

# ESTUDI DE DIVERSES MODIFICACIONS D'UN MOTOR DE GASOLINA DE 2 TEMPS DE PETITA CILINDRADA PER A MILLORAR LES SEVES PRESTACIONS

Jaume A. Guzmán Godia

Treball Final de Grau en Enginyeria Mecànica. Departament de Mecànica de Fluids  
Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú (UPC)

A partir d'un motor de gasolina de 2 temps de 49 cc AM6 de 6 velocitats, de la marca Minarelli, muntat sobre el xassís d'un ciclomotor Rieju SM SPIKE de l'any 2005, s'estudiarà la possible millora de prestacions d'aquest al realitzar una sèrie de modificacions a nivell intern i extern al propi motor.

Les modificacions que es duran a terme són:

- Poliments (es realitzarà el poliment del càrter, el poliment de la culata,...).
- Planificacions (es planificaran la culata i el cigonyal).
- Reduccions (alleugeriment del rotor i contrapès...)
- Refrigeració (s'instal·larà un segon radiador).

També es realitzarà un anàlisi de tensions i deformacions del cigonyal utilitzat durant el projecte mitjançant el programa SIEMENS NX8.

Es partirà d'un motor restaurat a partir d'uns altres dos motors (un ple d'aigua i parat des de fa 4 anys i l'altre operatiu però amb modificacions) amb la biela i cigonyal reforçats (TOP Performance), la bobina sense límit de revolucions (TOP Performance), la bomba d'oli anul·lada, els discs d'embragatge anti-patinatge (TOP Performance), les làmines de carboni i amb un filtre d'aire que no és l'original (però el motor carburat degudament).

Per demostrar l'efecte de les modificacions del motor muntat sobre el ciclomotor es farà servir un banc de proves (MOTOLAB) per dur a terme la lectura de paràmetres de funcionament com el parell motor en funció de les revolucions (rpm), la potència en funció de les revolucions (rpm) i el nivell sonor (dB). Així mateix, el consum serà mesurat en una petita prova sobre un circuit urbà preestablert, i les emissions es determinaran segons el procediment establert per la ITV.

La metodologia de treball consistirà en una primera lectura dels paràmetres operatius esmentats pel motor de sèrie restaurat i, posteriorment, es tornaran a realitzar les mesures un cop dut a terme cada conjunt de modificacions per obtenir els nous paràmetres operatius i poder així valorar la conveniència dels canvis produïts.

El motor final, una vegada efectuades les modificacions, ha presentat unes prestacions un tant inferiors a les del motor restaurat de sèrie. S'ha perdut un 2,14% de potència màxima (de 5,62 CV o 4,13 kW a 5,5 CV o 4,04 kW), un 9,17% de parell motor màxim (de 0,556 kgm o 5,45 Nm a 0,505 kgm o 4,95 Nm), i un 11,22% de velocitat màxima (de 86,97 km/h a 77,21 km/h). Pel que fa al consum, ha augmentat prop d'un 4,72%, de 5,93 L/100 km a 6,21 L/100 km.

Les simulacions realitzades amb el programa SIEMENS NX8 per analitzar les tensions i deformacions del cigonyal modificat han confirmat la fiabilitat del component, donant una deformació màxima d' $1,88 \cdot 10^{-4}$  mm als laterals del boló que uneix les dues meitats del cigonyal, i una tensió de Von Mises màxima de 3,07 MPa a les unions dels eixos amb els laterals del cigonyal i les d'aquestes amb el boló.

Els resultats del treball han demostrat: 1) la necessitat de dur a terme un estudi molt més ampli a l'hora d'alleugerir el rotor, el contrapès i el cigonyal. 2) el poliment dels components del motor en contacte amb la mescla suavitza el funcionament però no altera la corba de potència, ni la de parell motor, ni incrementa la velocitat màxima. 3) la importància de mantenir la compressió i minimitzar les turbulències en la cambra de combustió. 4) i la repercussió de les modificacions sobre les emissions i consum del motor. També s'ha evidenciat que el motor de sèrie està molt optimitzat.

El pressupost total aproximat de la realització d'aquest projecte ha estat de 1.059 €.

## I. INTRODUCCIÓ

Considerat mecànic des dels 14 anys, he aprofitat l'oportunitat que suposa el poder fer una proposta de Treball Final de Grau per tractar un tema relacionat amb la meua afició: la mecànica dels motors.

La meua passió pel món de la mecànica comença de ben petit, quan passava hores muntant aparells amb LEGO o desmuntant per intentar "millorar" el rendiment de joguines com pistoles de balins i similars. No obstant, va ser a partir del 15 d'Abril del 2005 quan, amb la compra de la meua primera moto, una RIEJU SM SPIKE 50, es va disparar el meu interès per aquest món. Gràcies a la compra d'aquest ciclomotor i a que el meu pare sempre ha disposat d'eines, em vaig introduir a la mecànica d'aquestes màquines. Als 15 anys vaig muntar des de zero la primera moto (RIEJU DRAC any 1991), incloent motor i sistema elèctric. I a partir d'aquest moment vaig basar la meua vida en reparar, trucar i restaurar ciclomotors, fins al punt de passar nits sense dormir treballant al garatge de casa meua per dur a terme operacions que els mecànics de la zona afirmaven impossibles.

Durant tots aquests anys he estat realitzant modificacions als motors dels ciclomotors per tal d'aconseguir millorar la seva potència, de forma exitosa segons els clients. Moltes de les modificacions que es duran a terme en aquest treball són les que he estat fent sempre, i d'altres són les que no he pogut realitzar. Així, aquest treball suposa també una oportunitat per saber si realment he estat millorant el rendiment amb les operacions que tant he realitzat, i si val la pena el temps dedicat en dur-les a terme respecte a la millora que aporten.



**Fotografia 1.** L'autor del TFG, amb 17 anys, obrint les lluminàries d'un Top Rosa 74 cc.

## II. OBJECTIUS

L'objectiu general d'aquest Treball Final de Grau (TFG) és la realització de modificacions, tant internes com externes, en un motor de gasolina de 2 temps mono cilíndric de 49cc i 6 velocitats per intentar millorar les seves prestacions. Es tracta del conegut motor AM6 comercialitzat per la firma Minarelli.

Donat que no es disposava d'un motor de sèrie original operatiu, es parteix d'un parell de motors parats i en desús des de fa més de 4 anys i als quals s'ha fet el procés previ de desmuntatge i reparació fins a fer-ne un d'operatiu. Aquest motor (que anomenarem motor de partida) s'ha muntat a sobre del xassís d'un ciclomotor Rieju SM SPIKE de l'any 2005, matriculat i apte per a circular per la via pública, tot i que sense assegurança i amb el permís de circulació sense pagar des de l'any 2009.

