

# Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA

**Enginyeria Tècnica de Telecomunicacions especialitat Telemàtica**

**Ethernet, WI-FI i HomePlug AV  
Diferències teòriques i pràctiques sobre el simulador NS-2**

**Memòria**

**TÀNIA ROS CODINA  
PONENT: PERE BARBERAN**

TARDOR 2011



TecnoCampus  
Mataró-Maresme







## **Agraïments**

Donar les gràcies al meu xicot, a la meva mare i al recolzament que m'han donat els de casa...gràcies als meus amics per aquesta amistat tant gran i l'ajuda que m'heu donat.



## **Resum**

En aquest TFC s'ha intentat d'ur a terme un estudi del rendiment de les xarxes destinades a la llar en les tres tecnologies més utilitzades actualment com ho són: les xarxes d'àrea local amb cablejat estructurat, Ethernet, les xarxes sense fils, com les de la família del 802.11 i les xarxes sense necessitat de nou cablejat i utilitzant la línia elèctrica de baixa tensió de les llars, PLC-HomePlug AV. L'objectiu teòric del TFC és explicar de manera senzilla la manera en que són transferides les dades en aquestes tres tecnologies i en la part pràctica, mitjançant NS-2, AWK i Matlab, poder entendre i comparar el rendiment i eficiència que aquestes ens puguin oferir.

## **Resumen**

En este TFC se ha intentado llevar a cabo un estudio del rendimiento y eficacia de las redes destinadas a la casa en las tres tecnologías más utilizadas actualmente como son: las redes de área local con cableado estructurado, Ethernet, las redes sin cableado, como las de la familia de 802.11 y las redes sin necesidad de cableado nuevo y utilizando la línea eléctrica de baja tensión de las casas, PLC-HomePlug AV. El objetivo teórico del TFC es explicar de manera sencilla la manera en que los datos son transferidos en estas tres tecnologías y en la parte práctica, mediante NS-2, AWK y Matlab, poder entender y comparar el rendimiento y eficiencia que éstas nos puedan ofrecer.

## **Abstract**

In this TFC we have tried to carry out the performance of the housing network with the three most used technologies which are: local area network Ethernet, the wifi networks like the 802.11 one's, and the networks that don't need any new cable using the houses low voltage electric lines, PLC-Home Plug AV. The theoretical goal of TFC is to explain easily the way how is the data transferred in these three technologies and on the practical part, using NS-2, AWK and Matlab, understand the performance and efficiency that these can offer.





# Índex.

Índex de figures.....	III
Índex de taules.....	VII
Glossari de termes. ....	IX
1. Objectius.....	1
1.1. Propòsit. ....	1
1.2. Finalitat. ....	1
1.3. Objecte. ....	1
1.4. Abast. ....	1
2. Fonaments teòrics.....	3
2.1. Xarxes amb cablejat estructurat. ....	3
2.1.1. Introducció. ....	3
2.1.2. Ethernet: tecnologia per xarxes d'àrea local. ....	4
2.2. Xarxes sense cablejat estructurat. ....	6
2.2.1. IEEE 802.11. ....	6
2.3. Xarxes amb cablejat existent. ....	9
2.3.1. Introducció i història del PLC. ....	9
2.3.2. Funcionament del PLC.....	12
2.3.4. HomePlug AV. Què és i Com funciona. ....	17
2.3.5. Especificacions del HomePlug AV. ....	18
2.4. Tecnologia alternativa sense cablejat.....	25
2.4.1. IEEE 802.15 .....	25
2.4.2. Bluetooth.....	25
2.5. Tecnologia alternativa amb cablejat .....	26
2.5.1. HomePNA. ....	26
2.5.2. Multimèdia sobre cablejat coaxial.....	26
2.6. Simulador NS-2. ....	28
2.6.1. Introducció al simulador.....	28
2.6.2. Casos en dur a terme una simulació. ....	28
2.6.3. Avantatges i desavantatges de les simulacions. ....	29
2.6.4. Elecció del simulador. ....	30
2.6.5. Eina NAM (Network Animator). ....	32

2.6.6. Eina XGRAPH. ....	34
2.6.7. AWK. ....	35
3. Implementació en l'ambient de proves. ....	36
3.1. Instal·lació del simulador. ....	36
3.1.1. Sistema Operatiu. ....	36
3.1.2. Instal·lació del NS-2.....	36
3.1.3. Compilació paquet HomePlug AV.....	38
3.2. Escenaris, Comparacions i Conclusions.....	40
3.2.1. Estudi del rendiment en mode ad-hoc amb 802.11b. ....	41
3.2.2. Estudi del rendiment en mode infraestructura amb 802.11b i transmissions TCP.....	47
3.2.3. Escenaris Ethernet: xarxes d'àrea local.....	52
3.2.4. Resultats pràctics amb HomePlug AV. ....	56
3.2.5. Comparacions i conclusions .....	58
4. Valoració econòmica.....	60
4.1. Costos Directes .....	60
4.2. Amortització .....	60
4.2.2. Hardware .....	61
4.3. Costos indirectes.....	61
4.4. Taula resum .....	61
5. Conclusions .....	62
6. Referències. ....	64

## Índex de figures.

Fig. 2.1. Protocols usats per estàndard 802.11.....	6
Fig. 2.2. BSS sense AP.....	7
Fig. 2.3. Conjunt de serveis ampliat ESS.....	8
Fig. 2.4. Rang de freqüències PLC.....	14
Fig. 2.5. Arquitectura PLC (Outdoor).....	16
Fig. 2.6. Arquitectura PLC (Indoor).....	17
Fig. 2.8. Elements de xarxa PLC dins la llar.....	17
Fig. 2.9. Canal línia elèctrica del PLC.....	18
Fig. 2.10. Diagrama d'una xarxa HomePlug.....	23
Fig. 2.11. Ampla de banda de la modulació OFDM.....	26
Fig. 2.12. Diagrama de flux CSMA/CA.....	27
Fig. 2.13. Comportament protocol CSMA/CA i NAV.....	29
Fig. 2.14. Jerarquia de classes del NS-2.....	36
Fig. 2.15. Estructura NS-2.....	37
Fig. 2.16. Editor NAM.....	37
Fig. 2.17. Elements NAM.....	39
Fig. 3.1. Representació NAM simulació ad-hoc 2 nodes.....	41
Fig. 3.2. Throughput simulació ad-hoc 2 nodes 802.11b TCP.....	43
Fig. 3.3. Throughput simulació ad-hoc 2 nodes 802.11b UDP.....	44

Fig. 3.4. Throughput simulació ad-hoc 2 nodes 802.11b TCP i UDP .....	45
Fig. 3.5. Representació NAM simulació ad-hoc 3 nodes 802.11b .....	45
Fig. 3.6. Throughput simulació ad-hoc 3 nodes 802.11b TCP i UDP .....	46
Fig. 3.7. Representació NAM simulació infraestructura 1 node mòbil .....	47
Fig. 3.8. Throughput simulació infraestructura 802.11b TCP .....	49
Fig. 3.9. Throughput simulació infraestructura 802.11b UDP .....	49
Fig. 3.10. Representació NAM simulació infraestructura 2 nodes mòbils .....	50
Fig. 3.11. Throughput simulació infraestructura 802.11b TCP i UDP .....	51
Fig. 3.12. Model canal compartit utilitzat per NS-2.....	52
Fig. 3.13. Representació NAM simulació Ethernet 2 nodes .....	53
Fig. 3.14. Throughput xarxa Ethernet 2 nodes TCP i UDP.....	54
Fig. 3.15. Representació NAM simulació Ethernet 3 nodes.....	54
Fig. 3.16. Throughput xarxa Ethernet 3 nodes TCP i UDP.....	55
Fig. 3.17. Possible escenari real HPAV.....	57
Fig. 3.18. Throughput xarxa HPAV amb TCP i UDP .....	57





## **Índex de taules.**

Taula 2.1. Taula comparativa tecnologia alternativa amb cablejat.....	27
Taula 2.2. Taula comparativa tecnologia alternativa sense fils.....	27
Taula 2.3. Taula comparativa tecnologia amb cablejat per a la llar.....	28





## Glossari de termes.

AP	Punt d'accés ( <i>Access Point</i> )
ACK	Garantia d'arribada d'un paquet ( <i>Acknowledgement</i> )
AODV	Protocol d'enrutament per nodes mòbils ( <i>Ad hoc On-Demand Distance Vector</i> )
BPL	Banda ampla sobre la línia elèctrica ( <i>Broadband PowerLine</i> )
BS	Estació Base ( <i>Base Station</i> )
BSA	Àrea de serveis bàsics ( <i>Basic Service Area</i> )
BSS	Conjunt de serveis bàsics ( <i>Basic Service Set</i> )
BT	Baixa tensió
CBR	Quantitat de bits constants ( <i>Constant Bit Rate</i> )
CCO	Mòdul de coordinador central
CSMA/CA	Accés Múltiple per detecció de portadora amb evasió de col·lisions ( <i>Carrier Sense Multiple Access Collision with Avoidance</i> )
CSMA/CD	Accés Múltiple per detecció de portadora i detecció de col·lisions ( <i>Carrier Sense Multiple with Collision Detection</i> )
DAB	Ràdio Digital
DCF	Funció de Coordinació Distribuida ( <i>Distributed Content Framework</i> )
DIFS	Utilitzat per les dades DCF ( <i>DCF InterFrame Space</i> )
DRM	Ràdio Digital de baixa Freqüència
EIFS	Utilitzat quan PHY indica que la recepció no és correcta ( <i>Extended InterFrame Space</i> )

