

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Estudio geométrico de la cadena cinemática de un motor diésel mono-cilíndrico



Grado en Ingeniería
en Tecnologías Industriales

Trabajo Fin de Grado

ECHEVERRÍA AMESCUA, ÍÑIGO

GIL DEL VAL, ALAIN

URROZ UNZUETA, JOSÉ CARLOS

Pamplona, del 22 al 30 de junio 2015



ÍÑIGO ECHEVERRÍA AMESCUA
ESTUDIO GEOMÉTRICO DE LA CADENA CINEMÁTICA DE UN MOTOR DIÉSEL MONO CILÍNDRICO

RESUMEN

A modo de sinopsis, este proyecto ha consistido en la medición de la geometría característica de la cadena cinemática de un motor diésel SD60 series modelo 178F, plasmándola en un conjunto de croquis y planos más elaborados que luego servirán para modelizar cada una de las partes del motor en el programa de diseño SOLIDWORKS.

Este trabajo asume una serie de hipótesis simplificadoras por facilitar la medición dado que los recursos, tiempo y capacidades son limitados. Sin embargo, la calidad y fiabilidad en las medidas de la cadena cinemática no ha sufrido deterioro como se verá en este trabajo y en el posterior.

A lo largo de esta memoria se explicará en más detalle las fases del trabajo desarrollado durante este semestre: desmontaje, medición de piezas, diseño de planos y selección de materiales.

PALABRAS CLAVE

1. Motor
2. Cadena cinemática
3. Diésel
4. Geometría
5. CAD

SUMMARY

As a synopsis, this Project has consisted in the measurement of the characteristic geometry of the kinematics chain of a modified single cylinder diesel motor SD60, shaping it in a set of sketches and more developed plans that later will serve to modeling each one of the motor pieces in SOLIDWORKS.

This Project assumes some simplifying hypothesis about the measurement because of the lack of means and time. However, the quality and reliability of the measurement of the kinematics chain have not suffered deterioration as will be seen in this Project and the next one.

Along this memoir will be explained the phases of the Project developed during the semester: disassembly, parts' measurement, plans and materials selection.

KEY WORDS

1. Motor
2. Kinematics chain
3. Diesel
4. Geometry
5. CAD

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 METROLOGÍA	6
1.1.1 BREVE HISTORIA	6
1.1.2 UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL	7
1.1.3 DEFINICIONES BÁSICAS DE LOS PARÁMETROS DE LA METROLOGÍA 9	
1.1.4 ESTUDIO DE INCERTIDUMBRES	11
1.2 TIPOS DE CALIBRES	12
2. ESTUDIO GEOMÉTRICO DE LA CADENA CINEMÁTICA REAL	18
2.1 DESMONTAJE	18
2.2 METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE PIEZAS	27
2.3 PROBLEMÁTICA	30
2.4 CÁLCULOS, HIPÓTESIS SIMPLIFICATIVAS	30
3. PLANOS DE LAS PIEZAS DE LA CADENA CINEMÁTICA	¡Error! Marcador no definido.
4. SELECCIÓN DE MATERIALES	32
4.1 METODOLOGÍA Y MEDICIÓN DE PESOS	¡Error! Marcador no definido.
4.2 CÁLCULO DE VOLÚMENES	¡Error! Marcador no definido.
4.3 PROBLEMÁTICA	¡Error! Marcador no definido.
4.4 CÁLCULOS, SELECCIÓN E HIPOTESÍS DE ELECCIÓN EN SOLIDWORKS	¡Error! Marcador no definido.
5. CONCLUSIONES	¡Error! Marcador no definido.
6. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	¡Error! Marcador no definido.
7. ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.
8. PLANOS	¡Error! Marcador no definido.
9. REFERENCIAS	38

1. INTRODUCCIÓN

1.1 METROLOGÍA

1.1.1 BREVE HISTORIA

Desde sus primeras manifestaciones, normalmente incluida dentro de la antropología general, pasando por la arquitectura y la agrimensura, hasta las transacciones comerciales, la propiedad de la tierra y el derecho a percibir rentas, donde rápidamente se encuentra el rastro de alguna operación de medida, la metrología, al igual que hoy, ha formado parte de la vida diaria de los pueblos [1].

Antes las personas para medir usaban todo tipo de artilugios que poseían o con su cuerpo y así es como surgió la medida del codo, el pie, la palma, las pulgadas, etc.

Como poco a poco veían que las medidas se les quedaban escasas fueron usando equivalencias para crear “unidades de medidas más grandes” como por ejemplo, una palma será cuatro dedos, un pie serán cuatro palmas, y dos pies y medio hacían un medio paso que era la distancia entre dos apoyos del mismo pie al caminar.

En esta tabla se puede ver el sistema antropogénico que se usaba hace muchos años atrás:

	Dedo	Pulgada	Palma	Pie	Codo	Vara
Línea	1/9	1/12				
Grano	1/4	3/16				
Dedo		3/4				
Pulgada	4/3			1/12		
Palma	4	3		1/4		
Cuarta o Palmo	12		3	3/4		1/4
Pie	16	12	4			
Codo	24		6	1,5		
Grado	40		10	2,5	5/3	
Vara	48		12	3	2	
Paso	80		20	5	10/3	
Braza	96		24	6	4	

Tabla 1. Medidas antropogénicas [1]

No es hasta el renacimiento cuando empieza a hablarse de metrología científica pero no tenía gran precisión. Un hecho que parece claro es el de la aceptación del nacimiento de la ciencia, entendida en el mismo sentido que hoy día, en la ciudad griega de Mileto, en el siglo VI a.C. y, posteriormente, en la Alejandría de los Ptolomeos, hacia el año 250 a.C., nacida de una necesidad puramente práctica. La medición de largas distancias, basándose en la semejanza de triángulos, según Tales, ha permitido el levantamiento de planos por triangulación hasta nuestros días.

Poco a poco ha ido mejorando hasta nuestros días gracias a progresos de mano de personas como Descartes, Colbert, Picard, Cassini, Huyghens, Newton, pero no vamos a extendernos mucho en este breve resumen.

1.1.2 UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL

La Oficina Internacional de Pesas y Medidas, el BIPM, fue establecida en el Artículo 1 de la Convención de Metro, de 20 de Mayo de 1875, y está encargada de proporcionar las bases para que un único sistema coherente de medidas se utilice en todo el mundo. El sistema métrico decimal, que data de la época de la Revolución Francesa, se basaba en el metro y el kilogramo [3]. [1]

El Sistema Internacional está en continuo crecimiento debido que poco a poco se necesitan más unidades de medida para aumentar la precisión y en todos los ámbitos de la ciencia.

El sistema internacional se puede subdividir en dos grupos que serían el de las unidades básicas como la longitud y masa, el otro grupo serían las derivadas las cuales son magnitudes físicas que dependen del grupo básico nombrado anteriormente.

A continuación se expondrá algunos ejemplos de medidas y de sus unidades en el sistema internacional.

- Básicas:

MAGNITUD FÍSICA	SÍMBOLO DIMENSIONAL	UNIDAD BÁSICA	SÍMBOLO UNIDAD
LONGITUD	L	METRO	M
MASA	M	KILOGRAMO	Kg
TIEMPO	T	SEGUNDO	s
CORRIENTE ELECTRICA	I	AMPERIOS	A
TEMPERATURA	θ	KELVIN	K
CANTIDAD SUSTANCIA	N	MOL	mol
INTENSIDAD LUMINOSA	J	CANDELA	cd

Tabla 2. Medidas SI básicas

También se tiene múltiplos que siempre van de mil en mil: deca (da), hecto (h), kilo (k), mega (M), giga (G), tera (T), peta (P), exa (E), zetta (Z), yotta (Y).