Al motor de partida se li aplicarà un conjunt de modificacions, dividides en 4 grups, per intentar millorar les prestacions de funcionament. A partir de les lectures dels paràmetres operatius en un banc de proves (com el parell motor en funció de les revolucions, la potència en funció de les revolucions, el nivell sonor i la temperatura), la prova de consum de combustible feta fent circular la motocicleta en un circuit urbà preestablert i la prova d'emissions feta segons el procediment de contaminació de la ITV, es valorarà la conveniència dels canvis realitzats.

Per tal d'aconseguir l'objectiu general d'estudiar les possibles millores de les prestacions del motor s'hauran d'assolir una sèrie d'objectius particulars:

- a) La restauració d'un motor Minarelli AM6 a partir d'uns altres dos motors del mateix tipus en desús i en condicions desfavorables (motor inundat, components desgastats i rovellats...).
- b) L'elaboració de diferents grups de modificacions als components del motor per alterar el seu comportament:
  - 1<sup>er</sup> Grup: Poliment del càrter, de la cambra de combustió de la culata, i esmolat i polit de la biela.
  - 2<sup>on</sup> Grup: Planificació del cigonyal i de la culata.
  - 3<sup>er</sup> Grup: Alleugeriment del rotor, del contrapès i realització de forats no travessants al pistó.
  - 4<sup>t</sup> Grup: Instal·lació d'un segon radiador.

- c) La utilització del màxim nombre possible d'elements i components de segona mà restaurats per abaratir costos de l'estudi.
- d) La realització de la mesura (seguint una metodologia) dels paràmetres de funcionament: potència en funció de les revolucions, parell motor en funció de les revolucions i velocitat màxima del motor en cadascun dels seus estats de modificació sobre un banc de proves inercial. D'aquesta manera s'obtenen les gràfiques de les corbes de parell i potència.
- e) La realització de les mesures de les emissions de CO i ppm d'HC, i nivell sonor (dB) del motor en els diferents estats de la modificació.
- f) L'elaboració de diferents plànols dels principals components del motor a modificar, abans i després de les modificacions.
- g) La realització, mitjançant el programa de simulació SIEMENS NX8, d'un anàlisi de tensions i deformacions del cigonyal utilitzat abans de ser modificat i després, per comprovar la seva fiabilitat.
- h) L'elaboració dels pressupostos de les diferents parts del projecte per a determinar el cost total aproximat del mateix.

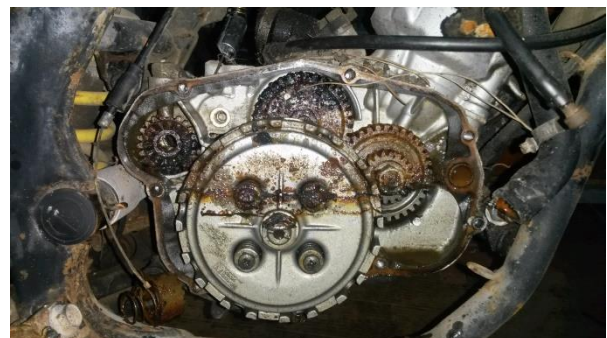
## III. CONDICIONAMENT DEL MOTOR INICIAL I XASSÍS

Per dur a terme l'estudi d'aquest projecte era necessari disposar d'una unitat de motor Minarelli AM6 original de sèrie amb l'admissió, escapament, sistema elèctric i sistema de refrigeració també de sèrie o el més semblant possible, ja que la idea és millorar les prestacions del motor sense que això suposi un impediment per a utilitzar-lo en circulació per la via pública amb la legislació vigent.

L'autor del TFG disposava d'un ciclomotor supermotard, model SM SPIKE de la marca RIEJU, però al qual ja tenia fetes moltes modificacions: carter polit, biela i cigonyal reforçats, cilindre de 74 cc amb culata i culatí, admissió polida, discs d'embragatge anti-patinatge, bobina sense límit de revolucions, escapament directe i de 70cc, carburador amb boca 3 mm més gran que el de sèrie, filtre d'aire canviat, pneumàtics amb tacs per a anar pel camp...

No obstant, és el xassís elegit per a dur a terme el projecte ja que dispo de la seva fitxa tècnica, i de recanvis (cilindre de sèrie, escapament de sèrie,...).

Per sort disposava d'un altre ciclomotor de 49 cc, una RRT de l'any 2006 de la marca Beta amb motor AM6, el qual només tenia canviat l'escapament i el cilindre però estava abandonat. Aquest segon motor no estava només en desús des de feia 4 anys, si no que a més estava engarrotat, portava al aire lliure tot aquest temps i hi havia entrat aigua...



**Fotografia 2.** Estat del motor de la Beta RRT.

A partir de les peces en bon estat dels dos motors es va reconstruir un motor de sèrie. Algunes peces també van tenir que ser tractades per minimitzar els efectes del rovell degut a l'aigua estancada dins del motor durant tant de temps. Aquestes peces van ser principalment el cilindre (va ser tractat amb un bany de sulfurant) i el cigonyal (es va haver de polir una mica). Un cop restaurat el motor es va muntar sobre el xassís de la Rieju i es va acabar de posar a punt (canviar pneumàtics, carburar, anular la bomba d'oli...). El cost total de la restauració del motor Minarelli AM6 inicial de sèrie ha estat de **319,89 €** (Veure la Taula 1).

Producte	Unitats	Preu/unitat
Rodaments SKF-6203 2Z	2	9,71 €
Rodaments SKF-6303 2Z	2	13,02 €
Rodament SKF-6202 2Z	1	9,42 €
Rodament SKF-6204 2Z	1	10,50 €
Caixa d'agulles HK1412 IN	2	8,20 €
Kit 8 retens MOTOFORCE	1	9,00 €
Pasta per a juntes WURTH 250 <sup>o</sup>	1	9,83 €
Dissolvent neteja frens AD	2	3,72 €
5 L. Refrig. Anticong. AD (-40 C°/145 C°)	1	8,68 €
1 L. Valvulma SAE 80W/90 AGIP	1	4,96 €
Grassa per a cadenes AD	1	7,02 €
1 L. Salfumant Bosque Verde	1	0,66 €
Mà d'obra	9 (hores)	15 €/hora
Base		264,37 €
IVA (21%)		53,52 €
<b>Total</b>		<b>319,89 €</b>

**Taula 1.** Pressupost de la restauració del motor inicial.

#### IV. MOTOR INICIAL

El motor reconstruït no presenta tots els components originals de sèrie degut bàsicament a no disposar de recanvis d'aquests. No obstant, els components que hi ha muntats donen unes prestacions pràcticament iguals a les peces originals. S'han realitzat els plànols dels components més importants del ciclomotor. Les peces diferents són:

**Conjunt biela-cigonyal Metra Kit 46**, que es diferencia per tenir la biela més gruixuda que la original (4.7x19 mm respecte als 4.5x17 mm de la de sèrie) i amb un parell d'orificis de lubricació al peu, un més que a la original. I que el cigonyal també és reforçat, és completament circular de forma, amb dos forats travessants a les dues meitats i presenta un millor acabat superficial. El conjunt biela-cigonyal muntat té un pes de 1.320 g, 31 g més que el conjunt original de sèrie.