ESS	Conjunt de serveis ampliat ( <i>Extended Service Set</i> )
FCC	Comissió Federal de les Comunicacions ( <i>Federal Commission of Communications</i> )
FEC	Correcció a l'error ( <i>Forward Error Correction</i> )
FP	Projecte final de carrera ( <i>Final Project</i> )
HPAV	Estàndard HomePlug AV
LAN	Xarxa d'àrea local
MAC	Control d'accés al medi
Mbps	Megabits per segon
MoCA	Multimèdia sobre cable coaxial ( <i>Multimedia over Coaxial Cables</i> )
NAM	Part gràfica del simulador NS-2 ( <i>Network Animator</i> )
NS	Referent al simulador de xarxes NS-2 ( <i>Network Simulator 2</i> )
OFDM	Multiplexació per divisions de freqüències ortogonals ( <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> )
OSI	Model de referència d'interconnexió de sistemes oberts o Pila de Referència OSI
PAN	Àrea de xarxa personal ( <i>Personal Area Network</i> )
PCF	Funció de Coordinació Puntual
PLC	Comunicacions en baixa tensió ( <i>PowerLine Communication</i> )
PLT	Telecomunicacions en baixa tensió ( <i>PowerLine Telecommunication</i> )
QAM	Modulació d'amplitud de quadratura
QoS	Qualitat de servei

RTS	Sol·licitud d'enviament
SIFS	Utilitzat per ACK, CTS ( <i>Short InterFrame Space</i> )
TCP	Protocol de control de transmissió ( <i>Transfer Control Protocol</i> )
TFC	Treball Final de Carrera
UDP	Protocol de datagrames d'usuari ( <i>User Datagram Protocol</i> )



# **1. Objectius.**

## **1.1. Propòsit.**

Presentar les diferents tecnologies emprades en xarxes d'àrea local, per poder realitzar-ne un estudi i conèixer les eines necessàries per fer-ho.

## **1.2. Finalitat.**

Entendre el concepte del rendiment de les xarxes, especialment aquelles que són destinades a la llar, en tres tecnologies diferents com ho són Ethernet, WI-FI i PLC – HomePlug AV. Comparar el funcionament i la eficiència de cada una d'elles.

Tenir un coneixement teòric del funcionament de les xarxes en les tres tecnologies anteriors a l'igual que conèixer l'eina i el llenguatge de programació necessaris per crear la part pràctica.

## **1.3. Objecte.**

Aquesta memòria consta de cinc parts, la primera consta dels objectius d'aquest treball, la segona està formada per la part teòrica necessària per entendre el concepte en que s'ha treballat, en la tercera, es desenvolupa la part pràctica, on s'han creat una sèrie d'escenaris simulats amb NS-2 , descrits i comparats, a la quarta part es presenta la valoració econòmica, i en la cinquena la finalització, conclusions, i la bibliografia .

## **1.4. Abast.**

Amb l'estudi d'aquestes tres tecnologies, s'arribarà a comparar la capacitat de cada una de les tecnologies estudiades, i així poder trobar la que millor s'adapti en un ambient proposat.



## 2. Fonaments teòrics.

### 2.1. Xarxes amb cablejat estructurat.

#### 2.1.1. Introducció.

Una xarxa, és un conjunt de dispositius, anomenats nodes, que estan interconnectats per enllaços d'un medi físic. Un node pot ser, una computadora, una impressora o qualsevol altre dispositiu capaç d'enviar i/o rebre dades generats per altres nodes de la xarxa.

Per que una xarxa sigui considerada efectiva i eficient, ha de satisfer un cert nombre de criteris, uns dels més importants són el rendiment, la fiabilitat i la seguretat.

La *seguretat*, es refereix al contingut, a protegir la informació que contenen els paquets que es transmeten per la xarxa. S'han d'implementar eines per proporcionar seguretat al contingut.

La *fiabilitat*, ve donada pel grau de cura que es te de la xarxa perquè funcioni correctament sense impediments. Per exemple, evitant tant soroll com sigui possible, o permetent que la xarxa segueixi en funcionament si un node no treballa correctament.

El *rendiment*, es pot mesurar de diverses maneres. Amb el temps de trànsit, que és la quantitat de temps necessari per que un missatge viatgi des d'un node al següent. O també amb el temps de resposta, que és la velocitat que tarden en posar-se en contacte dos nodes entre si.

El rendiment d'una xarxa depèn de diferents factors, entre ells, el nombre d'usuaris, el tipus de mitjà de transmissió, la capacitat del hardware connectat i l'eficiència del software. I podem mesurar-lo normalment utilitzant dues mètriques, l'ampla de banda i la latència.

Existeixen diferents tipus de xarxes segons la seva utilització per part dels usuaris, aquestes poden ser compartides o exclusives.

Les xarxes dedicades o exclusives, són aquelles que per motius de seguretat, velocitat o absència d'altres tipus de xarxes, connecten dos o més punts de forma exclusiva. Aquest tipus de xarxes es poden estructurar en xarxes punt a punt o multipunt.

- Xarxa punt a punt : són aquelles que responen a un tipus d'arquitectura de xarxa en els que cada canal de dades s'utilitza per comunicar únicament dos node.

- Xarxa multipunt : Una configuració de línia multipunt, és aquella en la que un enllaç de dades es pot utilitzar per comunicar-se amb diferents nodes. En una xarxa multipunt la informació flueix de manera bidireccional i discernible per a tots els nodes que hi estiguin connectats. En aquest tipus de xarxa, els terminals competeixen per l'ús del medi (línia o enllaç) de manera que el primer que el troba disponible l'ocupa, tot i que també pot negociar el seu ús. Per tant d'aquesta manera es comparteix la línia per torns.

Aquest tipus d'enllaç segons els sentit de les comunicacions, es poden classificar en:

- Símplex: La transacció és en un sol sentit
- Half-Dúplex: La transacció es realitza en ambdós sentits però de forma alternativa
- Full-Dúplex : Les transaccions es poden dur a terme en ambdós sentits simultàniament.

### **2.1.2. Ethernet: tecnologia per xarxes d'àrea local.**

Ethernet és un estàndard que defineix les característiques de cablejat i senyalització de nivell físic i els formats de trames de dades del nivell d'enllaç de dades del model OSI.

És un estàndard per a xarxes d'àrea local (LAN) que transmet informació entre computadors a una velocitat de 10 Mbps (Ethernet), 100 Mbps (Fast Ethernet) o 1000 Mbps (Gigabit Ethernet).

La topologia d'una xarxa d'àrea local, defineix l'estructura d'interconnexió dels diferents equips que formen part de la xarxa local, depenent de la disposició en estrella, bus, etc, sorgeixen diferents topologies de xarxa .

Així doncs, s'entén per topologia de xarxa, l'esquema geomètric de l'estructura enllaçada de tots els nodes mitjançant el medi físic de transmissió.

La cooperació de tots els elements, amb independència de la topologia que s'ha fet servir, ha de ser capaç de realitzar les funcions necessàries per a una comunicació eficaç entre els diferents elements de la xarxa.

El mètode d'accés determina el procés d'adquisició del medi i la manera en que les estacions comparteixen la xarxa de comunicació per que no hi hagin conflictes o col·lisions entre elles, resolent-los.

L'estàndard 802.3 fa correspondre la seva capa física amb la capa física del model OSI, però la capa d'enllaç, separa les funcions de la capa d'enllaç en dues subcapes



diferenciades: la subcapa Control d'enllaç lògic (LLC) i la subcapa Control d'accés al medi (MAC). Aquestes subcapes contribueixen notablement a la compatibilitat entre diversos dispositius finals.

La subcapa LLC s'encarrega de la comunicació entre les capes superiors i el software de xarxa, i les capes inferiors, que generalment és hardware. LLC es podria considerar com el controlador de la targeta d'interfície de xarxa (NIC).

La subcapa MAC té principalment dues responsabilitats, l'encapsulació de dades i el control d'accés al medi.

L'encapsulació de dades proporciona tres funcions bàsiques: delimita les trames, les direcciona, i detecta els errors.

Pel que fa al control d'accés al medi Ethernet, tant si és de velocitats Ethernet, Fast Ethernet o Gigabit Ethernet ofereix el mateix mètode per determinar-lo. Aquest mètode es l'Accés múltiple amb detecció de portadora amb detecció de col·lisions (CSMA/CD) que exigeix que qualsevol participant de la xarxa ha d'escollar en un determinat temps el canal per comprovar que cap computador està transmetent (Carrier Sense).

Quan cap computador transmet, qualsevol d'aquests té l'oportunitat de transmetre les seves dades, cap te prioritat sobre una altre (Multiple Access).

En el cas que dues computadores comencin a transmetre al mateix temps, elles mateixes se n'adonaran degut a la col·lisió que hi haurà i deixaran de transmetre (Collision Detection).

És a dir, cada estació ha d'esperar que no hi hagi cap senyal sobre el canal, llavors pot començar a transmetre; si una altre interfície (targeta de xarxa) està transmetent en aquell moment, hi haurà una senyal sobre el canal, anomenat "carrier", i per tant totes les demés estacions s'hauran d'esperar un temps anomenat IFG (interframe gap de 96 bit time : temps que es tarda en transmetre 96 bits) fins que la primera acabi, per poder transmetre.

Per exemple, si en un canal Ethernet de 10 Mbps hi ha una senyal, degut a que una estació està transmetent en aquell moment, l'altre estació, que també vol transmetre, s'haurà d'esperar a que el "carrier" acabi, aproximadament uns 9.6 microsegon.

