

# **LA SUSPENSÍÓ DE LA BICICLETA DE MUNTANYA**

**COMPARACÍÓ DE TRES ESMORTEÏDORS**

# ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ.....	4
2. METODOLOGIA.....	5
3. OBJECTIUS .....	7
4. COS DEL TREBALL.....	8
4.1. PARTS D'UNA FORQUILLA AMB ESMORTEÏDOR.....	8
4.2. CONCEPTES .....	9
4.3. TIPUS DE SUSPENSIONS .....	11
4.4. COMPARACIÓ DELS DIFERENTS SISTEMES .....	12
4.5. MATERIALS I COMPONENTS.....	13
4.6. HISTÒRIA DE LES PRINCIPALS MARQUES.....	13
4.7. OPINIONS DE CORREDORS .....	14
4.8. NORMATIVES LEGALS.....	15
4.9. ALTRES SISTEMES D'ESMORTEÏMENT.....	16
4.10. TEORIA DE L'ESMORTEÏMENT I DE L'ESMORTEÏMENT CRÍTIC .....	18
5. TREBALL DE CAMP .....	20
5.1. HBM SPIDER 8 .....	20
5.2. HLS I GALGUES EXTENSOMÈTRIQUES .....	20
5.3. PRESA DE DADES .....	21
5.4. COMPARACIÓ DELS ESMORTEÏDORS.....	21
5.5. REACCIÓ DAVANT D'UNA MATEIXA FORÇA SITUACIÓ .....	22
5.5.1. Explicació de les proves .....	22
5.5.2. Presentació dels resultats .....	23
5.5.3. Discussió d'anàlisis .....	26
6. CONCLUSIONS .....	28
7. AGRAÏMENTS .....	30

8. BIBLIOGRAFIA .....31

9. ANNEX .....33

# 1. INTRODUCCIÓ

La meva recerca està relacionada amb el món del ciclisme i més concretament amb la bicicleta de muntanya. La majoria de les bicicletes tenen esmorteïdor davanter per tal de millorar la comoditat en la conducció en tota classe de terrenys irregulars. També són útils per absorbir els impactes.

Vaig escollir aquest tema perquè m'agrada molt anar en bicicleta, i especialment per la muntanya. A més a més, amb aquest treball tindrè la oportunitat de comprovar quin és el millor esmorteïdor dels meus amics i companys d'entrenament. Han confiat en mi permetent-me desmuntar les forquilles de les seves bicicletes per poder realitzar les proves comparatives corresponents.

Totes les marques afirmen que la seva suspensió és la millor i la més eficient, però amb aquest treball podrè comparar tres suspensions, de la gamma mitja-alta, de les tres marques més destacades del món del ciclisme: Fox, Manitou i Rock-Shox, i demostrar quina és la més eficaç en diferents situacions.

## 2. METODOLOGIA

Per realitzar aquest treball primer m'he hagut d'informar sobre molts detalls del tema que no coneixia i comprovar que tot el que ja sabia era correcta.

Tot seguit vaig recopilar informació d'Internet i vaig demanar informació a alguns fabricants, a través de e-mails, però no hem van voler ajudar.

També vaig investigar sobre les normatives aplicades a les suspensions de bicicletes. Per fer-ho vaig demanar ajuda al fòrum d'Internet, dedicat al ciclisme, "www.foromtb.com". aquí em van informar que només han de seguir la normativa ISO explicada en el punt 4.8. a més per confirmar-ho vaig fer una recerca específica a la normativa AFNOR i UNE on no vaig trobar-hi res.

D'altra banda vaig utilitzar aquest fòrum per fer un recull d'opinions a diversos usuaris de bicicletes amb esmorteïdor.

Per realitzar les proves vam contactar amb en Joan Andreu Mayugo, professor d'enginyeria Mecànica de la Universitat de Girona, que ens va deixar utilitzar el taller de la UdG. I vam planificar com desenvolupar els assajos realitzats.



Un primer dia vaig anar amb en Jordi Vicens, becari del taller de la universitat, durant un parell d'hores per enginyar un suport que per un costat s'acoblés correctament al tub de direcció de la forquilla i que per l'altre costat s'hi poguessin col·locar les càrregues de manera que quedessin totalment subjectades, i que no poguessin caure. Perquè el suport s'adaptés

correctament al tub de direcció vam haver de desmuntar la potència del manillar, que és l'element que uneix el tub de direcció amb el manillar.

Els dos dies següents vaig tornar a anar al taller de la UdG, unes tres hores cada dia, amb en Joan Andreu Mayugo per realitzar les tres proves amb cada una de les tres suspensions:

- Càrrega estàtica
- Prémer i deixar anar
- Caiguda

Per recollir els resultats de les proves, explicades a l'apartat 5.5., vam utilitzar un *HLS* i un *HBM Spider 8*, el seu funcionament s'explica en l'apartat 5.1. i 5.2.

Tot seguit el vam connectar l'*HLS* a l'*Spider 8*, i aquest a un ordinador.

A continuació vam col·locar les càrregues i vam realitzar les proves corresponents amb cada esmorteïdor.

Tot seguit, durant sis setmanes vaig anar un cop per setmana una hora a la UdG amb en Joan Andreu per analitzar els resultats de les proves realitzades. D'aquí en vaig treure les conclusions que em van servir per respondre als objectius prèviament proposats.

Finalment, per poder posar les fórmules utilitzades en el treball de camp, vaig utilitzar el programa d'Internet "<http://rinconmatematico.com>".

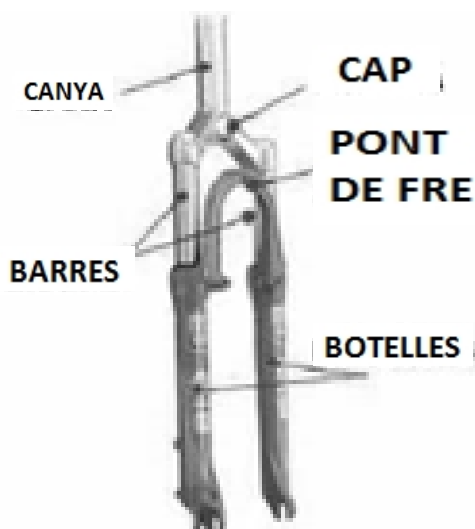
### 3. OBJECTIUS

He determinat els objectius segons les sensacions que m'han transmès les diferents bicicletes durant el seu ús. Amb els següents assajos espero afirmar o refutar els objectius que esmento a continuació:

1. Demostrar que la forquilla Rock-Shox és menys rígida que la forquilla Manitou.
2. Demostrar que la forquilla Manitou és més rígida que la forquilla Fox.
3. Demostrar que la constant de la molla d'aire varia.
4. Demostrar que la forquilla Rock-Shox té menys vibracions que la forquilla Fox.
5. Demostrar que la forquilla Fox té menys vibracions que la forquilla Manitou.

## 4. COS DEL TREBALL

### 4.1. PARTS D'UNA FORQUILLA AMB ESMORTEÏDOR



#### Canya o tub de direcció:

És el tub que es troba a la part alta de la forquilla, i que l'uneix amb la part davantera del quadre. A la part més alta del tub s'hi uneix el manillar.

#### Cap:

És l'element que uneix la canya amb les barres. Té una estructura sòlida i rígida. I es troba a la part alta de la forquilla.

