

Avaluació de rendiment en plataformes virtualitzades

Memòria

Alejandro Gómez Serrano
Consultor: Iván Roderó
Treball de final de carrera - UOC 2010

Índex

1. Introducció	4
2. Objectius	5
3. Planificació	6
4. Disseny de les infraestructures.....	7
4.1. Hardware	7
4.2. Disseny de la infraestructura lògica	8
4.3. Detall de les plataformes	10
4.3.1. Plataforma clàssica	10
4.3.2. Plataforma virtual <i>Xen 3.4.1</i>	11
4.3.3. Plataforma virtual <i>VMware ESXi 4.0</i>	13
4.4. Resum de la configuració de les plataformes	15
5. Disseny dels tests.....	16
5.1. Introducció al benchmarking.....	16
5.2. Selecció de benchmarks	17
5.2.1. Benchmarks sintètics.....	17
5.2.2. Benchmarks d'aplicació	18
6. Resultats dels tests	19
6.1. NBench Byte 2.2.3.....	19
6.1.1. Resultats de la plataforma clàssica.....	19
6.1.2. Resultats de la plataforma virtual Xen	20
6.1.3. Resultats de la plataforma virtual VMware.....	20
6.2. High Performance Computing Linpack Benchark 2.0.....	22
6.2.1. Resultats de la plataforma clàssica.....	23
6.2.2. Resultats de la plataforma virtual Xen	24
6.2.3. Resultats de la plataforma virtual VMware.....	25
6.3. Bonnie++ 1.03e	27
6.3.1. Resultats de la plataforma clàssica.....	27

6.3.2.	Resultats de la plataforma virtual Xen	28
6.3.3.	Resultats de la plataforma virtual VMware.....	28
6.4.	Sysbench 0.4.12	29
6.4.1.	Parametrització i comandes dels tests	29
6.4.2.	Resultats de la plataforma clàssica.....	31
6.4.3.	Resultats de la plataforma virtual Xen	34
6.4.4.	Resultats de la plataforma virtual VMware.....	37
7.	Avaluació dels resultats obtinguts	41
7.1.	Resum de resultats	41
7.2.	Anàlisi dels resultats	43
7.2.1.	Resultats de NBench.....	43
7.2.2.	Resultats de Linpack	44
7.2.3.	Resultats de Bonnie++	45
7.2.4.	Resultats de Sysbench	46
7.2.5.	Resum final	50
8.	Conclusions.....	51
9.	Comentaris i opinions personals sobre el treball.....	54
10.	Glossari	55
11.	Bibliografia i fonts consultades	57

1. Introducció

Cada vegada més, les organitzacions i empreses tendeixen a implantar plataformes virtuals, en comptes de seguir els esquemes clàssics en quant a instal·lació de nous servidors, consistent en un servidor físic, que conté un sistema operatiu, que a la vegada proveeix un o varis serveis.

És evident que la virtualització aporta importants canvis i grans avantatges i compta amb pocs inconvenients. Un dels inconvenients més notoris és la pèrdua de rendiment que poden sofrir els sistemes operatius que funcionen sobre una plataforma virtualitzada. Sembla lògic que una màquina que té una capa addicional entre si mateixa i el hardware, l'*hypervisor*, hagi de sofrir una certa degradació en el seu rendiment.

Per a la majoria de servidors no és un gran inconvenient, ja que no requereixen d'altres prestacions de maquinari i passen la major part del temps fent un ús gens intensiu dels recursos físics dels que estan dotats. Per contra, hi ha serveis molt exigents en quant a rendiment, i que a més, solen ser els serveis més crítics en les organitzacions i empreses.

La motivació d'aquest projecte és establir quina és la diferència en quant a rendiment, entre una màquina en format clàssic i una virtual, quan es tracta d'executar aplicacions d'alt rendiment (*HPC*). A partir de les conclusions extretes, es podrà decidir si és recomanable instal·lar aquest tipus d'aplicacions en servidors virtuals, o per contra, és millor instal·lar-les sobre plataformes clàssiques.

El treball consistirà en l'execució de programari d'altres prestacions i *benchmarks* sobre diverses plataformes. Les plataformes escollides són:

- Plataforma virtual de programari lliure **Xen 3.4.1**.
- Plataforma virtual comercial **VMware ESXi 4.0**.
- Plataforma física clàssica.

Resulta especialment interessant enfrontar dues de les plataformes virtuals més populars del mercat, més si es té en compte que una d'elles és comercial i l'altra és programari lliure.

Pel que fa al sistema operatiu, tant en la plataforma clàssica com en les virtualitzades, s'instal·larà la distribució de **GNU/Linux CentOS 5.4**, en la seva versió de 64bits.

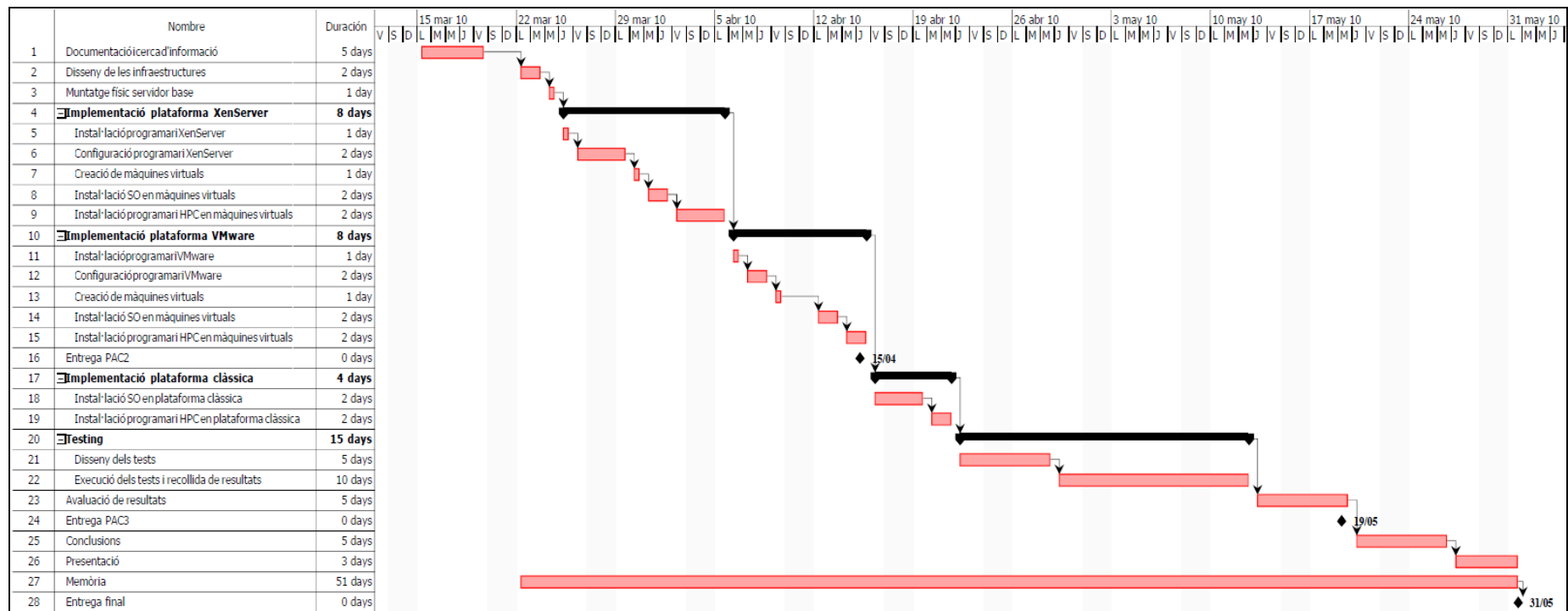
2. Objectius

Els objectius d'aquest treball són:

- Avaluar el rendiment mitjançant *benchmarks* que explotin diferents aspectes del maquinari, com la CPU, memòria, disc, etc.
- Intentar ajustar la configuració, sobretot de les plataformes virtuals, per extreure el màxim partit del maquinari.
- Estimar el cost en rendiment que suposa la virtualització.
- Establir de forma clara les diferències de rendiment entre les diferents plataformes.
- Servir de guia per decidir quan és convenient virtualitzar i quan no, sobretot pel que fa a servidors que executen aplicacions d'altres prestacions.
- Avaluar quina de les dues plataformes virtuals escollides és més eficient en l'execució d'aplicacions d'altres prestacions.
- Enfrontar dues plataformes de virtualització amb la particularitat de que una d'elles és totalment oberta i gratuïta i l'altra és un producte comercial dels més costosos en la seva branca.

3. Planificació

En el següent diagrama de Gantt es pot veure la planificació de totes les tasques definides al pla de treball, així com una estimació de temps per a cada tasca i les seves sub-tasques. També s’han situat les fites que cal anar assolint durant el transcurs del treball.



4. Disseny de les infraestructures

4.1. Hardware

El treball es portarà a terme sobre un mateix servidor. El servidor és un **HP ProLiant DL380 G5**, que té el següent aspecte:



Les característiques bàsiques del servidor, en quant a hardware, són les següents:

- 2 processadors *Intel Xeon E5335* de quatre nuclis cadascun, amb suport per a virtualització.
- 8GB de memòria RAM.
- 5 discs durs SAS de 15.000 revolucions (2 de 36GB i 3 de 146GB).
- Font d'alimentació redundant.
- 4 interfícies Ethernet a 1GB/s cadascuna.

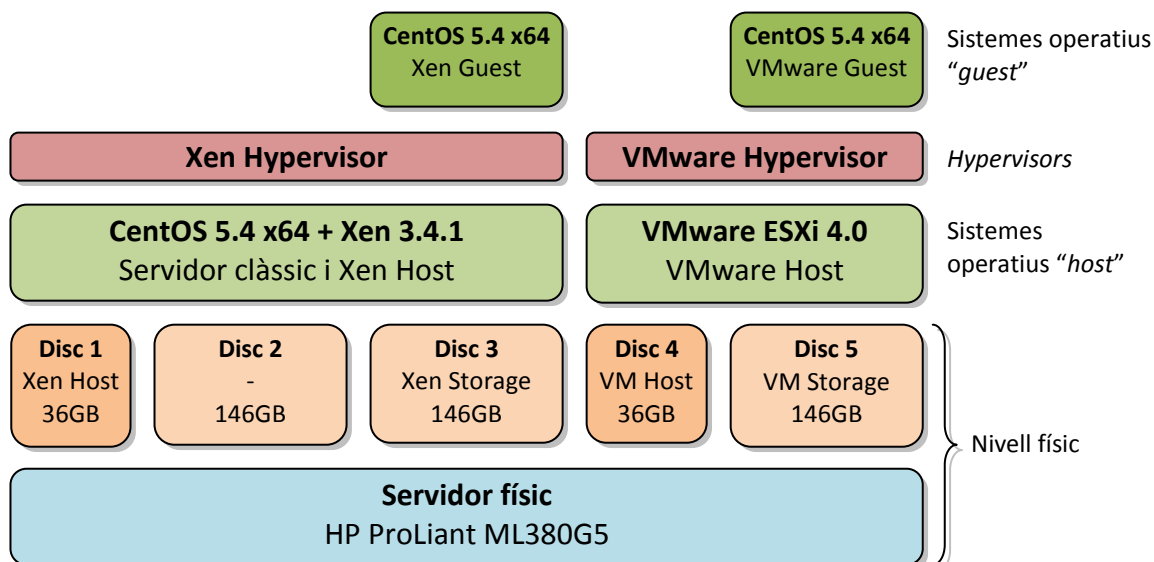
Aquestes característiques són suficients per a poder desenvolupar el treball en condicions òptimes, ja que la plataforma física compleix tots els requisits imposats pels sistemes de virtualització escollits.

Configuració de la infraestructura física base

La configuració del servidor a nivell físic només té la particularitat de que no s'ha establert cap nivell d'agrupament (*RAID*) pels discs durs. Així, es pot disposar de la capacitat íntegra dels discs. De tota manera, pel desenvolupament d'aquest treball no es considera necessari activar aquesta característica que permetria obtenir major rendiment i seguretat.

4.2. Disseny de la infraestructura lògica

L'esquema bàsic definit per a la infraestructura lògica és:



Nivell físic

Tot i que aquest nivell no es correspon amb la infraestructura lògica, s'inclou per tenir una visió de la relació existent entre l'emmagatzematge i els sistemes operatius, ja siguin aquests últims "hosts" o "guests".

Per al sistema **Xen**, s'han configurat tres discos:

- **Disc 1:** conté les particions del sistema operatiu *CentOS* amb el servidor *Xen* instal·lat. A més, aquest disc conté la partició *boot* des de la que es pot iniciar qualsevol de les plataformes instal·lades: *CentOS*, *CentOS* amb el *kernel Xen* i *VMware*.
- **Disc 2:** disc en blanc que no es farà servir.
- **Disc 3:** disc destinat a la instal·lació de la màquina virtual de la plataforma *Xen*. Es tracta d'un volum *LVM* muntat sobre el punt de muntatge */xen_storage* del sistema de fitxers.

Per a la plataforma **VMware**, es configuren dos discos:

- **Disc 4:** conté les particions del sistema operatiu *VMware ESXi 4.0*.
- **Disc 5:** disc destinat a la instal·lació de la màquina virtual de la plataforma *VMware*. El format del disc és *vmfs*, propietari dels sistemes *VMware*.

Sistemes operatius “host”

Els sistemes operatius “host” són els encarregats de proporcionar la capa de virtualització (*hypervisor*) que fa possible executar màquines virtuals.

En aquesta capa, es poden considerar tres elements, segons la plataforma:

- **Plataforma física clàssica:** Sistema operatiu *CentOS 5.4 x64*. Tot i que es tracta del mateix sistema operatiu que executarà el software de virtualització *Xen*, el sistema permet iniciar fent servir el *kernel* original d'aquest sistema operatiu. Per tant, es farà servir per portar a terme les proves considerant-lo una plataforma física clàssica.
- **Plataforma virtual Xen:** Sistema operatiu *CentOS 5.4 x64* amb el programari de virtualització *Xen 3.4.1* instal·lat.
- **Plataforma virtual VMware:** Sistema operatiu propi de *VMware*, basat en *GNU/Linux* que proveeix del programari de virtualització *VMware ESXi 4.0*.

Hypervisors

Aquesta és la capa que permet a les màquines virtuals accedir als components físics que necessita qualsevol ordinador per funcionar.

Encara que bàsicament són el mateix, els *hypervisors* dels sistemes de virtualització escollits tenen diferències notables i cadascun d'ells té els seus avantatges i inconvenients. Per exemple, l'*hypervisor Xen* permet fer *paravirtualització* en màquines *GNU/Linux* de 64 bits i el de *VMware* no.

Sistemes operatius “guest”

Són les màquines virtuals, que funcionen per sobre de l'*hypervisor*.

Per a la realització d'aquest treball, s'han creat dues, una per a cada plataforma de virtualització. Ambdues tenen instal·lat el sistema operatiu *CentOS 5.4 x64*.

Així, disposem de tres plataformes amb sistema operatiu idèntic i condicions de hardware homogènies. Aquesta homogeneïtat permetrà extreure conclusions vàlides a partir dels resultats dels tests.

4.3. Detall de les plataformes

Com es pot observar a l'apartat anterior, totes les plataformes executaran el mateix sistema operatiu per portar a terme els experiments. La instal·lació del sistema operatiu, *CentOS 5.4 x64*, s'ha fet escollint les opcions per defecte oferides per la interfície d'instal·lació. Així, tenim la mateixa distribució de discos, els mateixos paquets instal·lats i una configuració general del sistema homogènia, aspecte totalment necessari per a que els experiments tinguin validesa i siguin comparables.

A continuació es detalla la configuració i particularitats de cadascuna de les plataformes.

4.3.1. Plataforma clàssica

En aquesta plataforma no hi ha virtualització, per tant, el sistema operatiu disposa de tots els recursos de hardware del servidor.