El senyal de bits té un temps finit per viatjar des d'un extrem del cable Ethernet a l'altre, si aquest temps és superat, es descarta.

En el cas que dues estacions escoltin el canal, aquest estigui lliure i comencin a transmetre a la vegada, l'estàndard Ethernet censa la col·lisió de senyal i para la transmissió (Collision Detect) i intentarà transmetre passat un període de temps. Ho farà notificant les estacions implicades i immediatament "re programant" la transmissió de totes dues utilitzant un algoritme especial de "backoff", que farà que no tornin a transmetre al mateix temps.

Tot i això les col·lisions són normals i tolerables dins d'un mètode d'accés CSMA/CD degut a la manera en que està dissenyat.

## 2.2. Xarxes sense cablejat estructurat.

La tecnologia sense fils possiblement proporciona un camí més fàcil per a la connectivitat a la llar que els de cablejat estructurat, ja que els usuaris no tenen restriccions per a qualsevol àrea de la llar.

Moltes d'aquestes tecnologies han estat desenvolupades per a diferents propòsits, unes són per a curtes distàncies i altres per a llargues distàncies.

### 2.2.1. IEEE 802.11.

Les tecnologies més utilitzades de les xarxes sense fils són els 802.11g i 802.11b, amb les seves pròpies característiques però realment similars.

A la següent figura, es mostra la pila de protocols usats per aquest estàndard 802.11.

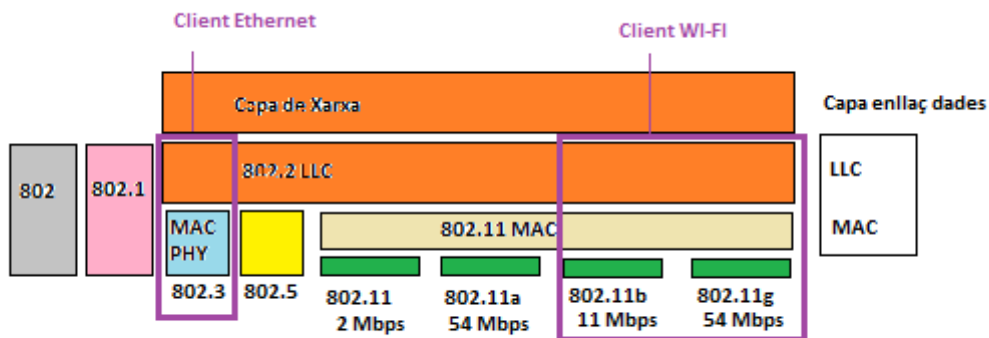


Fig. 2.1. Protocols usats per estàndard 802.11.

La capa física correspon exactament amb la capa física OSI, però la capa d'enllaç de dades dels protocols 802, es divideixen en dues i més subcapes.

La subcapa MAC determina la forma en que es assignat el canal, és a dir, a qui li toca transmetre a continuació. [1]

L'estàndard 802.11, defineix dos serveis de configuració:

## Arquitectura BSS i ESS.

Aquest estàndard defineix dos tipus de servei:

1. El conjunt de serveis bàsics (BSS)
2. El conjunt de serveis ampliat (ESS)

BSS normalment defineix un grup d'estacions mòbils connectades un punt d'accés (AP) que alhora les connecta a una LAN amb cablejat.

Si la BSS no té AP és anomenada una xarxa ad hoc, que constitueix una petita LAN. En canvi si disposa d'un AP s'anomena xarxa amb infraestructura.

**BSS:** Conjunt de serveis bàsics

**AP:** Punt d'accés

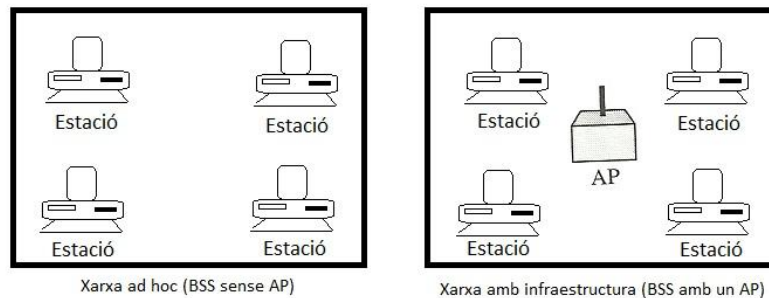


Fig. 2.2. BSS amb i sense AP.

ESS es compon bàsicament de dues o més BSS amb AP. A grans trets es pot dir que si es disposa de més d'un Access Point ens trobem dins d'un sistema de serveis ampliat

Aquest sistema de distribució connecta als AP amb els BSS .

L'estàndard IEEE 802.11 no imposa cap restricció al sistema de distribució, ja que pot ser una LAN IEEE com una Ethernet.

El conjunt de serveis ampliat utilitza dos tipus d'estacions: fixes i mòbils.

Les estacions fixes són punts d'accés que formen part de la LAN amb cable.

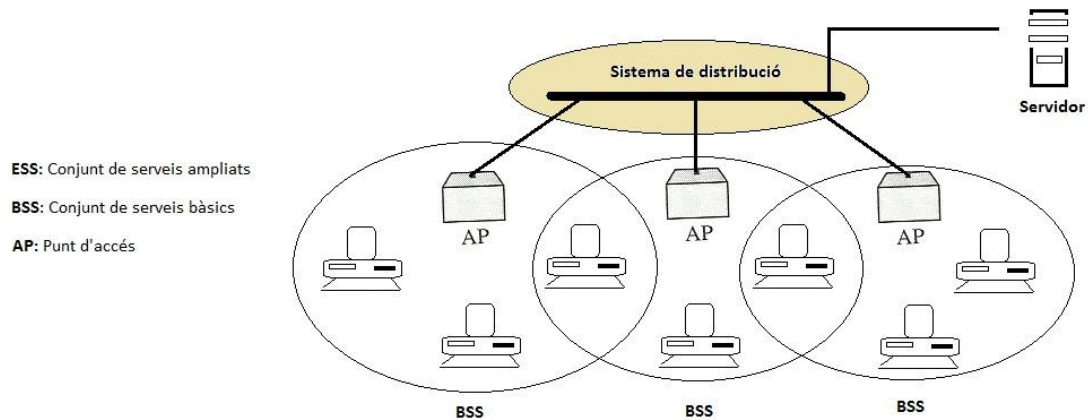


Fig. 2.3. Conjunt de serveis ampliat. ESS

Aquest tipus d'accés mòbil a Internet s'ha convertit en un dels més populars, on pot ser considerat la versió sense fils de la Ethernet, oferint accés d'informació mòbil, comunicacions multimèdia en temps real, jocs en xarxa; on es requereix suficient banda ampla.

IEEE 802.11b té dos mètodes de transmissió pels paquets de dades, la PCF (Point Coordination Function) amb el mètode d'accés variable i la DCF (Distributed Coordination Function), utilitzant el protocol CSMA/CA, Accés Múltiple per Detecció de Portadora amb Evasió de Col·lisions (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance).

### **Funció Coordinació Distribuïda DFC .**

La DCF està basada en el protocol d'accés al medi amb detecció de portadora (CSMA/CA); és a dir, si un node o estació vol transmetre, abans haurà d'escoltar el canal, si l'estació detecta que el canal es troba lliure en un temps determinat anomenat DIFS (Distributed Inter-Frame Spaces), inicia la seva transmissió.

La diferència bàsica amb el CSMA/CD es que cada equip anuncia abans la seva intenció de transmetre per així poder evitar col·lisions. D'aquesta manera els altres equips de la xarxa seran conscients de quan hi pot haver col·lisions, i en comptes de transmetre la trama tan bon punt el medi estigui lliure, esperaran un temps aleatori, i només si després d'aquest interval de temps el medi segueix lliure, procedirà a la transmissió, reduint així la probabilitat de col·lisió.

Si un equip aconsegueix transmetre la trama, esperarà una resposta afirmativa de recepció de l'equip al que la enviava.

Aquest mètode assegura que el missatge es rep correctament, per baixa l'eficiència de la xarxa ja que n'augmenta el volum de trànsit.

## **Funció Coordinació Puntual PCF.**

Aquest, és un mètode d'accés opcional que es pot utilitzar en una xarxa amb infraestructura, és a dir ,un conjunt de serveis bàsics (BSS) amb un punt d'accés (AP).

El PCF permet que un punt d'accés actuï com a coordinador de la xarxa per a manejar l'accés al canal

Aquest mètode és implementat sobre la funció de coordinació distribuïda (DCF).

## **2.3. Xarxes amb cablejat existent.**

### **2.3.1. Introducció i història del PLC.**

La xarxa de cables per al transport de l'energia elèctrica té origen en les centrals generadores, tals com: hidroelèctriques i tèrmiques, les més conegudes en el nostre medi.

Des d'aquestes centrals, és transportada l'energia a través d'una xarxa de cables anomenada d'alta tensió fins a les empreses distribuïdores.

Aquestes empreses tenen com a objectiu distribuir l'energia elèctrica fins als diferents consumidors de diferents ciutats, pobles i llocs allunyats on és necessària la xarxa de cables de mitja tensió.

Mitjançant transformadors de mitja i baixa tensió es fa possible aquest ús per als consumidors.

D'aquesta manera, s'aconsegueix que l'energia elèctrica arribi a llocs on els serveis de telecomunicacions actuals encara no han arribat.