#### Barres:

Són els elements que marquen el recorregut, que pot anar des de 60 mil·límetres fins a 300mm en el cas dels esmorteïdors de descens. Són d'alumini i el seu interior és buit. Estan situades a continuació del cap, a la part central de la forquilla.

#### Botelles:

En el seu interior s'hi troben tots els sistemes d'esmorteïment. Rep aquest nom perquè en el seu interior s'hi troben les botelles d'aire d'algunes suspensions. A la part baixa de la botella esquerra hi ha el suport per al fre de disc, i a la part alta hi ha el suport per als frens V-Brake o de pastilla. A la part davantera inferior de cada botella hi ha el suport per la roda. Les botelles es troben a la part baixa de la forquilla.



Retens:

Es troben entre les barres i les botelles i impedeixen que el lubricant o l'oli d'algunes suspensions surti de l'interior de les botelles.

Pont:

És l'element que uneix les dues botelles. Té forma de mitja circumferència i cada un dels seus extrems va soldat a la part alta d'una botella. Pot estar a la part davantera, a la posterior o fins i tot n'hi pot haver un a cada costat.

## 4.2. CONCEPTES

En el món de les forquilles amb esmorteïment hi ha molts conceptes específics, i amb la invenció de nous mecanismes cada vegada n'hi apareixen més.

SAG:

És el complement de la precàrrega. SAG que en anglès significa saltar. És el recorregut que fa la suspensió només amb el pes del ciclista. Això s'expressa com un recorregut negatiu resultant de l'ajustament de la precàrrega. Sense el SAG l'absorció dels guals no seria possible. El SAG d'un esmorteïdor que s'usa en la modalitat de raid, els que estem treballant nosaltres, ha d'estar entre el 20 i el 30% del recorregut total.

Precàrrega:

La precàrrega consisteix en posar més o menys pressió d'aire o oli dins de la suspensió, per tal d'ajustar el SAG al nostre pes. En el cas dels esmorteïdors de molla per ajustar la precàrrega, s'ha de canviar la molla.



### Control de rebot:

Ens permet ajustar la velocitat a la qual l'esmorteïdor recupera la seva posició inicial.

Normalment el rebot es regula hidràulicament, a través del pas forçat d'oli a un circuit i a una vàlvula d'escapament que podem obrir o tancar perquè a l'oli li costi més o menys circular i, per tant, generi una extensió més lenta o més ràpida de la forquilla.



### Regulador de compressió:

Tècnicament és el mateix sistema que el rebot, però amb el funcionament invertit. Consta d'un circuit hidràulic que fa passar l'oli per una vàlvula regulable que alenteix la compressió de la forquilla. Aquest sistema ens permet regular la velocitat de compressió de l'esmorteïdor.



### Bloqueig:

Consisteix en anular el funcionament de les suspensions perquè no interfereixin en la pedalada. Els sistemes més comuns són els de "tot o res" (on/off) o un dial amb diferents posicions que regula la compressió fins arribar al bloqueig. Els últims anys ha evolucionat molt i han aparegut les suspensions intel·ligents, que normalment estan bloquejades, però quan reben un cop s'obren automàticament.



### Recorregut:

És la distància de funcionament que té un esmorteïdor, i s'expressa en mil·límetres. En el cas de les forquilles que s'usen en la modalitat de raid, el recorregut és a partir de 60mm fins a 100mm, i en les forquilles de descens, que tenen un recorregut molt més gran. Poden anar des dels 200mm fins als 300mm.



### 4.3. TIPUS DE SUSPENSIONS

Al llarg de la història les suspensions de les bicicletes han anat evolucionant. Els primers models funcionaven amb una simple molla, després es va començar a utilitzar el sistema d'oli i actualment s'utilitzen sistemes pneumàtics d'aire.

#### Molla:

El sistema de molles funciona amb una molla d'acer. Aquests tipus de sistemes no tenen control de rebot, per tant no es pot regular la velocitat del rebot, i no es poden bloquejar, però tenen un regulador de compressió per cada molla, que permet regular-ne la força girant el dial de cada una. Tot i poder-se regular, la variació és mínima. Per ajustar el SAG al nostre pes, només podem canviar la molla.



#### Oli:

Els sistemes amb oli no tenen control de rebot ja que la velocitat del rebot depèn de la densitat de l'oli que hi ha a l'interior de l'esmorteïdor. El regulador de compressió té el mateix funcionament que el control de rebot. Com més dens és l'oli més paulatinament es comprimeix i recupera la seva posició inicial. Podem controlar el SAG



introduint-hi més o menys oli. Aquest tipus de sistema té dos posicions de bloqueig, una oberta, l'esmorteïdor funciona, i una tancada, l'esmorteïdor està bloquejat. Teòricament aquest sistema és molt més eficaç que el sistema de molles.

#### Aire:

Els sistemes d'aire són els més moderns. Podem regular el control de rebot gràcies a un petit circuit hidràulic. Si obrim la vàlvula el rebot serà més ràpid. El regulador de compressió té el mateix sistema que el control de rebot, però amb el funcionament invertit. En aquests sistemes el bloqueig pot tenir un dial amb unes quantes posicions definides, de més dur a més tou, tot i que el més comú és trobar el sistema de "tot o res", és a dir bloquejat o desbloquejat. Gràcies a la tecnologia i a tots aquests avenços els esmorteïments d'aire són molt més eficaços, més segurs, més lleugers i permeten uns recorreguts molt més grans. Alguns esmorteïdors d'aire tenen molles al final del recorregut per facilitar l'aturada de la compressió i no malmetre els sistemes.



#### 4.4. COMPARACIÓ DELS DIFERENTS SISTEMES

##### Molla:

Els sistemes de molla són els que tenen les dimensions més reduïdes, però també són els més pesants. Aquests sistemes no necessiten gaire manteniment. Són molt econòmiques ja que no estan tant evolucionades i al fet que la seva eficàcia és molt reduïda. Cada vegada s'utilitzen menys i s'instal·len en bicicletes de gamma molt baixa.

##### Oli:

Aquests sistemes tenen les dimensions més grans, però no són els més pesants, el seu pes s'acosta molt al pes dels esmorteïdors de molla. Són més cares que les de molla, però molt més econòmiques que les d'aire. També estan més evolucionades, tecnològicament, que les de molla, cosa que els permet tenir una eficàcia superior a aquestes, però molt inferior a les d'aire. Cada vegada s'utilitzen menys, tot i que se segueixen utilitzat per bicicletes de gamma baixa. El sistema d'oli és el que necessita més manteniment.

##### Aire:

Els sistemes d'aire tenen unes dimensions molt semblants a les d'oli, tot i que són molt més lleugeres. Estan molt evolucionades, cosa que els hi permet tenir una eficàcia molt superior respecte a les d'oli. Per tots aquests factors i al fet que són els sistemes més utilitzats i més moderns, són els més cars i dupliquen de llarg el preu dels sistemes d'oli. Alguns esmorteïdors d'aire, porten una petita molla com a complement del sistema. Aquests sistemes no necessiten gaire manteniment.

MARCA	SISTEMA	RECORREGUT (mm)	PES (g)	PREU (€)
Rock-Shox	Aire	100	1.535	550
Rock-Shox	Oli	100	1.850	200
Rock-Shox	Molla	100	1.600	150

#### 4.5. MATERIALS I COMPONENTS

El món de la bicicleta evoluciona molt ràpidament i cada vegada apareixen més conceptes. No només evolucionen els materials, sinó també els components.