El servidor té accés a la memòria RAM muntada en el servidor de manera íntegra (8GB), fet que caldrà controlar en els experiments que toquin aquest aspecte, ja que si no es fa, els resultats no podran ser vàlids.

Com es detalla a l'apartat 3.2, la partició d'inici del sistema i el gestor d'arrencada *Grub* estan instal·lats sobre aquesta plataforma. Aquest gestor d'arrencada, ens permet iniciar el sistema amb una o altra plataforma segons les nostres necessitats. El fitxer *grub.conf*, que conté la configuració d'aquest popular gestor d'arrencada, té el següent contingut:

```
# grub.conf generated by anaconda
# Note that you do not have to rerun grub after making changes to this file
# NOTICE: You have a /boot partition. This means that
#           all kernel and initrd paths are relative to /boot/, eg.
#           root (hd0,0)
#           kernel /vmlinuz-version ro root=/dev/CentOS_storage/LogVol100
#           initrd /initrd-version.img
#
#boot=/dev/cciss/c0d0

default=0
timeout=20
splashimage=(hd0,0)/grub/splash.xpm.gz

title CentOS (2.6.18-164.15.1.el5xen)
    root (hd0,0)
```

```

kernel /xen.gz-3.4.1 dom0_mem=1G
module /vmlinuz-2.6.18-164.15.1.el5xen ro root=/dev/CentOS_storage/LogVol100
    rhgb quiet
module /initrd-2.6.18-164.15.1.el5xen.img

title CentOS (2.6.18-164.el5)
    root (hd0,0)
    kernel /vmlinuz-2.6.18-164.el5 ro root=/dev/CentOS_storage/LogVol100
        rhgb quiet
    initrd /initrd-2.6.18-164.el5.img

title VMWare ESXi 4.0
    root (hd3,4)
    kernel /vmkboot.gz
    module /vmk.gz
    module /sys.vgz
    module /cim.vgz
    module /oem.tgz
    module /license.tgz
    module /mod.tgz

```

4.3.2. Plataforma virtual *Xen* 3.4.1

Aquesta plataforma està instal·lada sobre la base de la plataforma clàssica. El programari *Xen* està disponible mitjançant el gestor de paquets predeterminat de *CentOS* i la seva instal·lació no suposa cap dificultat. Un cop instal·lat, crea el seu propi *kernel* i afegeix l'opció al gestor d'arrencada existent per iniciar el sistema operatiu amb les seves capacitats activades.

Cal notar que *Xen* permet fer ús de la paravirtualització, concepte important dins del món de la virtualització. Podem definir la paravirtualització com la capacitat d'accés directe del sistema operatiu virtualitzat al maquinari. Per tal de que aquesta tècnica funcioni, cal que tant el sistema operatiu virtualitzat com el hardware subjacent la suportin. En el cas que ens ocupa aquests dos factors es compleixen, per tant la plataforma virtual *Xen* podrà beneficiar-se de la tècnica de la paravirtualització, fet que, a priori, permetrà a la plataforma *Xen* obtenir un rendiment proper al de la plataforma clàssica.

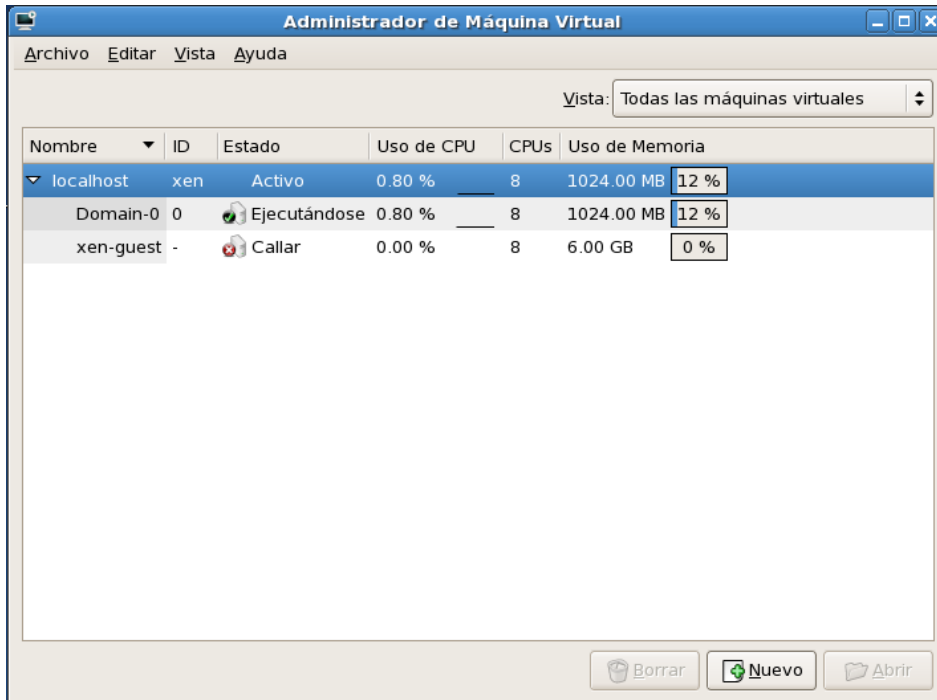
En quant a la configuració del software *Xen*, els únics canvis que s'han fet són:

- Es limita la memòria del domini 0, o *dom0*, a 1 *gigabyte*. El *dom0* és la primera instància del sistema operatiu que arrenca el *kernel Xen*. Aquesta instància té la capacitat d'iniciar altres instàncies, o servidors virtuals.
- Es crea un *pool* de *storage* en el disc 3, de tipus *LVM*, aprofitant tot l'espai disponible al disc en qüestió.

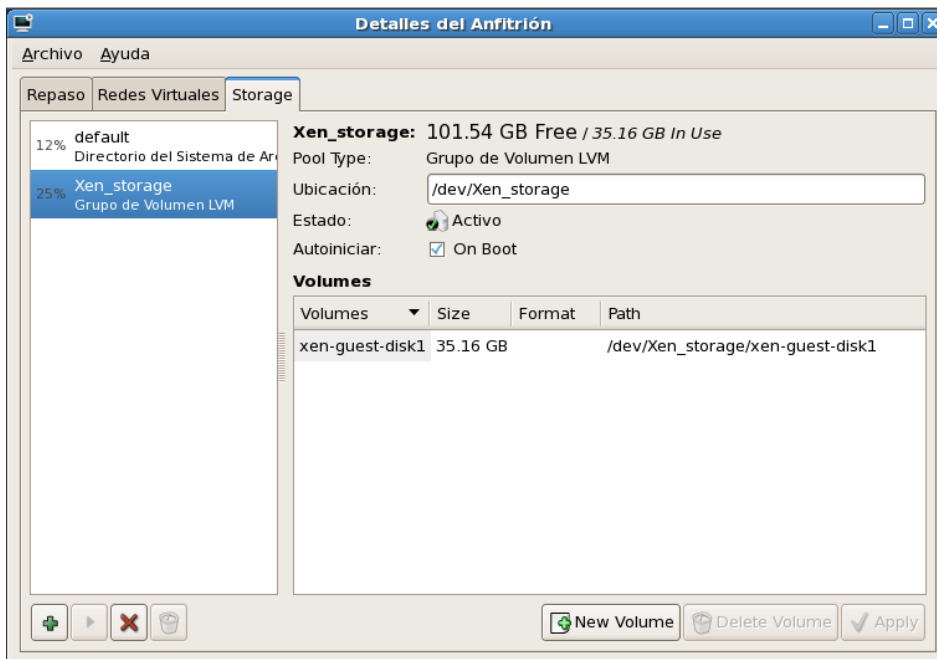
- Es crea un disc virtual de 36GB sobre el *pool* configurat. Aquest disc virtual serà el que farà servir el servidor virtual *xen-guest*.

A continuació es poden veure unes captures de pantalla de la configuració del servidor.

Vista general del servidor *Xen*:



Configuració del *storage*:



Sobre aquesta base, es crea una màquina virtual amb la següent configuració:

- 8 processadors.
- 6GB de memòria RAM.
- Disc dur de 36GB.
- Paravirtualització activada.

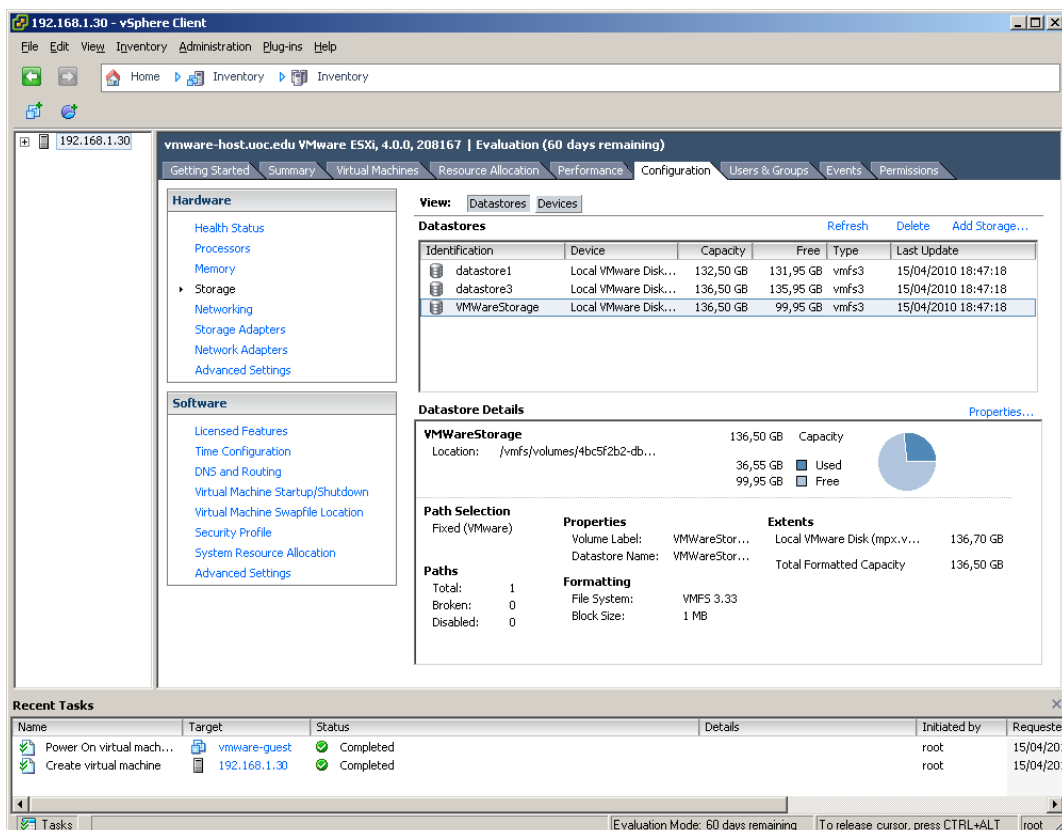
Un cop creada la màquina virtual, s'instal·la *CentOS 5.4 x64* d'igual manera que a la plataforma clàssica.

4.3.3. Plataforma virtual *VMware ESXi 4.0*

La plataforma *VMware* està instal·lada en discs totalment independents ja que no permet la integració en altres sistemes. De tota manera, interessa que sigui així per millorar el rendiment.

No es canvia cap paràmetre de la configuració del servidor, només s'ajusta la configuració de la xarxa i es crea el *pool* de *storage* on s'ubicaran les màquines virtuals.

S'adjunta una captura de la configuració del *storage*, com a *mostra* de la consola d'administració de *VMware*, o *vSphere Client*:



Amb el “*host*” instal·lat, es procedeix a la creació de la màquina virtual amb la següent configuració:

- 8 processadors virtuals.
- 6GB de memòria RAM.
- Disc dur de 36GB.

Un cop creada la màquina virtual, s’instal·la *CentOS 5.4 x64* d’igual manera que a la plataforma clàssica.

En aquesta plataforma és important instal·lar el programari *VMware Tools* sobre el sistema operatiu “*guest*”, que proveeix dels controladors adients al sistema operatiu de la màquina virtual. La instal·lació és important ja que millora sensiblement el rendiment del servidor virtual.

4.4. Resum de la configuració de les plataformes

En la següent taula es poden veure els detalls de totes les plataformes:

Plataforma	Element	SO	CPU's	RAM	Discs	IP / hostname
Clàssica	-	CentOS 5.4 x64	8	8GB	36GB 15Krpm + 146GB 15Krpm	192.168.1.20 xen-host
Xen	Host	CentOS 5.4 x64	8	1GB	36GB 15Krpm + 146GB 15Krpm	192.168.1.20 xen-host
Xen	Guest	CentOS 5.4 x64	8	6GB	36GB 15Krpm	192.168.1.21 xen-guest
VMware	Host	VMware	8	8GB	36GB 15Krpm + 146GB 15Krpm	192.168.1.30 vmware-host
VMware	Guest	CentOS 5.4 x64	8	6GB	36GB 15Krpm	192.168.1.31 vmware-guest

5. Disseny dels tests

5.1. Introducció al benchmarking

Què és el benchmarking? La resposta a aquesta pregunta la podem trobar a multitud de llocs d'Internet dedicats a aquesta matèria.

Definició de *benchmark* a *wikipedia*:

El benchmark és una tècnica utilitzada per a amidar el rendiment d'un sistema o component del mateix, freqüentment en comparació amb el que es refereix específicament a l'acció d'executar un benchmark. La paraula benchmark és un anglicisme traduïble al català com comparativa. Si bé també pot trobar-se aquesta paraula fent referència al significat original en la llengua anglosaxona, és en el camp informàtic on el seu ús està més àmpliament estès. Més formalment pot entendre's que un benchmark és el resultat de l'execució d'un programa informàtic o un conjunt de programes en una màquina, amb l'objectiu d'estimar el rendiment d'un element concret o la totalitat de la mateixa, i poder comparar els resultats amb màquines similars. En termes d'ordinadors, un benchmark podria ser realitzat en qualsevol dels seus components, ja sigui CPU, RAM, targeta gràfica, etc. També pot ser dirigit específicament a una funció dintre d'un component, per exemple, la unitat de coma flotant de la CPU, o fins i tot a altres programes.

Els benchmarks es poden classificar segons diversos conceptes:

Segons l'abast de les proves:

- Benchmarks sintètics: dissenyats per mesurar el rendiment d'un component individual, com poden ser el processador, la memòria RAM, els discs durs, etc.
- Benchmarks d'aplicació: eines basades en aplicacions reals que simulen una càrrega de treball per mesurar el comportament global de l'equip.

Segons el nivell de les proves:

- Benchmarks de baix nivell: mesuren el rendiment dels components de forma directa. Per exemple, hi ha benchmarks de baix nivell per avaluar el rendiment del rellotge de la CPU, les latències del disc dur o la memòria, etc.
- Benchmarks d'alt nivell: mesuren el rendiment de la combinació component/controlador/sistema operatiu, tractant un aspecte específic del sistema.

En aquest treball, ens centrarem en els tests segons l'abast de les proves.

5.2. Selecció de benchmarks

En aquest apartat es detallen els tests escollits i el motiu de la selecció de cadascun d'ells. Principalment, és interessant avaluar tres factors bàsics pels sistemes:

- Rendiment del processador.
- Rendiment de la memòria RAM.
- Rendiment de l'entrada i la sortida de disc.

Tot i que existeixen altres factors que influeixen en el rendiment, la selecció de benchmarks pretén cobrir aquests tres aspectes.