PLC (Power Line Communications) aprofita aquesta xarxa de cablejat tant extens, per fer-ne ús en el servei de les telecomunicacions.

Aquesta tecnologia ha estat anomenada de diverses maneres: BPL (Broadband Power Line), PLT (Power Line Telecommunication), però l'objectiu d'aquesta tecnologia acaba sent sempre el mateix.

En la història del PLC, i per dur a terme aquesta tecnologia a un nivell més elevat, s'han creat grups de treball i fòrums com el PLC fòrum, on es recolza i fomenta el desenvolupament i normalització d'aquesta tecnologia.

Els grups més importants actualment són:

- PLC fòrum.
- UPA (Universal PowerLine Association).
- PUA (PLC Utilities Alliance).
- HomePlug Alliance.

Mitjançant la tecnologia PLC, es poden oferir a l'usuari diferents aplicacions i usos, com ara veu, vídeo i dades, que són justament els serveis de telecomunicacions que ofereixen amb banda ampla.

La lectura dels comptadors va ser l'inici de la utilització de la tecnologia PLC per a la transmissió de dades a baixa velocitat, les empreses elèctriques van començar a utilitzar les seves pròpies xarxes elèctriques per a l'ús intern.

A principis dels anys 20, sorgeix la idea d'utilitzar la comunicació a través de la xarxa elèctrica, i apareixen les patents relacionades amb les comunicacions PLC, sense aportar una idea clara del que aquesta tecnologia podia aportar.

Més endavant, es comença a operar amb el primer sistema de freqüència amb portadora (CFS) en les línies d'alta tensió, en un rang de freqüències que va de 15 fins 500 kHz. En xarxes d'alta tensió es va arribar fins a 500 Km de distància, utilitzant 10 W d'energia.

Uns anys més tard, a principis dels anys 30, el CFS operava amb xarxes de mitja i baixa tensió, mitjançant la Senyalització d'Ones en la Portadora (RCS), i van començar les transmissions de dades en un rang de freqüència de 125 Hz i 3 kHz, però tot això, amb un problema, es tenia un limitat ample de banda, és a dir, d'uns pocs bits per segon.

A finals dels anys 90, al Canadà i Anglaterra es va presentar al mercat, una tecnologia que podia aconseguir que Internet fos accessible des de la xarxa elèctrica, naixent el PLC comercial.[4]

Aquesta situació de la tecnologia PLC, va millorar molt quan al alliberar-se el mercat de les telecomunicacions i d'energia, fent uns grans avenços en els camps de la modulació, codificació i detecció, permetent així la comunicació de banda ampla sobre les línies d'energia elèctriques.

Per altra banda, l'ús de la xarxa de baixa tensió (BT) per donar accés a Internet va néixer com una alternativa per problemes que presentava ADSL, el cable mòdem o accés sense fils.

A començaments del 2005, la FCC (Federal Commission of Communications), òrgan regulador dels EEUU, realitza un anunci oficial en el que manifestava el seu recolzament a la tecnologia PLC.

Més endavant, la FCC adopta unes normes per facilitar el desenvolupament en l'accés PLC, és a dir, l'ús de la tecnologia PLC per proporcionar serveis de banda ampla a llars i negocis.

El 2006, la Unió Europea, publica en el seu butlletí una recomanació de la Comunitat sobre les comunicacions electròniques de banda ampla en xarxes elèctriques, que animava a tots els membres de la indústria del PLC a unir els esforços per afavorir a aquesta tecnologia i així poder convertir-se en una alternativa real a les tecnologies de banda ampla actuals.

A finals del 2006, HomePlug PowerLine Alliance suggereix AV coma a estàndard PLC. Aquest oferia una taxa de dades sobre els 200 Mbps amb un rendiment real d'aproximadament 100 Mbps.

L'octubre de 2010, s'anuncia l'especificació AV2, que integra l'estàndard IEEE 1901 per accelerar la transmissió de dades.

Aquest nou estàndard HomePlug AV2, incrementa el rendiment en la capa d'aplicacions fins a cinc vegades més que fins ara tenia HomePlug AV, permetent així múltiples descàrregues de vídeo d'alta definició de manera simultània.

Actualment, també es realitzen millores en el rang del nou estàndard AV2, amb nodes addicionals a la xarxa que s'utilitzen com a repetidors per permetre que la senyal s'estengui a totes les parts de la llar, empresa, edifici ...

La possibilitat de construir una arquitectura de xarxa dins de la llar, fa que les comunicacions PowerLine, un tema d'actualitat amb especial importància, faciliti la implementació d'una xarxa a la llar sense la necessitat de realitzar un cablejat específic.

La tecnologia HPAV és un sistema que aprofita el cablejat, ja existent, de la xarxa elèctrica per a la transmissió de les dades, vídeo o veu, conegut com Triple-Play, basat en el protocol IP.

Igual que ADSL va néixer per optimitzar el transport de les dades i oferir servei de banda ampla, aprofitant el cablejat de xarxa telefònica, PLC també va néixer amb la finalitat d'aprofitar l'estructura del cablejat de la xarxa elèctrica per a la transmissió de les dades.

En la xarxa telefònica, la veu ocupa un ampla de banda de 4 kHz i utilitzant el mateix medi, l'ADSL utilitza un rang de freqüència de 25 kHz fins a 1.1 MHz.

Anàlogament, a la xarxa elèctrica l'energia elèctrica es transmet a 60 Hz, i el PLC, utilitzant el mateix medi per a la transmissió de dades, fa servir un rang de freqüència de 1.6 MHz fins als 30 MHz.

Així doncs, les comunicacions PLC és una tecnologia innovadora que permet transmetre veu i dades (telefonía i Internet) a través de la xarxa elèctrica ja existent i per tant, pels endolls elèctrics convencionals.

Amb aquesta tecnologia es possible connectar-te a Internet a velocitats similars i fins i tot superiors al que és avui conegut com "Internet de Banda Ampla". Al utilitzar els cables de la xarxa elèctrica, com a mitjà de transmissió, la instal·lació elèctrica de la llar, es comporta com una xarxa de dades on cada endoll es un punt de connexió a Internet.

A continuació es mostra el rang de freqüències entre PLC i ADSL.

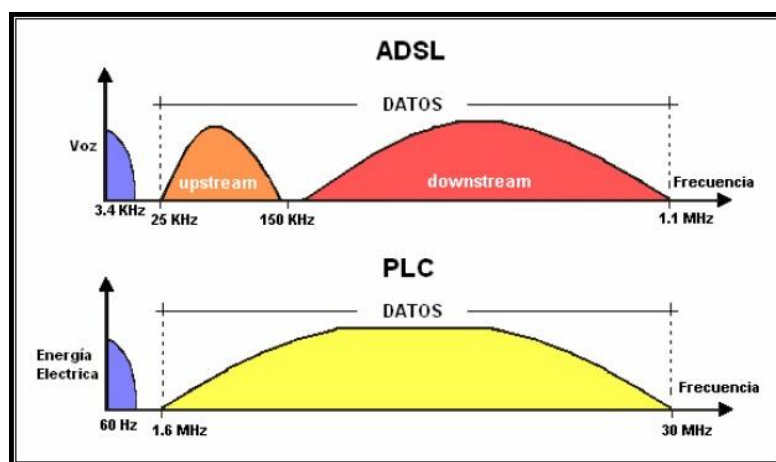


Fig. 2.4. rang de freqüències ADSL davant PLC. [4]

### 2.3.2. Funcionament del PLC.

La tecnologia PLC funciona des d'un node connectat a la xarxa telefònica (Internet) i connectat també a la xarxa de corrent elèctric en el qual es troba la capçalera PLC, que realitza la conversió entre el senyal de la xarxa backbone al senyal elèctric utilitzat en el PLC.



La comunicació PLC per la xarxa elèctrica, requereix d'un mòdem capçalera al centre de la transformació elèctrica que il·lumina l'edifici per enviar la senyal.

Des d'aquest punt fins la llar, el cable elèctric transporta energia i dades, els quals han de ser llegits per un Xip set o electro-mòdem col·locat en cada aparell domèstic.

En el domicili, l'usuari s'instal·la un mòdem PLC on es podran connectar els computadors, telèfons, impressores.

La tecnologia Power Line Communication basa la seva estructura de funcionament en una utilització del cablejat elèctric de baixa tensió com a mitjà de transport. Permetent així, entregar al client uns serveis de transferències de dades.

Aquesta tecnologia, transforma el cablejat de baixa tensió en una xarxa de telecomunicacions on els endolls de cada llar, oficina, es tornen punts de connexió a la xarxa.

Aquesta tecnologia, segueix una arquitectura, que consta de dos sistemes format per tres elements.