Els primers esmorteïdors eren de ferro, però de seguida es va substituir el ferro per l'alumini, tot i que era un alumini molt pesant. Amb el temps i gràcies a la investigació de moltes persones s'han trobat nous aliatges d'alumini, com l'alumini 6061, que és molt més lleuger. Amb els nous descobriments dels darrers anys s'ha pogut treballar més amb la fibra de carbó, un material molt lleuger, però poc resistent als impactes.

Normalment els components interiors es fan amb plàstic i alumini, però està guanyant terreny la tendència a substituir l'alumini per la fibra de carbó. La majoria de les forquilles amb esmorteïdor tenen el cos exterior, el que resisteix el cops, les condicions ambientals i altres factors externs, d'alumini.

#### 4.6. HISTÒRIA DE LES PRINCIPALS MARQUES

Quan van començar a aparèixer les suspensions moltes marques van intentar crear el millor producte, però només dues marques ho van aconseguir. Aquestes dues marques, Rock Shox i Manitou, van destacar de seguida, i avui dia encara són dues de les marques més destacades del mercat.

##### Manitou:

Manitou és una empresa que va néixer l'any 1946 com a fabricant d'esmorteïdors per maquinària pesada, i amb el pas dels anys va anar creant sistemes pneumàtics per tota classe de màquines.

Fa més de vint anys, quan van començar a aparèixer els esmorteïdors per bicicletes Manitou es va posar com a objectiu produir els esmorteïdors més avançats tècnicament. Després de dècades d'investigació, desenvolupament i competicions, s'ha demostrat que és l'empresa amb els sistemes de suspensió més innovadors del mercat.

El seu objectiu actual consisteix en proporcionar tecnologia d'avantguarda.

### Rock-Shox:

Rock-Shox va ser fundada l'any 1987 per Paul Turner.

La primera suspensió per bicicleta de muntanya de la marca va ser el model RS1. Aquesta suspensió tenia un recorregut de 50mm, i estava fabricada amb acer i magnesi.

Des d'aquell moment els materials de construcció i el disseny de les suspensions Rock-Shox han revolucionat la indústria de la bicicleta de muntanya.

Rock-Shox és reconeguda a nivell mundial per la seva llarga trajectòria dins d'aquest esport.

És la marca que ha guanyat més campionats Nacionals, Mundials i Olímpics.

El 2003, Rock-Shox INC va ser adquirida per SRAM Corporation, companyia que fabrica components per tota classe de bicicletes. A través d'aquesta fusió Rock-Shox ha pogut continuar fabricant productes de tecnologia punta. Tot i haver-se fusionat Rock-Shox es manté com a marca registrada.

Actualment Rock-Shox és líder en fabricació de suspensions de bicicletes, d'alta qualitat.

### Fox:

Durant 35 anys, Fox Racing Shox ha estat líder en la indústria de disseny i desenvolupament d'esmoreïdors de competició per a vehicles de motor.

Més endavant va obrir el seu mercat al món de la bicicleta, on ha aconseguit destacar.

El 1974, Bob Fox va començar a competir amb els seus productes en motocròs i des de llavors Fox no ha deixat de competir.

Fox Racing Shox ha estat present en els podis en tots els esports que ha competit, ja sigui en competicions de BTT o en curses de motor de gran prestigi com el Dakar.

El seu equip d'enginyers realitza rigoroses proves a tots els seus productes per tal de millorar-ne el rendiment. Fox Racing Shox domina el camp dels esmoreïdors en molts esports, però tot i tenir molt de prestigi no és la capdavantera en el món de les bicicletes de muntanya.

## **4.7. OPINIONS DE CORREDORS**

Les opinions que es transcriuen a continuació han sigut extretes del fòrum “[www.forombt.com/showthread.php?770270-QUE-HORQUILLA-ES-LA-MEJOR](http://www.forombt.com/showthread.php?770270-QUE-HORQUILLA-ES-LA-MEJOR)”.

Cal tenir present que parteixen de les seves pròpies experiències i per tant són subjectives i no estan basades en estudis tècnics.

La gran majoria dels corredors opinen que prefereixen els esmorteïdors d'aire, no només perquè el seu pes és més reduït i pel fet que tecnològicament estiguin més avançades, sinó també perquè són molt més còmodes i la seva compressió va de ràpida a lenta, és a dir, es comencen comprimint ràpid i quan s'acosta el final del recorregut es comprimeix més lentament.

Només una petita part dels participants al fòrum diuen que prefereixen els esmorteïdors d'oli, ja que per la seva tècnica de conducció els resulta molt més còmode.

Una altra gran part dels participants del fòrum opina que els esmorteïdors de molla són els millors. Segons ells, tot i tenir un pes més elevat que les d'aire i que no es pot regular la seva força absorbeixen molt millor les petites irregularitats del terreny.

Aquest tema publicat en el fòrum “[www.foromtb.com](http://www.foromtb.com)” ha tingut un total de 830 entrades, en menys de dos mesos, però només 14 individus han opinat. S'ha de tenir en compte que aquestes opinions no tenen cap significació estadística.

#### **4.8. NORMATIVES LEGALS**

Els esmorteïdors no han de seguir cap normativa legal de normalització en concret, ja que això limitaria el desenvolupament de les marques per investigar i crear noves tecnologies. L'única normativa que han de seguir és una normativa ISO que normalitza la mida dels cargols utilitzats.

#### 4.9. ALTRES SISTEMES D'ESMORTEÏMENT



A més a més dels sistemes d'esmorteïment ja esmentats, la marca de bicicletes Cannondale ja fa anys que va desenvolupar un sistema d'esmorteïment anomenat Head-shok. Aquest sistema l'han aplicat a dos amortidors diferents, que són els següents:

##### Head-shok:

La forquilla Head-shok va ser introduïda al mercat per primera vegada l'any 1992.

Compta amb 4 bandes de rodament d'agulles.

Cada tira conté 22 rodaments amb un total de 88.

Cadascuna de les bandes de rodament d'agulles

està entre un anell intern de gruix variable i una pista exterior. Un tub exterior d'alumini i un tub de direcció interior, d'acer o d'alumini, formen un conjunt telescòpic. Amb aquest disseny Cannondale disposa d'un sistema que en comptes de lliscar, tal i com fan les altres forquilles amb esmorteïment, roda. Això redueix al mínim la fricció estàtica. Es fa servir aquest disseny tant robust per obtenir un sistema de flex-lliure que l'usuari pot activar o desactivar. La forquilla Head-shok no torça ni doblega sota càrrega com fan altres forquilles. A diferència de la majoria de les forquilles, els cartutxos de la Head-shok es poden canviar, i com a conseqüència d'això es pot obtenir un recorregut més gran.

Aquest sistema d'esmorteïment va ser creat per la marca Cannondale l'any 1992 i des d'aquell moment no ha parat d'evolucionar. El model Fatty és la evolució més moderna d'aquest sistema.

Aquest model pesa 1270 grams, té el cos d'alumini ultralleuger, té bloqueig i control de rebot, i el recorregut és de 80 mil·límetres.

Té les mateixes característiques que una forquilla normal, amb la diferència que només té un esmorteïdor en el centre del tub de direcció, cosa que permet reduir el pes considerablement.