**Pistó Airsal**, similar al que munta la marca Minarelli pels motors AM6 originals de sèrie, amb la diferència que disposa de dos orificis no travessants als laterals, just a sobre dels orificis del boló. Es tracta d'un pistó d'alumini forjat de 40,3x39 mm amb dos segments. Es un pistó rodat, i el comportament dels segments pot ser una mica inferior al que tindria en cas de ser nous (potser tindria més compressió). El pes del pistó es de 64 g.

**Bobina de la marca TOP Performance sense límit de revolucions**, per evitar una possible limitació sobre el règim de treball dels efectes de les modificacions sobre el motor.

**Un filtre d'aire de la marca Polini sense caixa**, de 84 mm de diàmetre per 43 mm d'alçada, amb una esponja en forma de corona de 46 mm de diàmetre interior, 15 mm de grossor i 37 mm d'alçada. L'únic inconvenient respecte al filtre original de sèrie és que s'embruta abans al no disposar de la caixa.

**Carburador Mikuni de 19 mm** de diàmetre de la boca de sortida de la mescla cap al motor, amb la possibilitat d'augmentar l'admissió de mescla al motor augmentant els xiclets. Aquesta peça suposarà un consum una mica superior al que tindria el motor amb el carburador original de sèrie (carburador phbn 16 Dellorto).

**Làmines de carboni biaxial**, més flexibles en baixes revolucions, més rígides en altes revolucions, minimitzen el guexament de les puntes i milloren la resposta i suavitat del motor. També tenen la particularitat de ser menys agressives pel conjunt cilindre-pistó en cas de ruptura i desprendiment d'algun fragment de làmina cap a l'interior del motor. Van muntades a la caixa de làmines de sèrie, de 73,5x48,6 mm de base i 36 mm d'alçada.

**Anul·lació del termòstat** degut a que es tracta d'un motor de gasolina de 2 temps de petita potència el qual necessita un alt nombre de revolucions per obtenir un bon comportament i es calenta ràpidament. El termòstat també limita una mica el cabal del refrigerant a l'entrada de la culata i, s'ha vist després d'anys d'experiència, com el sistema és capaç d'una millor refrigeració si no hi està present aquest component.

**Bomba d'oli anul·lada**, per ser un **sistema ineficient**, ja que encara que assegurí una mínima entrada d'oli en tot moment mentre gira el cigonyal, el mecanisme està també connectat al cable de l'accelerador i incrementa l'entrada d'oli a la vegada que s'accelera. Aquest sistema pot ser suficient pel règim de treball normal pel qual està dissenyat el motor amb tots els perifèrics de fàbrica, però si s'augmenta el règim de gir del motor (ja sigui muntant un cilindre més gran, un carburador més gran...) no s'augmenta el recorregut del cable de l'accelerador, ni el connectat a la bomba d'oli, amb lo qual la quantitat d'oli que alimenta el motor és la mateixa que pel motor de sèrie i produeix la manca d'oli en la cambra de combustió i el gripatge del conjunt cilindre-pistó. La mescla es farà de forma manual, amb proporció aproximada de 200 mL d'oli per cada litre de gasolina (95). El dipòsit d'oli ha estat retirat del ciclomotor deixant l'espai per a muntar el segon radiador.

#### V. PROVES PER A L'OBTENCIÓ DELS PARÀMETRES DE FUNCIONAMENT DEL MOTOR

El banc de proves que farem servir per a l'obtenció dels paràmetres de funcionament parell motor en funció de les revolucions, potència en funció de les revolucions i velocitat màxima, és un banc de proves MOTOLAB que es troba al taller Auto-Agrícola Galiano SL (c/ casa nova, 3, 12510 Sant Rafael del Riu, Castelló). El preu per cada prova al banc es de 20€. MOTOLAB es un banc de proves de potència de tipus inercial, capaç de mesurar la potència, el parell, l'acceleració i la velocitat en el propi taller, eliminant la perillositat d'haver de sortir a la carretera a provar el vehicle. Aquest banc permet la lectura d'aquests valors amb el motor muntat al xassís de la motocicleta [1].



**Fotografia 3.** Rieju pujada al banc de proves MOTOLAB.

La metodologia a seguir al banc es pujar el vehicle sobre la bancada, fixant la roda davantera al capçal amb l'ajut d'un cargol que porta incorporat i col·locant la roda motriu sobre els rodets. També se situa el ventilador per tal que l'aire que força incideixi frontalment amb el radiador del vehicle, i es col·loca la mànega de l'extractor al final de l'escapament per evacuar els gasos. Un cop escalfat degudament el motor, es va canviant de marxes fins arribar a la que té la relació més llarga, en el nostre cas la 6<sup>a</sup>, i es segueix accelerant fins a arribar al màxim que pot donar el motor. Es manté uns segons i es va desaccelerant progressivament fins a aturar el motor.

El nivell sonor es comprovarà amb un sonòmetre portàtil "Digital Sound Level Meter SL-814" de la marca ACCESSOTECH durant la prova i s'anotará el màxim nivell assolit. Pel que fa a la temperatura, es mesurarà un cop finalitzada la prova amb un detector tèrmic per infrarojos de la marca POWERFIX apuntant directament i el més prop possible a la part exterior del cilindre.

Per a obtenir una aproximació del consum del motor es realitzarà una petita prova (4,5 km) en un circuit urbà preestablert. Es faran servir 200 mL de mescla gasolina i oli per a motors de 2T (mescla al 2% aproximadament) i es rodará fins que s'aturi el motor. Un cop es pari el ciclomotor es marcarà el lloc on s'ha parat per mesurar la distància recorreguda.

La lectura de les emissions es durà a terme al taller de mecànica de cotxes Auto Eduardo y Ramón (c/ de Garbí, 16, 12598 Peníscola) per mitjà de l'aparell "Analizador de gases por infrarrojo, Modelo ecológico" de la marca MIAC, dissenyat per a aquesta funció. El procediment a seguir serà el mateix que es fa servir per a comprovar les emissions en les inspeccions de la ITV, es a dir, amb el motor calent, el vehicle aturat i a ralenti.