Submúltiplos (en minúsculas): deci (d), centi (c), mili (m), micro (μ), nano (n), pico (p), femto (f), atto (a), zepto (z), yocto (y).

- Derivadas: (Existen infinidad pero se mostrarán solo las dos más usuales)

MAGNITUD FÍSICA	SÍMBOLO DIMENSIONAL	UNIDAD BÁSICA	SÍMBOLO UNIDAD
FUERZA	F	NEWTON	N
PRESIÓN	P	PASCAL	Pa

Tabla 3. Medidas SI derivadas

1.1.3 DEFINICIONES BÁSICAS DE LOS PARÁMETROS DE LA METROLOGÍA

- Metrología: Proviene del latín metro-(medida) y –logos (ciencia) por lo cual es la ciencia de la medida. Medir es comparar una magnitud con otra que se adopta como referencia que se denomina unidad. Para eso se utiliza un patrón que es un instrumento que materializa la unidad de medida o bien múltiplos y submúltiplos de dicha unidad.
- Trazabilidad: La trazabilidad de una medida es la propiedad que permite referir el resultado de una medida a un patrón primario mediante una cadena interrumpida de calibraciones, cada una de las cuales va a contribuir con una incertidumbre de medida.
- División de escala: Es la distancia que existe entre dos valores consecutivos que proporciona el instrumento.
- Incertidumbre: Es un parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuibles a un mensurando.
- Tolerancia: Es un rango de valores en el cual la magnitud se podría dar por correcta.
- Sesgo: Es $X_0 - \bar{X}$ (distancia que existe entre el valor verdadero y la medida de los valores medidos) también se le llama exactitud.

- Precisión: Grado de agrupamiento entre los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas sobre un mismo mensurando. Para saber si los datos están agrupados se emplea la desviación típica, S. [2]

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2}$$

Donde:

- n= Numero de mediciones;
 - X_j = Medición orden j;
 - \bar{X} = Media aritmética de las n mediciones;
- Calibración: Proceso mediante el cual se es capaz de determinar la incertidumbre de un instrumento de medida y su corrección de calibración en condiciones de repetitibilidad.
 - Repetitibilidad: Grado de agrupamiento de las medidas cuando han sido realizadas en condiciones similares, es decir, mismo mensurando, mismo instrumento de medida, mismo operario y en intervalos de tiempo próximos entre sí.
 - Corrección de calibración: $X'_0 - \bar{X}$ (donde X'_0 es lo que realmente mide y \bar{X} es la media de los valores tomados).
 - Magnitudes de influencia: Parámetros que afectan a las medidas, como la temperatura por ejemplo.

1.1.4 ESTUDIO DE INCERTIDUMBRES

Son de vital importancia ya que las medidas se tienen que dar con incertidumbres que pueden ser expandidas o sin expandir según si se les ha aplicado un factor o no respectivamente.

Las incertidumbres de una variable (un patrón por ejemplo) pueden ser de dos tipos:

- a. Tipo A: Estadístico y a partir de cálculos
- b. Tipo B: Tipo histórico o del conocimiento.

Luego se puede tener medidas que dependan de más de una variable entonces se procederá al estudio de la propagación de variables independientes.

Se tiene una medida $Y=Y(X_1, X_2, X_3, \dots)$

Entonces para calcular la incertidumbre de esa medida se tiene que utilizar la siguiente fórmula:

$$U_{y^2} = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_j} \right)^2 * U_{x_j}^2$$

Por ejemplo, antes se ha dicho que la corrección de calibración mediante la fórmula " $X'_0 - \bar{X} = CC$ " por lo cual depende de lo que mide de verdad el patrón por ejemplo y por la media de las medidas tomadas.

Por lo cual se ve que la corrección de calibración de un instrumento de medida depende de dos factores, por lo cual para calcular su incertidumbre de medida se tiene que usar la formula anterior y esta es la solución:

$$U_{CC}^2 = U_{X'_0}^2 + U_{\bar{X}}^2$$

Donde:

$U_{X_0}^2$ = Incertidumbre del patrón

$$U_{\bar{X}}^2 = \frac{S^2(\text{desviacion tipica})}{n(\text{numero de mediciones})} = \text{Repetibilidad del instrumento.}$$

1.2 TIPOS DE CALIBRES

En este apartado se hablará de los tipos de calibres más extendidos y más usados hasta el momento los cuales son:

1. **PIE DE REY:** Instrumento de acero aleado, que se utiliza para la medición para longitudes, es el más universal que existe. Consta de una "regla" con una escuadra en un extremo, sobre la cual se desliza otra destinada a indicar la medida en una escala. Permite apreciar longitudes de 1/10, 1/20 y 1/50 de milímetro utilizando el nonio. Mediante piezas especiales en la parte superior y en su extremo, permite medir dimensiones internas y profundidades. Posee dos escalas: la inferior milimétrica y la superior en pulgadas.

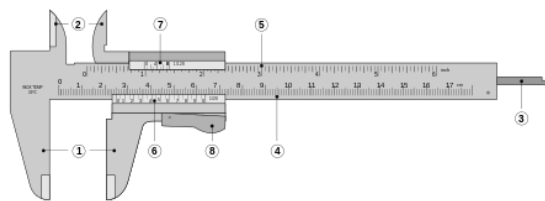


Figura 1. Pie de rey

Dónde:

1. Mordazas para medidas externas.
2. Mordazas para medidas internas.
3. Sonda o colisa para medida de profundidades.

4. Escala con divisiones en centímetros y milímetros.
5. Escala con divisiones en pulgadas y fracciones de pulgada.
6. Nonio para la lectura de las fracciones de milímetros en que esté dividido.
7. Nonio para la lectura de las fracciones de pulgada en que esté dividido.
8. Botón de deslizamiento y freno.

Se puede diferenciar distintos tipos de calibres, como son:

- Pie de rey universal.
- Pie de rey de exteriores
- Pie de rey de interiores.
- Pie de rey de profundidad.

2. **MICRÓMETRO:** Instrumento de medición cuyo funcionamiento está basado en el tornillo micrométrico que sirve para medir las dimensiones de un objeto con alta precisión, del orden de centésimas de milímetros (0,01 mm) y de milésimas de milímetros (0,001 mm) (micra). Está formado por dos puntas que se aproximan entre sí mediante un tornillo de rosca fina, el cual tiene grabado en su contorno una escala. La escala incluye un nonio y las longitudes máximas de medida del micrómetro de exteriores normalmente es de 25 mm aunque también existen de 30mm.



Figura 2. Micrómetro

3. **PASA NO PASA:** Cuando se entra en el mundo de la fabricación de piezas en serie, el control de las dimensiones generalmente no se realiza

tomando medidas con instrumentos de lectura, sino que se utilizan calibres de límites, también llamados calibres de tolerancia o calibres pasa-no pasa. Los resultados del control de cada pieza son la aceptación o el rechazo, sin que se determine el valor de la cota.

Se aceptan las piezas cuyas dimensiones se hallan entre ambas medidas del calibre pasa-no pasa, y son rechazadas las que no cumplen con esa condición. Por lo tanto el lado “pasa” debe entrar y el “no pasa” solo apuntar. En las siguientes figuras se aprecian respectivamente un eje y un agujero cuyas medidas D se aceptan porque cumplen ambas condiciones.