5.2.1. Benchmarks sintètics

- **NBench Byte 2.2.3:** es tracta d'un test senzill d'instal·lar i fer funcionar. A més, la seva execució és molt ràpida. Exposa les capacitats de la CPU, FPU i el subsistema de memòria. A tall introductori, és un test interessant per obtenir els primers resultats pel que fa al rendiment dels processadors.
- **High Performance Computing Linpack Benchark 2.0:** aquest benchmark avalua el rendiment de la CPU, la seva memòria i la xarxa, mitjançant la resolució d'un sistema lineal complex amb matrius de nombres de 64 bits de doble precisió. Els càlculs es porten a terme mitjançant la interfície de pas de missatges MPI (*Message Passing Interface*), i per tant també fa ús de les interfícies de xarxa del sistema. Pel que fa a altres factors, com l'entrada i sortida de disc, tenen poca influència en els resultats.

Dins dels paquets de benchmarks disponibles per sistemes GNU/Linux, aquest és un dels més populars i importants.

- **Bonnie++ 1.03e:** aquest benchmark, basat en el test Bonnie, avalua el rendiment de l'entrada i sortida de disc portant a terme diferents tests que es centren en dos aspectes:
 - Tests que simulen l'activitat d'aplicacions amb entrada/sortida intensiva, com bases de dades.
 - Tests que simulen l'activitat d'aplicacions que treballen amb milers de fitxers, com el proxy *Squid*.

En total s'executen dotze tests relacionats amb el sistema de fitxers, la duració total dels quals (superior a una hora) permet obtenir resultats acurats i comparables entre diferents sistemes.

L'objectiu d'aquest benchmark és avaluar els sistemes on l'entrada i la sortida de disc és un factor limitador, o coll d'ampolla, per al rendiment global de les aplicacions.

5.2.2. Benchmarks d'aplicació

- **Sysbench 0.4.12:** es tracta d'un benchmark modular molt complet que avalua diversos aspectes del sistema. Tot i que incorpora alguns tests sintètics, com el de CPU, ens interessa especialment el test de rendiment de servidor de base de dades, ja que es pot equiparar amb una aplicació productiva real. També resulta especialment interessant el test de velocitat de transferència de la memòria RAM, aspecte que no és avaluat per cap altre dels tests escollits.

Concretament, s'executaran els següents benchmarks:

- Rendiment de la CPU a partir del càlcul de nombres primers.
- Rendiment d'entrada/sortida del sistema de fitxers (E/S).
- Reserva de memòria i velocitat de transferència.
- Rendiment de servidor de bases de dades.

Aquest paquet de benchmarks, per la quantitat de factors que analitza, pren un paper protagonista en aquest treball.

6. Resultats dels tests

A continuació s'exposen els resultats dels tests executats. També es detallen les opcions de configuració i/o compilació de cada test, en el cas de que hagi estat necessari variar la configuració per defecte.

6.1. NBench Byte 2.2.3

Detalls del test:

- L'execució d'aquest test s'ha realitzat amb les opcions predeterminades.
- S'han fet diversos cicles d'execució en diferents moments i tots els resultats han estat coherents amb les execucions prèvies, patint petites variacions, que es consideren normals (<1%).

6.1.1. Resultats de la plataforma clàssica

La sortida del test per a la plataforma clàssica ha estat:

```
BYTEmark* Native Mode Benchmark ver. 2 (10/95)
Index-split by Andrew D. Balsa (11/97)
Linux/Unix* port by Uwe F. Mayer (12/96,11/97)
TEST           : Iterations/sec.   : Old Index   : New Index
                :                               : Pentium 90* : AMD K6/233*
-----:-----:-----:-----
NUMERIC SORT   :          1062.4 :          27.25 :          8.95
STRING SORT    :           221.63 :          99.03 :         15.33
BITFIELD       :       3.6335e+08 :          62.33 :         13.02
FP EMULATION   :           201.16 :          96.53 :         22.27
FOURIER        :           20416 :          23.22 :         13.04
ASSIGNMENT     :           28.458 :         108.29 :         28.09
IDEA           :           4858.1 :          74.30 :         22.06
HUFFMAN        :           1652.1 :          45.81 :         14.63
NEURAL NET     :           41.773 :          67.11 :         28.23
LU DECOMPOSITION :          1367.8 :          70.86 :         51.17
=====ORIGINAL BYTEMARK RESULTS=====
INTEGER INDEX   : 66.877
FLOATING-POINT INDEX: 47.971
Baseline (MSDOS*) : Pentium* 90, 256 KB L2-cache, Watcom* compiler 10.0
=====LINUX DATA BELOW=====
CPU             : 8 CPU GenuineIntel Intel(R) Xeon(R) CPU E5335 @ 2.00GHz 2000MHz
L2 Cache       : 4096 KB
OS              : Linux 2.6.18-164.15.1.el5xen
C compiler     :
libc           : libc-2.5.so
MEMORY INDEX   : 17.763
```

INTEGER INDEX : 15.925
FLOATING-POINT INDEX: 26.607

6.1.2. Resultats de la plataforma virtual Xen

En el cas de la plataforma virtual Xen, els resultats han estat:

```
BYTEmark* Native Mode Benchmark ver. 2 (10/95)
Index-split by Andrew D. Balsa (11/97)
Linux/Unix* port by Uwe F. Mayer (12/96,11/97)
TEST          : Iterations/sec.   : Old Index   : New Index
              :                               : Pentium 90* : AMD K6/233*
-----:-----:-----:-----
NUMERIC SORT  :          1057.2 :         27.11 :         8.90
STRING SORT   :          221.4  :         98.93 :        15.31
BITFIELD      :    3.6313e+08  :         62.29 :        13.01
FP EMULATION  :          201.28 :         96.58 :        22.29
FOURIER       :          20529  :         23.35 :        13.11
ASSIGNMENT    :          28.56  :        108.68 :        28.19
IDEA          :          4862.1 :         74.36 :        22.08
HUFFMAN       :          1652.7 :         45.83 :        14.63
NEURAL NET    :          42.196 :         67.78 :        28.51
LU DECOMPOSITION :        1360.4  :         70.48 :        50.89
=====ORIGINAL BYTEMARK RESULTS=====
INTEGER INDEX  : 66.866
FLOATING-POINT INDEX: 48.134
Baseline (MSDOS*) : Pentium* 90, 256 KB L2-cache, Watcom* compiler 10.0
=====LINUX DATA BELOW=====
CPU            : 8 CPU GenuineIntel Intel(R) Xeon(R) CPU E5335 @ 2.00GHz 2000MHz
L2 Cache      : 4096 KB
OS            : Linux 2.6.18-164.el5xen
C compiler    :
libc          : libc-2.5.so
MEMORY INDEX : 17.775
INTEGER INDEX : 15.913
FLOATING-POINT INDEX: 26.697
```

6.1.3. Resultats de la plataforma virtual VMware

La plataforma virtual VMware ha produït els següents resultats:

```
BYTEmark* Native Mode Benchmark ver. 2 (10/95)
Index-split by Andrew D. Balsa (11/97)
Linux/Unix* port by Uwe F. Mayer (12/96,11/97)
TEST          : Iterations/sec.   : Old Index   : New Index
              :                               : Pentium 90* : AMD K6/233*
-----:-----:-----:-----
NUMERIC SORT  :          1034  :         26.52 :         8.71
STRING SORT   :          215.76 :         96.41 :        14.92
BITFIELD      :    3.5301e+08  :         60.55 :        12.65
FP EMULATION  :          195.2  :         93.67 :        21.61
```

```
FOURIER          :          19797 :          22.51 :          12.65
ASSIGNMENT       :          27.667 :          105.28 :          27.31
IDEA             :          4732.4 :          72.38 :          21.49
HUFFMAN          :          1604.3 :          44.49 :          14.21
NEURAL NET       :          40.679 :          65.35 :          27.49
LU DECOMPOSITION :          1334.4 :          69.13 :          49.92
```

=====ORIGINAL BYTEMARK RESULTS=====

```
INTEGER INDEX    : 65.025
FLOATING-POINT INDEX: 46.677
Baseline (MSDOS*) : Pentium* 90, 256 KB L2-cache, Watcom* compiler 10.0
```

=====LINUX DATA BELOW=====

```
CPU              : 8 CPU GenuineIntel Intel(R) Xeon(R) CPU E5335 @ 2.00GHz 2000MHz
L2 Cache         : 4096 KB
OS               : Linux 2.6.18-164.15.1.el5
C compiler       :
libc             : libc-2.5.so
MEMORY INDEX    : 17.273
INTEGER INDEX  : 15.483
FLOATING-POINT INDEX: 25.889
```

6.2. High Performance Computing Linpack Benchark 2.0

Detalls del test:

- Abans d'executar el test s'ha instal·lat i configurat el programari addicional necessari:
 - ATLAS: implementació de BLAS (*Basic Linear Algebra Subprograms*).
 - MPICH: implementació de MPI (*Message Passing Interface*).
- Es parametriza el test per a que faci servir quatre nuclis.
- S'ajusta la complexitat del sistema a resoldre per a que la duració del test permeti obtenir resultats significatius.
- S'han fet diversos cicles d'execució en diferents moments i tots els resultats han estat coherents amb les execucions prèvies, patint petites variacions, que es consideren normals (<2%).

La parametrizació del benchmark es fa amb un fitxer de configuració anomenat **HPL.dat**. A continuació s'exposa el contingut del fitxer amb els paràmetres exactes que s'han fet servir per al benchmarking del sistema en qüestió:

```
HPLinpack benchmark input file
Innovative Computing Laboratory, University of Tennessee
HPL.out      output file name (if any)
6            device out (6=stdout,7=stderr,file)
1            # of problems sizes (N)
20000  Ns
1            # of NBs
1000 500 300 400 700      NBs
0            PMAP process mapping (0=Row-,1=Column-major)
1            # of process grids (P x Q)
2           Ps
1           Qs
16.0        threshold
1            # of panel fact
0 1 2       PFACTs (0=left, 1=Crout, 2=Right)
1            # of recursive stopping criterium
2 4         NBMINs (>= 1)
1            # of panels in recursion
2           NDIVs
1            # of recursive panel fact.
0 1 2       RFACTs (0=left, 1=Crout, 2=Right)
1            # of broadcast
0           BCASTs (0=1rg,1=1rM,2=2rg,3=2rM,4=Lng,5=LnM)
1            # of lookahead depth
0           DEPTHS (>=0)
2           SWAP (0=bin-exch,1=long,2=mix)
```

```

64          swapping threshold
0          L1 in (0=transposed,1=no-transposed) form
0          U in (0=transposed,1=no-transposed) form
1          Equilibration (0=no,1=yes)
8          memory alignment in double (> 0)

```

L'ordre per llençar el benchmark és la següent:

```
mpirun -np 4 /common/linpack/hpl-2.0/bin/Linux_PII_CBLAS_gm/xhpl
```

6.2.1. Resultats de la plataforma clàssica

El benchmark ha generat els següents resultats a la plataforma clàssica:

```

mpirun -np 4 /common/linpack/hpl-2.0/bin/Linux_PII_CBLAS_gm/xhpl
=====
HPLinpack 2.0 -- High-Performance Linpack benchmark -- September 10, 2008
Written by A. Petitet and R. Clint Whaley, Innovative Computing Laboratory, UTK
Modified by Piotr Luszczek, Innovative Computing Laboratory, UTK
Modified by Julien Langou, University of Colorado Denver
=====

```

An explanation of the input/output parameters follows:

```

T/V      : Wall time / encoded variant.
N        : The order of the coefficient matrix A.
NB       : The partitioning blocking factor.
P        : The number of process rows.
Q        : The number of process columns.
Time     : Time in seconds to solve the linear system.
Gflops   : Rate of execution for solving the linear system.

```

The following parameter values will be used:

```

N        : 20000
NB       : 1000
PMAP     : Row-major process mapping
P        : 2
Q        : 1
PFACT    : Left
NBMIN    : 2
NDIV     : 2
RFACT    : Left
BCAST    : 1ring
DEPTH    : 0
SWAP     : Mix (threshold = 64)
L1       : transposed form
U        : transposed form
EQUIL    : yes
ALIGN    : 8 double precision words

```

```

-----
- The matrix A is randomly generated for each test.
- The following scaled residual check will be computed:
  ||Ax-b||_oo / ( eps * ( || x ||_oo * || A ||_oo + || b ||_oo ) * N )
- The relative machine precision (eps) is taken to be 1.110223e-16

```

- Computational tests pass if scaled residuals are less than 16.0

```
=====
T/V              N    NB    P    Q              Time              Gflops
-----
WR00L2L2      20000  1000    2    1              432.80              1.232e+01
-----
||Ax-b||_oo/(eps*(||A||_oo*||x||_oo+||b||_oo)*N)=      0.0040536 ..... PASSED
=====
Finished      1 tests with the following results:
                1 tests completed and passed residual checks,
                0 tests completed and failed residual checks,
                0 tests skipped because of illegal input values.
-----
End of Tests.
=====
```

6.2.2. Resultats de la plataforma virtual Xen

Pel que fa a la plataforma virtual Xen, els resultats són els següents:

```
mpirun -np 4 /common/linpack/hpl-2.0/bin/Linux_PII_CBLAS_gm/xhpl
=====
HPLlinpack 2.0 -- High-Performance Linpack benchmark -- September 10, 2008
Written by A. Petitet and R. Clint Whaley, Innovative Computing Laboratory, UTK
Modified by Piotr Luszczek, Innovative Computing Laboratory, UTK
Modified by Julien Langou, University of Colorado Denver
=====
```

An explanation of the input/output parameters follows:

```
T/V      : Wall time / encoded variant.
N        : The order of the coefficient matrix A.
NB       : The partitioning blocking factor.
P        : The number of process rows.
Q        : The number of process columns.
Time     : Time in seconds to solve the linear system.
Gflops   : Rate of execution for solving the linear system.
```

The following parameter values will be used:

```
N      : 20000
NB     : 1000
PMAP   : Row-major process mapping
P      : 2
Q      : 1
PFACT  : Left
NBMIN  : 2
NDIV   : 2
RFACT  : Left
BCAST  : 1ring
DEPTH  : 0
SWAP   : Mix (threshold = 64)
L1     : transposed form
U      : transposed form
```



```

EQUIL   : yes
ALIGN   : 8 double precision words
-----
- The matrix A is randomly generated for each test.
- The following scaled residual check will be computed:
      ||Ax-b||_oo / ( eps * ( || x ||_oo * || A ||_oo + || b ||_oo ) * N )
- The relative machine precision (eps) is taken to be           1.110223e-16
- Computational tests pass if scaled residuals are less than    16.0

=====
T/V          N    NB    P    Q          Time          Gflops
-----
WR00L2L2    20000 1000  2  1          437.17          1.220e+01
-----
||Ax-b||_oo/(eps*(||A||_oo*||x||_oo+||b||_oo)*N)=          0.0040536 ..... PASSED
=====
Finished      1 tests with the following results:
              1 tests completed and passed residual checks,
              0 tests completed and failed residual checks,
              0 tests skipped because of illegal input values.

-----
End of Tests.
=====

```

6.2.3. Resultats de la plataforma virtual VMware

Els resultats obtinguts per la plataforma virtual VMware han estat els següents:

```

mpirun -np 4 /common/linpack/hpl-2.0/bin/Linux_PII_CBLAS_gm/xhpl
=====
HPLinpack 2.0 -- High-Performance Linpack benchmark -- September 10, 2008
Written by A. Petitet and R. Clint Whaley, Innovative Computing Laboratory, UTK
Modified by Piotr Luszczek, Innovative Computing Laboratory, UTK
Modified by Julien Langou, University of Colorado Denver
=====

```

An explanation of the input/output parameters follows:

```

T/V      : Wall time / encoded variant.
N        : The order of the coefficient matrix A.
NB       : The partitioning blocking factor.
P        : The number of process rows.
Q        : The number of process columns.
Time     : Time in seconds to solve the linear system.
Gflops   : Rate of execution for solving the linear system.