## VI. MODIFICACIONS REALITZADES

Amb l'objectiu d'abaratir costos i agilitzar l'estudi, s'han agrupat les modificacions en 4 grups.

Al 1<sup>er</sup> grup s'ha realitzat el poliment de la cambra de combustió formada per les dues meitats del càrter i aquelles superfícies que entren en contacte amb la mescla. També s'ha realitzat el poliment la cambra de combustió de la culata, i s'ha esmolat donant un acabat en punta dels laterals de la biela.

El motiu d'aquests poliments es millorar la circulació de la mescla reduint la fricció de contacte. Es busca així que el motor tingui una major fluïdesa de circulació del combustible, la qual proporcioni major suavitat de funcionament, una millor resposta i assegurí la menor presència de "paràsits" deguts als productes de combustió incompleta. No s'espera efectes adversos per realitzar el poliment de les peces seleccionades ja que només afecta a l'acabat superficial, no hi ha una reducció de material de les peces significatiu per a que pugui afectar la seva durabilitat. Tampoc són parts que hagin de retenir lubricant.

Per dur a terme les operacions de poliment s'ha fet servir paper abrasiu de tres graduacions diferents (P320, P800 i P1000, amb aquest ordre d'ús) de forma manual. Per a esmolar els laterals de la biela m'he ajudat d'un trepant de precisió (Dremel) i una fressa. El cost de les modificacions del 1<sup>er</sup> grup ha estat de 115,11€.



Fotografia 4. Biela amb els cantons polits i acabats en punta.

En el 2<sup>on</sup> grup de modificacions s'ha realitzat la planificació de la culata, de 1,15 mm per cada lateral exterior, amb la intenció d'alleugerir el component. També s'han tapat els dos forats travessants amb tefló per minimitzar les possibles turbulències de la mescla dins la cambra de combustió del càrter. En quant a la culata també s'ha planificat 1 mm.

El pes del conjunt només s'ha rebaixat uns 24 g (de 1.319 g inicials a 1.295 finals, aconseguint un pes molt similar als 1.289 g del cigonyal original de sèrie).

L'operació de planificat de la culata i de taponar els forats travessants del cigonyal l'ha realitzat l'empresa La Plana S.L. de Castelló, però degut a una *mala praxis* no ha estat possible estudiar l'efecte de la culata modificada al motor. I l'operació de planificat del cigonyal ha sigut realitzada per l'empresa també castellonenca Garpasa S.L. Aquest ha sigut el grup de modificacions més car, amb un cost de 245 €.



Fotografia 5. Cigonyal MK planificat i amb els forats tapats.

La intenció del 3<sup>er</sup> grup de modificacions, es alleugerir més el motor i millorar la lubricació del conjunt cilindre-pistó.

Per a aconseguir-ho s'ha alleugerit el rotor realitzant forats de la forma més simètrica possible, amb l'ajut d'un trepant, i fer-los grans mitjançant la Dremel i una fressa (Fotografia 6). No ha estat possible realitzar l'equilibrat del component per les limitacions econòmiques de l'autor del TFG.

L'alleugeriment del contrapès s'ha realitzat de forma molt rudimentària: amb una radial i disc d'arrancar material, i anar rebaixant els laterals i pesant el component per no alleugerir-lo en excés. Finalment el contrapès ha estat rebaixat 18 g, aconseguint un pes final de la peça de 184 g (respecte als 202 g inicials). Aquesta reducció representa un 8,9%, una mica superior al 6,84% al que es volia rebaixar però degut al mètode utilitzat no s'ha pogut aproximar més. Amb això no es manté exactament la relació de pes inicial de 3,693, sinó es

té una relació de pes rotor/contrapès final de 3,777, prou propera però a la desitjada.



Fotografia 6. Rotor DUCATI alleugerit.

I al pistó s'han realitzat 4 petits forats no travessants, amb l'ajuda del trepant, per intentar augmentar el nivell de retenció d'oli. Els forats s'han situat de forma simètrica a la meitat central, a la part frontal i la posterior (Fotografia 7). És en aquestes dues parts on es vol augmentar la retenció d'oli ja que amb l'experiència he pogut comprovar que la majoria de gripatges de pistons es localitzen aquí: l'admissió i, sobre tot, l'escapament. El cost total d'aquest 3er grup de modificacions ha estat de 163,35 €.



Fotografia 7. Pistó amb els forats de lubricació.

I en l'últim grup de modificacions, el 4<sup>rt</sup>, s'ha instal·lat un segon radiador al ciclomotor per millorar la refrigeració del motor, aprofitant l'espai que queda buit al xassis de la Rieju a l'haver anul·lat la bomba d'oli i el dipòsit d'aquest (veure Fotografia 8).

El radiador utilitzat és de segona mà i té unes mides molt similars a l'original ja muntat al ciclomotor de sèrie (ANNEX A.6, plànols 24 i 25). Els tubs utilitzats per ampliar el circuit de refrigeració i connectar ambdós radiadors i el motor també són de segon ús. Per a realitzar les connexions es van usar un parell d'entroncaments en forma de "T" de plàstic fabricats per a tal finalitat (material d'automoció de la marca MetalCaucho, mc068). Han estat necessàries 8 abraçadores metàl·liques més, a part de les 4 utilitzades al muntatge original, i la capacitat del sistema de refrigeració s'ha vist **augmentat en 0,5 L** d'aigua refrigerant/anticongelant.

La despesa econòmica d'aquest últim grup de modificacions ha estat de 58,3 €.



Fotografia 8. Segon radiador instal·lat a la Rieju.

El cost total de totes les modificacions realitzades ha estat de **581,7 €**.

## VII. ANÀLISI DE TENSIONS I DEFORMACIONS DEL CIGONYAL AMB SIEMENS NX8

Per estudiar el comportament del cigonyal durant el seu funcionament s'ha fet servir el programa SIEMENS NX8 per a realitzar un modelat i simulació de les tensions i deformacions a les que està sotmès aquest component.