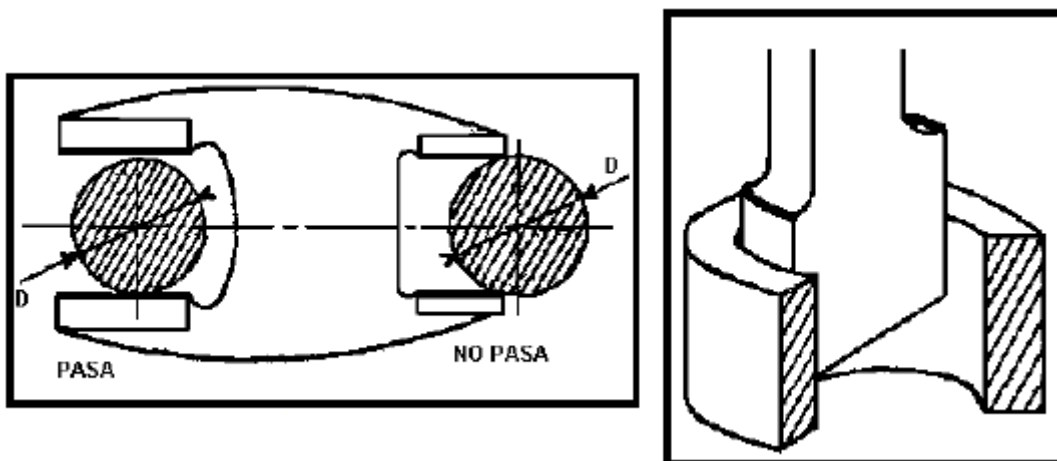


Figura 3. Calibres pasa-no pasa

Si se quiere controlar agujeros u otras medidas interiores se utilizan calibres machos y para controlar ejes u otras medidas exteriores se usan los llamados calibres hembra.

A continuación se realizará una pequeña clasificación de los tipos de calibres y sus subdivisiones en función de calibres para agujeros o ejes.

	Cilíndricos
	Planos
Calibres macho	Varillas

	Herraduras
Calibres Hembra	Anillos

	Roscas	Registrables
	Registrables	

Tabla 4. Tipos de calibre pasa-no pasa

Se pasará ahora a explicar cada subdivisión

CALIBRES MACHO

- Calibres Cilíndricos: Estos calibres son de tipo macho donde se tiene dos cilindros enteros calibrados y están sujetos a un mango mediante tornillos o mediante encajes cónicos a presión. El Cilindro que actúa como pasa casi siempre será más largo que el que actúa como no pasa. Esto es debido a que el no pasa solo trabajara el borde extremo por lo cual no tiene sentido hacerlo igual de largo y así será más ligero y más barato. También es corriente ver que en el extremo del pasa tenga una franja verde y en el no pasa una roja o solo una franja en uno de los extremos.

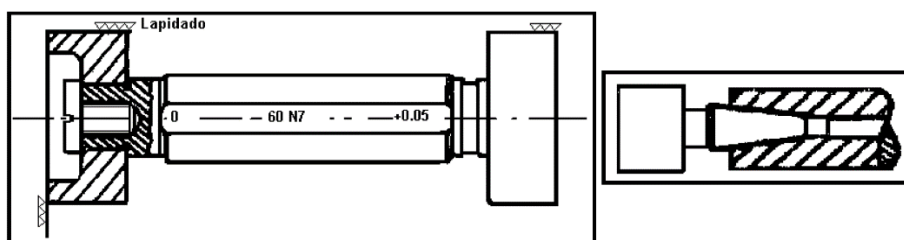


Figura 4. Calibres cilíndricos pasa-no pasa por tornillo y cónicos

- Calibres planos: En realidad es una variación de los calibres cilíndricos solo que cuando el diámetro del agujero es demasiado grande, se realizan estos calibres los cuales solo contienen una porción del

cilindro del pasa y del no pasa y se unen mediante una chapa plana de ahí el nombre.



Figura 5. Calibre plano

- Calibres varillas: Son un tipo de calibre donde el pasa y el no pasa son dos varillas con casquetes esféricos. El pasa y el no pasa son varillas distintas donde está detallado en la misma varilla que función tiene. Si en la varilla pone las siglas NP significa que es el no pasa, por el contrario el pasa será la varilla que tenga la sigla P.

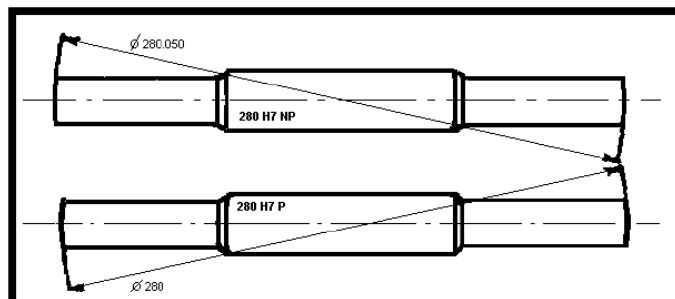


Figura 6. Calibre de varillas

- Calibre paso de roscas: Estos calibres son una variación de los calibres de cilíndricos, la única diferencia es que en los cilindros pasa y no pasa tienen reproducidos en ellos un fileteado y se usan para comprobar pasos de rosca y a la vez el diámetro nominal del agujero de la tuerca.

- Calibres anillo: Estos calibres funcionan de la siguiente manera. Tenemos dos anillos, uno con la medida límite inferior y otro con la medida límite superior. Se usa para controlar de forma completa el eje. Si es capaz de pasar por los dos anillos el eje es válido.



Figura 9. Calibre de anillo

- Calibres registrables tanto macho como hembra: Estos calibres permiten fijar la cota a verificar mediante la regulación de la posición de los palpadores y poniéndolos a punto con bloques patrón. Con 20 juegos de estos calibres se puede cubrir todas las medidas hasta el valor de 305 mm. Por ejemplo, el calibre N°11 abarca las medidas de 100 mm a 115 mm y el N°20 estas medidas abarcan desde 275 mm a 305 mm.

2. ESTUDIO GEOMÉTRICO DE LA CADENA CINEMÁTICA REAL

2.1 DESMONTAJE

A continuación se procede a documentar y describir el desmontaje del motor.

Se sigue una estructura paso a paso que detalla cada acción llevada a cabo, acompañada finalmente de imágenes con la intención de mejorar la comprensión del texto [5].

- Acción 1: Separar el conjunto del motor del primer soporte más externo, al que va unido también el depósito.
 - Acción 1.1: Aflojar las bridas metálicas de las conexiones depósito-motor.
 - Acción 1.2: Soltar las conexiones (conductos de plástico).
 - Acción 1.3: Soltar las tuercas de fijación motor-soporte (4 unidades).
 - Acción 1.4: Retirar soporte.



Figura 10: a) Motor con soporte y b) motor desanclado.

- Acción 2: Separar la bomba adosada al motor del soporte externo.
 - Acción 2.1: Soltar los tornillos de fijación (2 unidades).
 - Acción 2.2: Retirar el soporte.



Figura 11: a) Bomba acoplada y b) bomba desacoplada

Las acciones 1 y 2 son independientes entre ellas y puede alterarse el orden en el que se realicen.

- Acción 3: Separar el conjunto de la bomba.
 - Acción 3.1: Soltar los tornillos de fijación (8 unidades, con muy poco par de apriete) entre las dos partes que componen la bomba.
 - Acción 3.2: Retirar la parte que queda suelta atendiendo con sumo cuidado a las juntas de estanqueidad.
 - Acción 3.3: Soltar el tornillo central que une la parte más interna de la bomba al bloque motor.
 - Acción 3.4: Retirar esta última parte atendiendo con sumo cuidado a las juntas, en especial a la del material cerámico.