```

The following parameter values will be used:

```

N       : 20000
NB      : 1000
PMAP    : Row-major process mapping
P       : 2
Q       : 1
PFACT   : Left
NBMIN   : 2

```

```

NDIV      :      2
RFACT     :      Left
BCAST     :      1ring
DEPTH     :      0
SWAP      :      Mix (threshold = 64)
L1        :      transposed form
U         :      transposed form
EQUIL     :      yes
ALIGN     :      8 double precision words

```

- ```

- The matrix A is randomly generated for each test.
- The following scaled residual check will be computed:
 ||Ax-b||_oo / (eps * (|| x ||_oo * || A ||_oo + || b ||_oo) * N)
- The relative machine precision (eps) is taken to be 1.110223e-16
- Computational tests pass if scaled residuals are less than 16.0

```

```

=====
T/V N NB P Q Time Gflops

WR00L2L2 20000 1000 2 1 460.20 1.159e+01

||Ax-b||_oo/(eps*(||A||_oo*||x||_oo+||b||_oo)*N)= 0.0040536 PASSED
=====

```

```

Finished 1 tests with the following results:
 1 tests completed and passed residual checks,
 0 tests completed and failed residual checks,
 0 tests skipped because of illegal input values.

```

```

End of Tests.
=====

```

## 6.3. Bonnie++ 1.03e

Detalls del test:

- Es parametriza el test per que limiti la memòria total del sistema en 6GB, en comptes dels 8GB amb els que compta la plataforma clàssica, ja que els servidors de les plataformes virtuals tenen aquest dos gigabytes menys de memòria disponible.
- La mida total dels fitxers per a fer els tests s'estableix en 16GB, ja que s'aconsella que com a mínim sigui el doble de la memòria RAM disponible. A partir d'aquest paràmetre, en la primera fase de l'execució del programa, es faran operacions seqüencials de creació, escriptura, lectura i eliminació sobre setze fitxers d'un gigabyte cadascun.
- Per a la segona part dels tests, es parametriza que el programa faci operacions seqüencials i aleatòries de creació, lectura, escriptura i eliminació sobre dos-cents mil fitxers de mida molt petita.

L'ordre per llençar el benchmark és la següent:

```
bonnie++ -d /phy_storage -m xen-host -r 6144 -u root -D -s 12288 -n 200
```

### 6.3.1. Resultats de la plataforma clàssica

Els resultats per a aquest test de la plataforma clàssica han estat:

```
Using uid:0, gid:0.
Writing with putc()...done
Writing intelligently...done
Rewriting...done
Reading with getc()...done
Reading intelligently...done
start 'em...done...done...done...
Create files in sequential order...done.
Stat files in sequential order...done.
Delete files in sequential order...done.
Create files in random order...done.
Stat files in random order...done.
Delete files in random order...done.
Version 1.03e -----Sequential Output----- --Sequential Input- --Random-
 -Per Chr- --Block-- -Rewrite- -Per Chr- --Block-- --Seeks--
Machine Size K/sec %CP K/sec %CP K/sec %CP K/sec %CP K/sec %CP /sec %CP
xen-host 12G 54534 91 1307 0 37159 6 64628 93 84559 5 705.4 0
 -----Sequential Create----- -----Random Create-----
 -Create-- --Read--- -Delete-- -Create-- --Read--- -Delete--
 files /sec %CP /sec %CP /sec %CP /sec %CP /sec %CP /sec %CP
200000 46569 83 393528 99 58135 84 30813 55 +++++ + 19487 54
```

### 6.3.2. Resultats de la plataforma virtual Xen

A la plataforma virtual Xen, l'experiment ha generat aquests resultats:

```
Using uid:0, gid:0.
Writing with putc()...done
Writing intelligently...done
Rewriting...done
Reading with getc()...done
Reading intelligently...done
start 'em...done...done...done...
Create files in sequential order...done.
Stat files in sequential order...done.
Delete files in sequential order...done.
Create files in random order...done.
Stat files in random order...done.
Delete files in random order...done.
Version 1.03e -----Sequential Output----- --Sequential Input- --Random-
 -Per Chr- --Block-- -Rewrite- -Per Chr- --Block-- --Seeks--
Machine Size K/sec %CP K/sec %CP K/sec %CP K/sec %CP K/sec %CP /sec %CP
xen-guest 12G 33559 58 1301 0 23252 0 28390 22 65560 0 301.3 0
 -----Sequential Create----- -----Random Create-----
 -Create-- --Read--- -Delete-- -Create-- --Read--- -Delete--
 files /sec %CP /sec %CP /sec %CP /sec %CP /sec %CP /sec %CP
 200000 21847 87 236748 99 27702 64 19683 82 271217 100 12683 30
```

### 6.3.3. Resultats de la plataforma virtual VMware

En la plataforma virtual VMware, els resultats han estat:

```
Using uid:0, gid:0.
Writing with putc()...done
Writing intelligently...done
Rewriting...done
Reading with getc()...done
Reading intelligently...done
start 'em...done...done...done...
Create files in sequential order...done.
Stat files in sequential order...done.
Delete files in sequential order...done.
Create files in random order...done.
Stat files in random order...done.
Delete files in random order...done.
Version 1.03e -----Sequential Output----- --Sequential Input- --Random-
 -Per Chr- --Block-- -Rewrite- -Per Chr- --Block-- --Seeks--
Machine Size K/sec %CP K/sec %CP K/sec %CP K/sec %CP K/sec %CP /sec %CP
vmware-guest 12G 21352 37 1289 0 24791 6 57433 91 66860 5 448.8 1
 -----Sequential Create----- -----Random Create-----
 -Create-- --Read--- -Delete-- -Create-- --Read--- -Delete--
 files /sec %CP /sec %CP /sec %CP /sec %CP /sec %CP /sec %CP
 200000 20953 95 215115 73 41778 87 19430 86 373518 99 17014 36
```

## 6.4. Sysbench 0.4.12

Detalls del test:

- Es parametriza cada tipus de test, per obtenir resultats útils, intentant que la durada dels mateixos sigui suficientment significativa. Al següent apartat es detalla la parametrizació de cada test.
- S'estableixen com a mínim vuit fils d'execució, o *threads*, a tots els tests, així s'avalua la capacitat màxima de la CPU del servidor, que té dos processadors de quatre nuclis cadascun, vuit nuclis en total.
- Cada test s'ha executat com a mínim dues vegades i els resultats han estat coherents amb les execucions prèvies en la gran majoria dels casos, patint petites variacions, que es consideren normals (<1%). En el cas de que els resultats variïn en un percentatge major al 3%, s'indicarà en els detalls de cada benchmark.

### 6.4.1. Parametrizació i comandes dels tests

#### Test de CPU

---

El test calcula el primer milió de nombres primers partint de zero. Tot i que són molts nombres i és el test que té una major duració (al voltant de trenta minuts), així podem contrastar la igualtat entre plataformes obtinguda en el benchmark anterior amb més fiabilitat.

```
sysbench --test=cpu --cpu-max-prime=1000000 --num-threads=16 run
```

#### Test de rendiment d'E/S de disc

---

S'executen dos tipus de test:

- Rendiment de lectura/escriptura aleatòria sobre molts fitxers de mida petita (512 fitxers de 16KB cadascun):

```
sysbench --num-threads=8 --test=fileio --max-requests=100000 --file-num=512 --file-total-size=16M
--file-test-mode=rndrw prepare
```

```
sysbench --num-threads=8 --test=fileio --max-requests=100000 --file-num=512 --file-total-size=16M
--file-test-mode=rndrw run
```

```
sysbench --num-threads=8 --test=fileio --max-requests=100000 --file-num=512 --file-total-size=16M
--file-test-mode=rndrw cleanup
```

- Rendiment de lectura/escriptura aleatòria sobre pocs fitxers de mida gran (4 fitxers d'1GB cadascun):

```
sysbench --num-threads=8 --test=fileio --max-requests=100000 --file-num=4 --file-total-size=4G
--file-test-mode=rndrw prepare
```

```
sysbench --num-threads=8 --test=fileio --max-requests=100000 --file-num=4 --file-total-size=4G
--file-test-mode=rndrw run
```

```
sysbench --num-threads=8 --test=fileio --max-requests=100000 --file-num=4 --file-total-size=4G
--file-test-mode=rndrw cleanup
```

És interessant executar aquests dos tests sobre el rendiment de l'entrada/sortida de disc, ja que així es pot avaluar:

- El temps d'accés de disc, que influeix força en el tractament de molts fitxers petits.
- La velocitat de transferència sostinguda, que és més influent en el tractament de pocs fitxers de mida gran.

### **Test de reserva de memòria i velocitat de transferència**

---

Es parametriza el test per a que escrigui 200GB a la memòria.

S'ha dedicat especial atenció al consum de memòria RAM dels sistemes durant aquest test, ja que la quantitat de memòria RAM disponible en la plataforma clàssica (8GB) és superior a la quantitat que tenen configurada les màquines virtuals (6GB). Es comprova que el test no consumeix pràcticament memòria RAM, i que s'executa directament sobre la memòria del processador.

```
sysbench --num-threads=16 --test=memory --memory-total-size=200G run
```

### **Test de servidor de base de dades**

---

Per executar aquest test, cal instal·lar un gestor de base de dades compatible. En el nostre cas, s'opta pel gestor predeterminat de Sysbench, MySQL. Per a que funcioni, s'ha de crear un usuari pel test, o fer servir l'usuari per defecte de MySQL, i passar els paràmetres de la connexió a la base de dades a l'ordre de Sysbench.

En el nostre test, s'executen mig milió d'operacions de lectura sobre una taula, d'un milió de registres, creada en la fase de preparació del test.

```
sysbench --test=oltp --oltp-table-name=test --oltp-table-size=1000000 --mysql-table-engine=myisam
--mysql-socket=/var/lib/mysql/mysql.sock --mysql-user=root --mysql-password=uoctfc prepare
```

```
sysbench --num-threads=16 --max-requests=500000 --test=oltp --oltp-table-name=test --oltp-table-size=1000000
--oltp-read-only --mysql-table-engine=myisam --mysql-socket=/var/lib/mysql/mysql.sock
```

```
--mysql-user=root --mysql-password=uoctfc run
```

## 6.4.2. Resultats de la plataforma clàssica

La sortida dels tests per a la plataforma clàssica han estat:

### Test de CPU

---

```
sysbench 0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark
Running the test with following options:
Number of threads: 16
Doing CPU performance benchmark
Threads started!
Done.
Maximum prime number checked in CPU test: 1000000
```

Test execution summary:

```
total time: 1593.4696s
total number of events: 10000
total time taken by event execution: 25482.1749
per-request statistics:
 min: 1453.20ms
 avg: 2548.22ms
 max: 3142.60ms
 approx. 95 percentile: 2576.64ms
```

Threads fairness:

```
events (avg/stddev): 625.0000/0.61
execution time (avg/stddev): 1592.6359/0.49
execution time (avg/stddev): 1592.6359/0.49
```

### Test de rendiment d'E/S de disc sobre molts fitxers de mida petita

---

```
sysbench 0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark
Running the test with following options:
Number of threads: 8
Extra file open flags: 0
512 files, 32Kb each
16Mb total file size
Block size 16Kb
Number of random requests for random IO: 100000
Read/Write ratio for combined random IO test: 1.50
Periodic FSYNC enabled, calling fsync() each 100 requests.
Calling fsync() at the end of test, Enabled.
Using synchronous I/O mode
Doing random r/w test
Threads started!
Done.
Operations performed: 60003 Read, 40002 Write, 512196 Other = 612201 Total
Read 937.55Mb Written 625.03Mb Total transferred 1.526Gb (7.3675Mb/sec)
471.52 Requests/sec executed
```

Test execution summary:

```
total time: 212.0904s
total number of events: 100005
total time taken by event execution: 16.1711
per-request statistics:
 min: 0.01ms
 avg: 0.16ms
 max: 188.22ms
 approx. 95 percentile: 0.03ms
```

Threads fairness:

```
events (avg/stddev): 12500.6250/865.22
execution time (avg/stddev): 2.0214/0.43
```

## Test de rendiment d'E/S de disc sobre pocs fitxers de mida gran

---

sysbench 0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark

Running the test with following options:

Number of threads: 8

Extra file open flags: 0

4 files, 1Gb each

4Gb total file size

Block size 16Kb

Number of random requests for random IO: 100000

Read/Write ratio for combined random IO test: 1.50

Periodic FSYNC enabled, calling fsync() each 100 requests.

Calling fsync() at the end of test, Enabled.

Using synchronous I/O mode

Doing random r/w test

Threads started!

Done.

```
Operations performed: 60002 Read, 40002 Write, 4000 Other = 104004 Total
Read 937.53Mb Written 625.03Mb Total transferred 1.5259Gb (10.514Mb/sec)
672.87 Requests/sec executed
```

Test execution summary:

```
total time: 148.6236s
total number of events: 100004
total time taken by event execution: 54.2537
per-request statistics:
 min: 0.01ms
 avg: 0.54ms
 max: 296.02ms
 approx. 95 percentile: 0.03ms
```

Threads fairness:

```
events (avg/stddev): 12500.5000/829.49
execution time (avg/stddev): 6.7817/0.58
```

## Test de reserva de memòria i velocitat de transferència

---

sysbench 0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark

Running the test with following options:



```
Number of threads: 16
Doing memory operations speed test
Memory block size: 1K
Memory transfer size: 204800M
Memory operations type: write
Memory scope type: global
Threads started!
Done.
Operations performed: 209715200 (790000.01 ops/sec)
204800.00 MB transferred (771.48 MB/sec)
```

```
Test execution summary:
 total time: 265.4623s
 total number of events: 209715200
 total time taken by event execution: 2283.5421
 per-request statistics:
 min: 0.00ms
 avg: 0.01ms
 max: 2.15ms
 approx. 95 percentile: 0.00ms
```

```
Threads fairness:
 events (avg/stddev): 13107200.0000/53222.01
 execution time (avg/stddev): 142.7214/0.28
```

## Test de servidor de base de dades

---

```
sysbench 0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark
No DB drivers specified, using mysql
Running the test with following options:
Number of threads: 16
Doing OLTP test.
Running mixed OLTP test
Doing read-only test
Using Special distribution (12 iterations, 1 pct of values are returned in 75 pct cases)
Using "LOCK TABLES READ" for starting transactions
Using auto_inc on the id column
Maximum number of requests for OLTP test is limited to 500000
Threads started!
Done.
OLTP test statistics:
 queries performed:
 read: 7000490
 write: 0
 other: 1000070
 total: 8000560
 transactions: 500035 (2266.81 per sec.)
 deadlocks: 0 (0.00 per sec.)
 read/write requests: 7000490 (31735.28 per sec.)
 other operations: 1000070 (4533.61 per sec.)

Test execution summary:
 total time: 220.5902s
 total number of events: 500035
```

```
total time taken by event execution: 3523.8760
per-request statistics:
 min: 2.53ms
 avg: 7.05ms
 max: 174.76ms
 approx. 95 percentile: 12.56ms
```

```
Threads fairness:
 events (avg/stddev): 31252.1875/204.13
 execution time (avg/stddev): 220.2423/0.01
```

### 6.4.3. Resultats de la plataforma virtual Xen

En el cas de la plataforma virtual Xen, els resultats han estat:

#### Test de CPU

---

```
sysbench 0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark
Running the test with following options:
Number of threads: 16
Doing CPU performance benchmark
Threads started!
Done.
Maximum prime number checked in CPU test: 1000000
```

```
Test execution summary:
 total time: 1593.8397s
 total number of events: 10000
 total time taken by event execution: 25482.9389
 per-request statistics:
 min: 1273.17ms
 avg: 2548.29ms
 max: 4685.76ms
 approx. 95 percentile: 2774.37ms
```

```
Threads fairness:
 events (avg/stddev): 625.0000/0.94
 execution time (avg/stddev): 1592.6837/0.45
```

#### Test de rendiment d'E/S de disc sobre molts fitxers de mida petita

---

```
sysbench 0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark
Running the test with following options:
Number of threads: 8
Extra file open flags: 0
512 files, 32Kb each
16Mb total file size
Block size 16Kb
Number of random requests for random IO: 100000
Read/Write ratio for combined random IO test: 1.50
Periodic FSYNC enabled, calling fsync() each 100 requests.
Calling fsync() at the end of test, Enabled.
```

```
Using synchronous I/O mode
Doing random r/w test
Threads started!
Done.
Operations performed: 60000 Read, 40000 Write, 512008 Other = 612008 Total
Read 937.5Mb Written 625Mb Total transferred 1.5259Gb (4.8929Mb/sec)
313.15 Requests/sec executed
```

Test execution summary:

```
total time: 319.3386s
total number of events: 100000
total time taken by event execution: 37.7151
per-request statistics:
 min: 0.01ms
 avg: 0.38ms
 max: 246.08ms
 approx. 95 percentile: 0.02ms
```

Threads fairness:

```
events (avg/stddev): 12500.0000/1235.50
execution time (avg/stddev): 4.7144/1.43
```

## Test de rendiment d'E/S de disc sobre pocs fitxers de mida gran

---

sysbench 0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark

Running the test with following options:

Number of threads: 8

Extra file open flags: 0

4 files, 1Gb each

4Gb total file size

Block size 16Kb

Number of random requests for random IO: 100000

Read/Write ratio for combined random IO test: 1.50

Periodic FSYNC enabled, calling fsync() each 100 requests.