Cannondale Lefty:

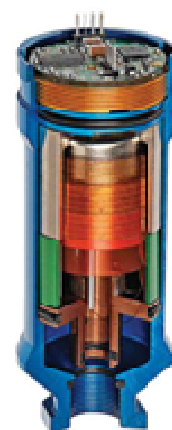
Va ser creada l'any 2000 per la marca Cannondale. Actualment el model més lleuger pesa 1159 grams, té un recorregut de 110 mil·límetres. El seu preu està al voltant dels 1300 euros. El cos d'aquesta forquilla està fet majoritàriament de fibra de carboni, amb alguns elements d'alumini ultralleuger. La forquilla va collada al quadre de la bicicleta per dos punts de la part superior. A la part inferior hi ha el suport per les pinces del fre i per la roda davantera. Aquest suport implica que només es puguin posar unes llantes amb un rodet especial.

Com que les suspensions són molt complicades d'ajustar mentre anem pedalejant, els enginyers de Cannondale Bicycle Corporation han creat la primera suspensió informatitzada per bicicletes, la qual està composta per un sistema hidràulic que pot ajustar automàticament la resistència i la pressió del fluid. Tanmateix, els sensors de moviment calculen la millor configuració segons el terreny per a una millor comoditat a l'hora de circular.

Aquest sistema té un bloqueig amb varies posicions de duresa definides, per tal que la puguem ajustar al nostre gust. També es pot configurar perquè la suspensió es recalibri contínuament per si mateixa, sense necessitat de control manual.

Un acceleròmetre sensible al moviment a la zona frontal, detecta els cops i impactes, mentre que un sensor òptic situat a la part interior fa un seguiment de la posició, mesurant el grau d'obertura de la vàlvula i de compressió. Les dades s'obtenen a través d'uns sensors que envien 500 dades per segon a un ordinador incorporat a bord. El programa decideix com canviar la duresa de la suspensió segons els impactes i els cops que rep, la velocitat i altres factors.

Un motor elèctric, accionat per una pila, ajusta el corrent hidràulic, obrint o tancant la vàlvula. L'absorció dels impactes es reajusta amb una precisió d'un mil·límetre cada set mil·lisegons.



#### 4.10. TEORIA DE L'ESMORTEÏMENT I DE L'ESMORTEÏMENT CRÍTIC

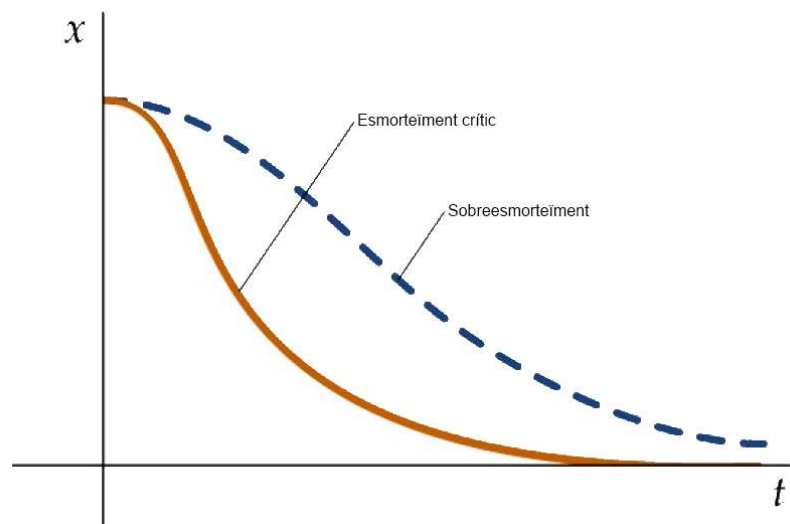
Per l'estudi dels esmorteïdors cal tenir en compte que s'ha d'estudiar a partir de la llei de Hooke i del moviment harmònic simple:

Llei de Hooke:

- L'utilitzem per calcular la constant ( $k$ ). Estableix que l'allargament unitari que experimenta un material elàstic és directament proporcional a la força aplicada.

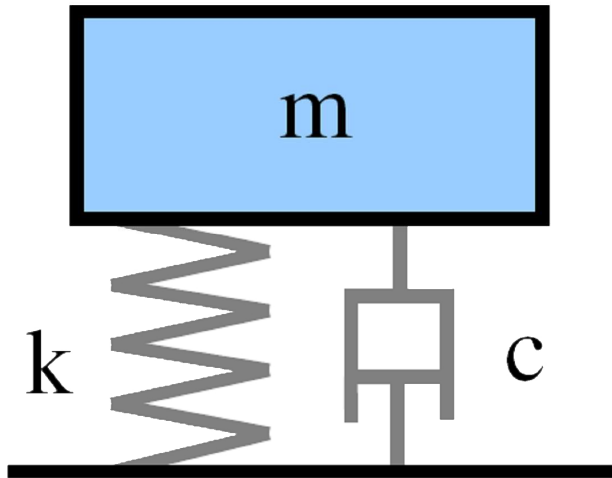
Moviment harmònic simple:

- L'utilitzem per comprendre la trajectòria d'un moviment periòdic al llarg del temps.
- Esmorteïment crític ( $C_c$ ): la freqüència d'oscil·lació és zero. El sistema s'aproxima gradualment fins a la posició d'equilibri. S'utilitza quant es vol fer una eliminació ràpida de les oscil·lacions, per exemple en sistemes de mesura, esmorteïdors de vehicles, etc.
- Sobreesmorteïment: el sistema no fa cap oscil·lació. Quant s'aproxima al punt d'equilibri, es mou més lentament fins arribar-hi.
- Subesmorteïment: el sistema té oscil·lacions. Fa un moviment harmònic simple, el període del qual decreix lentament fins arribar al punt d'equilibri.



Model de gràfic en condicions ideals

Aquesta és la representació gràfica d'un esmorteïdor actual d'aire:



A on:

$m$ : massa

$K$ : rigidesa de la suspensió

$C$ : esmorteïment de la suspensió

## 5. TREBALL DE CAMP

### 5.1. HBM SPIDER 8

L'*Spider 8* és un sistema d'adquisició de dades especialitzat, de la marca *HBM*. Aquest equip, un cop connectat a un ordinador, ens permet acoblar cèl·lules de càrrega o galgues extensomètriques per aplicar-les en assaigs



mecànics de materials. Ens permet recollir dades de força, desplaçament, pressió, tensió, i d'altres magnituds mecàniques. Gràcies als seus transductors passius, amplificadors, filtres i al seu convertidor A/D (analògic/digital), és capaç de recollir 9600 mesures per segon, amb una resolució de 16 bits.

### 5.2. HLS I GALGUES EXTENSOMÈTRIQUES

El transductor *HLS* és un aparell ens permet obtenir mesures de desplaçament vertical de la suspensió. Aquest aparell consta d'unes galgues extensomètriques que li permeten recollir les dades del desplaçament al llarg del temps.

Una galga extensomètrica és un sensor basat en la variació de la resistència d'alguns materials, conductors o semiconductors, quant se'ls sotmet a un esforç mecànic que els deforma. Un esforç deforma una galga, la qual produirà una variació de la seva resistència elèctrica. Les galgues es solen fabricar amb aliatges metàl·lics, o amb elements semiconductors com el silici i el germani.