Figura 12: a) Motor con soporte para bomba y b) motor sin bomba.

- Acción 4: Retirar el segundo soporte
 - Acción 4.1: Soltar los pernos de fijación (4 unidades).
 - Acción 4.2: Retirar el soporte.



Figura 13: a) Con soporte inferior y b) sin soporte inferior.

- Acción 5: Desmontar el filtro de aire
 - Acción 5.1: Soltar la palomilla para retirar la tapa protectora.
 - Acción 5.2: Soltar los tornillos de fijación (3 unidades).
 - Acción 5.3: Retirar la carcasa que cubre el filtro.
 - Acción 5.4: Retirar el filtro.



Figura 14: Filtro de aire.

- Acción 6: Desmontar el conjunto de escape
 - Acción 6.1: Soltar los tornillos de fijación (4 unidades).

- Acción 6.2: Retirar el conjunto del escape atendiendo con cuidado a la junta de estanqueidad.



Figura 15: a) Conjunto de escape acoplado y b) escape desinstalado.

- Acción 7: Desmontaje del motor de arranque manual.
 - Acción 7.1: Soltar los tornillos de fijación (5 unidades).
 - Acción 7.2: Retirar el conjunto de arranque.



Figura 16: a) Motor de arranque manual acoplado y b) motor desacoplado.

- Acción 8: Retirar conexión bomba inyectora-inyector.
 - Acción 8.1: Aflojar las tuercas de fijación.
 - Acción 8.2: Retirar la conexión.

- Acción 9: Retirar el bloque-tapa del lado de la bomba
 - Acción 9.1: Aflojar poco a poco los tornillos de fijación (15 unidades) de posiciones dispares para distribuir gradualmente las tensiones.
 - Acción 9.2: Retirar los tornillos de fijación.
 - Acción 9.3: Retirar el bloque con sumo cuidado atendiendo a la junta entre partes.



Figura 17: a) Tapa instalada y b) tapa retirada.

- Acción 10: Retirar la tapa superior del bloque (protección del sistema de válvulas).
 - Acción 10.1: Soltar los pernos de sujeción (3 unidades).
 - Acción 10.2: Retirar la pieza.



Figura 18: a) Con tapa superior y b) Sin tapa superior.

- Acción 11: Retirar la bomba de combustible.
 - Acción 11.1: Soltar los pernos de sujeción (3 unidades).
 - Acción 11.2: Retirar la pieza sin afectar a sus componentes.

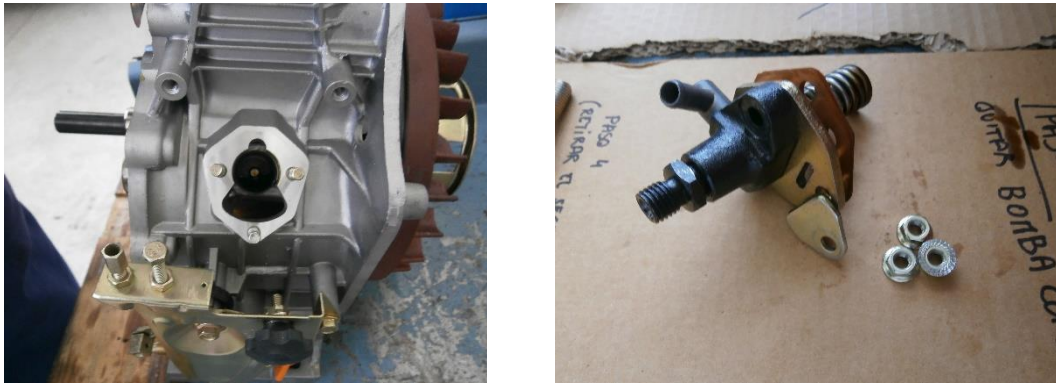


Figura 19: a) Con bomba de inyección de combustible y b) sin bomba.

- Acción 12: Desmontar el volante de inercia del ventilador.
 - Acción 12.1: Soltar los pernos de sujeción que atornillan el volante de inercia-ventilador con el soporte del arranque manual.
 - Acción 12.2: Retirar el volante de inercia del eje del cigüeñal (con cierta brusquedad debido al gran apriete entre el eje y agujero) prestando atención a la chaveta.

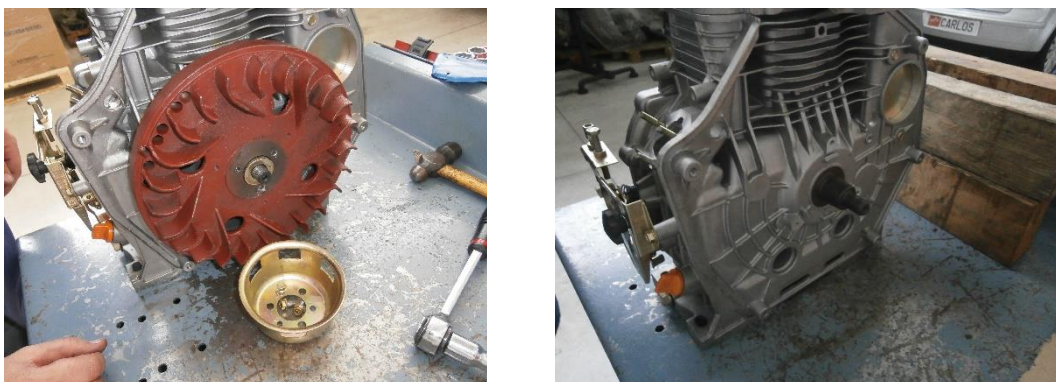


Figura 20: a) Con volante de inercia y b) sin volante de inercia

- Acción 13: Desmontar el conjunto eje de válvulas-válvulas-árbol de levas.
 - Acción 13.1: Soltar los pernos de sujeción (2 unidades) del eje de válvulas.
 - Acción 13.2: Retirar, atendiendo a cuales son del sistema de admisión del combustible y cuales las del sistema de escape, las válvulas y las varillas que conforman el conjunto.



Figura 21: a) Con árbol de levas y b) sin árbol de levas.

- Acción 14: Retirar el eje de contrapesos.
- Acción 15: Desmontar el inyector de combustible.
 - Acción 15.1: Soltar los pernos de sujeción (2 unidades).
 - Acción 15.2: Retirar la pieza.
- Acción 16: Retirar la culata del conjunto del bloque motor.
 - Acción 16.1: Soltar las tuercas de sujeción (4 unidades)
 - Acción 16.2: Retirar la pieza con cuidado atendiendo al ajuste con los pernos.

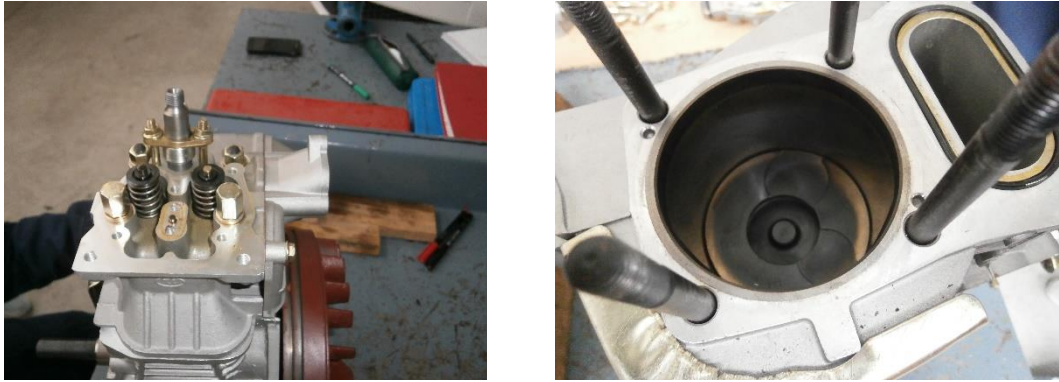


Figura 22: a) Con culata y b) sin culata.