Al realitzar les mesures de potència a un banc de proves de tipus inercial, s'ha de considerar que la potència obtinguda al banc de proves ( $P_{\text{Banc rodets}}$ ) és de l'ordre d'entre un 6% i un 8% inferior a la potència efectiva ( $P_e$ ) que s'hagués obtingut en l'eix del motor (o cigonyal). Per a la realització dels càlculs s'ha suposat una pèrdua del 7% :

$$P_e = P_{\text{Banc rodets}} \cdot 1,07 \quad [7.1]$$

Per tant, a partir de la potència màxima obtinguda al banc de proves ( $P_{\text{Banc rodets}}$ ) de 5,62 CV o 4,13 kW a 7.400 rpm s'obté la potència efectiva màxima en l'eix del motor o cigonyal ( $P_e$ ). La relació entre  $P_e$  i el parell motor efectiu ( $T_e$ ) és:

$$P_e (W) = T_e (N \cdot m) \cdot 2 \cdot \pi \cdot n (\text{rev/s}) \quad [7.2]$$

on:  $n$  (rev/s) és el règim de gir del motor.  $n$  (rev/s) =  $n$  (rpm)/60

El parell motor efectiu ( $T_e$ ) és el producte de la força d'empenta aplicada als cilindres ( $F$ ) per la distància ( $d$ ) a l'eix geomètric de gir de l'arbre del cigonyal:

$$T_e (N \cdot m) = F (N) \cdot d (m) \quad [7.3]$$

on:  $d$  és equivalent a la meitat de la cursa del pistó. En el motor Minarelli AM6 la cursa del pistó es de **39 mm**.

La força ( $F$ ) que actua sobre el cigonyal del nostre motor és:

$$P_e = 5,62 \text{ CV} \cdot \frac{735,5 \text{ W}}{1 \text{ CV}} \cdot 1,07 = 4422,86 \text{ W} \Rightarrow P_e = 4422,86 \text{ W}$$

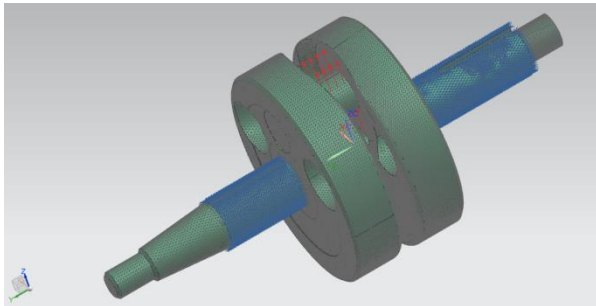
$$P_e = T_e \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \rightarrow T_e = \frac{60 \cdot P_e}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{60 \cdot 4422,86}{2 \cdot \pi \cdot 7400} = 5,707 \text{ Nm} \Rightarrow$$

$$T_e = 5,707 \text{ Nm}$$

$$d = \frac{\text{cursa del pistó}}{2} = \frac{39}{2} = 19,5 \text{ mm} \Rightarrow d = 0,0195 \text{ m}$$

$$T_e = F \cdot d \rightarrow F = \frac{T_e}{d} = \frac{5,707}{0,0195} = 292,67 \text{ N} \Rightarrow \mathbf{F = 292,67 \text{ N}}$$

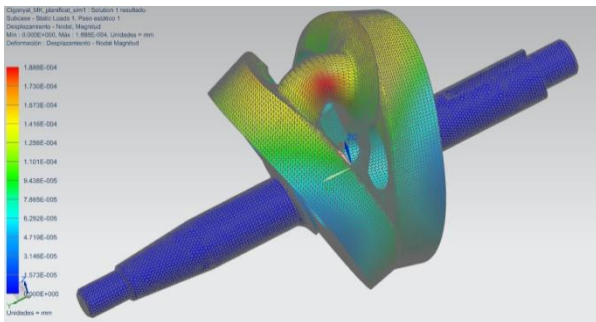
Per tant, la força (F) que actua al cigonyal del nostre motor, i la que farem servir en la simulació amb el SIEMENS NX8, és de **F = 292,67 N**.



**Figura 1.** Aplicació de la força i les restriccions al cigonyal

S'ha modelat el cigonyal Metra Kit sense modificar, s'ha suposat que està format per un acer AISI 4340 amb límit de mòdul elàstic de 210.000 MPa, i s'han realitzat dos simulacions de diferent mallat tetraèdric. Els resultats de la simulació amb el mallat més fi han determinat una deformació màxima de **2,12·10<sup>-4</sup> mm**, localitzada a la part central del boló que uneix les dues meitats del cigonyal. Es tracta d'una deformació prou petita, la qual no afectaria al funcionament de la peça. I pel que fa a la màxima tensió de Von Mises, s'ha obtingut un valor de **5,26 MPa**, tensió prou inferior la tensió de límit elàstic del acer AISI 4340 utilitzat. Queda així demostrada la fiabilitat d'aquest component.

En la tercera simulació s'ha modelat el cigonyal planificat i, amb el mateix mallat fi que abans, s'ha estudiat el comportament en règim de la peça. Els resultats de la deformació màxima han estat de **1,89·10<sup>-4</sup> mm**, sorprenentment inferior a la deformació que sofriria el cigonyal sense planificar (veure Figura 2); i una tensió màxima de Von Mises de **3,07 MPa**, també inferior a l'obtinguda a la simulació del cigonyal sense modificar.



**Figura 2.** Deformació màxima al cigonyal planificat.

*Cal dir que el programa SIEMENS NX8 exagera la deformació produïda en la peça en els resultats que mostra (Figura 2) per facilitar la visualització dels mateixos.*

Tot i que a la pràctica ja s'havia demostrat, s'ha comprovat amb aquesta tercera simulació la fiabilitat del cigonyal planificat, ja que també treballa perfectament al nostre motor sense sofrir deformacions importants ni fallida.

## VIII. RESULTATS

La prova al banc de rodets amb el motor restaurat ha donat una potència màxima de **5,62 CV o 4,13 kW a 7.400 rpm**, un parell motor màxim de **0,556 kgm o 5,45 Nm a 7.100 rpm** i una velocitat màxima de **86,97 km/h**.

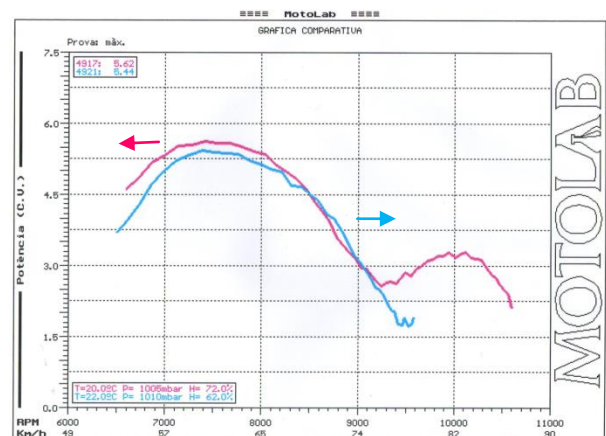


**Gràfica 1.** Corbes de potència i parell del motor reconstruït de sèrie.

El consum del motor ha estat de **5,93L/100 km**, i la prova dels gasos d'escapament han determinat un **2,60% en volum de CO** i **4.900 ppm d'HC**.