En la següent figura es mostra aquesta arquitectura:

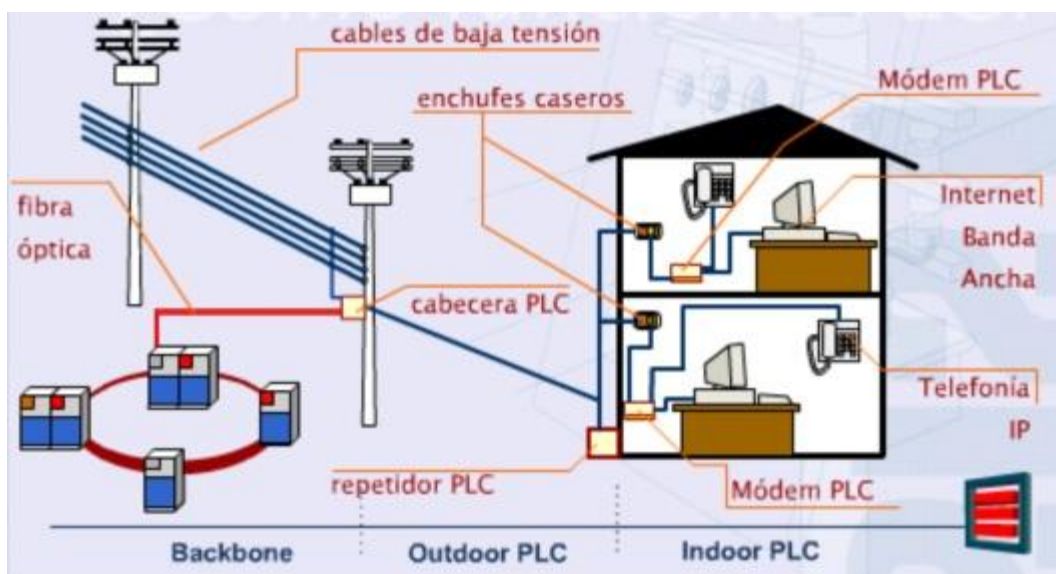


Fig. 2.5. Arquitectura PLC. [5]

### Elements del Sistema PLC:

- Outdoor PLC : en el cas de les telecomunicacions, és el tram final des d'una línia de comunicacions, com la telefònica o cablejat òptic fins a donar servei a l'usuari.

Pel que fa al sistema PLC, compren des de el cablejat de la xarxa elèctrica de baixa tensió del transformador de distribució fins al mesurador de l'energia elèctrica.

- Indoor PLC: aquest seria el segon sistema d'aquesta tecnologia PLC, cobreix el tram des del mesurador de l'usuari fins a totes les connexions o endolls ubicats en l'interior de les llars.  
Aquest sistema utilitza com a mitjà de transmissió el cablejat elèctric intern com a mètode per donar serveis de telecomunicacions dins de la llar.

Per comunicar aquests dos sistemes, es necessari un repetidor, normalment instal·lat i ubicat a prop del mesurador de l'energia elèctrica, format per un mòdem i un equip de capçalera del sistema Outdoor, on el segon component es comunica amb la part del terminal del repetidor i hi injecta la senyal en el tram Indoor.

En la següent figura es mostra l'arquitectura PLC en el seu segon sistema, dins les llars:

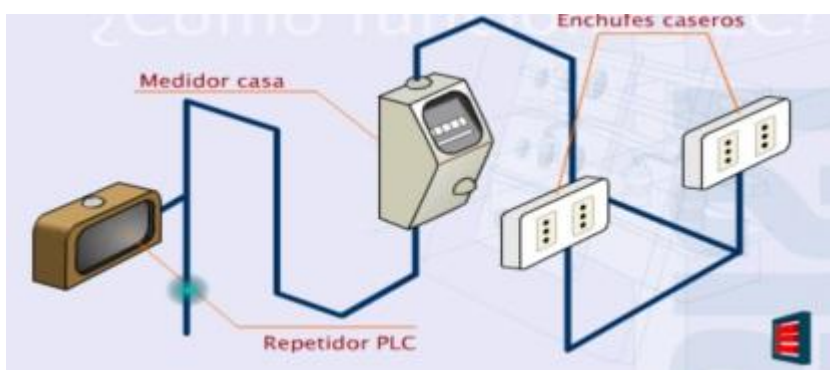


Fig. 2.6. Arquitectura PLC Indoor. [5]

- El tercer element de la xarxa PLC, està format pel mòdem, que recull la senyal directament de la xarxa elèctrica a través dels endolls. D'aquesta manera, l'energia elèctrica com les senyals de transmissió de les dades, comparteixen el mateix canal, la xarxa elèctrica.



Fig. 2.7. Elements de xarxa PLC dins la llar. [5]

Així doncs, en aquest sistema l'energia elèctrica i la transmissió de dades, comparteixen el mateix canal amb les mínimes interferències possibles. Per entendre aquest punt, es necessari entendre l'espectre de la freqüència.



Fig. 2.8. Canal línia elèctrica amb PLC. [5]

Com es pot comprovar en la figura anterior, l'energia elèctrica treballa a una freqüència de 50 Hz; poden haver-hi interferències en la seva forma d'ona que incorporin soroll i harmònics de fins a 1Kz.

La tecnologia PLC, utilitza l'equip de capçalera com a equip emissor, que emet les senyals de baixa potència en un rang de freqüències de 1,6 MHz fins als 35 MHz, és a dir, una freqüència bastant superior a la que utilitza l'energia elèctrica en el canal.

L'equip terminal, que farà d'equip receptor, és capaç d'identificar i separar la informació mitjançant la freqüència a la que la informació és transmesa, ja sigui energia elèctrica o informació de les dades.

Gràcies a que l'energia elèctrica i el sistema de transmissió de dades, treballen a una freqüència diferent, aquests poden compartir el canal sense fer-se interferències l'un amb l'altre.

Els sistemes PLC, es basen en modulacions del tipus multi portadora com ho fa OFDM (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing ).

Aquest tipus de modulacions, es caracteritzen per utilitzar el següent sistema: divideixen l'ample de banda disponible, en un gran nombre de portadores, amb la finalitat de poder millorar una major transmissió al medi.

En cada portadora, es mesura en temps real la potència i el soroll rebut, i en funció d'aquests paràmetres s'introdueix un major o menor número de bits.

D'aquesta manera s'aconsegueix una major optimització de la transmissió en el cablejat de la xarxa elèctrica.

Avui en dia, la modulació més avançada d' OFDM en PLC és per DS2, on es poden obtenir velocitats de transmissió de més de 200 Mbps i cobertura en tots els endolls de la llar.

En aquests tipus de modulació, s'hi afegeix la màxima seguretat, utilitzant encriptació dins del propi xip 3DES i avançats mecanismes de qualitat (QoS), classe de servei (CoS), Multicast i gestió a través del protocol SNMP (Simple Network Management Protocol).

Aquesta característica, garanteix entre d'altres, la confidencialitat de la informació i els avançats serveis de distribució de vídeo de qualitat i alta definició dins d'un entorn domèstic.

Així doncs, mitjançant la tecnologia PLC, cada endoll de la llar, empresa, oficina, es converteix en un punt d'accés universal on en un mateix canal es pot compartir l'energia elèctrica i també la transmissió de les dades amb accés també a Internet. [10][11]

### **Avantatges .**

- La tecnologia PLC utilitza la infraestructura ja instal·lada en totes les llars del cablejat elèctric, sense la necessitat de instal·lar un cablejat estructurat.
- Qualsevol lloc de la llar que tingui instal·lat un endoll, és suficient per estar connectats en xarxa per a la transmissió de dades.
- Aquest sistema té un cost competitiu i assequible per a qualsevol usuari; ja que si no es requereix de cablejat estructurat, la xarxa elèctrica és útil.
- Alta velocitat i banda ampla.
- Subministra múltiples serveis amb la mateixa plataforma tecnològica IP, així un sol mòdem permet tenir accés a Internet, donar un servei de domòtica, televisió interactiva i seguretat entre d'altres.
- Permet una instal·lació ràpida.
- Connexió permanent.

### **Inconvenients .**

- El cablejat elèctric és una línia metàl·lica recoberta d'un aïllant, això genera unes ones electromagnètiques que poden interferir en les freqüències d'altres ones de ràdio, com aparells domèstics de la llar.

- Així doncs, existeix un problema de radiació, be per els soroll d'altres senyals en la mateixa banda de freqüències com de radiació de dades.
- Un altre inconvenient és l'estandardització de la tecnologia PLC, ja que en el món, existeixen tant sols 40 empreses que desenvolupen aquesta tecnologia.

### 2.3.4. HomePlug AV. Què és i Com funciona.

HomePug Av és el nom d'una especificació de PLC que adapta el cablejat elèctric existent a una llar de tal manera que el fa vàlid per crear xarxes de dades.

Aquest permet una taxa de transferència de 200 Mbps en les xarxes elèctriques de la llar.

L'estàndard HomePlug no tant sols està pensat per oferir banda ampla a la llar, Internet, si no també VoIP, televisió d'alta definició, multi-stream, o els jocs en línia, transportant la informació pel cablejat elèctric.

Així doncs, la tecnologia HomePlug es basa en la utilització de la xarxa elèctrica domèstica com a línia de transmissió de dades.

La seva instal·lació és molt senzilla, tant com endollar una passarel·la a la xarxa i enganxar-la a un router.

Per afegir un dispositiu, només és necessari connectar-hi un adaptador.

En la següent figura es pot veure un diagrama d'una xarxa HomePlug:

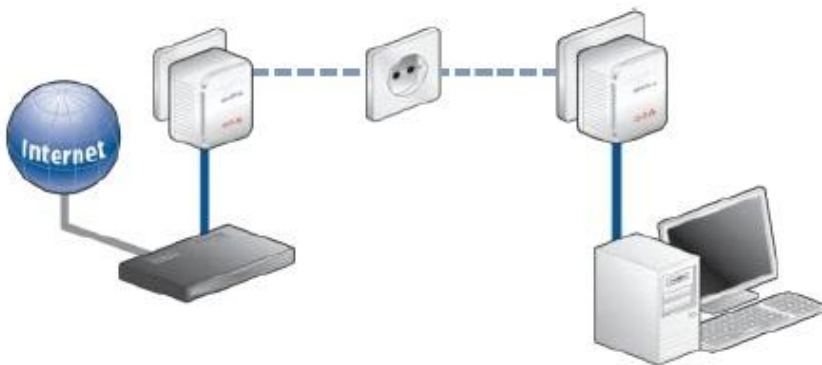


Fig. 2.9. Diagrama d'una xarxa HomePlug [5]

## **Com funciona HomePlug AV :**

Per garantir que la solució de comunicacions és viable en el canal del cablejat elèctric, s'han d'utilitzar interfícies de capa física y d'accés al medi suficientment robustos.