- Acción 17: Retirar el resto del conjunto biela-pistón.

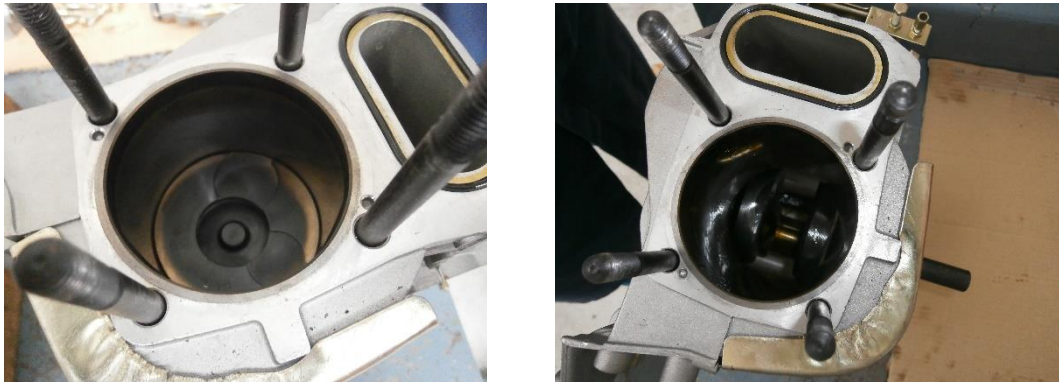


Figura 23: a) Pistón-Biela en el interior y b) cilindro vacío.

- Acción 18: Soltar el eje del cigüeñal
 - Acción 18.1: Soltar el perno de sujeción del tope del cigüeñal.
 - Acción 18.2: Retirar el tope.
 - Acción 18.3: Retirar el eje del cigüeñal del interior del bloque motor.

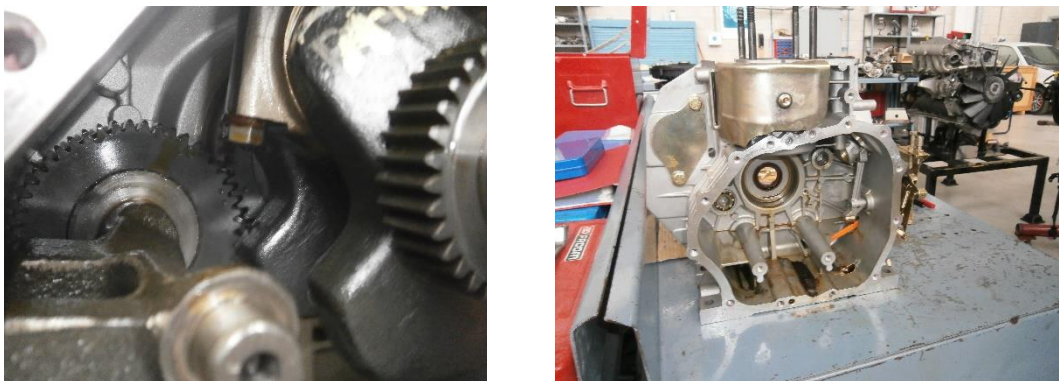


Figura 24: a) Con eje del cigüeñal y b) Sin eje de cigüeñal

2.2 METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE PIEZAS

Inicialmente, la medición se quiso realizar con la máquina tridimensional y un pie de rey para obtener una geometría idéntica al motor real. El árbol de levas fue la primera de las piezas que se midió en esta máquina pero el tiempo de espera fue elevado por lo que se optó por medir todas las piezas restantes a través del pie de rey y realizar hipótesis simplificativas.

Para una mayor seguridad y confianza en las mediciones obtenidas, se decidió la toma de al menos 10 medidas de cada magnitud característica y posteriormente, se calculó su media aritmética.

A modo de apoyo, se dibujaron varios croquis de vistas de las piezas en los que se anotaron tanto las mediciones realizadas como el valor definitivo a adoptar.

Las figuras 25 a 29 muestran los bocetos de las piezas donde se anotaron y calcularon las medidas definitivas de los diferentes componentes de la cadena cinemática.

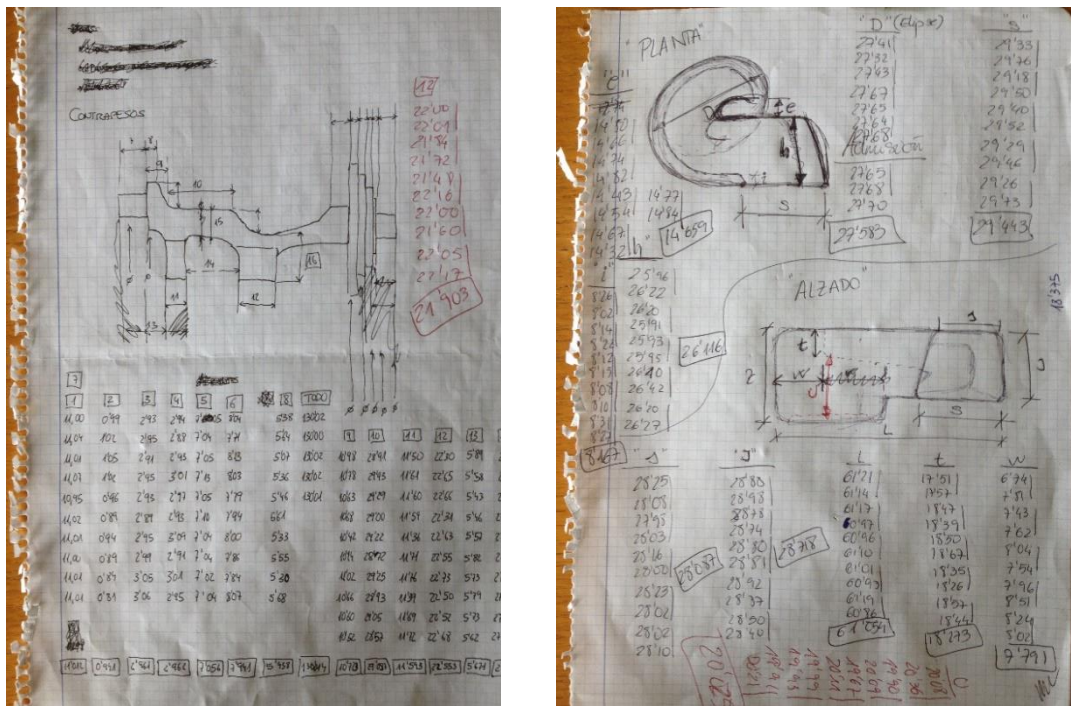


Figura 25: Croquis del eje de contrapeso y croquis de la Trompeta de admisión.