Calling fsync() at the end of test, Enabled.

Using synchronous I/O mode

Doing random r/w test

Threads started!

Done.

Operations performed: 59998 Read, 40002 Write, 4000 Other = 104000 Total

Read 937.47Mb Written 625.03Mb Total transferred 1.5259Gb (5.0453Mb/sec)

322.90 Requests/sec executed

Test execution summary:

```
total time: 309.6939s
total number of events: 100000
total time taken by event execution: 332.2278
per-request statistics:
 min: 0.01ms
 avg: 3.32ms
 max: 634.42ms
 approx. 95 percentile: 0.02ms
```

Threads fairness:

```
events (avg/stddev): 12500.0000/850.68
execution time (avg/stddev): 41.5285/2.03
```

## Test de reserva de memòria i velocitat de transferència

---

sysbench 0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark

Running the test with following options:

Number of threads: 16

Doing memory operations speed test

Memory block size: 1K

Memory transfer size: 204800M

Memory operations type: write

Memory scope type: global

Threads started!

Done.

Operations performed: 209715200 (507925.20 ops/sec)

204800.00 MB transferred (496.02 MB/sec)

Test execution summary:

```
total time: 412.8860s
total number of events: 209715200
total time taken by event execution: 4811.3358
per-request statistics:
 min: 0.00ms
 avg: 0.02ms
 max: 331.73ms
 approx. 95 percentile: 0.01ms
```

Threads fairness:

```
events (avg/stddev): 13107200.0000/176451.22
execution time (avg/stddev): 300.7085/1.59
```

## Test de servidor de base de dades

---

sysbench 0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark

No DB drivers specified, using mysql

Running the test with following options:

Number of threads: 16

Doing OLTP test.

Running mixed OLTP test

Doing read-only test

Using Special distribution (12 iterations, 1 pct of values are returned in 75 pct cases)

Using "LOCK TABLES READ" for starting transactions

Using auto\_inc on the id column

Maximum number of requests for OLTP test is limited to 500000

Threads started!

Done.

OLTP test statistics:

```
queries performed:
 read: 7000168
 write: 0
 other: 1000024
 total: 8000192
```

```
transactions: 500012 (1890.61 per sec.)
deadlocks: 0 (0.00 per sec.)
read/write requests: 7000168 (26468.50 per sec.)
other operations: 1000024 (3781.21 per sec.)
```

Test execution summary:

```
total time: 264.4717s
total number of events: 500012
total time taken by event execution: 4216.7216
per-request statistics:
 min: 2.73ms
 avg: 8.43ms
 max: 1048.07ms
 approx. 95 percentile: 24.65ms
```

Threads fairness:

```
events (avg/stddev): 31250.7500/776.67
execution time (avg/stddev): 263.5451/0.25
```

## 6.4.4. Resultats de la plataforma virtual VMware

La plataforma virtual VMware ha produït els següents resultats:

### Test de CPU

---

```
sysbench 0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark
Running the test with following options:
Number of threads: 16
Doing CPU performance benchmark
Threads started!
Done.
Maximum prime number checked in CPU test: 1000000
```

Test execution summary:

```
total time: 1639.2238s
total number of events: 10000
total time taken by event execution: 26214.1179
per-request statistics:
 min: 1294.42ms
 avg: 2621.41ms
 max: 3724.22ms
 approx. 95 percentile: 2747.92ms
```

Threads fairness:

```
events (avg/stddev): 625.0000/3.06
execution time (avg/stddev): 1638.3824/0.51
```

### Test de rendiment d'E/S de disc sobre molts fitxers de mida petita:

---

```
sysbench 0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark
Running the test with following options:
Number of threads: 8
```

```
Extra file open flags: 0
512 files, 32Kb each
16Mb total file size
Block size 16Kb
Number of random requests for random IO: 100000
Read/Write ratio for combined random IO test: 1.50
Periodic FSYNC enabled, calling fsync() each 100 requests.
Calling fsync() at the end of test, Enabled.
Using synchronous I/O mode
Doing random r/w test
Threads started!
FATAL: Failed to fsync file! file: 0 errno = 22 ()
Done.
Operations performed: 60033 Read, 40021 Write, 512914 Other = 612968 Total
Read 938.02Mb Written 625.33Mb Total transferred 1.5267Gb (6.4892Mb/sec)
415.31 Requests/sec executed
```

Test execution summary:

```
total time: 240.9138s
total number of events: 100054
total time taken by event execution: 17.7923
per-request statistics:
 min: 0.01ms
 avg: 0.18ms
 max: 157.01ms
 approx. 95 percentile: 0.05ms
```

Threads fairness:

```
events (avg/stddev): 12506.7500/2451.35
execution time (avg/stddev): 2.2240/0.51
```

## Test de rendiment d'E/S de disc sobre pocs fitxers de mida gran

---

```
sysbench 0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark
Running the test with following options:
Number of threads: 8
Extra file open flags: 0
4 files, 1Gb each
4Gb total file size
Block size 16Kb
Number of random requests for random IO: 100000
Read/Write ratio for combined random IO test: 1.50
Periodic FSYNC enabled, calling fsync() each 100 requests.
Calling fsync() at the end of test, Enabled.
Using synchronous I/O mode
Doing random r/w test
Threads started!
Done.
Operations performed: 60007 Read, 40005 Write, 3996 Other = 104008 Total
Read 937.61Mb Written 625.08Mb Total transferred 1.5261Gb (10.59Mb/sec)
677.78 Requests/sec executed
```

Test execution summary:

```
total time: 147.5578s
```

```
total number of events: 100012
total time taken by event execution: 75.5750
per-request statistics:
 min: 0.01ms
 avg: 0.76ms
 max: 650.81ms
 approx. 95 percentile: 0.05ms
```

```
Threads fairness:
 events (avg/stddev): 12501.5000/634.71
 execution time (avg/stddev): 9.4469/0.39
```

## Test de reserva de memòria i velocitat de transferència

---

sysbench 0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark

Running the test with following options:

Number of threads: 16

Doing memory operations speed test

Memory block size: 1K

Memory transfer size: 204800M

Memory operations type: write

Memory scope type: global

Threads started!

Done.

Operations performed: 209715200 (731355.18 ops/sec)

204800.00 MB transferred (714.21 MB/sec)

Test execution summary:

```
total time: 286.7488s
total number of events: 209715200
total time taken by event execution: 2523.9795
per-request statistics:
 min: 0.00ms
 avg: 0.01ms
 max: 53.54ms
 approx. 95 percentile: 0.00ms
```

```
Threads fairness:
 events (avg/stddev): 13107200.0000/44381.07
 execution time (avg/stddev): 157.7487/0.47
```

## Test de servidor de base de dades

---

sysbench 0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark

No DB drivers specified, using mysql

Running the test with following options:

Number of threads: 16

Doing OLTP test.

Running mixed OLTP test

Doing read-only test

Using Special distribution (12 iterations, 1 pct of values are returned in 75 pct cases)

Using "LOCK TABLES READ" for starting transactions

Using auto\_inc on the id column

Maximum number of requests for OLTP test is limited to 500000  
Threads started!  
Done.  
OLTP test statistics:  
  queries performed:  
    read:                          7000448  
    write:                          0  
    other:                          1000064  
    total:                          8000512  
  transactions:                    500032 (1637.60 per sec.)  
  deadlocks:                        0      (0.00 per sec.)  
  read/write requests:              7000448 (22926.46 per sec.)  
  other operations:                  1000064 (3275.21 per sec.)

Test execution summary:  
  total time:                          305.3436s  
  total number of events:              500032  
  total time taken by event execution: 4879.2194  
  per-request statistics:  
    min:                              2.32ms  
    avg:                              9.76ms  
    max:                              90.87ms  
    approx. 95 percentile:            17.89ms

Threads fairness:  
  events (avg/stddev):                31252.0000/66.47  
  execution time (avg/stddev):       304.9512/0.00



## 7. Avaluació dels resultats obtinguts

### 7.1. Resum de resultats

Abans d'avaluar els resultats obtinguts, s'organitzen en una taula per facilitar la seva interpretació. En la mateixa, s'inclouen només els indicadors més significatius de cada benchmark. Es marquen en negreta els millors resultats de cada test, i en vermell els que experimenten una variació negativa notable respecte a les altres plataformes. També s'inclou una columna amb la corresponent variació negativa aproximada de cada indicador, en tant per cent, per a les plataformes virtuals.

Finalment, s'inclou el càlcul de la penalització global en percentatge, ponderant els diferents components. Per a fer la ponderació, es tenen en compte els tres aspectes bàsics sobre els que gira aquest treball: rendiment de processador, rendiment de memòria i rendiment d'entrada i sortida de disc. En el càlcul presentat, primer es fa la mitjana de la penalització percentual de tots els benchmarks que avaluen un determinat aspecte dels tres esmentats, per exemple, de tots els tests que mesuren el rendiment del processador. Seguidament, es fa la mitjana dels valors percentuals obtinguts de cadascun dels tres factors esmentats afegint el valor del test de base de dades de Sysbench. Així, tots tres factors tenen el mateix pes en el càlcul de la penalització i es té en compte una aplicació real com pot ser una base de dades amb gran volum transaccional.

Evidentment, aquesta no és una mesura realment vàlida del cost de la virtualització. Per obtenir resultats acurats i exactes caldria realitzar un treball molt més extens, comptant amb el suport d'especialistes en cada plataforma, idealment el propi fabricant. El nombre que s'estima en aquest treball només pretén ser una aproximació amb un marge d'error prou acceptable, segons els resultats dels experiments portats a terme.

De tota manera, és molt difícil donar una única mesura de la penalització que sofreixen els sistemes virtualitzats, ja que pot ser que un component, com el processador, tingui una penalització molt petita, i d'altres, com l'entrada i sortida de disc, pateixin un gran minvament en el seu rendiment. Per tant, pot ser que per a una aplicació determinada, la virtualització afecti en gran mesura, i per a una altra, el rendiment sigui molt similar al d'una plataforma clàssica. Aquest fet obliga a avaluar qualsevol valor de la penalització que suposa la virtualització amb prudència, i sempre caldrà tenir en

compte que pràcticament cada aplicació o servei concret patirà una penalització diferent segons les seves necessitats de rendiment de cada component del sistema.

| Benchmark                            | Test / Indicador                          | Tipus | Unitat          | Resultats      |               |             |               |            |
|--------------------------------------|-------------------------------------------|-------|-----------------|----------------|---------------|-------------|---------------|------------|
|                                      |                                           |       |                 | Clàssica       | Xen           | %           | VMware        | %          |
| NBench                               | Memory Index                              | CPU   | Índex           | <b>17,763</b>  | <b>17,775</b> | 0%          | 17,273        | 3%         |
|                                      | Integer Index                             | CPU   | Índex           | <b>15,925</b>  | <b>15,913</b> | 0%          | 15,483        | 3%         |
|                                      | Floating-point Index                      | CPU   | Índex           | <b>26,607</b>  | <b>26,697</b> | 0%          | 25,889        | 3%         |
| Linpack                              | Operacions per segon                      | CPU   | GFlops          | <b>1232e+1</b> | 1220e+1       | 1%          | 1159e+1       | 6%         |
|                                      | Temps d'execució                          | CPU   | Segons          | <b>432,80</b>  | 437,17        | 1%          | 460,20        | 6%         |
| Bonnie++                             | Esriptura seqüencial                      | E/S   | K blocs / Segon | <b>1307</b>    | 1301          | 0%          | 1289          | 1%         |
|                                      | Lectura seqüencial                        | E/S   | K blocs / Segon | <b>84559</b>   | 65560         | 22%         | 66860         | 21%        |
|                                      | Creació seqüencial de milers de fitxers   | E/S   | Fitxers / Segon | <b>46569</b>   | <b>21847</b>  | <b>53%</b>  | <b>20953</b>  | <b>55%</b> |
|                                      | Lectura seqüencial de milers de fitxers   | E/S   | Fitxers / segon | <b>393528</b>  | <b>236748</b> | <b>40%</b>  | <b>215115</b> | <b>45%</b> |
|                                      | Creació aleatòria de milers de fitxers    | E/S   | Fitxers / segon | <b>30813</b>   | <b>19683</b>  | <b>36%</b>  | <b>19430</b>  | <b>37%</b> |
|                                      | Eliminació aleatòria de milers de fitxers | E/S   | Fitxers / segon | <b>19487</b>   | <b>12683</b>  | <b>35%</b>  | 17014         | 13%        |
| Sysbench                             | Processador                               | CPU   | Segons          | <b>1593,47</b> | 1593,84       | 0%          | 1639,22       | 3%         |
|                                      | E/S de fitxers petits                     | E/S   | Segons          | <b>212,09</b>  | <b>319,34</b> | <b>51%</b>  | 240,91        | 14%        |
|                                      | E/S de fitxers grans                      | E/S   | Segons          | 148,62         | <b>309,69</b> | <b>108%</b> | <b>147,56</b> | 0%         |
|                                      | Velocitat memòria                         | MEM   | Segons          | <b>265,46</b>  | <b>412,88</b> | <b>56%</b>  | 286,75        | 8%         |
|                                      | Base de dades                             | APP   | Segons          | <b>220,59</b>  | 264,47        | 20%         | <b>305,34</b> | <b>38%</b> |
| <b>Penalització global ponderada</b> |                                           |       |                 |                |               | <b>30%</b>  |               | <b>18%</b> |

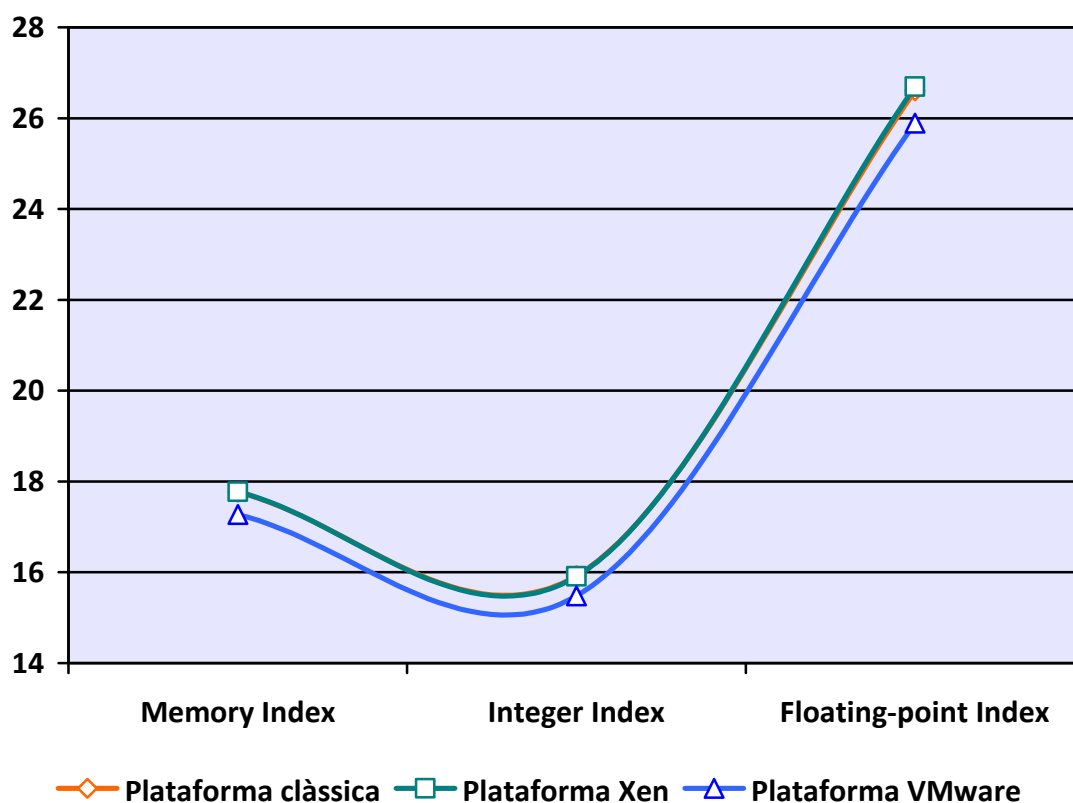
## 7.2. Anàlisi dels resultats

### 7.2.1. Resultats de NBench

En aquest test, com més grans siguin els valors obtinguts, millor es pot considerar el rendiment del sistema.