El realitzar els poliments del 1<sup>er</sup> grup de modificacions no ha suposat alteracions en els paràmetres d'estudi, simplement ha suavitzat el funcionament del motor millorant el so i la vibració.

Els resultats de la planificació del cigonyal han estat **contraproductius** degut a que la modificació pràcticament no ha alleugerit la peça però sí ha produït una pèrdua de compressió en la cambra de compressió del càrter, degut a haver rebaixat el volum del cigonyal al planificar-lo. La potència màxima obtinguda ha estat de **5,44 CV o 4 kW a 7.400 rpm** (0,18 CV o 0,13 kW menys que amb el cigonyal sense rebaixar), el parell motor màxim de **0,528 kgm o 5,17 Nm a 7.300 rpm** (0,028 kgm o 0,27 Nm menys) i la velocitat màxima de **78,8 km/h** (8,17 km/h menys). El consum no s'ha vist alterat (**5,93L/100 km**) i les emissions han augmentat: un **4,03% en volum de CO** (un **55% més**) i **5.930 ppm HC** (**1030 ppm**, un **21% més !!**).



**Gràfica 2.** Comparativa de la corba de potència entre motor reconstruït i el 2<sup>on</sup> grup de modificacions.

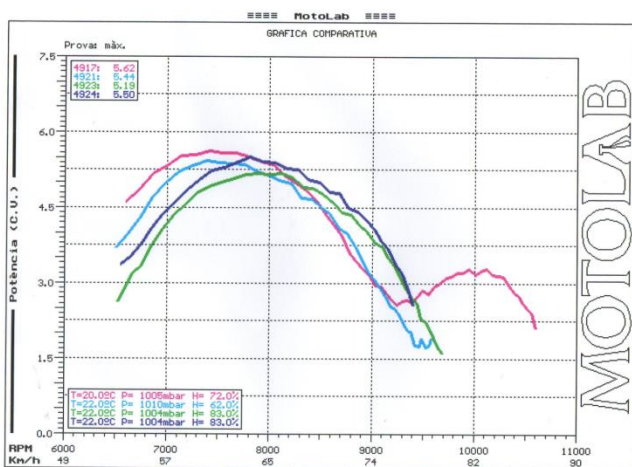
El 3<sup>er</sup> grup de modificacions ha demostrat una recuperació de potència màxima (**5,5 CV o 4,05 kW a 7.850 rpm**), però una pèrdua de parell motor màxim (**0,505 kgm o 4,95 Nm a 7.700 rpm**) i de velocitat màxima (**77,21 km/h**), respecte a l'estat de modificació anterior. La recuperació de la potència s'atribueix a l'alleugeriment del rotor i la pèrdua de velocitat es deguda a la pèrdua d'inèrcia, per culpa d'alleugerir el contrapès i, possiblement, per rebaixar de pes també el rotor.

Els efectes de l'augment de la retenció d'oli de la modificació del pistó pot haver augmentat les emissions però no s'ha pogut determinar l'efecte exacte.

Per valorar la conveniència d'aquesta modificació s'hauria de conèixer les condicions exactes en les que es produeix el gripatge del pistó, i sotmetre a aquestes condicions el pistó modificat.

I amb la instal·lació del segon radiador s'ha augmentat el consum fins als **6,21 L/100 km, un 4,72% més que amb el motor de sèrie**. Era d'esperar que a l'incrementar la resistència d'un dels elements que mou el cigonyal (el rotor de la bomba d'aigua ha de moure quasi el doble de fluid refrigerant) afectés al consum de combustible d'aquesta manera.

**Amb totes les modificacions realitzades NO s'ha aconseguit millorar les prestacions del motor, s'ha augmentat el consum, i les emissions de CO han augmentat un 42,31%, i les ppm d'HC un 14,08%. Es conclou que el motor de sèrie està molt optimitzat.**



**Gràfica 3.** Comparativa de les corbes de potència dels 4 grups de modificacions.

En la Gràfica 3, la corba vermella (4917) és la corresponent al motor de sèrie restaurat amb el 1<sup>er</sup> grup de modificacions i una carburació ajustada, la corba blau clar (4921) representa al motor amb el cigonyal planificat, la verda (4923) és el comportament del motor amb el 3<sup>er</sup> grup de modificacions però amb la bugia deficient, i la corba blau fosc (4924) correspon al motor amb el 4<sup>er</sup> grup de modificacions.

## IX. ASPECTES MEDIAMBIENTALS

Durant tot el procés seguit en la part pràctica per a dur a terme aquest Treball Final de Grau (TFG) s'ha intentat ser el màxim respectuós amb el medi ambient: s'ha utilitzat el mínim transport possible, s'han emprat les tècniques de treball menys contaminants, s'ha reciclat gran part dels components utilitzats, s'ha recollit i guardat **TOTS** els productes nocius o perillosos un cop utilitzats pel seu correcte reciclatge, etc.

Es vol remarcar el fet que s'ha fet un ús responsable de les energies durant la realització del TFG, així com un control de les emissions sonores i de gasos de combustió del ciclomotor en les diferents proves realitzades.

Degut a les meves pràctiques en mecànica des de els 15 anys, reciclo temporalment: olis de motor, valvulines, líquid de

frens, líquids refrigerants/anticongelants, filtres d'oli, filtres de combustible, bombetes, aerosols, metalls, pneumàtics i cambres de roda, envasos de productes químics perillosos, productes químics (com dissolvents contaminants, pintures, combustibles que no serveixen,...), pastilles de fre, cartons, voluminosos (plàstics variats sobre tot) i absorbents (cartons, draps..., qualsevol material amb capacitat d'absorció que hagi entrat en contacte amb un producte perillós pel medi ambient).

Quan s'agrupen gran quantitat de deixalles les transporto fins al Ecoparc de Peníscola (Camí Peníscola-Benicarló, 2, 12598, Peníscola, Castelló). Aquest Ecoparc és una zona habilitada per l'ajuntament de Peníscola pel reciclatge. És un punt que serveix per a que les empreses que s'encarreguen de tal funció puguin recollir la matèria per al seu posterior tractament i reciclatge.



**Fotografia 8.** Zona de reciclatge temporal a casa de l'autor del TFG.

Al projecte s'han determinat i tractat els diferents tipus de residus que s'han produït en cadascuna de les seves etapes: restauració i muntatge del motor d'estudi, muntatges i desmuntatges del motor, realització de modificacions, vida útil del ciclomotor, manteniment i final de la vida útil del ciclomotor.