ÍÑIGO ECHEVERRÍA AMESCUA
ESTUDIO GEOMÉTRICO DE LA CADENA CINEMÁTICA DE UN MOTOR DIÉSEL MONO CILÍNDRICO

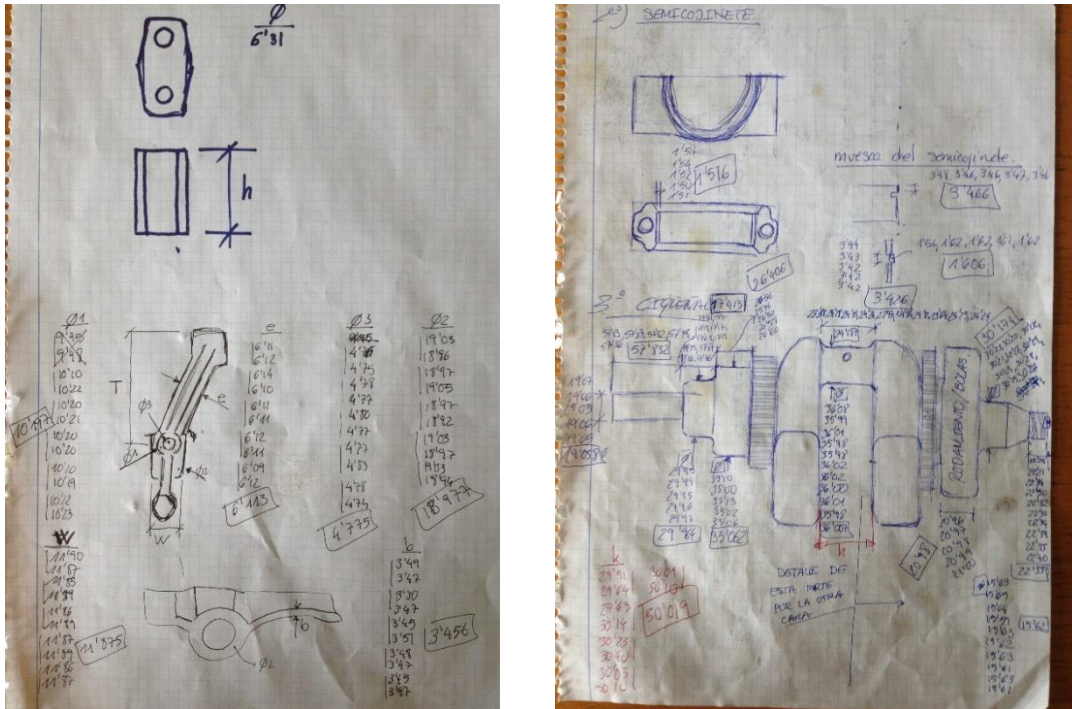


Figura 26: Croquis del balancín y croquis del cigüeñal

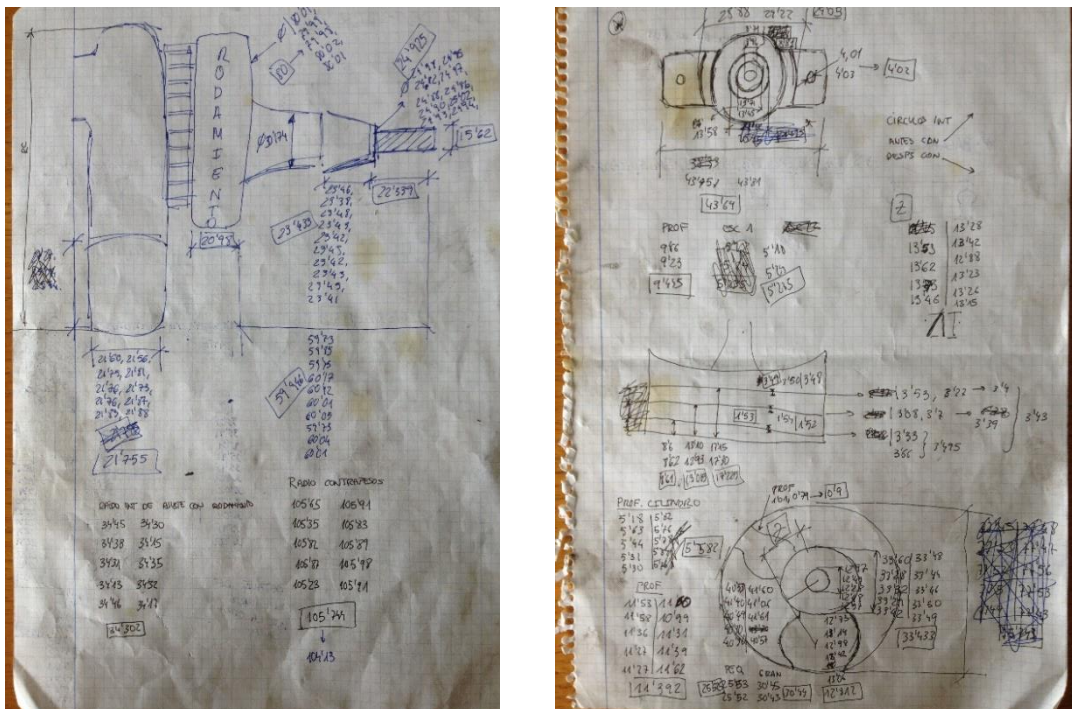
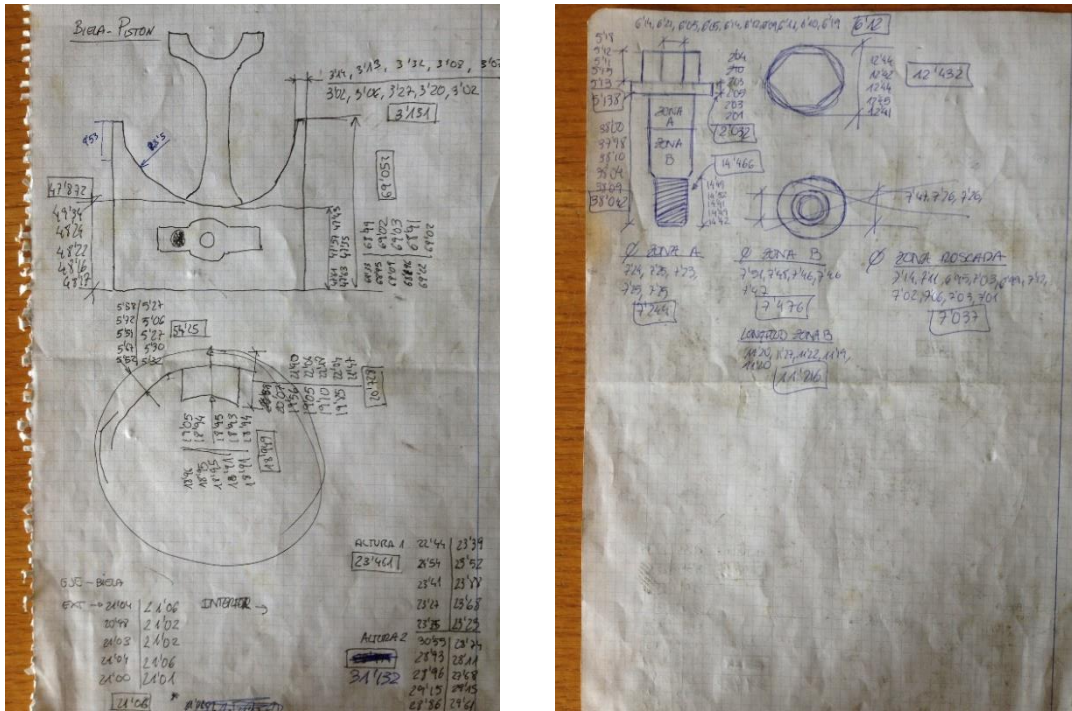


Figura 27: Croquis del cigüeñal y croquis del pistón

ÍÑIGO ECHEVERRÍA AMESCUA
ESTUDIO GEOMÉTRICO DE LA CADENA CINEMÁTICA DE UN MOTOR DIÉSEL MONO CILÍNDRICO



2.3 PROBLEMÁTICA

Debido a la compleja geometría que presentan los componentes de este motor, se asumió la necesidad de seguir una vía simplificativa que fuese una representación lo más fidedigna posible del motor real.