Els tests avaluen diversos aspectes del processador, essent els índexs mostrats al final de l'execució del benchmark, referents a la memòria, als càlcul amb enters i amb nombre en coma flotant, els més indicats per fer una comparació clara de les diferents plataformes.

En el següent gràfic es presenten els resultats superposats de les diferents plataformes avaluades:



Com es pot observar, totes tres plataformes obtenen uns resultats molt semblants. En aquest cas, la plataforma virtual VMware és la que obté els pitjors resultats, encara que la diferència se situa al voltant d'un ajustat 3% en tots tres indicadors.

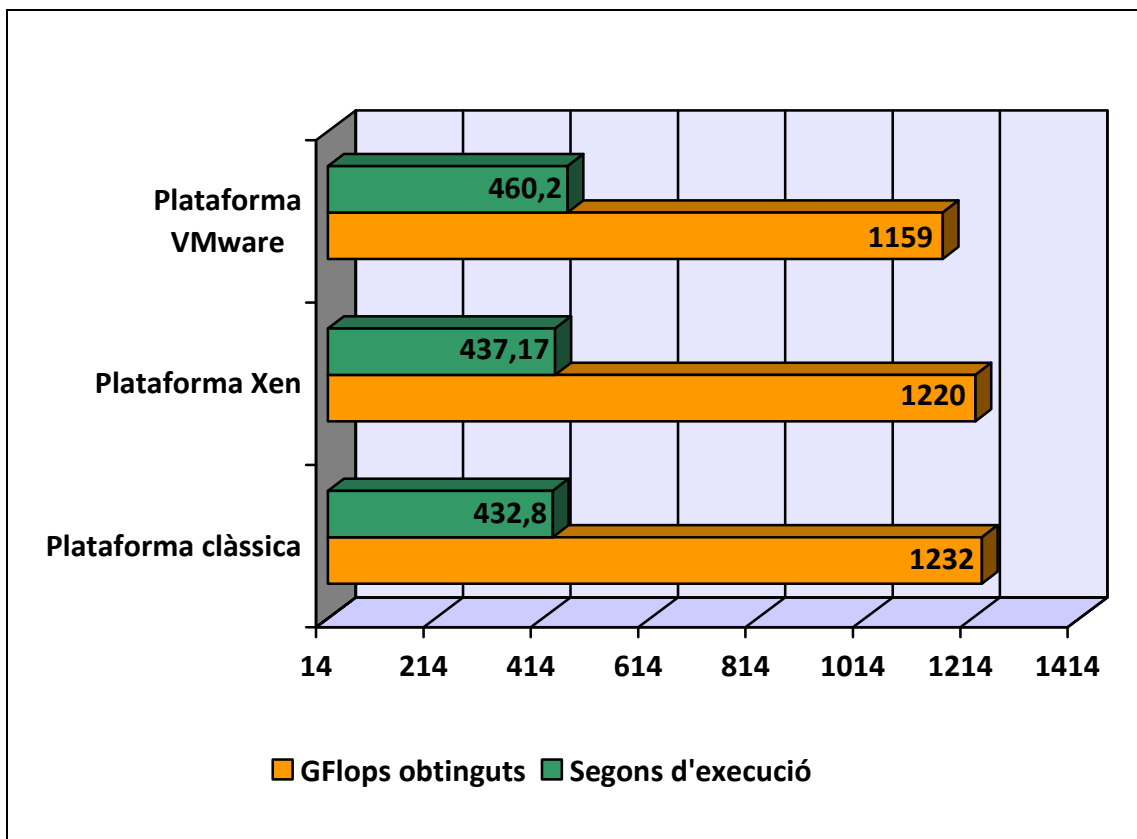
Aquest test ens permet afirmar que la virtualització no afecta en gran mesura al rendiment del processador. Tot i així, en els següents tests podrem veure si es confirma aquesta conclusió o per contra els resultats ens obliguen a revisar-la.

### 7.2.2. Resultats de Linpack

Els resultats d'aquest benchmark ens confirmen els de l'anterior. Tot i que s'accentuen sensiblement les diferències entre les plataformes.

En aquest cas, la plataforma amb pitjor resultat torna a ser VMware, amb un rendiment un 6% pitjor que la plataforma clàssica. Pel que fa a la plataforma virtual Xen, obté un resultat molt proper al de la plataforma clàssica, sent només un 1% pitjor.

Es poden veure els resultats organitzats en el següent gràfic. Tot i que les diferències no són molt significatives, a simple vista es pot veure que el rendiment de la plataforma VMware és sensiblement inferior:



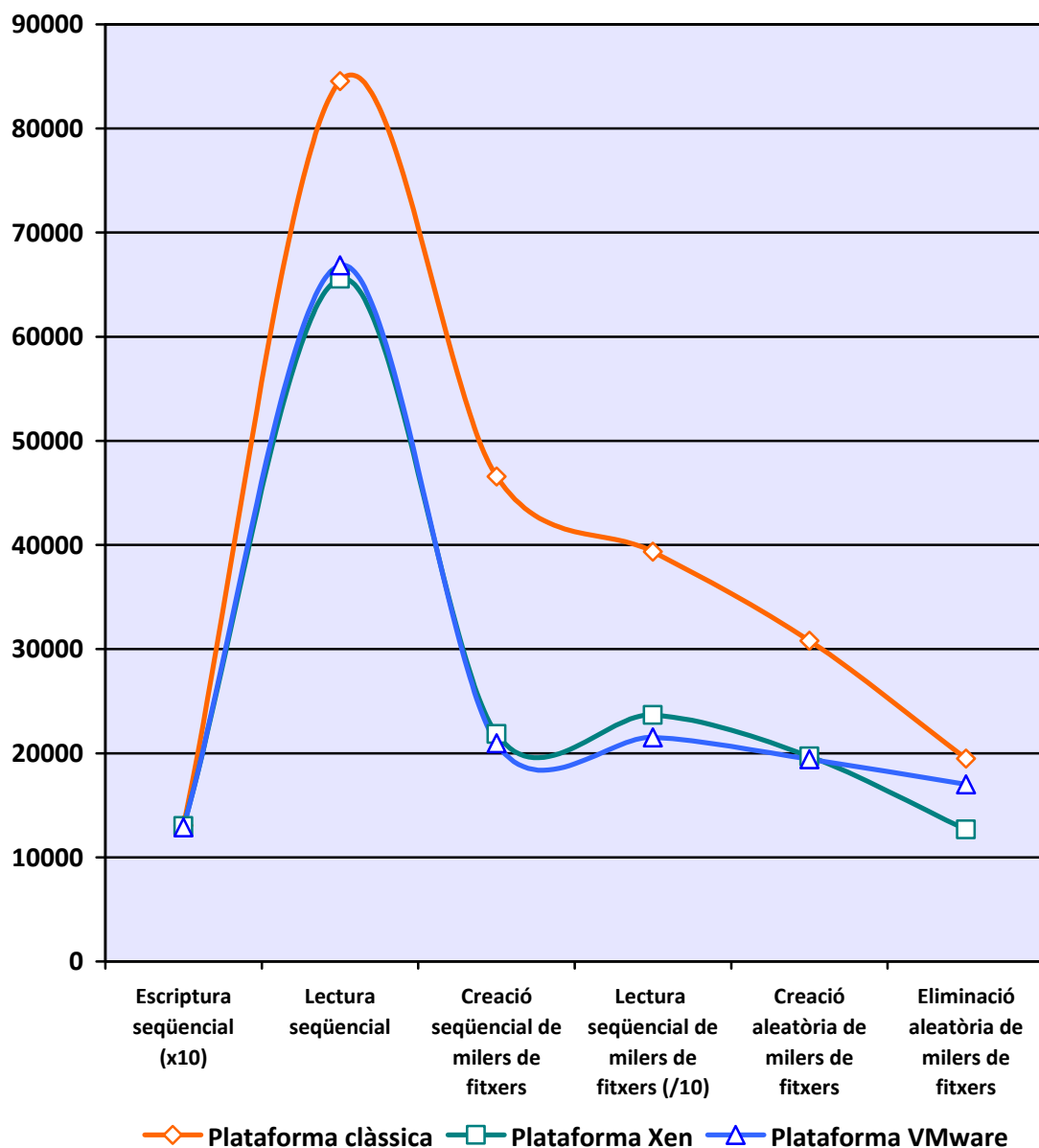
Les diferències segurament es deuen a les millores en l'accés als dispositius que aporta la paravirtualització en la plataforma Xen.

VMware no permet aplicar paravirtualització per a màquines virtuals amb sistemes operatius de 64 bits, i per tant, aquests sistemes no es poden beneficiar de l'accés

directe al component en qüestió sense passar per la capa de l'hypervisor. Aquest fet influeix decisivament en el rendiment del processador.

### 7.2.3. Resultats de Bonnie++

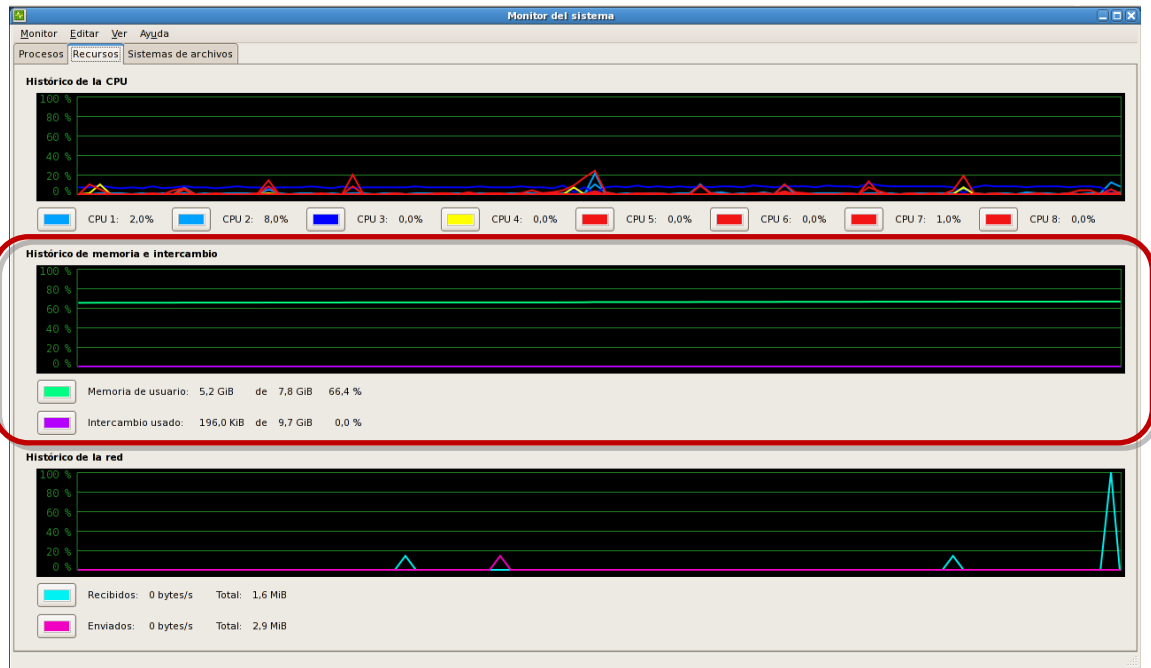
El següent gràfic resumeix els resultats d'aquest benchmark i ens permet observar clarament les diferències entre les plataformes virtuals i la plataforma clàssica. En aquest cas, quant més grans són els valors obtinguts, millor és el rendiment.



Es pot observar que el rendiment general en quant a entrada i sortida de disc és bastant superior a la plataforma clàssica. De tota manera, el rendiment d'ambdues plataformes virtuals és molt similar, fet que ens permet afirmar que tracten aquest

aspecte de forma semblant. En aquest test també influeix la memòria RAM del sistema i a banda de la gestió de l'entrada i sortida, molt possiblement sigui el factor limitador més important.

En la següent captura podem veure l'ús de memòria del servidor virtual de la plataforma Xen mentre s'estava executant el test:



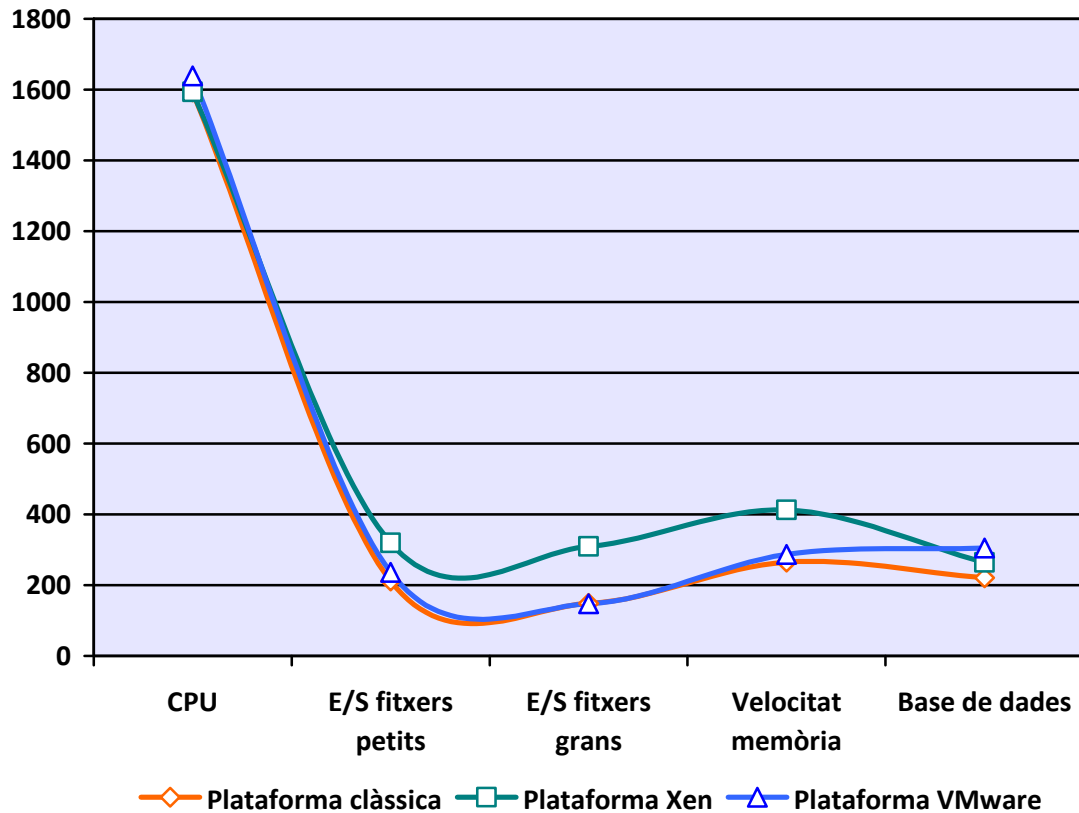
La gràfica d'ús de memòria ens mostra que s'estan fent servir aproximadament cinc dels sis gigabytes dels que disposa el sistema. Aquest ús indica clarament que la memòria RAM intervé de forma important en aquest test i pot marcar gran part de les diferències.