La capa física del HomePlug utilitza multiplexació per divisió de freqüències ortogonals (OFDM).

HPAV utilitza aquesta tècnica en mode de ràfegues en lloc de fer-ho de forma contínua com per exemple en els sistemes de radio difusió digital.

La capa MAC de HPAV és una variant del protocol utilitzat pel sistema WIFI i estàndard IEEE 802.11b, el CSMA/CA (accés múltiple per detecció amb portadora i evitant col·lisions), al qual se li han afegit algunes característiques que permeten la prioritització segons la classe, la igualtat i el control de retards.

La utilització del protocol CSMA/CA implica que la capa física ha de suportar la transmissió i recepció per ràfegues, és a dir, cada client activa la transmissió només en els moments que ha d'enviar dades, a l'acabar, apaga el transmissor i torna en mode de recepció.

La topologia de la xarxa és en forma de bus i s'utilitza una modulació OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) per així permetre l'existència d'altres portadores, fins a 1.155 en el mateix cable. [4][5]

### **2.3.5. Especificacions del HomePlug AV.**

El senyal de comunicació que utilitza el HPAV opera sobre el cablejat de la línia elèctrica que també s'utilitza per a la transmissió de potència elèctrica, això fa que aquesta tecnologia sigui d'alta complexitat.

L'arquitectura del HPAV exigeix que entre tots els mòdems PLC que formen una mateixa xarxa, un ha de fer d'estació central, i haurà de tenir un Coordinador Central (CC0), que s'encarregarà de reservar l'ampla de banda necessari per a les connexions amb requeriment QoS (tant per a les connexions síncrones com per a les asíncrones).

#### **Descripció de l'estàndard en nivell físic. OFDM**

La transmissions de senyals pel medi físic operen per la banda de la freqüència entre 2 i 30 MHz, els mecanismes de modulació són capaços de transmetre, tot i que opera amb un ampla de banda petit, velocitats de transferències de fins 200 Mbps.

L'ús de Turbo Codis Convolucionals per a la detecció i recuperació autònoma d'errors redueix la taxa real de bits d'informació transmesa a 150 Mbps.

Els símbols es transmeten mitjançant OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), amb un total de 1155 portadores ortogonals disponibles.

A més a més, cada una d'aquestes portadores, pot modular-se independentment una de l'altre utilitzant des de una BPSK, una QPSK o una 1024-QAM.

Cada portadora escull la seva modulació en funció de la relació senyal soroll que ella mateixa observa, pel que el sistema és capaç d'adaptar-se fàcilment al canvis sobtats en la funció de transferència del canal de comunicacions. Lògicament, el pla de control (una unitat anomenada Gestor de la Connexió) és la que s'encarrega de mesurar constantment les característiques del canal per adaptar convenientment la senyal generada.

Cal afegir, que a tot l'entramat de bits enviats d'informació, se li afegeix un conjunt de bits de control de correcció d'errors (FEC, Forward Error Correction).

El nivell físic de les capes OSI del HPAV utilitza la modulació OFDM.

## **OFDM.**

Multiplexació per Divisió de Freqüències Ortogonals (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

És un tipus de modulació que consisteix en enviar un conjunt d'ones portadores de diferents freqüències on cada una transporta informació i on cada una és modulada en QAM o en PSK.

Les dades es divideixen en diferents fluxos o canals, un per a cada subportadora, i on cada subportadora es modula amb una tècnica convencional com QAM o PSK a velocitats baixes. El flux de dades que aconseguen, són similars a una modulació mono portadora del mateix ample de banda.

La seva principal avantatge és funcionar sota condicions que serien problemàtiques per a altres tipus de sistemes.

Hi ha un gran nombre de sistemes que utilitzen la modulació OFDM, entre aquests sistemes, destaquen:

- Televisió Digital Terrestre
- Ràdio Digital DAB
- Ràdio Digital de baixa freqüència DRM

- Protocol enllaç ADSL
- Protocol de xarxa d'àrea local IEEE 802.11 a/g/n
- Sistema de transmissió sense fils WiMAX
- Sistema de transmissió de dades basats en la tecnologia PLC, HomePlug AV

### Avantatges

- Fàcil adaptació en dolentes condicions del canal
- Robust i contra interferències i atenuacions
- Eficiència espectral alta

### Inconvenients

- Sensible a l'efecte Doppler
- Sensible a problemes de sincronització de freqüències

En la següent figura es pot veure l'estalvi d'ampla de banda de la modulació OFDM respecte a una multi portadora convencional.

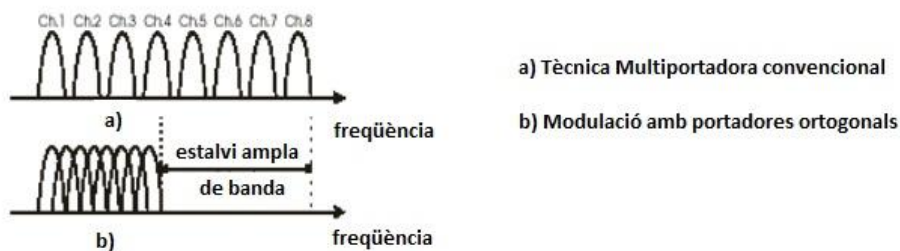


Fig. 2.10. Ampla de Banda de la modulació OFDM.

Així doncs, la idea bàsica de la modulació OFDM consisteix en dividir l'espectre en diferents sub-canals o subportadores .

OFDM comprimeix múltiples portadores modulades molt a prop una de les altres, estalviant així molt ample de banda, gràcies a que les senyals que s'envien són ortogonals, així, no interfereixen les unes amb les altres. [19]



## **Descripció de l'estàndard en nivell MAC. CSMA/CA.**

El nivell d'accés al medi de HPAV pot arribar a establir tres tipus de modes de transferència :

- Transferència orientada a la connexió: amb requeriments de Qualitat de Servei. Aquest servei es proporciona utilitzant un sistema TDMA.
- Transferències no orientades a connexió: on es comparteix un mateix canal de comunicacions però a l'hora es poden establir prioritats per arbitrar l'accés al medi. Això és gràcies a l'esquema que proporciona CSMA/CA basat en les prioritats de transmissió i detecció d'errors i col·lisions.
- Transferències no orientades a la connexió i on es comparteix un mateix canal de comunicacions. Aquest mètode de transferència és utilitzat pels serveis best-effort mitjançant un esquema CSMA/CA.

Per proporcionar aquest mètode de transferència, el HPAV , en la capa MAC, hi ha implementat una arquitectura de gestió centralitzada.

El mòdem PLC és l'encarregat de realitzar aquest gestió i activar el seu CC0 (mòdul de Coordinador Central). [4][5]

### **CSMA/CA**

Així doncs, el diagrama de flux per al protocol CSMA/CA quedaria representat de la següent manera:

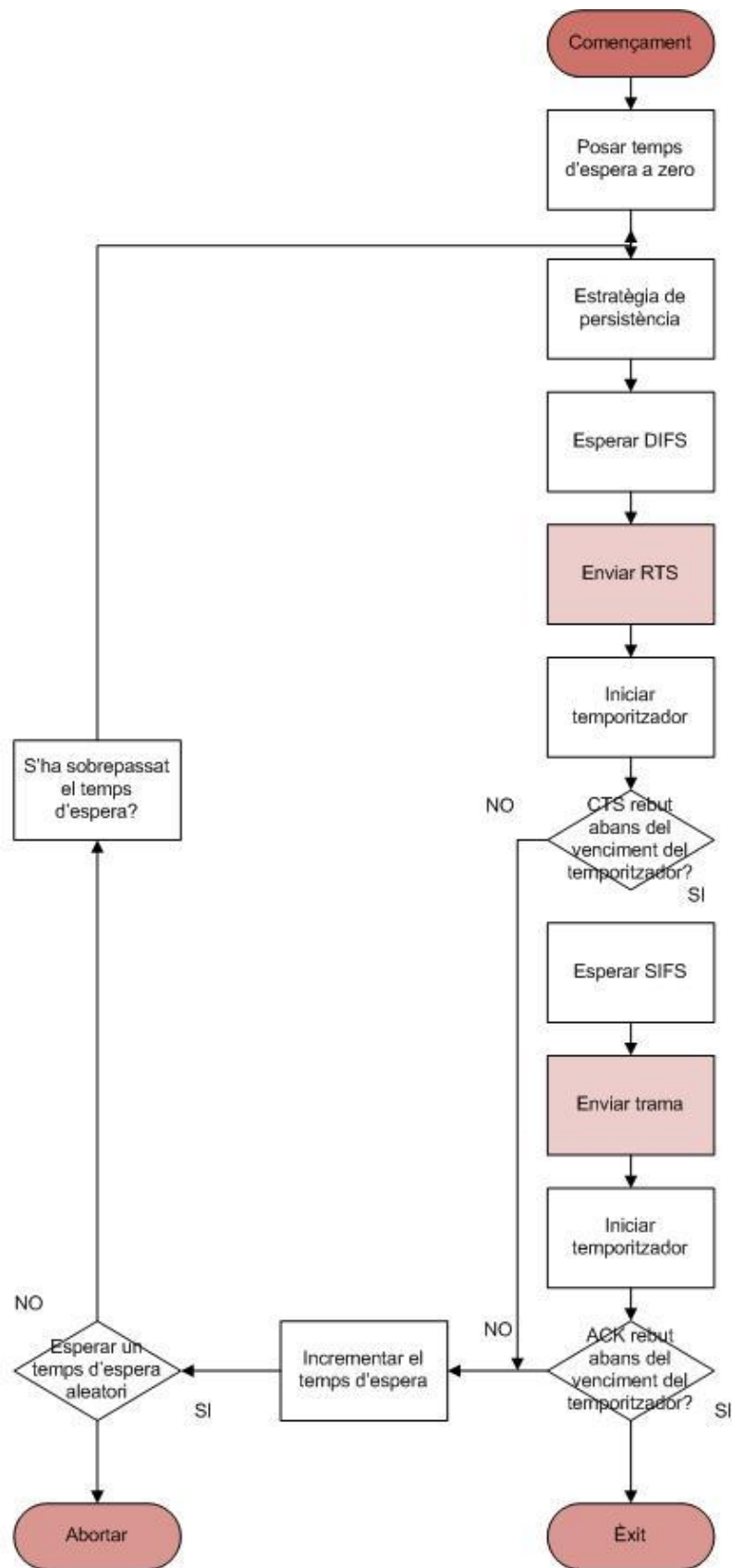


Fig. 2.11. Diagrama de flux CSMA/CA

### **Explicació de les etapes:**

1. Abans d'enviar una trama, l'estació origen comprova en el medi determinat el nivell d'energia en la freqüència portadora.
  - a) El canal utilitza una estratègia de persistència amb temps d'espera aleatori, fins que el canal quedi lliure.
  - b) Quan l'estació detecta el canal lliure, espera durant un període de temps anomenat espai entre trames distribuït (DIFS), on a continuació, l'estació envia una trama de control anomenada petició d'enviament (RTS).
2. Un cop es rebuda la trama RTS, i esperat un espai curt entre trames (SIFS), l'estació destí envia una trama de control, anomenada: permís per enviar (CTS) a l'estació origen, indicant-li que està llesta per rebre dades.
3. L'estació origen envia les dades després d'esperar un temps SIFS.
4. L'estació destí, després d'esperar una quantitat de temps SIFS, envia una senyal de confirmació indicant que la trama ha estat rebuda.

És molt important aquesta senyal de confirmació en aquest protocol, ja que l'estació no té cap mètode per comprovar l'arribada amb èxit de les seves dades al destí.

### **Com evitar la col·lisió en aquest protocol**

En aquest protocol, per evitar les col·lisions, es fa servir una característica anomenada vector d'assignació de xarxa (NAV).

Al enviar la trama RTS, també inclou el temps que necessita ocupant el canal per enviar les dades; les estacions que són afectades per aquesta transmissió, creen un temporitzador anomenat vector d'assignació de xarxa (NAV) on mostra quan de temps ha de passar abans de comprovar si el canal està lliure.

Per tant, cada vegada que una estació enviï un RTS, les estacions afectades crearan també un vector de temps NAV .

I cada vegada que aquestes estacions vulguin comprovar si el canal està lliure, primer hauran de comprovar el temps de NAV.

En la següent figura es mostra com actuen en enviar i rebre dades el protocol CSMA/CA i NAV.

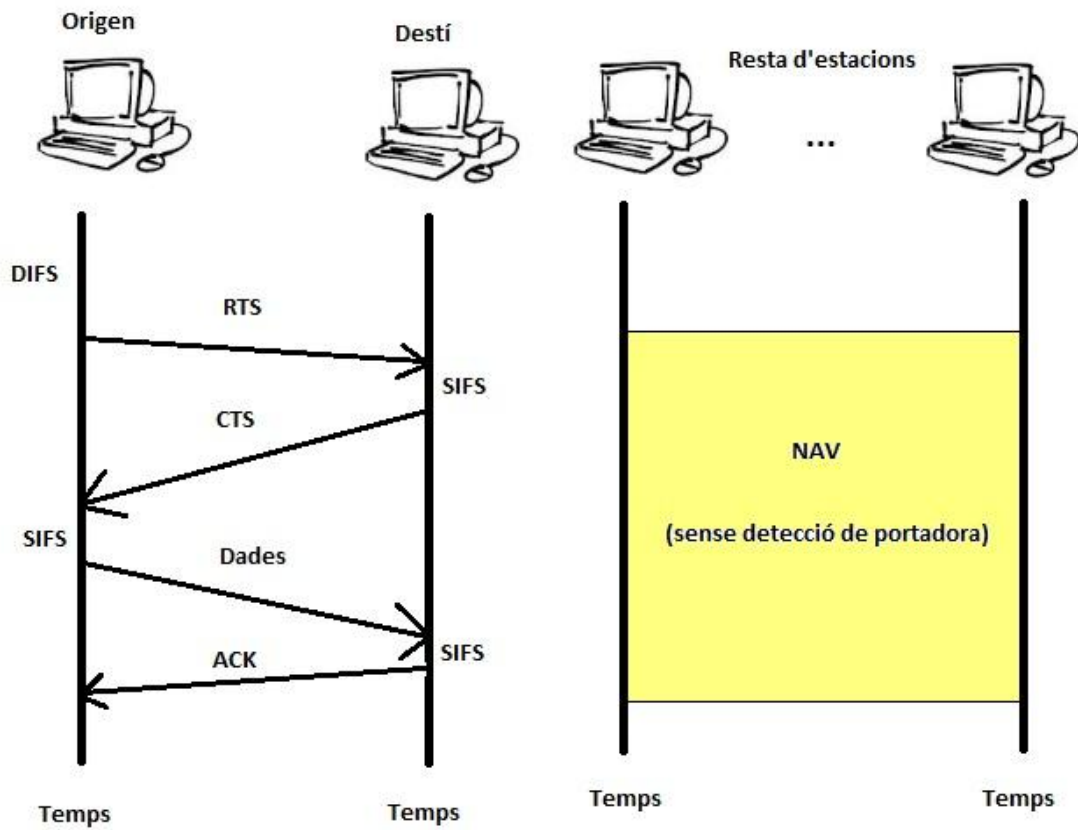


Fig. 2.12. Comportament Protocol CSMA/CA i NAV.

Dues estacions poden enviar trames de control RTS a la vegada, si això passa, es crea una col·lisió; l'estació no ho detecta, però per altre banda, està esperant una altra trama de control CTS del receptor, on s'espera un temps aleatori i si no rep la trama de confirmació esperada CTS, l'estació origen intenta enviar la trama de control RTS una altre vegada.

## **2.4. Tecnologia alternativa sense cablejat.**

### **2.4.1. IEEE 802.15**

IEEE 802.15 és un grup de treball el qual desenvolupa estàndards per a xarxes d'àrea personal (PAN – Personal Area Network) que serveix per a distàncies curtes amb la tecnologia de les xarxes sense fils.

L'estàndard pot ser utilitzat per interconnectar dispositius personals, tals com telèfons mòbils, PDA's.

IEEE 802.15 conté cinc grups de tasques principals, els més importants són l' 1, 3 i 4, on es defineix concretament la interconnexió entre dispositius.

La tasca del grup 1, defineix l'estàndard derivat del Bluetooth v1.1, anomenat estàndard de xarxa d'àrea personal sense fils WPANS (Wireless Personal Area Network standard – 802.15.1 ) , que treballa amb la capa MAC i física tal i com ho fa el 802.11.

La tasca del grup 3, defineix especificacions per a l'alta velocitat de transmissió dels WPANS, de 11 a 55 Mbps.

Aquest estàndard treballa en una banda de freqüència de 2.4 GHZ, de baix consum de potència i un baix cost pels dispositius.

La distància màxima en que l'estàndard pot operar són de 70 metres.

Proporciona també garantia QoS ja que alguna informació la necessita per a la transmissió, per exemple la multimèdia.

La tasca del grup 4, defineix les especificacions per a la baixa velocitat de transmissió per a WPAN (802.15.4), el grup es centra principalment en el baix consum de potència. Opera a la banda de freqüència de 2.4 GHZ (per a tot el món), 915 MHZ (per Europa) i 868 MHZ (per a Nord Amèrica), i és capaç de transferir velocitats de fins a 250, 40 i 20 Kbps.

### **2.4.2. Bluetooth**

Aquesta tecnologia substitueix la connectivitat per cable dels dispositius portables; té un baix consum i una baixa potència, especialment per manejar comunicacions d'informació per veu.

Opera en una banda de freqüència de 2.4 GHZ .

Existeixen tres classes de dispositius per al Bluetooth, la classe 3, opera amb una distància màxima entre dispositius d'un metre , la classe 2 amb una distància màxima de 10 metres i la classe 1 amb una distància màxima de 100 metres.

La classe 2 és la més freqüent entre els dispositius amb 2.5 mW de potència.

La velocitat de transferència màxima del Bluetooth v2.0 és de 1 Mbps.

També proporciona garanties QoS per a un millor servei en algunes aplicacions que poden necessitaro.

## **2.5. Tecnologia alternativa amb cablejat**

### **2.5.1. HomePNA.**

Aquesta tecnologia fa ús del cablejat ja existent del telèfon o del cablejat coaxial .