Resultan especialmente complicadas las partes que presentan zonas curvas o redondeadas ya que se ha empleado como herramienta principal para cumplir con la medición de los componentes del motor un pie de rey manual y electrónico, apto tanto para profundidades, diámetros interiores y exteriores, pero no es válido si se necesita medir geometrías más elaboradas.

Otro tipo de problemas son los debidos a la propia forma en la que están integradas partes móviles del motor, es un claro ejemplo de ello, el ángulo de inclinación que tienen las varillas, dado que intentar medir desde el exterior del bloque sería totalmente impreciso, se optó por resolver el problema por trigonometría, haciendo uso de mediciones ya disponibles, como se describirá en el Apartado 2.4.

Un percance especialmente crítico de cara a trabajos futuros relacionados con la simulación del motor fue el hecho de calcular el ángulo que forman la leva de escape y la de admisión entre ellas, su importancia reside en que una mínima variación de dicho ángulo puede suponer un desacoplamiento del movimiento del pistón y de las válvulas de admisión y de escape con lo que la simulación no tendría nada que ver con el funcionamiento de un motor de combustión interna.

2.4 CÁLCULOS, HIPÓTESIS SIMPLIFICATIVAS

Se abordarán en este apartado, dos claras problemáticas que han requerido emplear una hipótesis que simplifique el problema de modo que se pudiera continuar avanzando en el proyecto, considerando por supuesto, que el error cometido al realizar dicha simplificación no tenga repercusión alguna en los resultados finales.

Las dos problemáticas consistían en calcular el ángulo entre la varilla con la horizontal y el ángulo formado por las levas de admisión y escape.

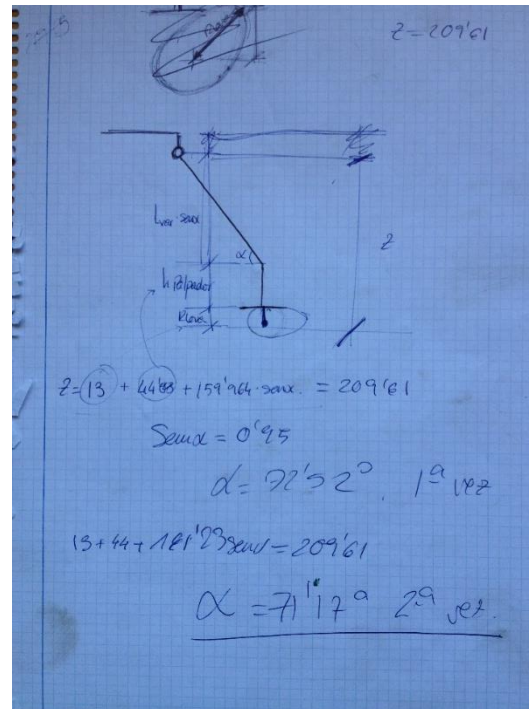
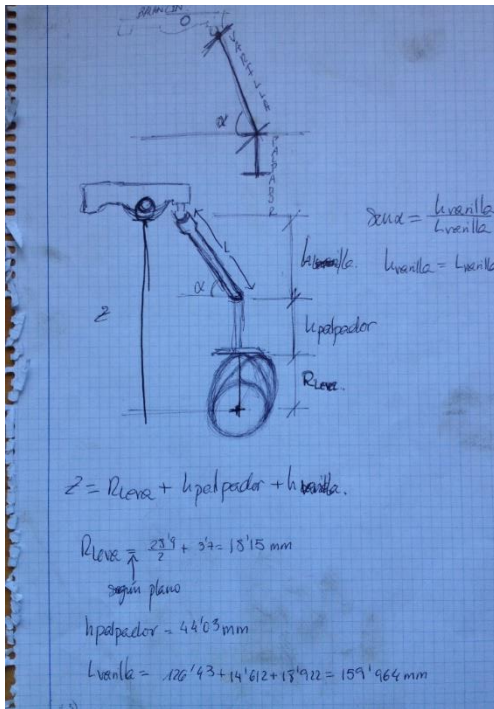


Figura 30 y 31: Cálculo del ángulo de la varilla.

Las figuras 30 y 31 estudian el problema de la varilla, resuelto gracias a que se disponían las medidas de otras geometrías anexas a la varilla, tales como el radio de la leva, la posición del balancín y la longitud de la propia varilla, todo calculado para una posición del sistema en reposo para así evitar problemas añadidos debidos al desconocimiento de la posición exacta de la leva y del balancín para cualquier instante dado.

Planteando un sencillo problema trigonométrico, veáanse las figuras 30 y 31, se calculó el ángulo en cuestión α , por partida doble con el objetivo de asegurar un resultado válido.

Este valor del ángulo α rondaría los 72° con respecto a la horizontal.

En cuanto al problema de las levas, se contó con el trabajo de Raquel Munuera [2], dedicada a otra rama de la investigación relacionada con este motor y que ya contaba con un mapa de puntos de ambas levas superpuestas, medido con una máquina tridimensional que facilitó mucho la obtención del ángulo que las posiciona.

La manera por la que se optó por resolver esta situación fue la de imprimir en papel dicho mapa y sobre él medir repetidas veces con un transportador de ángulos de forma que se tuviera una consistencia en los resultados, llegando a concluir que el ángulo rondaría los 92° , veáse la Figura 32.

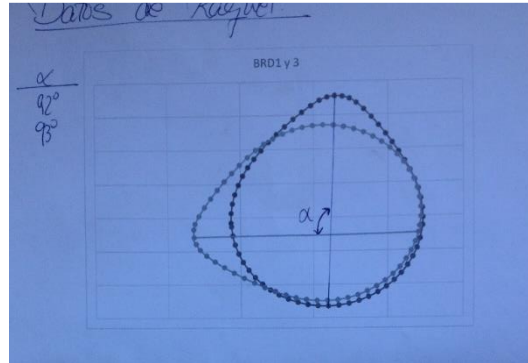


Figura 32: Boceto para resolver el ángulo entre levas

3. SELECCIÓN DE MATERIALES

El fabricante de los motores no proporciona los materiales de los componentes de la cadena cinemática y es necesario para poder simular mecánicamente o térmicamente. Por ello, se vio la necesidad de calcular las densidades a partir de medir en una báscula cada una de los componentes de la cadena cinemática y calcular los volúmenes mediante SolidWorks (sabiendo que se hicieron hipótesis simplificativas).

3.1 METODOLOGÍA Y MEDICIÓN DE PESOS

. La Tabla 5 muestra los pesos de cada componente de la cadena cinemática. Para ello, fue necesario desmontar por completo el motor y pesar cada componente en una báscula e ir anotando los valores de las masas correspondientes para cada pieza con el objetivo de poder asignar un material a cada componente del motor y conseguir así que posteriormente la simulación sea lo más parecida posible a la realidad

PIEZAS	PESOS REALES [g]
Conjunto Pistón-Biela-Semicojinete-Segmentos	725
Sombrerete-Semicojinete	103
Perno de Unión	17
Cigüeñal	3441
Eje de contrapesos	865
Árbol de levas-Engranaje-Chaveta	1402
Palpador	20
Tope	2
Válvula de admisión	38
Válvula de escape	30

Tabla 5. Pesos reales de los componentes de la cadena cinemática.

3.2 CÁLCULO DE VOLÚMENES

Una vez conocidas las geometrías de todas las partes que conforman el motor y diseñadas estas en el programa de ordenador SOLIDWORKS [1], la Tabla 6 muestra los volúmenes solicitados al software que envía un sencillo informe sobre las propiedades físicas de las piezas dibujadas según las mediciones realizadas.

