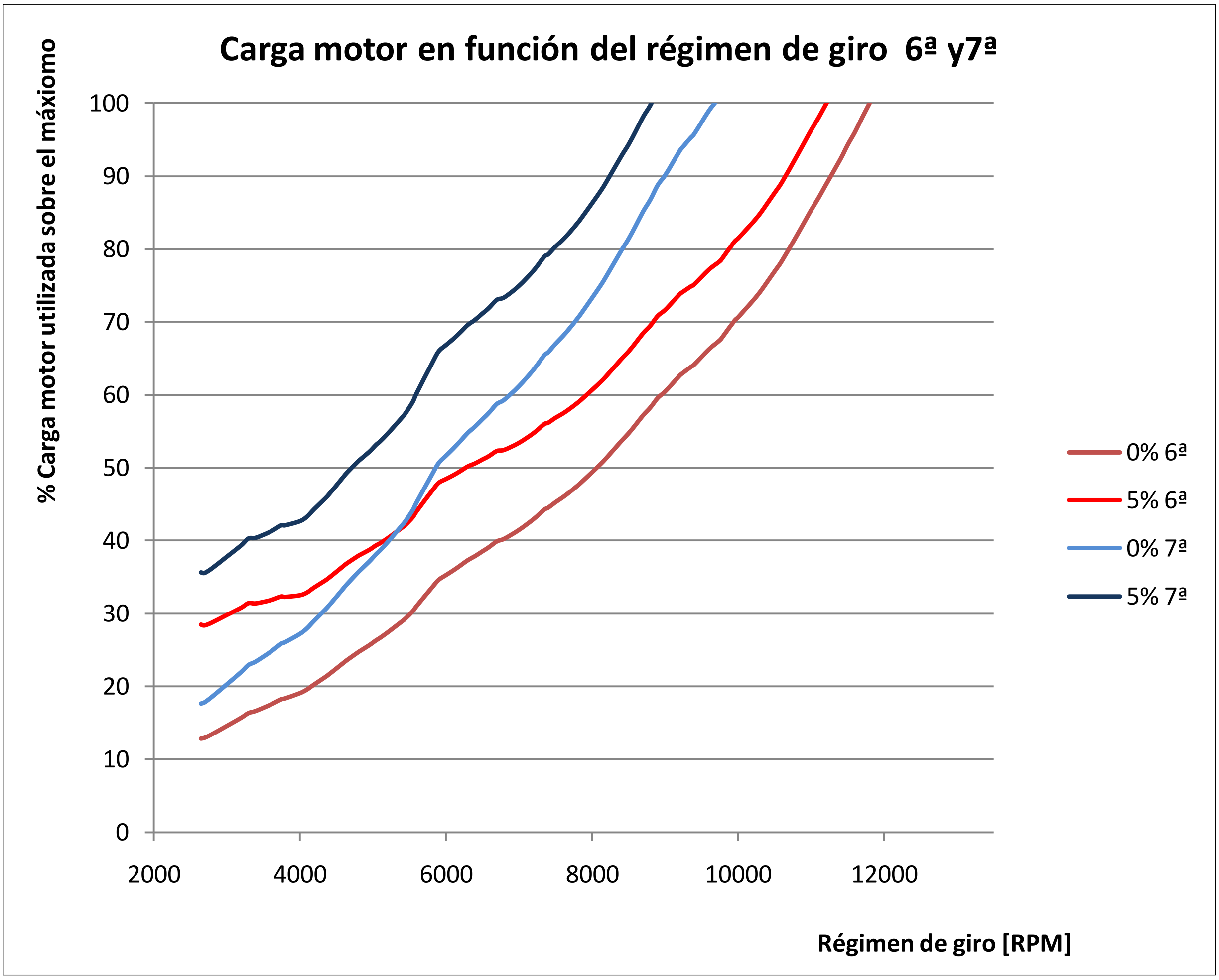

Fig. 19 Comparativa carga motor con nuevas hipótesis de carga

Para cada una de estas curvas se calcula, como se ha apuntado, la línea de tendencia:

Pend 0% 6ª

$$Y = 7{,}488985183626930E\text{-}22x^6 - 3{,}272147288986790E\text{-}17x^5 + 5{,}925341028897590E\text{-}13x^4 - 5{,}626591148615340E\text{-}09x^3 + 2{,}954376280926390E\text{-}05x^2 - 7{,}409080063303670E\text{-}02x + 8{,}188353107111990E\text{+}01$$

Pend 5% 6ª

$$Y = 8{,}796027332367840E\text{-}22x^6 - 3{,}931438443828000E\text{-}17x^5 + 7{,}289193472849060E\text{-}13x^4 - 7{,}087519265367250E\text{-}09x^3 + 3{,}802511144514960E\text{-}05x^2 - 9{,}983709093113310E\text{-}02x + 1{,}276961748106160E\text{+}02$$

Pend 0% 7ª

$$Y = 1{,}121205486891740E\text{-}21x^6 - 4{,}885927971140090E\text{-}17x^5 + 8{,}822895210709170E\text{-}13x^4 - 8{,}354784263728110E\text{-}09x^3 + 4{,}377713305993930E\text{-}05x^2 - 1{,}094257459490330E\text{-}01x + 1{,}191367299026130E\text{+}02$$

Pend 5% 7ª

$$Y = 1{,}271832335609460E\text{-}21x^6 - 5{,}645711803887940E\text{-}17x^5 + 1{,}039463332977170E\text{-}12x^4 - 1{,}003839485268810E\text{-}08x^3 + 5{,}355125420938150E\text{-}05x^2 - 1{,}390964235457200E\text{-}01x + 1{,}719323820166430E\text{+}02$$

5. Se sustituyen estas funciones en las tablas de consumo específico así como las de fuerza necesaria.
6. Se genera finalmente el consumo medio. Los datos pueden verse en formato digital en las hojas de cálculo. Los gráficos pueden verse en el apartado 2.6.1 del proyecto.

2.6. Cálculo de los parámetros de engrane de 7C

Para la realización de este cálculo se ha utilizado el software GearTeq 2010. Mediante este programa se pueden realizar infinitas combinaciones de elementos de transmisión. Dando unos parámetros de entrada, el programa automáticamente calcula cuales deberían ser los demás parámetros de generación de la dentadura.

Para el caso que nos ocupa (transmisión corona – piñón) de dentadura recta los parámetros de entrada demandados son los siguientes:

- Número de dientes de cada elemento
- Módulo
- Ángulo de presión
- Distancia entre centros

El programa permite variar cualquiera de los datos generados, es decir, si una vez generados los resultados, se varia cualquiera de estos, el software recalcula automáticamente los parámetros por tal de que se cumplan las condiciones de engrane.

Para el caso de la séptima velocidad, el problema radica en cuál debería ser el número de dientes a escoger así como el módulo.

Solo se conoce la distancia entre centros, 61mm. Así como la relación de transmisión 0.95.

Existen muchas maneras de calcular el número de dientes necesarios, sin embargo la manera más rápida es la de dar valores a partir de la relación de transmisión de manera que estos den un valor exacto. Además como ya se describió anteriormente durante el apartado 2.1.1 y 2.3.1 a la hora de establecer una relación de transmisión, se debe procurar que el número de dientes de cada uno de los engranajes o bien:

- Sean primos
- Sean primos entre sí
- Tenga el mínimo número de divisores comunes entre sí.

Por otra parte, dependiendo del número de dientes variará el módulo necesario, y por lo tanto, a su vez, variará el diámetro primitivo de ambos. Esto último es crítico, ya que si se varía en exceso el diámetro primitivo, no cumplirá la condición necesaria de diámetro entre centros.

De ésta manera, y aunque existan maneras igual de válidas de hacerlo, se procederá a dar un número de dientes a la corona (conductora) y se verá qué valor da un número exacto de dientes en la conducida. Como último apunte, tener en cuenta que el número de dientes de los piñones y las coronas en la actual caja de cambios, oscila entre 12 y 33 dientes. Se procederá a dar valores desde 10 hasta 40 dientes. Cabe decir que un número más elevado de dientes implicará dar un módulo más pequeño.