#### 7.2.4. Resultats de Sysbench

Aquest paquet de benchmarks ens permet analitzar la majoria d'elements amb una influència important en el rendiment general del sistema.

En l'avaluació del rendiment de qualsevol sistema, resulten especialment interessants els apartats corresponents al processador, la memòria i l'accés a disc, tots ells inclosos en aquest programari. L'afegit del test de base de dades ens dona una visió del rendiment assolit per una aplicació estàndard forçada a assumir una gran càrrega de treball, com és la base de dades MySQL de proves utilitzada. No cal dir que aquest apartat afegeix un interès especial a aquest complet paquet de benchmarks.

S'organitzen en el següent gràfic els resultats superposats de cada test sobre cada plataforma. Els valors són els segons emprats per l'experiment, així, a menor valor, millor rendiment:



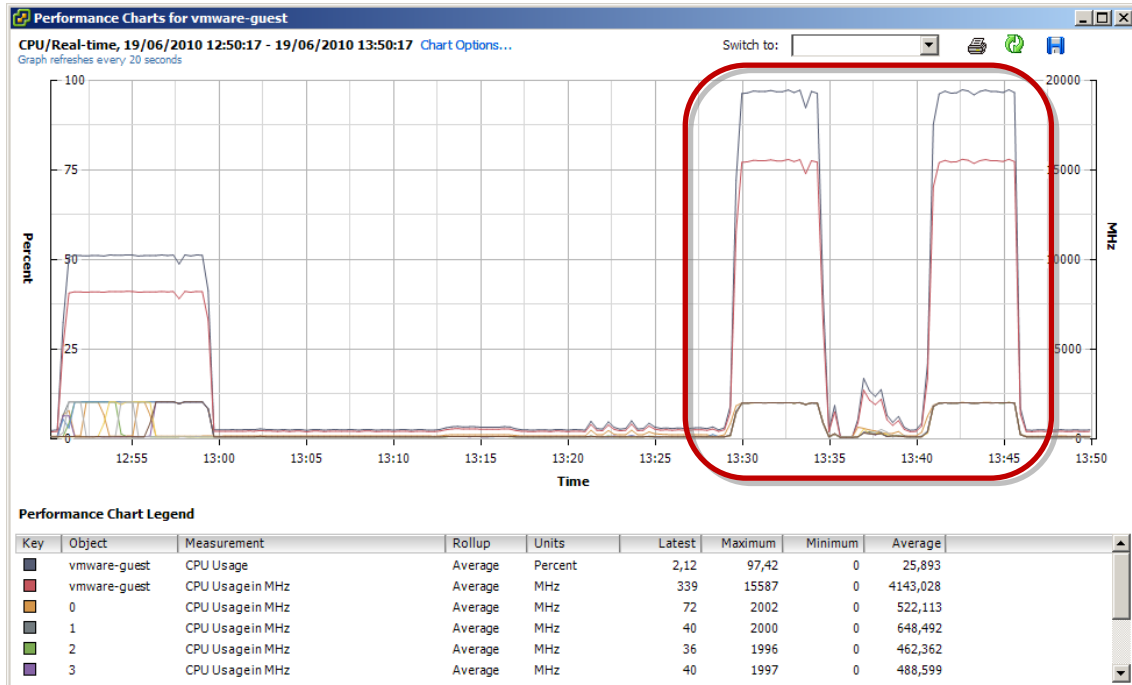
La primera conclusió que obtenim és que els resultats del test NBench en quant al rendiment de la CPU, encaixen amb els obtinguts amb aquest altre benchmark. Totes tres plataformes tenen un rendiment similar, i la variació de la que obté pitjor rendiment (VMware) és molt similar a la de NBench (~3%).

En aquest cas, veiem que la plataforma que té pitjor rendiment en general és Xen, amb resultats en quant a velocitat de memòria i entrada i sortida de disc decebedors si els comparem amb els obtinguts per les altres dues plataformes. Ha estat necessari revisar la configuració de la plataforma i assegurar-se de que els resultats no es veuen penalitzats per alguna errada o omisió en la configuració del sistema.

En quant a la plataforma VMware, resulta sorprenent que tot i que el rendiment de tots els components és semblant al de la plataforma clàssica, el resultat del test de base de dades és pitjor que en la plataforma Xen, molt allunyada en els tests component per component. Cal analitzar aquest aspecte per intentar descobrir quin dels components provoca aquest resultat, ja que la influència final en el rendiment general del sistema d'aquest component desconegut és important.

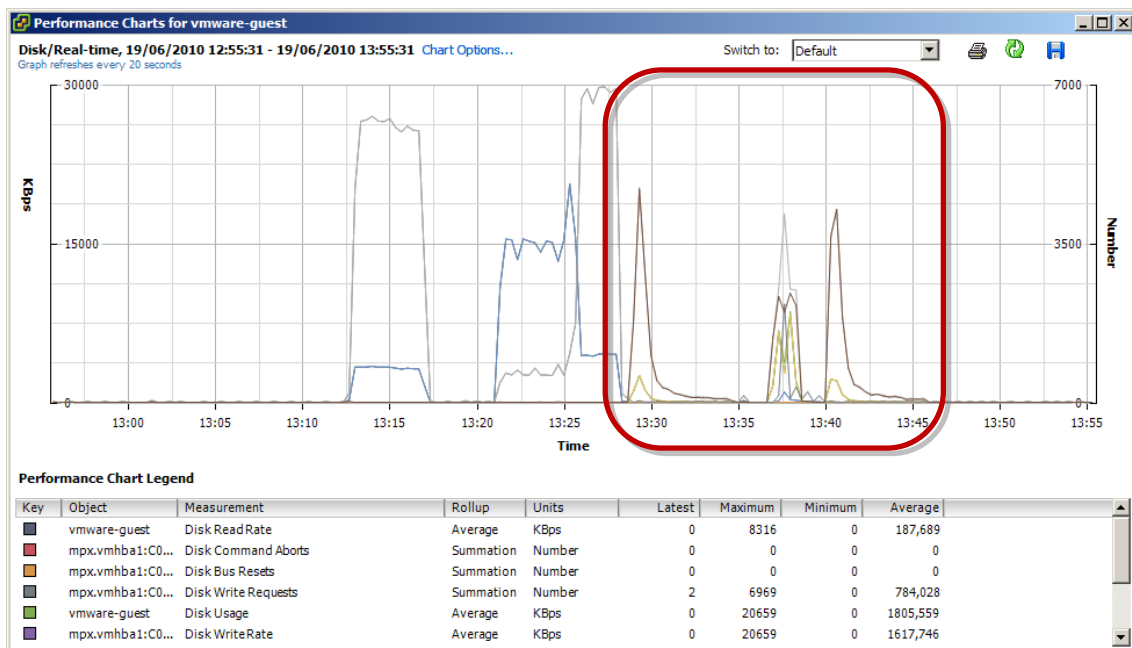
En aquest punt, revisem les gràfiques de rendiment que genera VMware mitjançant la consola vCenter. Les parts de la gràfica senyalades són les corresponents a l'execució dels tests.

### Gràfic de rendiment de la CPU:



Els vuit processadors assignats a la màquina virtual arriben pràcticament al 100% de les seves possibilitats. El consum de GHz global de la màquina virtual supera els 15GHz (disposem de vuit nuclis físics de 2GHz cadascun, és a dir, un màxim de 16GHz).

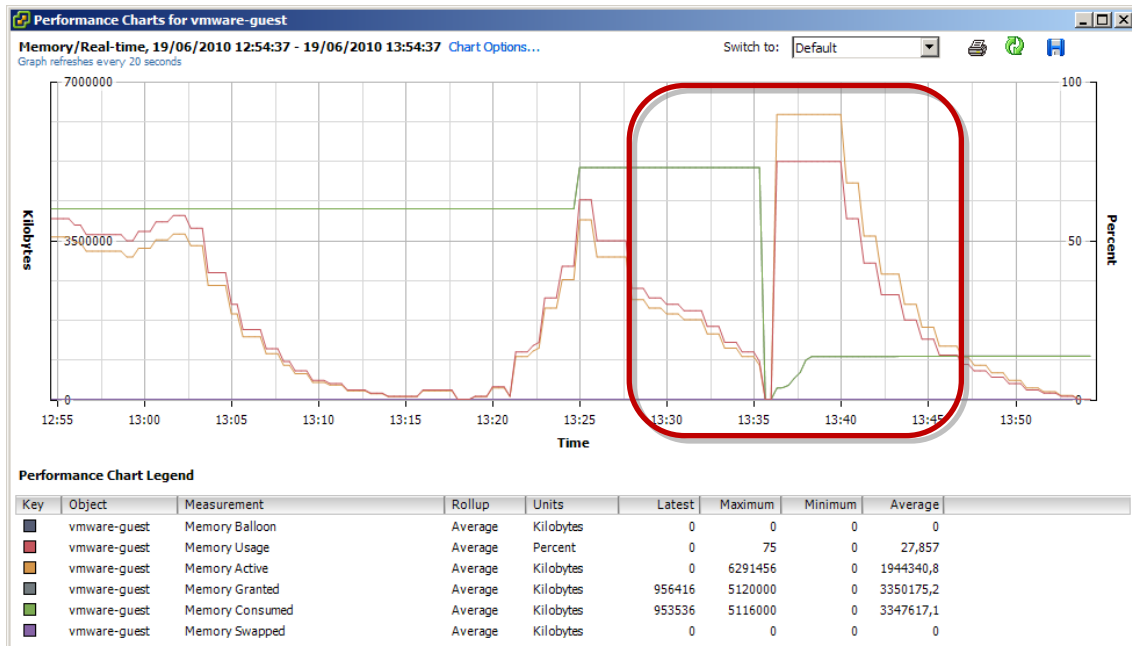
### Gràfic de rendiment de disc:





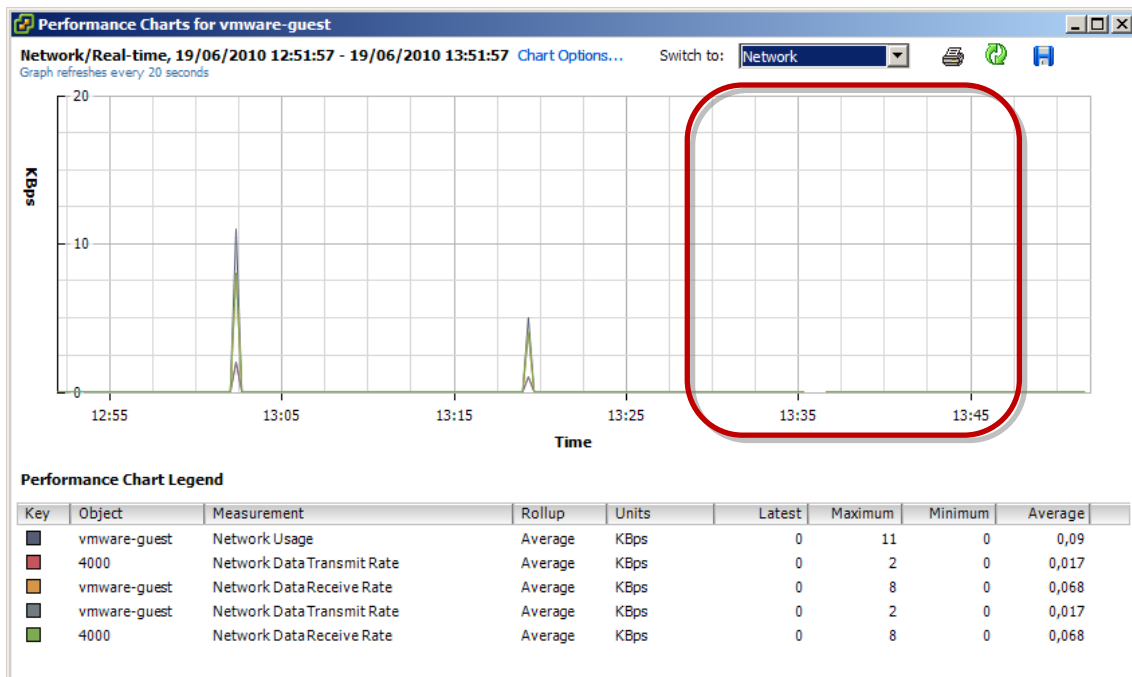
El rendiment del disc no és significatiu i no sembla que pugui tenir una influència gran en el resultat del test de base de dades.

### Gràfic de rendiment de memòria:



L'ús de memòria RAM tampoc arriba als límits assignats a la plataforma, per tant, la seva influència en el resultat no serà determinant.

### Gràfic de rendiment de la xarxa:



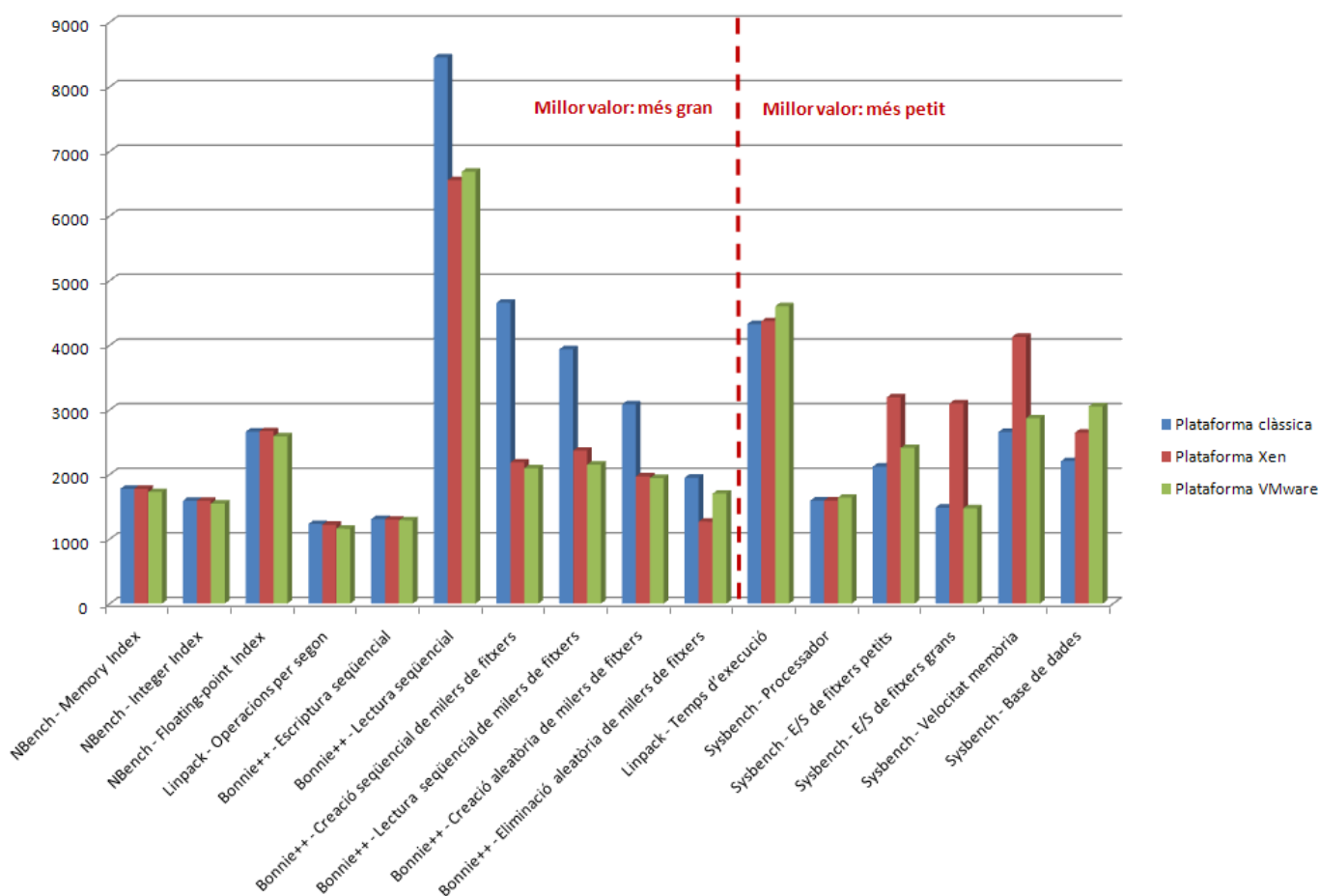
La xarxa del sistema no té cap influència en el resultat del test.