### 5.3. PRESA DE DADES

Primer vam desmuntar la potència del manillar, vam posar el suport al tub de direcció, i vam posar l'*HLS* de manera solidària a una de les botelles de la forquilla. Tot seguit vam preparar i calibrar l'*HLS* i l'*Spider 8*. A continuació vam posar les càrregues al suport, i vam realitzar tres vegades cada una de les tres proves. Finalment vaig recollir les dades proporcionades per l'*Spider 8* en un full d'*Excel*, i vaig seleccionar les més adients per fer els gràfics de resultats de cada prova.



Amb cada esmorteïdor vam realitzar:

- Una càrrega estàtica.
- Sis proves dinàmiques, tres amb 20Kg i tres amb 30Kg.
- Nou proves de retorn, tres sense massa, tres amb 10Kg i tres amb 20Kg.

Això representa 16 proves amb cada esmorteïdor, i un total de 48 proves.

### 5.4. COMPARACIÓ DELS ESMORTEÏDORS



Manitou

Rock-Shox

Fox

Les tres forquilles amb esmorteïment comparades són les següents:

1. Manitou Drake Super Air 80 Absolute (Foto 1)
2. Rock Shox SID Race (Foto 2)
3. Fox 32 RL F-Series (Foto3)

Característiques comunes:

- Funcionen amb el sistema d'aire.
- Tenen les mateixes mides.
- Precàrrega ajustable.
- Rebot ajustable.
- Tenen el recorregut de 80 mil·límetres.
- No s'hi pot ajustar ni la compressió ni el recorregut.
- Estan dissenyades per utilitzar-se en la modalitat de raid.
- Els tubs són d'alumini.

Característiques diferenciades:

- El bloqueig de la Manitou i la Fox es controla des de la forquilla.
- El bloqueig de la Rock-Shox es controla des del manillar.
- La Manitou porta el bloqueig ajustable, es a dir, té diferents posicions de duresa.

PRODUCTE	RECORREGUT (mm)	MATERIALS	SISTEMA	MASSA (g)	ANY	PREU (€)
MANITOU	80	ALUMINI	AIRE	1.714	2009	400
ROCK-SHOX	80	ALUMINI 7000	AIRE	1.475	2010	530
FOX	80	ALUMINI	AIRE	1.65	2010	480

## 5.5. REACCIÓ DAVANT D'UNA MATEIXA FORÇA SITUACIÓ

Vam realitzar tres proves:

- 1- Prova de càrrega estàtica
- 2- Prova de retorn
- 3- Prova dinàmica

### 5.5.1. Explicació de les proves

1- Amb aquesta prova podem calcular la constant, que és la duresa de cada esmorteïdor.

Per fer-ho vam anar posant cada cop més pes sobre l'esmorteïdor, mesuràvem la longitud comprimida.

2- D'aquesta prova en podem obtenir la velocitat de retorn de cada esmorteïdor.

Per realitzar aquesta prova vam fer 3 carregues successives, posant 0, 10 i 20 quilos en el suport. A cada prova comprimim la suspensió i la deixem que torni. Mesurem l'alçada a la qual retorna i el temps que inverteix.

3- Amb aquesta prova podem calcular l'esmorteïment i l'esmorteïment crític.

Vam realitzar la prova dos vegades, amb 20 i 30 quilos. Per realitzar aquesta prova dinàmica primer vam posar la massa en el suport, vam aixecar l'esmorteïdor una certa alçada i el vam deixar caure. Vam mesurar les longituds dels rebots al llarg del temps.

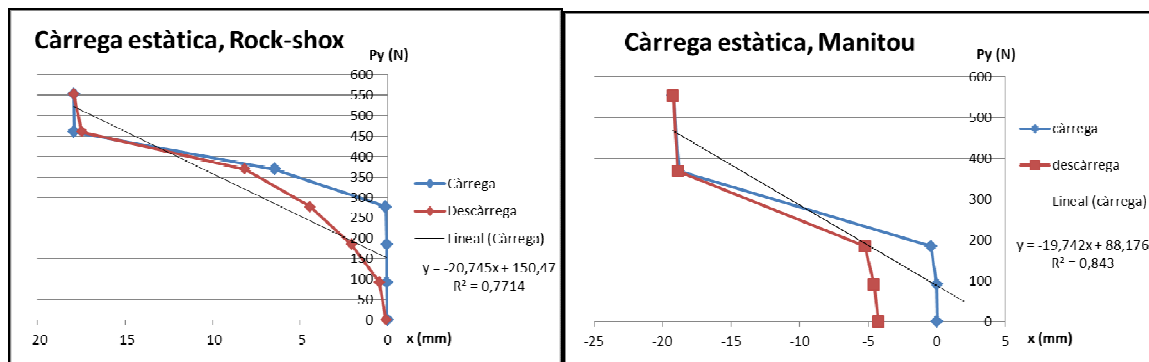
### 5.5.2. Presentació dels resultats

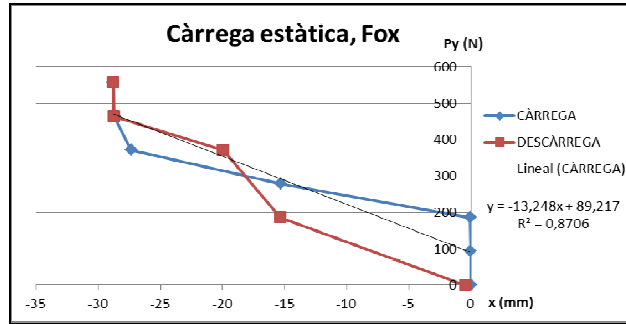
1- A la càrrega estàtica:

ESMORTEÏDOR	CONSTANT (N/mm)
Rock-Shox SID Race	20,74
Manitou Drake Super air 80 Absolute	19,74
Fox 32 RL F-Series	13,24

- La Fox té la constant molt més petita, per tant és la més tova, és a dir fa falta menys força per comprimir el mateixa .
- La Rock-Shox, té una constant més gran, cosa que implica que tingui una pèrdua d'energia més elevada, provocada pel fregament interior.
- La Manitou té la constant molt pròxima a la de la Rock-Shox, però inferior.

Per tant podem dir que en aquesta prova la Rock-Shox és una mica superior a la Manitou i molt superior respecte a la Fox.





A la càrrega estàtica es generen una mitjana de 204 dades en 77 segons per cada prova.

2- A la prova del retorn:

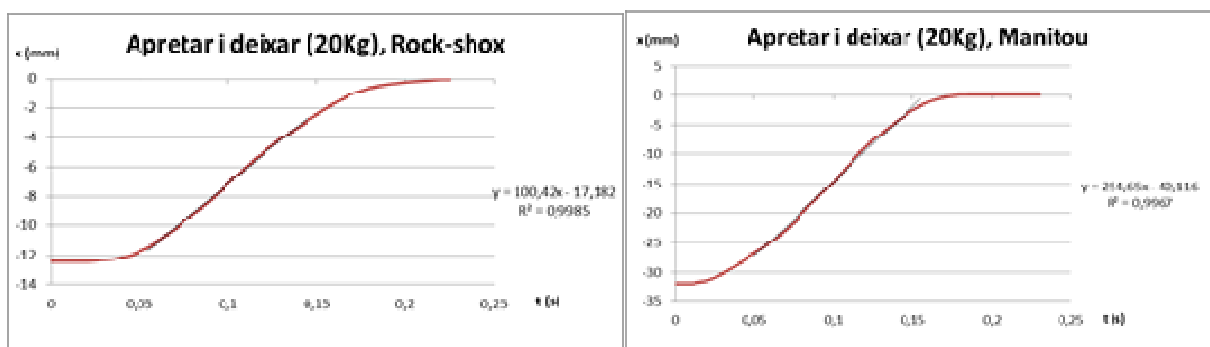
Com que els resultats de totes les proves mantenen la proporció he decidit posar els de 20Kg:

ESMORTEÏDOR	VELOCITAT (mm/s)
Rock-Shox SID Race	100,42
Manitou Drake Super air 80 Absolute	254,65
Fox 32 RL F-Series	163,59

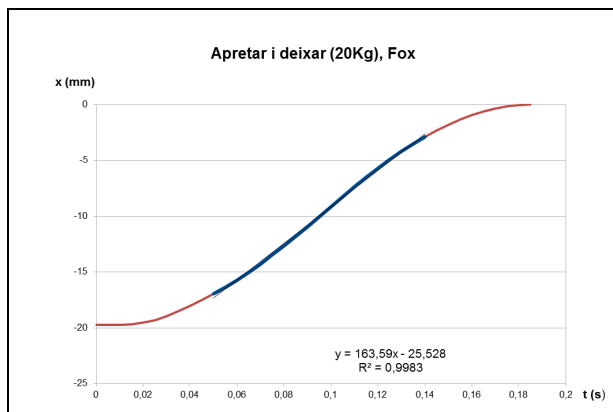
- La Rock-Shox és la que retorna més lentament, això li permet dissipar més energia, i esmorteir millor.
- La Manitou té una velocitat de recuperació molt superior a les altres dos, cosa que ens afavoreix en zones on s'ha d'esmorteir molt i molt contínuament. Ja que està disponible més aviat.
- La Fox té una velocitat de recuperació entre la Rock-Shox, i la Manitou.

Per tant d'aquesta prova obtenim que la Rock-Shox és la millor, però això depèn molt del terreny pel qual es circula. (Gràfics prova 2, 0 i 10 Kg)

He agafat les gràfiques de 20Kg perquè els resultats de totes les proves són proporcionals.







A la prova de retorn es generen una mitjana de 2400 dades en 11,5 segons per cada prova.

3- A la prova dinàmica:

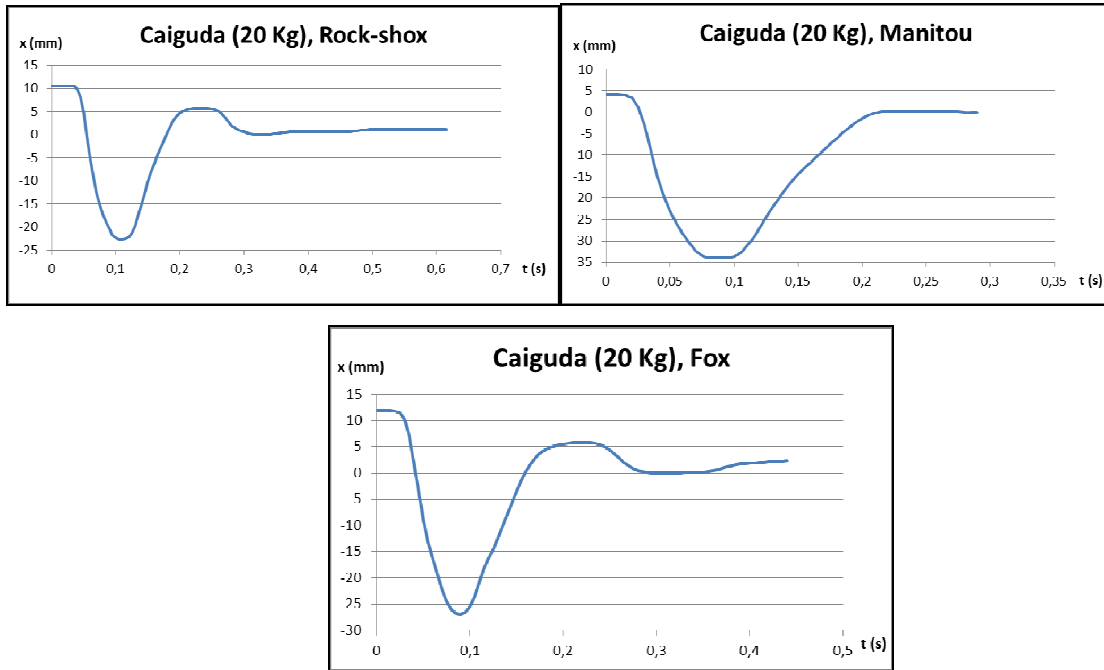
ESMORTEÏDOR	ESMORTEÏMENT (N/m·s)	ESMORTEÏMENT CRÍTIC (N/m·s)
Rock-Shox SID Race	462,02	1288,4
Manitou Drake Super air 80 Absolute	No es pot calcular	No es pot calcular
Fox 32 RL F-Series	492,62	1029,56

Tant amb 20 com amb 30 quilos els resultats en porten a pensar que:

- La Fox és la que té un sobrebot més gran, com es pot comprovar a la taula a on l'esmorteïment crític és gairebé el triple que l'esmorteïment real.
- La Rock-Shox té un sobrebot més petit, com es pot comprovar a la gràfica a on la diferència entre l'esmorteïment crític i l'esmorteïment real és més petita.
- L'esmorteïment real és més gran que l'esmorteïment crític. Això vol dir que està sobreesmorteïda. Per tant la Manitou no té sobrebot i no podem mesurar l'esmorteïment ni l'esmorteïment crític.

Per tant d'aquesta prova obtenim que la Rock-Shox i la Fox són superiors a la Manitou. És favorable tenir un petit rebot. (Gràfics prova 3, 30Kg)

He agafat les gràfiques de 20Kg perquè els resultats de totes les proves són proporcionals.



A la prova dinàmica es generen una mitjana de 3000 dades en 14 segons per cada prova.

### 5.5.3. Discussió d'anàlisis

1- Per calcular la constant de cada esmorteïdor, s'ha d'aplicar la llei de Hooke:

$$K = \frac{F}{\Delta x}$$

A on:

- $F$ , és la força aplicada (N).
- $\Delta x$ , és la longitud comprimida (mm).
- $K$ , és la constant (N/m)

Per calcular la força ho hem fet a partir de les càrregues aplicades a cada assaig, utilitzant les equacions següents:

$$P_y = P \cdot \cos(\alpha) \quad P_y = F$$

A on:

- $P$ , és el pes que hem utilitzat ( $m \cdot g$ ) (N).
- $\alpha$ , és l'angle de cada forquilla respecte la vertical.
  - Manitou(19,5°)
  - Fox (18,5°)

- Rock-Shox (20°)
- $P_y$ , és la força aplicada sobre la forquilla (N).

Aquests càlculs de la constant els vaig fer en un full de càlcul d'Excel.

2- Per calcular la velocitat de recuperació de cada esmorteïdor utilitzem l'equació de la regressió lineal:

$$Y = \sum \beta_k \cdot \chi^k + \varepsilon$$

A on:

- $Y$ , és la velocitat de recuperació (mm/s).
- $\beta$  i  $\chi$ , són dos variables independents.
- $\varepsilon$ , és un terme aleatori, qualsevol valor dels que tenim a la gràfica.

Aquests càlculs els vaig fer en un full de càlcul d'Excel.