A continuación se muestra la tabla con los volúmenes de las piezas calculado por SolidWorks:

PIEZA	VOLUMEN [mm³]
Árbol de levas	76638,22
Biela	30736,97
Bulón	16201,67
Chaveta árbol de levas	176,67
Cigüeñal	453112,02
Eje de contrapesos	123368,49
Engranaje árbol de levas	87121,89
Palpador	2045,85
Perno unión biela	2157,28
Pistón	114680,98
Segmento	1225,7
Semicojinete	959,69
Sombrerete	14575,78
Tope de válvula	236,35
Válvula admisión	3776,83
Válvula escape	3270,39
Engranaje eje contrapesos	28456,3

Tabla 6. Volúmenes de las piezas

3.3 PROBLEMÁTICA

El escollo fundamental en éste aspecto consistió en la absoluta falta de información sobre los materiales reales empleados en la fabricación del motor.

Se trató por todos los medios, tanto vía telefónica como vía e-mail, de contactar con la empresa para obtener, si fuera posible, los datos de primera mano y con ellos poder crear los materiales en SOLIDWORKS con exactamente las mismas propiedades que los reales.

Sin embargo, la empresa alegó no disponer de la información por tratarse de un proceso de fabricación que no tenía lugar en sus instalaciones, es decir, que era otra fábrica en China quien se encargaba de crear los componentes.

3.4 CÁLCULOS, SELECCIÓN E HIPOTESIS DE ELECCIÓN EN SOLIDWORKS

Puesto que no era posible conocer con exactitud los materiales con los que se había fabricado el motor, se tuvo que hacer una aproximación en este sentido y tratar de encontrar entre las opciones que ofrece SOLIDWORKS la que más se acercara en cada caso.

El modo de poder relacionar realidad y simulación se basó en la propiedad física de la densidad de los componentes del motor obtenida del cociente entre la masa, anotada de la báscula, y el volumen, arrojado por los cálculos de SOLIDWORKS.

La Tabla 7 muestra la selección de materiales más apropiada para los componentes de la cadena cinemática. La primera columna representa el componente que se estudia, la segunda columna es el volumen calculado con SOLIDWORKS, la tercera columna es la medida de masa real medida en una balanza, la cuarta columna es el cálculo de la densidad real (siendo consciente de las hipótesis simplificadoras), cuarta y quinta columna son la densidad y el material, respectivamente, que se buscó en la biblioteca de SOLIDWORKS [4 y 6].

PIEZA	VOLUMEN [mm ³]	MASA REAL [g]	DENSIDAD REAL [[g/cm ³]]	DENSIDAD SolidWorks[g/cm ³]	MATERIAL ASIGNADO
Árbol de levas	76638,22	644	8,40	7,2	Fundición gris (SN)
Biela	30736,97	240	7,81	7,8	DIN 15810 (18NiCr5-4)
Bulón	16201,67	125	7,72	7,79	DIN 17147 (20MnCr5)
Chaveta árbol de levas	176,67	1	5,66	7,92	DIN 14305 (X8CrNi18-9)
Cigüeñal	453112,02	3290	7,26	7,2	Fundición gris
Eje de contrapesos	123368,49	687		7,2	Fundición gris
Engranaje árbol de levas	87121,89	755	8,67	7,89	DIN 14305 (X8CrNi18-9)
Palpador	2045,85	19	9,78	7,85	AISI 4130
Perno unión biela	2157,28	16	7,42	7,8	DIN 15810 (18NiCr5-4)
Pistón	114680,98	324	2,83	2,68	Aleación Al

					4032-T6
Segmento	1225,7	7	5,71	7,89	DIN 14301 (X5CrNi18-10)
Semicojinete	959,69	12	12,50	8,8	Aleación Cu 21030 (CuSn8P)
Sombrerete	14575,78	102	7,00	7,79	DIN 15810 (18NiCr5-4)
Tope de válvula	236,35	1	8,46	7,78	DIN 15810 (18NiCr5-4)
Válvula admisión	3776,83	38	10,06	7,8	DIN 15810 (18NiCr5-4)
Válvula escape	3270,39	30	9,17	7,8	DIN 15810 (18NiCr5-4)

Tabla 7. Volúmenes, masas y densidades de las piezas

La Tabla 8 recoge los pesos reales y estimados por SOLIDWORKS de las piezas que componen la cadena cinemática.

PIEZAS	PESOS REALES [g]	PESOS SOLIDWORKS [g]	DIFERENCIA [g]
Conjunto Pistón-Biela-Semicojinete-Segmentos	725	711,33	13,67
Sombrerete-Semicojinete	103	122,14	19,14 (-)
Perno de Unión	17	16,83	0,17
Cigüeñal	3441	3495,34	54,34 (-)
Eje de contrapesos	865	895,67	30,67 (-)
Árbol de levas-Engranaje-Chaveta	1402	1205,5	196,5
Palpador	20	16,06	3,94
Tope	2	1,84	0,16
Válvula de admisión	38	29,46	8,54
Válvula de escape	30	25,51	4,49

Tabla 8. Pesos reales y calculados con SOLIDWORKS.

Para estudiar el error cometido en los pesos, se calculó la diferencia de pesos para observar si era grande. Como se puede observar en la tercera columna de la Tabla 8, las diferencias de pesos oscilan entre 55 y 0,16 gramos. La selección de materiales es razonablemente buena para este inicio de trabajo.

4. CONCLUSIONES

Este proyecto ha medido, estudiado, calculado y diseñado toda la geometría de la cadena cinemática de un motor diésel mono-cilíndrico.

Se han desarrollado todos los planos necesarios para poder reproducir las piezas de la cadena cinemática, tridimensionalmente, en SOLIDWORKS.

Finalmente, se ha estudiado y seleccionado los materiales más idóneos para las diferentes componentes de la cadena cinemática que permitirán simular en SOLIDWORKS con mayor fiabilidad

5. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

Este proyecto ha realizado la operación más costosa que es la de desmontar un motor y medir las piezas que componen la cadena cinemática de un motor diésel. Sin embargo, abre muchas expectativas de trabajos futuros:

1. Implementación de un CAD.
2. Simulación de velocidades, aceleraciones, etc.
3. Simulación de ciclos termodinámicos.
4. Modelización y contrastación con la experimentación, etc.

6. PLANOS

A continuación se citan los planos de todas las piezas desarrolladas en SolidWorks. Dichos planos se presentan como Anexos al final de esta memoria.

Sombrerete

Biela

Engranaje del árbol de levas

Árbol de levas

Segmento

Pistón

Eje de contrapesos

. Válvula de admisión

Válvula de escape

. Semicojinete

Perno

Cilindro

Tope de válvula

Palpador

Cigüeñal

Balancín

7. REFERENCIAS

- [1] Proyecto Fin de Grado de Pablo Quintero Martínez, titulado: “Simulación y estudio en SolidWorks de la cadena cinemática de un motor diésel mono-cilíndrico y de ese mismo motor modificado.”

- [2] Proyecto Final de Carrera de Raquel Munuera Lario, titulado: *“Modificaciones de un motor de combustión interna alternativo diésel para su funcionamiento con vapor a presión.”*
- [3] Apuntes y conocimientos adquiridos en la asignatura *“Ingeniería de fabricación”*
- [4] *MATWEB*, página destinada al mundo de los materiales.
- [5] *GENERGY*
- [6] Manual de instrucciones y uso asociado al software de diseño gráfico en 3D SolidWorks.