Avaluant les gràfiques, es pot observar que l'únic component que es fa servir intensivament i fins a la seva capacitat màxima és la CPU. De forma sorprenent, el disc no té un paper determinant en aquest test. Aquest fet es deu a que el sistema està equipat amb una quantitat de memòria prou gran i no necessita accedir al disc de manera intensiva per accedir a les dades, ja que la majoria estan ubicats en la memòria RAM del sistema.

En definitiva, si és la CPU el component de més influència en el test, és normal que la plataforma VMware obtingui els pitjors resultats en el test de base de dades, ja que és la que obté pitjor resultats en tots els mesuraments relacionats amb el processador.

### 7.2.5. Resum final

Com a resum final, s'exposen tots els resultats en una única gràfica. S'ajusten les escales de cada valor per a que el gràfic sigui entenedor:



## 8. Conclusions

Un cop analitzats tots els resultats, la primera conclusió que es pot extreure és que la virtualització té un cost real, no negligible i mesurable en entorns determinats i ben acotats.

En el nostre cas, s'ha estimat aquest cost en un **30%** per a la plataforma Xen i en un **18%** per a la plataforma VMware. Podríem dir que el rendiment de la plataforma VMware és superior al de la plataforma Xen, però si es revisen els resultats de cada experiment observarem que cada plataforma té els seus punts forts:

- Xen obté uns valors en rendiment de CPU pràcticament iguals que la plataforma clàssica. Per contra, la plataforma VMware és lleugerament més lenta en rendiment de CPU.
- Si ens centrem en rendiment d'entrada i sortida de disc, la plataforma VMware és més ràpida, tot i que en sis dels vuit experiments relacionats amb disc, la plataforma Xen està molt a prop.
- En el cas de la gestió de la memòria RAM, la plataforma VMware també és més ràpida. De fet, aquest punt és on s'han marcat més les diferències entre les plataformes virtuals.

En anteriors apartats ja s'han comentat les reserves amb les que s'han de prendre els valors estimats del cost de la virtualització, però cal insistir en que s'ha de ser prudent a l'hora de decidir si ens convé o no virtualitzar aplicacions crítiques i altament exigents en quant a rendiment. No ens podem basar únicament en aquests valors, ni en els que ens poden donar els fabricants de sistemes de virtualització, ja que sempre estaran interessats en presentar els valors que resultin més favorables als seus productes. Potser la única manera fiable de saber si una aplicació és virtualitzable amb garanties d'èxit és provar-ho i comparar en entorns productius el seu rendiment. Evidentment, això no és sempre possible, ja que hi ha aplicacions altament crítiques on no és aconsellable fer aquest tipus d'experiments. De tota manera, com s'ha vist als experiments portats a terme en aquest treball, si el component més crític per a l'aplicació és el processador, la virtualització no afectarà en gran mesura i segurament serà recomanable virtualitzar.

En qualsevol cas, la gran majoria d'organitzacions poden treure un gran profit de la implantació d'una plataforma de virtualització. Només pel que suposen factors com l'estalvi energètic, la disminució de l'espai ocupat per servidors al CPD (*Centre de*

*Procés de Dades*), l'estalvi en contractes de manteniment de servidor, els avantatges per a les còpies de seguretat, per mencionar alguns avantatges importants, val la pena tenir una plataforma virtual. Cal tenir en compte que moltes organitzacions tenen una gran quantitat de servidors que no requereixen d'un rendiment excepcional i és aquí on actualment té el seu mercat la virtualització.

Segons un informe de Gartner de finals de 2009, el parc de servidors virtualitzats era d'un 16% sobre el total de servidors en el moment de la realització de l'informe. Tot i que encara dominen els servidors físics, Gartner preveu que l'any 2012 els servidors virtuals seran el 50% del total de servidors amb arquitectura de 32 bits. Aquesta previsió indica que la virtualització s'està imposant ràpidament i es preveu que les plataformes existents al mercat continuïn evolucionant, ja que es tracta d'una tecnologia relativament jove, i en un futur proper permetin una penetració més gran al mercat de servidors d'aplicacions d'altres prestacions.

També cal tenir en compte altres aspectes que afavoririen la instal·lació d'aplicacions d'alt rendiment sobre plataformes virtuals:

- En aquest treball, no hem tingut la possibilitat de provar un emmagatzematge centralitzat i independent del servidor, com una *NAS (Network-Attached Storage)* o una *SAN (Storage Area Network)*, connectat mitjançant *Fibre Channel* o *iSCSI*. Si es compta amb aquest tipus d'emmagatzematge es mitiguen els efectes negatius de la virtualització pel que fa al rendiment de l'entrada i la sortida de disc, ja que es compta amb un accés independent al maquinari molt semblant al que es pot tenir en una plataforma física clàssica. A més, aquests dispositius d'emmagatzematge tenen grans memòries cau, o cache, que permeten un rendiment molt superior a l'emmagatzematge clàssic *DAS (Disk-Attached Storage)* com el que s'ha fet servir en aquest treball.
- És més fàcil disposar d'un gran nombre de servidors comptant amb una plataforma virtual. Si les aplicacions permeten processament paral·lel i distribuït entre diferents servidors, la virtualització pot ajudar a millorar el rendiment, i més si tenim en compte que resulta més econòmic un servidor físic per virtualitzar, dotat d'una gran quantitat de nuclis i de memòria, que no pas els *n* servidors "clàssics" equivalents amb característiques similars.
- L'evolució del maquinari és molt ràpida i els servidors que fa un any o dos eren molt potents, en pocs mesos es veuen superats per altres màquines. Si tenim una aplicació que corria sobre servidors amb quatre nuclis, com és habitual des de fa un parell d'anys, ara es poden fer córrer sobre plataformes virtuals, que

fàcilment poden tenir setze nuclis per servidor de virtualització. Es pot dir que es penalitza el rendiment a igual màquina, però si les prestacions del nou servidor són majors, serà fàcil que el rendiment de l'aplicació sigui equivalent o fins i tot superior en la plataforma virtual.

- En els últims anys, estan sorgint altres tecnologies innovadores relacionades amb la virtualització, com el *Cloud Computing*, que permetran aprofitar els avantatges de la virtualització obtenint un rendiment molt alt.

Com a conclusió final, es pot dir que la virtualització cobreix les necessitats de qualsevol servidor d'aplicacions normals i pot satisfer les necessitats d'aplicacions més exigents que ja es poden considerar d'altres prestacions, sempre que es faci un estudi acurat per evitar sorpreses. Per aplicacions molt específiques amb necessitats realment excepcionals, sobretot pel que fa a disc i maneig de memòria, segurament caldrà seguir utilitzant plataformes clàssiques.

## 9. Comentaris i opinions personals sobre el treball

Durant el desenvolupament del present treball, no han estat poques les dificultats trobades. He cregut interessant afegir-les en aquest petit apartat.

Per començar, i gràcies al meu lloc de treball, he tingut la sort de disposar d'un servidor adequat a casa, fet que m'ha facilitat l'accés a qualsevol recurs necessari, però m'ha obligat a instal·lar les plataformes, configurar-les i intentar que funcionin correctament, sense ser expert en cap d'elles. No ha sigut fàcil fer conviure les tres plataformes en un únic servidor, ja que no estan pensades per funcionar d'aquesta manera.

Un altre problema ha estat el meu desconeixement en quant al funcionament i la gestió de sistemes operatius GNU/Linux, particularment en el que es refereix a la configuració i compilació de programes. Els programaris Benchmark són molt específics i no són eines que facin servir la majoria d'usuaris, per tant, estan enfocats cap a personal més especialitzat i no existeix una informació tant extensa sobre els mateixos que ajudin a fer-los funcionar ràpidament.

Per acabar amb l'apartat de problemes, he hagut de descartar alguns paquets de benchmarks ja que no els he pogut fer funcionar o no he pogut extreure resultats coherents dels mateixos.

Per sort, he pogut solucionar aquests problemes amb el suport del meu consultor i la informació disponible a Internet.

Finalment, realitzar aquest treball m'ha permès aprendre molt sobre les plataformes virtuals analitzades i sobre GNU/Linux. Aquest fet em resultarà molt útil en la meva feina, ja que sóc tècnic de sistemes i m'encarrego d'una plataforma virtual VMware, semblant a la que s'ha avaluat, i multitud de servidors GNU/Linux.

## 10. Glossari

**Benchmark:** programari destinat a l'avaluació del rendiment d'un o varis components d'un sistema informàtic.

**BLAS o "Basic Linear Algebra Subprograms":** interfície de programació d'aplicacions estàndard per publicar llibreries d'execució d'operacions lineals bàsiques algebraiques.

**Boot partition o partició d'inici:** partició de disc amb la capacitat d'iniciar un o varis sistemes operatius.

**Cache o memòria cau:** espai d'emmagatzematge ràpid, però limitat, que permet un accés molt ràpid a les dades que hi té emmagatzemades.

**Cloud computing:** paradigma que permet oferir serveis de computació a través d'Internet.

**Core o nucli:** part del processador que llegeix i executa les instruccions. La majoria dels processadors actuals estan dotats de varis nuclis.

**CPU o processador:** component d'un ordinador que llegeix i executa les instruccions.

**DAS o "Direct-attached storage":** emmagatzematge clàssic directament connectat a un ordinador.

**Dom0 o domini 0:** primera instància del sistema operatiu que arrenca el *kernel Xen*. Aquesta instància té la capacitat d'iniciar altres instàncies, o servidors virtuals.

**Fibre Channel:** tecnologia de xarxa per connectar amb enllaços ràpids, amb velocitats superiors al gigabyte, servidors amb emmagatzematge remot.

**FPU o Unitat de Punt Flotant:** component del processador d'un ordinador especialitzat en càlculs en coma flotant.

**Guest o servidor virtual:** servidor que funciona sobre una plataforma de virtualització.

**Hardware o maquinari:** parts físiques i tangibles d'un ordinador. Qualsevol component físic d'un ordinador és considera hardware.

**Host:** servidor físic amb un sistema de virtualització instal·lat.

**Hypervisor:** capa dels sistemes de virtualització que permet l'accés per part dels servidors virtuals als recursos físics del maquinari.

**iSCSI o "Internet Small Computer System Interface":** protocol de xarxa per a la connexió de dispositius d'emmagatzematge amb servidors.

**Kernel:** nucli del sistema operatiu. Responsable de facilitar l'accés als recursos de maquinari als programes que funcionen en un ordinador.

**MySQL:** programari gestor de bases de dades gratuït i molt popular.

**NAS o "Network-attached storage":** tecnologia d'emmagatzematge dedicada a compartir la seva capacitat d'emmagatzematge mitjançant una xarxa.

**Paravirtualització:** tècnica que s'aplica a alguns sistemes de virtualització que proveeix d'accés directe al maquinari al sistema operatiu virtualitzat.

**Plataforma virtual:** programari que permet fer funcionar varis servidors virtuals sobre un únic servidor físic, distribuït i compartint recursos.

**RAID o "Conjunt Redundant de Discs Independents":** sistema d'emmagatzematge que permet distribuir i replicar les dades entre múltiples discs durs, per obtenir seguretat i rendiment.

**RAM o memòria d'accés aleatori:** component d'un ordinador des del que el processador rep les instruccions i emmagatzema els resultats.

**SAN o "Storage Area Network":** arquitectura de xarxa que agrupa dispositius d'emmagatzematge remots i els presenta als servidors com si fossin dispositius locals.

**Software o programari:** equipament lògic o suport lògic d'un ordinador. Tant el sistema operatiu com els programes normals són software.

**Storage pool:** espai de disc destinat a la ubicació de discos virtuals, als que tindran accés els servidors virtuals.

**Threads o fils d'execució:** sub-procés que permet a una aplicació realitzar diverses tasques a la vegada.

**Virtualització:** tècnica que permet abstraure els recursos físics d'un servidor i posar-los a disposició de servidors virtuals.

**Volum LVM:** implementació d'un administrador de volums lògics per GNU/Linux. Permet obtenir flexibilitat en la gestió de volums de disc.



# 11. Bibliografia i fonts consultades

1. Documentació oficial de Xen:  
<http://www.xen.org/support/documentation.html>
2. Documentació oficial de CentOS: <http://www.centos.org/docs/5>
3. Definició de paravirtualització de la Wikipedia:  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Paravirtualizaci%C3%B3n>
4. Documentació oficial de VMware: <http://www.vmware.com/support/pubs>
5. VMware Tools installation Guide:  
[http://pubs.vmware.com/server1/vm/wwhelp/wwhimpl/common/html/wwhelp.htm?context=vm&file=tools\\_server.4.3.html](http://pubs.vmware.com/server1/vm/wwhelp/wwhimpl/common/html/wwhelp.htm?context=vm&file=tools_server.4.3.html)
6. VMware Performance Tuning:  
[http://www.vmware.com/pdf/vi\\_performance\\_tuning.pdf](http://www.vmware.com/pdf/vi_performance_tuning.pdf)
7. Portal sobre virtualització: <http://www.virtualizacion.com>
8. Informe de Gartner sobre virtualització:  
<http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1211813>
9. Definició de benchmark de la Wikipedia:  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Benchmark>
10. Guia de benchmarking en Linux:  
<http://es.tldp.org/COMO-INSFLUG/es/pdf/Benchmarking-COMO.pdf>
11. Una altra guia de benchmarking en Linux:  
<http://www.linuxhq.com/lg/issue24/Article3e-1.html>
12. Linux Benchmark Suite Homepage: <http://lbs.sourceforge.net>
13. Web oficial de NBench Byte: <http://www.tux.org/~mayer/linux/bmark.html>
14. Web oficial de Sysbench: <http://sysbench.sourceforge.net>
15. Web oficial de HPL Linpack: [www.netlib.org/benchmark/hpl/](http://www.netlib.org/benchmark/hpl/)

16. Documentació de MPICH:

<http://www.mcs.anl.gov/research/projects/mpich2/documentation/index.php?s=docs>

17. Documentació de ATLAS: <http://math-atlas.sourceforge.net/faq.html#doc>

18. Web oficial de Bonnie++: <http://www.coker.com.au/bonnie++/>