Así pues:

Nº dientes	
Conductora	**Conducida**
10	9,5
11	10,45
12	11,4
13	12,35
14	13,3
15	14,25
16	15,2
17	16,15
18	17,1
19	18,05
20	**19**
21	19,95
22	20,9
23	21,85
24	22,8
25	23,75
26	24,7
27	25,65
28	26,6
29	27,55
30	28,5
31	29,45
32	30,4
33	31,35
34	32,3
35	33,25
36	34,2
37	35,15
38	36,1
39	37,05
40	**38**

Solo existen dos posibles configuraciones de dientes. Ahora es necesario saber qué modulo se le debe dar a cada una de ellas.

Dado que la distancia entre centros necesaria es de 61 mm, una buena aproximación es considerar que dado que la relación de transmisión es prácticamente directa, los diámetros primitivos serán prácticamente iguales, es decir, sus radios primitivos serán aproximadamente de 30 mm. De esta manera considerando que al menos la rueda conductora, tiene este radio, podremos calcular el módulo necesario.

IMPORTANTE:

Esto es una aproximación, por tal de dar una solución sencilla al problema. La solución más correcta es calcular cual deberá ser el número de dientes en función del módulo y no al revés, dado que los módulos están normalizados. Se escoge uno de ellos en función de las solicitaciones que tendrá la transmisión. Ya que alterar el módulo, éste interfiere en el diámetro y en el caso de que el diámetro esté delimitado por una distancia entre centros el módulo interfiere a la práctica sobre la altura, espesor y paso entre dientes (cantidad de dientes). Un menor módulo implicará (si el diámetro no se puede variar) una mayor cantidad de dientes, y esto repercutirá en última instancia sobre el grado de recubrimiento. A su vez, un mayor grado de recubrimiento implica que existirá contacto entre más dientes a la vez, y esto significará que la fuerza tangencial se repartirá entre ellos y podrán tener menor superficie de contacto. Todo esto es objeto de estudio para un proyecto como tal y solo se pretende dar una aproximación de ello.

Aclarado esto, el módulo de las dentaduras 20 – 19 y 40 – 38, debería ser:

$$R = \frac{1}{2} \times m \times Z$$

$$\frac{2 \times R}{Z} = m$$

Donde:

R: radio

M: módulo

Z: número de dientes

Por lo tanto:

Para 20:

$$\frac{2 \times 30}{20} = \boldsymbol{m = 3}$$

Para 40:

$$\frac{2 \times 30}{40} = \boldsymbol{m = 1.5}$$

Finalmente tenemos los datos de generación para una u otra opción:

Para 20 / 19:

Distancia entre centros: 61 mm

Número de dientes conductora: 20

Número de dientes conducida: 19

Módulo: 3

Para 40 / 38:

Distancia entre centros: 61 mm

Número de dientes conductora: 40

Número de dientes conducida: 38

Módulo: 1.5

Ambos módulos son normalizados[1].

A partir de aquí se introducirán los datos en el software GearTeq 2010, para ver los diferentes parámetros obtenidos.

Para el caso de módulo 3: (ver fig.19)

Conductora:

Símbolo	Valor	Unidades	Término
m	**3**		**Módulo**
α	**20**	**deg**	**Ángulo de presión**
Z	**20**		**Número de dientes**
Dp	60	mm	Diametro primitivo
do	68,827	mm	Diámetro cabeza
dr	55,327	mm	Diámetro menor
a	4,414	mm	Addendum
b	2,336	mm	Dedendum
x	0,4712		Coeficiente modificación addendum
	1,414	mm	Modificación del addendum
db	56,382	mm	Diámetro base (Dp x cos α)
ht	6,75	mm	Altura de diente (add+ded)
p	9,425	mm	Paso circular (módulo x pi)
	0,9	mm	Radio del filete
t	5,7415	mm	Espesor del diente
	0,121	mm	Tolerancia de espesor de diente

[1]: *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA. Joseph Edward Shigley, Charles R. Mischke*

Conducida:

Símbolo	Valor	Unidades	Término
m	**3**		**Módulo**
α	**20**	**deg**	**Ángulo de presión**
Np	**19**		**Número de dientes**
Dp	57	mm	Diametro primitivo
do	65,881	mm	Diámetro cabeza
dr	52,381	mm	Diámetro menor
a	4,441	mm	Addendum
b	2,309	mm	Dedendum
x	0,4802		Coeficiente modificación addendum
	1,441	mm	Modificación del addendum
db	53,562	mm	Diámetro base (Dp x cos α)
ht	6,75	mm	Altura de diente (add+ded)
p	9,425	mm	Paso circular (módulo x pi)
	0,9	mm	Radio del filete
t	5,761	mm	Espesor del diente
	0,121	mm	Tolerancia de espesor de diente

i	**0,95**		**Relación de transmisión**
C	**61**	**mm**	**Distancia entre centros**
mp	1,409		Grado de recubrimiento

Para el caso de módulo 1.5: (ver figura 20)

Conductora:

Símbolo	Valor	Unidades	Término
m	**1,5**		**Módulo**
ø	**20**	**deg**	**Ángulo de presión**
Np	**40**		**Número de dientes**
Dp	60	mm	Diametro primitivo
do	66	mm	Diámetro cabeza
dr	59,25	mm	Diámetro menor
a	3	mm	Addendum
b	0,375	mm	Dedendum
x	1		Coeficiente modificación addendum
	1,5	mm	Modificación del addendum
db	56,382	mm	Diámetro base (Dp x cos α)
ht	3,375	mm	Altura de diente (add+ded)
p	4,712	mm	Paso circular (módulo x pi)
	0,45	mm	Radio del filete
t	3,4481	mm	Espesor del diente
	0,121	mm	Tolerancia de espesor de diente

Conducida:

Símbolo	Valor	Unidades	Término
m	**1,5**		**Módulo**
ø	**20**	**deg**	**Ángulo de presión**
Np	**38**		**Número de dientes**
Dp	57	mm	Diametro primitivo
do	62,708	mm	Diámetro cabeza
dr	55,958	mm	Diámetro menor
a	2,854	mm	Addendum
b	0,521	mm	Dedendum
x	0,9028		Coeficiente modificación addendum
	1,354	mm	Modificación del addendum
db	53,562	mm	Diámetro base (Dp x cos α)
ht	3,375	mm	Altura de diente (add+ded)
p	4,712	mm	Paso circular (módulo x pi)
	0,45	mm	Radio del filete
t	3,342	mm	Espesor del diente
	0,121	mm	Tolerancia de espesor de diente

mg	**0,95**		**Relación de transmisión**
C	**61**	**mm**	**Distancia entre centros**
mp	1,585		Grado de recubrimiento

A continuación se representan gráficamente ambos módulos:

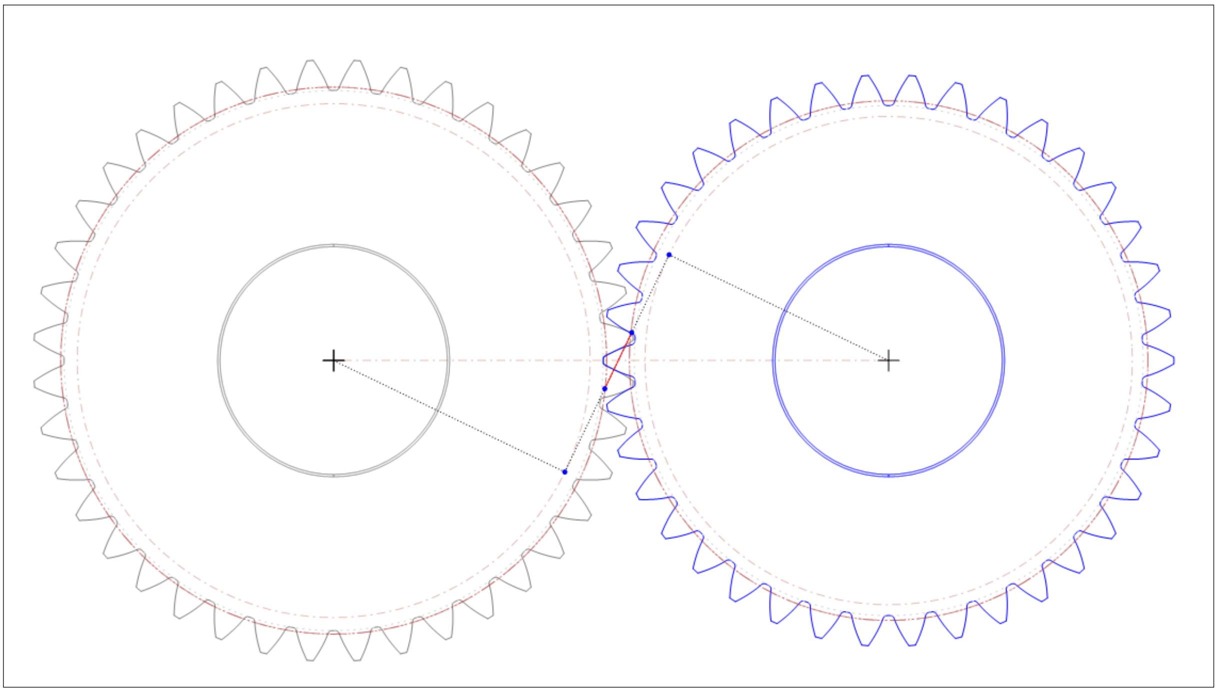

Fig. 19 Representación del módulo 1.5

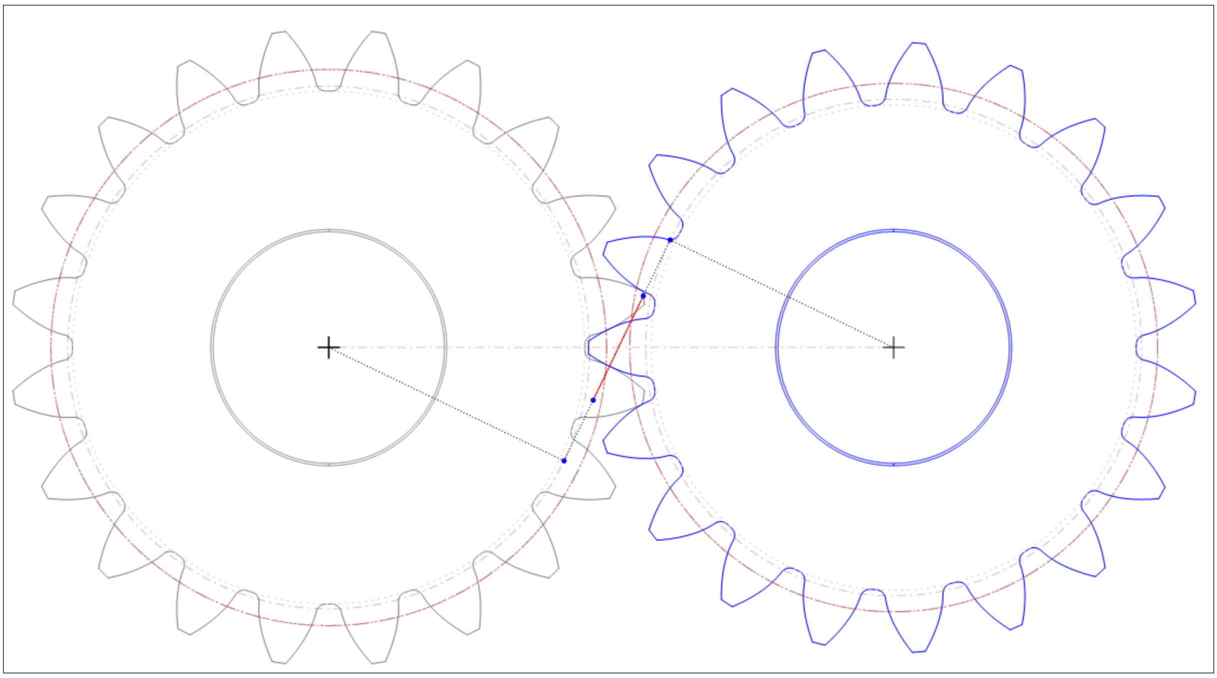

Fig. 20 Representación del módulo 3