Finalitzades totes les modificacions, amb el motor calent i intentat mantenir-lo aproximadament a unes 3.375 rpm, les emissions sonores del ciclomotor ronden els 90 dB, i segons el fabricant haurien de ser 87 dB [2]. La diferència es prou petita (3 dB) i segurament es deguda al desgast de la fibra del silenciador de l'escapament, ja que no s'ha canviat mai i té més de 10 anys. De totes formes, els efectes sobre la salut es poden considerar similars als del nivell sonor del motor de sèrie.

I pel que fa a les emissions de gasos del ciclomotor, segons el reglament de la ITV el màxim per a vehicles amb emissions no regulades per un sistema avançat de control d'emissions és de 4,5% en volum de CO [3]. La lectura d'emissions de CO més alta ha estat de 3,7 % en volum, un cop realitzat tots els conjunts de modificacions, amb que el ciclomotor podria circular legalment per la via pública, sense suposar una quantitat d'emissions superior a la resta de vehicles de les seves característiques.

En quan al consum, per a la potència del ciclomotor, la velocitat i el pes, es prou alt. Partint que depèn directament del tipus de conducció, revolucions, terreny,..., el fet que un cotxe d'uns 1.500 kg pugui fer un consum de 4'5 o 5 L als 100 km i un ciclomotor de 49 cc, de menys de 90 kg i amb motor de 2 temps faci un consum de 6,0 ó 6,2 L als 100 km..., no és un motor precisament eficient. El fet que en el nostre cas l'alimentació sigui per carburador i no per injecció controlada electrònicament provoca un consum molt més elevat.

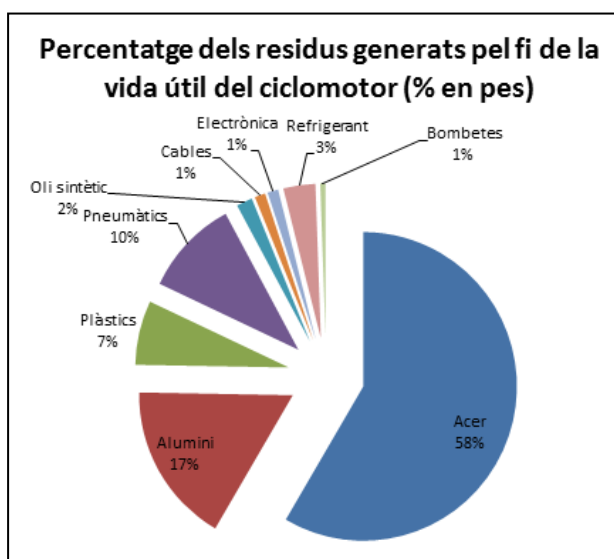
El simple fet de tractar-se d'un motor de dos temps i que fa servir combustible fòssil pel seu funcionament ja deixa clar que el seu funcionament causa un impacte negatiu al medi ambient. Però, a part de l'impacte que suposa la seva fabricació, on no entrem perquè pot ser massa extens, el seu funcionament produeix contaminació sonora, emissions de gasos contaminants (perillosos), i amb menor mesura, contaminació per abocaments al sòl de productes perillosos com son greixos, olis sense cremar, carbonissa,...

Un cop finalitzat el cicle de vida del ciclomotor, l'última etapa és el desballestament i reciclatge dels components del mateix. En la Taula 2 es mostren els codis CER i LER dels residus generats i vies de gestió orientatives.

MATERIAL	CODI LER	CODI CER	DESCRIPCIÓ	VIES DE GESTIÓ ORIENTATIVES
Acer	170405	06.11	Ferro i acer	V41
Alumini	170402	06.23	Alumini	V41
Plàstics	200139	07.42	Plàstics no contaminants	V12
Pneumàtics	160103	07.31	Pneumàtics fora d'ús	V52
Oli sintètic	130206	01.31	Valvulina del canvi	T62
Absorbents	150202	03.14	Draps, cartrons, teles,...utilitzades per a la neteja de productes perillosos	T24
Cables	170410	10.22	Cables i sobrants	V45
Envasos de paper i cartró	150101	07.21	Embalatges de productes nous, recanvis, pastes,...	V51
Electrònica	200136	08.23	Equips elèctrics i electrònics	V41
Dissolvents	140603	01.12	Dissolvents utilitzats per a netejar restes d'olis, greixos,...	V21
Àcids	200114	01.21	Residus àcids	V43

Taula 2. Reciclatge components acaba la vida útil [4],[5].

Per fer més visual la proporció de residus que genera el ciclomotor un cop acabada la seva vida útil, s'adjunta tot seguit una gràfica de pastís amb el % en pes aproximat que suposarà cada component (veure Gràfica 4).



Gràfica 4. Residus generats (% pes) acaba la vida útil del ciclomotor.

## X. CONCLUSIONS

Després d'experimentar la realització de diverses modificacions sobre alguns components del motor (com el cigonyal, la biela, el rotor, la culata, el pistó, el contrapès i el rotor) s'observa com **NO s'ha obtingut una millora de les prestacions del motor**. S'ha perdut un 2,14% de potència màxima (de 5,62 CV o 4,13 kW a 5,5 CV o 4,05 kW), un 9,17% de parell motor màxim (de 0,556 kgm o 5,45 Nm a 0,505 kgm o 4,95 Nm), i 11,22% de velocitat màxima (de 86,97 km/h a 77,21 km/h).

I pel que fa al consum, tot i que no és excessivament fiable el mètode utilitzat, ha augmentat prop d'un 4,72% (de 5,93 L/100 km a 6,21 L/100 km).

El nivell sonor també ha augmentat lleugerament però es podria menysprear, igual que amb la temperatura. Els rangs de sorolls han estat de 103,9 dB a 110,1 dB, i el rang de temperatures a la paret del cilindre durant la realització de les proves al banc han estat de 38,1 C° a 58,2 C°.

La vibració del motor, encara que no s'ha disposat de cap medi per quantificar-la, no ha variat segons les sensacions de conducció experimentades.

En el tema de les emissions de gasos contaminants és on més s'ha observat un efecte de les modificacions realitzades. Han augmentat respecte al motor de sèrie restaurat un 42,31% (de 2,6% en volum a 3,7% en volum) les emissions de CO; i un 14,08% els ppm d'HC (de 4.900 ppm a 5.590 ppm).

La realització del primer grup de modificacions, que consistia en polir la cambra de combustió del càrter, la cambra de combustió de la culata i donar un acabat en punta als cantons de la biela, ha suavitzat el funcionament del motor però no ha millorat la potència, ni el parell motor ni la velocitat màxima. Es una operació que requereix de moltes hores de feina i no es considera necessària per a una moto de carrer. Per a competició seria potser més interessant. Els costos econòmics d'aquest grup de modificacions ha estat el de 3 fulles de paper abrasiu ( P320, P800 i P1000) i un esprai de dissolvent neteja frens en material i unes 6 hores de feina, que sumen un total de 115,1 €.