3- Per calcular l'esmorteïment i l'esmorteïment crític cal utilitzar les equacions següents:

$$\text{L'esmorteïment: } C = \alpha 2m$$

$$\text{L'esmorteïment crític (} C_c \text{): } C_c = 2\sqrt{Km}$$

Ens cal trobar el coeficient alfa ( $\alpha$ ).

Per això utilitzarem l'equació:  $\alpha = \frac{\ln\left(\frac{\chi(t)}{\chi(t+Ta)}\right)}{Ta}$

A on:

- $\chi(t)$ , és el valor màxim de la compressió expressat amb valor absolut (mm).
- $\chi(t+Ta)$ , és el valor màxim del rebot (mm).
- $Ta$ , la meitat del període (s).

## 6. CONCLUSIONS

1- No he pogut afirmar que l'esmorteïdor Rock-Shox sigui menys rígid que l'esmorteïdor Manitou. L'esmorteïdor Rock-Shox té la constant una mica més gran i per tant, és més rígid que la Manitou. La percepció dels corredors que la Manitou és més rígid és errònia.

2- Puc afirmar que l'esmorteïdor Manitou és més rígid que l'esmorteïdor Fox, ja que la constant del Manitou és quasi el doble de gran que el de la Fox.

3- També puc demostrar que la constant de la molla d'aire varia. Això només ho he pogut comprovar amb la forquilla Manitou, ja que és l'única que té un sistema de bloqueig amb varies posicions de duresa. En posar el mateix pes amb diferents posicions del regulador de compressió, el recorregut variava.

4- Puc afirmar que l'esmorteïdor Rock-Shox té menys vibracions que l'esmorteïdor Fox. En aquest cas les percepcions de l'usuari eren certes.

5- Finalment, no puc confirmar l'últim dels objectius, ja que l'esmorteïdor Manitou està sobreesmorteït, cosa que implica que no tingui vibracions.

1- Demostrar que la forquilla Rock-Shox és menys rígid que la forquilla Manitou.	<b>Negat</b>
2- Demostrar que la forquilla Manitou és més rígid que la forquilla Fox.	<b>Afirmat</b>
3- Demostrar que la constant de la molla d'aire varia.	<b>Afirmat</b>
4- Demostrar que la forquilla Rock-Shox té menys vibracions que la forquilla Fox.	<b>Afirmat</b>
5- Demostrar que la forquilla Fox té menys vibracions que la forquilla Manitou.	<b>Negat</b>

Les característiques de cada esmorteïdor fan que sigui més adequat per un tipus de terreny que per un altre:

- L'esmorteïdor Manitou, el qual ens serà molt còmode per terrenys on s'hagi d'esmorteir molt i molt sovint, ja que té una velocitat de recuperació i una constant molt elevada, i això ens afavoreix.
- L'esmorteïdor Fox ens serà molt còmoda per zones molt pedregoses, ja que és molt tova i per absorbir petits impactes ens serà molt còmoda.
- L'esmorteïdor Rock-Shox ens serà molt còmoda per zones amb grans irregularitats, ja que la seva gran constant ens afavorirà al moment d'esmorteir grans impactes.

Com a resultat de tot aquest treball i tenint en compte el tipus de terreny per on ens solem moure de la zona de Girona he deduït que la millor forquilla amb esmorteïdor de les tres comparades és la Rock-Shox perquè és la que dissipa més energia.

## 7. AGRAÏMENTS

En primer lloc, vull agrair molt especialment l'ajuda d'en Joan Andreu Mayugo, professor d'enginyeria Mecànica de la Universitat de Girona, ja que sense la seva col·laboració i la seva ajuda no hauria estat possible realitzar el treball de camp.

En segon lloc, vull donar les gràcies a en Jordi Vicens, becari del taller de la Universitat de Girona, per haver-me ajudat a enginyar i fabricar algunes de les peces necessàries per poder acoblar a la forquilla els sistemes necessaris per fer les proves.

També vull donar les gràcies al meu tutor, Jordi Mis, per haver-me guiat i ajudat durant la realització d'aquest projecte. I també per haver suportat la meva impaciència.

D'altra banda, vull agrair la col·laboració dels meus amics Marc Vila i Ivo Vinyes, per haver-me deixat els seus esmorteïdors per realitzar les proves i poder-los comparar.

Finalment, vull donar les gràcies a Narcís Grabulosa, copropietari de la botiga-taller de bicicletes BiciOci, per haver-me proporcionat material, per haver-me donat informació i per haver-me ajudat.

## 8. BIBLIOGRAFIA

Alfonso i Pau. (2011). *Glossari bicicletes*. Recuperat 3 agost 2011, des de <http://cmc1aaape.blogspot.com>

Bicilocos. (2009). *Lo básico de una horquilla de suspensión*. Recuperat 24 agost 2011, des de [http://members.fortunecity.es/bicilocos/Z\\_Suspension.html](http://members.fortunecity.es/bicilocos/Z_Suspension.html)

Codecogs. *Editor online de ecuaciones latex*. Recuperat 10 octubre 2011, des de <http://rinconmatematico.com/latexrender/>

HBM. (2011). *Spider 8*. Recuperat 11 agost 2011, des de <http://www.hbm.com/en/menu/products/measurement-electronics-software/specialized-data-acquisition-systems/spider8/>

Joan Andreu Mayugo. *Vibracions*. Recuperat 30 setembre 2011, des de [ftp://emci.udg.edu/em/GEM\\_CM/apunts/](ftp://emci.udg.edu/em/GEM_CM/apunts/)

Luís Carretero. (2011). *Mecánica de la BTT y otras cosas*. Recuperat 28 juliol 2011, des de [http://huescaenbtt.es/horquilla\\_suspension.htm](http://huescaenbtt.es/horquilla_suspension.htm)

Luís Muñoz. (2008). *Cómo ajustar tus suspensiones*. Recuperat 22 juliol 2011, des de <http://www.mountainbike.es/front/noticia/C%C3%93MO-AJUSTAR-TUS-SUSPENSIONES/2c90a88c17b5f7a50117c029c39d0070>

mundobiker.es (2010). *Tutorial para el ajuste de suspensiones de mountain bikes*. Recuperat 18 setembre 2011, des de <http://es.scribd.com/doc/37144073/mecanica-ajuste-suspensiones>

Pablichu. (2011). *Bloqueo de la horquilla y rebote*. Recuperat 31 juliol 2011, des de <http://gmbbiolokos.fororama.com/t947-bloqueo-de-la-horquilla-y-rebote>

Vintage Cannondale. (2007). *Head Shok information*. Recuperat 16 agost 2011, des de <http://www.vintagecannondale.com/cannondale/headshok/headshok.html>

Worth H. Freeman. *Oscil·lacions, ones i termodinàmica*. Recuperat 28 setembre 2011, des de <http://aransa.upc.es/fisica2/docs/osc.pdf>



## 9. ANNEX

Podeu trobar tots els resultats de les mesures a <http://suspensiobici.webnode.es>

Foto 1, Manitou Drake super air absolute 80:



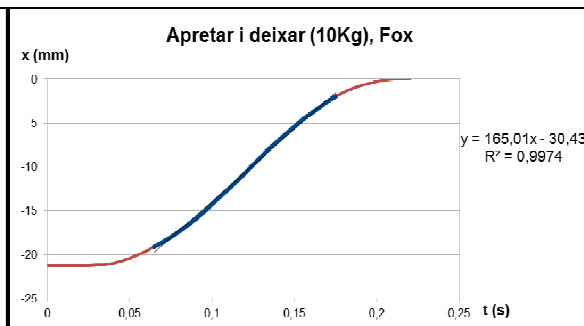
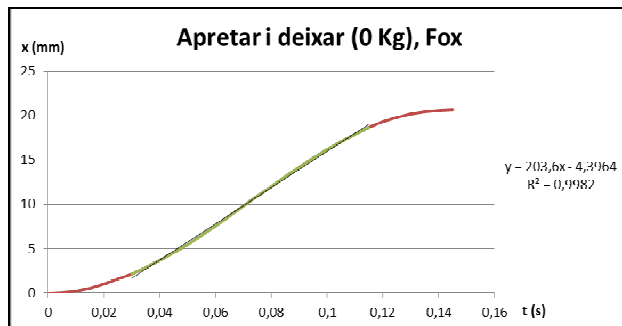
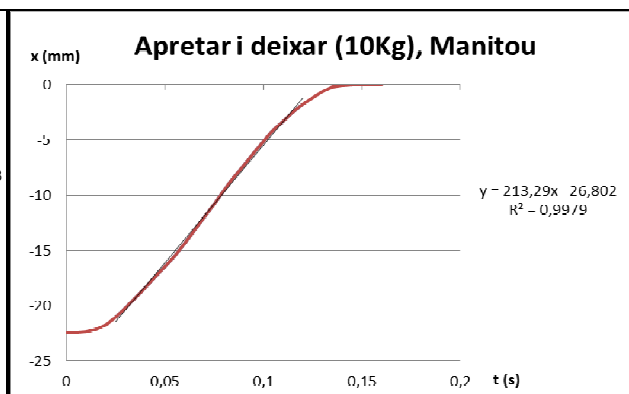
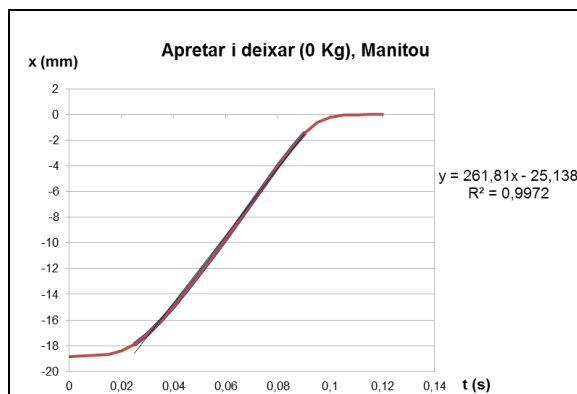
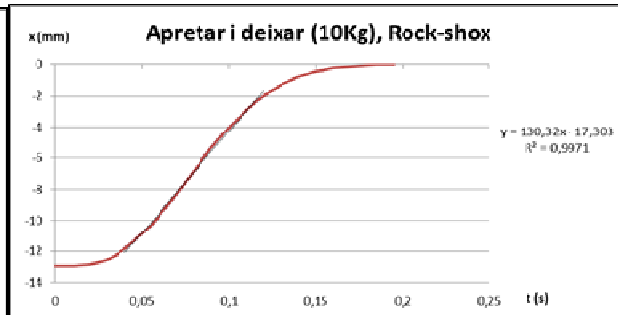
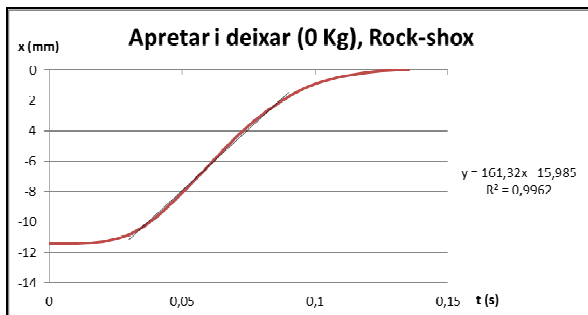
Foto 2, Rock Shox SID Race:



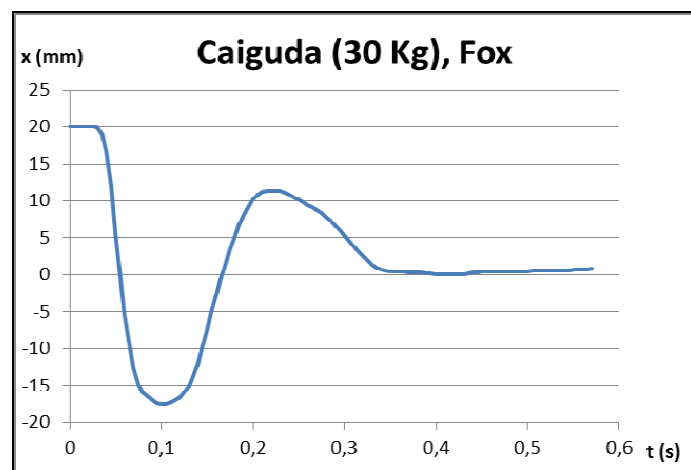
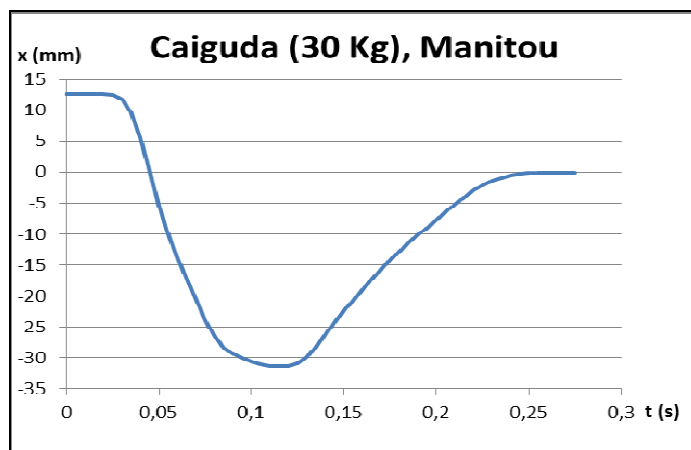
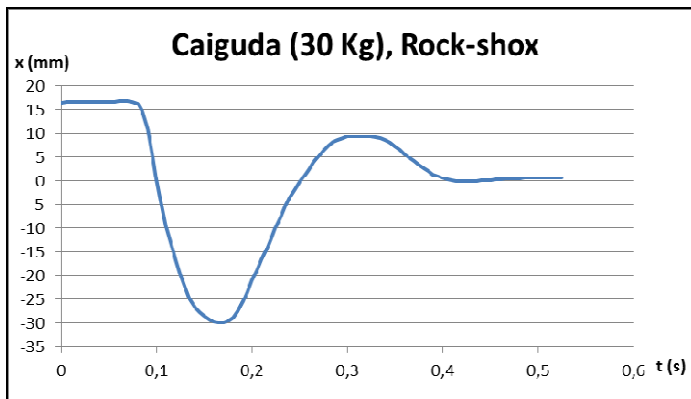
Foto 3, Fox RL F-Series:



Gràfics prova 2, 0 i 10Kg, prémer i deixar anar:



Gràfics prova 3, 30Kg, prova dinàmica, caiguda:



Podeu veure totes les dades de les mesures realitzades a [www.123miweb.es/suspensiobici](http://www.123miweb.es/suspensiobici)