Amb el segon grup de modificacions només s'ha rebaixat mínimament el pes del cigonyal i s'han tapat els orificis travessants, però s'ha fallat amb la planificació de la culata, amb el que no s'ha pogut provar l'efecte d'aquesta sobre el motor. El fet d'haver rebaixat el pes del cigonyal planificant 1,15 mm els laterals i, per tant, reduint el seu volum, ha provocat una pèrdua de potència màxima (de 0,18 CV o 0,13 kW), de parell motor màxim (0,028 kgm o 0,27 Nm) i de velocitat màxima (8,17 km/h) degut a la disminució de compressió en la cambra de combustió. La forma d'alleugerir el cigonyal correctament no passa per reduir el seu volum, sinó per reduir la massa mantenint la inèrcia, es a dir, alleugerint només la meitat superior (on es troba el boló que l'uneix amb la biela) per a provocar que quan el pistó es desplaça cap a dalt o cap a baix ho faci amb més agressivitat. L'operació de tapar els forats travessants del cigonyal però, ha estat positiva, ja que ha minimitzat una mica els efectes negatius de la planificació dels laterals al reduir les turbulències al pas de la mescla per la cambra de combustió del cigonyal. El cost d'aquest grup de modificacions ha estat el més significatiu: un total de 245,0 € (3 hores de mà d'obra, un viatge d'anada i tornada a Castelló i les operacions realitzades al cigonyal i la culata).



No obstant, per mitjà de la simulació amb el programa SIEMENS NX8, hem pogut estudiar les tensions i deformacions que sofreix el cigonyal durant el funcionament del motor, i hem comprovat com la planificació realitzada de 1,15 mm a cada lateral del cigonyal no afecta pràcticament la durabilitat del component. Arribant a una deformació màxima en el boló que uneix les dues meitats del cigonyal de  $1,89 \cdot 10^{-4}$  mm, i obtenint una tensió de Von Mises màxima de 3,07 MPa on s'uneixen els eixos amb els laterals del cigonyal, i on s'uneix el boló amb les dues meitats del cigonyal. Com que aquesta tensió està molt lluny de la tensió límit de mòdul elàstic del material (acer AISI 4340, amb tensió límit de mòdul elàstic de 210.000 MPa), no hi ha perill de fallida.

Amb el tercer grup de modificacions (alleugeriment del rotor i del contrapès, i perforació del pistó) s'ha aconseguit recuperar un mínim de potència màxima (tan sols 0,06 CV o 0,044 kW) respecte als efectes de les modificacions del segon grup i un mínim de velocitat màxima (0,73 km/h), però s'ha perdut parell motor màxim (0,023 kgm o 0,226 N·m). Els motors Minarelli AM6 estan molt equilibrats de sèrie i el fet d'alleugerir components per separat de forma un tant arbitrària produeix un desequilibrat del motor i pèrdua de prestacions. Seria interessant estudiar els efectes sobre el funcionament del motor de cadascuna de les modificacions realitzades en aquest grup per separat, ja que la petita recuperació de potència segurament ha estat per la reducció de pes del rotor però ha canviat el comportament de la corba de potència. I el fet d'haver perdut inèrcia és el principal responsable d'haver perdut velocitat màxima. També l'augment de la retenció d'oli pels orificis realitzats al pistó sembla ser el responsable de l'augment del 42,31% de les emissions de CO i del 14,08% dels ppm d'HC.

La despesa econòmica d'aquestes modificacions ha estat totalment deguda a les hores de feina, 3 hores per obrir i tancar el motor, i muntar-lo al xassís, i 6 hores per la mecanització de les peces. El total puja a 163,35 €.

I amb la instal·lació del segon radiador al quart grup de modificacions no s'han observat efectes sobre la potència i parell del motor, però sí una pèrdua en velocitat màxima de 2,32 km/h i un augment del consum de 0,28 L/100 km (efectes lògics d'augmentar la resistència de gir del motor).

La temperatura durant la realització de la prova al banc i de la prova de consum pel circuit tampoc s'ha vist massa alterada per aquesta modificació. Els dos radiadors s'escalfen i refreden al mateix temps, el que vol dir que els dos treballen correctament. No hi ha cap pèrdua i s'ha augmentat la quantitat de fluid refrigerant del circuit un 83,34% (0,5 L més). Per determinar la conveniència d'aquesta modificació caldria provar el ciclomotor en condicions més extremes i durant més temps. No obstant, per l'experiència i característiques d'aquests petits motors de dos temps, és una de les modificacions més interessants. El cost d'aquesta operació ha estat de 22,5 € en material i 30 € en mà d'obra (2 hores), sumant un total de 58,3 €.

Amb l'estudi realitzat en aquest TFG s'ha demostrat que els motors Minarelli AM6 estan **molt optimitzats**, ja que qualsevol modificació altera de forma important les seves prestacions i es requereix d'un estudi molt més profund per a la millora d'aquestes.

El cost de la restauració del motor inicial ha estat de 319,9 €; el dels quatre grups de modificacions de 581,7 €; i el de les pujades al banc de proves de 143,4 €. També cal afegir el cost de la gasolina i oli utilitzats, que sumen 14,2 €.

Amb tot això, *el cost total aproximat del projecte és de 1.059 €* (ANNEX A.5).

## XI. BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.motolab.net/>  
Pàgina web de la marca Motolab on es dona informació sobre el seu banc de proves.  
Data de consulta: Febrer de 2016.
- [2] [http://perso.wanadoo.es/oplana/propostaamf/libro\\_ruid\\_o\\_motos.pdf](http://perso.wanadoo.es/oplana/propostaamf/libro_ruid_o_motos.pdf)  
Taula de valors de referència per a l'assaig amb el vehicle parat (ITV).  
Data de consulta: Maig 2016.
- [3] [http://www.minetur.gob.es/industria/es-ES/participacion\\_publica/Documents/manual-itv-febrero2015.pdf](http://www.minetur.gob.es/industria/es-ES/participacion_publica/Documents/manual-itv-febrero2015.pdf)  
Pàgina web on podem trobar el manual de procediments de ITV de l'any 2015.  
Data de consulta: Març de 2016.
- [4] <http://www.arc-cat.net/ca/aplicatiu/cer/jr-42000.asp>  
Pàgina web de l'Agència de Residus de la Generalitat de Catalunya on podem consultar diferents catàlegs d'on dur els residus a reciclar i els seus codis.  
Data de consulta: Maig de 2016.
- [5] <http://www.ine.es/daco/daco42/resiurba/equivalencias.pdf>  
Taula d'equivalències entre codis LER i codis CER.  
Data de consulta: Maig de 2016.