La primera generació, HomePNA v.1, tenia una velocitat de transmissió d'1 Mbps, la segona generació HomePNA v.2, ja posseïa una velocitat de transmissió molt millor que l'anterior, 10 Mbps. La següent generació HomePNA v.3, incorporava velocitats de transmissió de 128 Mbps.

Tant la segona generació com la tercera generació, proporcionaven un servei QoS per algunes aplicacions necessàries.

L'actual estàndard de HomePNA, HomePNA v3.1, basat en la tercera generació HomePNA v3 i compatible amb les anteriors versions, té una velocitat de transferència de 320 Mbps i proporciona un avançat QoS per a diferents aplicacions.

### **2.5.2. Multimèdia sobre cablejat coaxial.**

Multimèdia sobre cable coaxial (MoCA – Multimedia over Coaxial Cables) és similar a l'estàndard HomePNA; la diferència és que MoCA utilitza el cablejat coaxial per a la transferència de la informació.

Aquesta tecnologia fa servir l'ampla de banda no utilitzat, per exemple freqüències, en un cable coaxial, i d'aquesta manera no s'interfereix amb altres dispositius que utilitzen el mateix medi.

La velocitat de transferència és de 270 Mbps en la capa física i per tant, en la capa MAC la velocitat de transferència és d' aproximadament 135 Mbps.

La taxa de transferència de la tecnologia MoCA és suficientment ràpida com per suportar múltiples streams vídeos MPEG2 simultàniament.

Així doncs, també és capaç de transmetre informació normal, de veu i jugar a jocs on-line. Aquesta tecnologia també proporciona una robust QoS per a cada stream de vídeo.

Tecnologia	Canal	Xarxa	Tassa Mbps	QoS	Seguretat
HomePNA	Parell creuat o coaxial	Línia telèfon o cable TV	$\leq 320$	Garantia per a cada flux	No necessària per a línia telèfon.
MoCA	Coaxial	Cable TV	$\leq 270$	Per a cada flux de vídeo	encriptació
HomePlug AV	Coure	Línia elèctrica	$\leq 200$	Garantia amb TDMA, CSMA	128 bits d' encriptació AES
UPA DHS	Coure	Línia elèctrica	$\leq 240$	8 nivells de prioritat	Encriptació 3DES + identificació de xarxa

Taula 2.1. Comparativa de tecnologia alternativa amb cablejat

Tecnologia	Banda freqüència, GHZ	Rang, metres	Tassa Mbps	Consum potència	QoS	Seguretat
802.11a	5	300	$\leq 54$	Mig - alt	No	Encriptació de dades
802.11b	2.4	300	$\leq 11$	Mig	No	Encriptació de dades
802.11g	2.4	300	$\leq 54$	Mig - alt	No	Encriptació de dades
802.15.3	2.4	70	$\leq 55$	Mig	Si	Encriptació de dades
802.15.4	2.4, 0.915, 0.868	10	$\leq 0.250$	Molt baix	No	Control d'Accés i encriptació de dades
Bluetooth v2.0	2.4	10	$\leq 3$	Molt baix	Si	Autenticació i encriptació de dades

Taula 2.2. Comparativa de tecnologia alternativa sense cablejat

		Ethernet	HomePlug	HomePNA	MoCA
<b>Màx. Tassa transferència</b>		1 Gbps	200 Mbps	240 Mbps	200 Mbps
<b>Cost</b>		Alt	Alt	Baix	Baix
<b>Interferències</b>		Alt	Mig	Baix	Baix
<b>QoS</b>		No	Si	Si	Si
<b>Disponibilitat a casa</b>		Limitat	Excel·lent	Bo	Bo

Taula 2.3. Comparativa de tecnologia amb cablejat per a la llar

## 2.6. Simulador NS-2.

### 2.6.1. Introducció al simulador.

La simulació és una de les maneres més eficaç d'avaluar les solucions que es proposen per a una xarxa de comunicacions. Les simulacions ofereixen també grans avantatges com per exemple la possibilitat d'implantar grans xarxes de comunicacions, l'experimentació amb xarxes de diferents tecnologies o la ràpida implementació dels escenaris.

Així doncs, es pot dir que la simulació és un procés de disseny i desenvolupament d'un sistema o procés on es condueixen una sèrie d'experiments amb el propòsit d'entendre el comportament del sistema o d'avaluar diferents estratègies. En el nostre àmbit, es refereix a la forma de modelar un escenari per a que representi en el més possible a un sistema real.

Dins la simulació es poden trobar diferents usos com per exemple:

- Entrenament en els diferents camps o escenaris.
- Una comprensió major en els sistema implementat.
- Per a no cometre errors en els sistemes reals.
- Preveure possibles errors, entrenament.

Desenvolupar sistemes amb escenaris reals seria una pràctica massa costosa, per aquest motiu, és una eina útil per que els alumnes posin en pràctica els seus coneixements abans d'enfrontar-se en una situació real.

### 2.6.2. Casos en dur a terme una simulació.



No en tots els casos és recomanable, per això, es mostra a continuació quan es pot dur a terme :

- Quan es permet experimentar amb interaccions internes d'un sistema complex.
- Quan es puguin analitzar els canvis produïts en el sistema implementat.
- Els resultats de la simulació, en el cas de que siguin resultats positius, es puguin aplicar al sistema que s'ha estudiat.
- Quan permeti comprovar les possibles solucions a un sistema que ha sigut plantejat de forma teòrica en un principi.
- Quan es permeti detectar i corregir errors en nous dissenys abans de ser implementat.
- La simulació permet realitzar un estudi d'un sistema sense cap cost.

Les simulacions no són apropiades:

- Quan les solucions són de sentit comú.
- Quan el mateix estudi es pugui realitzar de forma analítica.
- Quan és més fàcil realitzar els estudis sobre els mateixos equips.
- Quan no es disposi de suficientment temps per a la simulació.

### **2.6.3. Avantatges i desavantatges de les simulacions.**

Les simulacions són un avantatge pràctic a l'hora d'obtenir una estimació dels resultats que obtenim al posar en marxa el nou sistema i també d'observar d'una manera més fàcil el seu comportament.

Per tenir un bon estudi del sistema que s'està analitzant amb el simulador, el resultat de la sortida han de ser similars o iguals als que tindriem amb un sistema real.

Els principals avantatges són:

- Analitzar problemes complexos que no es puguin resoldre de forma analítica.
- Permet afegir-hi possibles complicacions del sistema real que no són avaluades en un principi per a la simulació.
- Les simulacions permeten experimentar i prendre decisions sense estar en contacte amb el sistema real.
- Els resultats de les simulacions es poden representar d'una manera més pràctica i evitar tècniques analítiques que requereixen experiència matemàtica.
- Ajuda a entendre el funcionament del sistema.

- Ajuda a respondre el què passaria si....que haig de fer si...mitjançant una simulació.
- Permet també analitzar on es troben els culs de botella i determinar a on es paren els processos.

Les principals desavantatges són:

- Els resultats de sortida de les simulacions són estimacions dels valors reals del sistema analitzat.
- Les exactituds dels resultats són un elevat nombre de repeticions de la simulació que repercuteix en una gran disponibilitat de temps.
- Els temps és elevat per crear el disseny de la simulació, ja que no es pot seguir un patró en comú.
- Simular un nou sistema pot ser una tasca molt complexa i elaborada on requereix molt de temps.
- Les simulacions serveixen també per reduir el risc però no evitar-los.

#### **2.6.4. Elecció del simulador.**

El simulador que s'ha escollit per aquest treball és el NETWORK SIMULATOR 2 (NS-2), i la versió 2.33.

La raó principal d'aquesta elecció ha estat, per un cop instal·lat el simulador, poder compilar el paquet PLC pels escenaris de HomePlug AV i així poder analitzar aquest sistema, a més a més, poder simular escenaris amb l'estàndard 802.11b i així poder comparar les dues tecnologies de manera gràfica, amb rendiment i eficiència.

A més a més, és una eina amb llicència de distribució lliure.

El simulador NS-2, és un simulador orientat a xarxes de comunicacions, on s'ha anat desenvolupant al llarg dels anys des de 1989 on va començar com a una variant del simulador REAL Network Simulator.

En l'any 1995, el projecte VINT (Virtual Internetwork Testbed) va recolzar NS-2 que tenia com a objectiu la creació d'un simulador per a l'estudi de l'escalabilitat i la interconnexió entre protocols de xarxes actuals i futures.

En aquest projecte hi eren com a col·laboradors USC/ISI (University of South California – Information Sciences Institute), Xerox PARC (Palo Alto Reserch Center), LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory) i UC Berkeley (Universitat de Califòrnia de Berkeley).

Actualment el simulador NS-2 està desenvolupant-se a través de CONSER (Collaborative Simulation For Education and Reserch) on els seus objectius són els següents:

- Ensenyament dels protocols de xarxa, nous com els ja existents.
- Investigació i avaluació dels protocols de xarxa.

Aquest simulador, consta d'un nucli principal escrit en C++ on s'executa simplement teclejant *ns* a la consola.

Per actuar sobre el simulador, s'utilitza una interfície específica, un llenguatge de programació anomenat oTcl, derivat del Tcl però aquest, orientat a objectes.

El simulador NS-2 actua de la següent manera, ha de manejar tots els protocols de la simulació amb una gran quantitat de bytes en un temps d'execució curt.

Per això, el programa utilitza el llenguatge C++, que s'encarrega de manejar aquestes dades de forma ràpida.

Per a configurar els escenaris a simular, es necessari un altre llenguatge anomenat oTcl on l'execució és més lenta però et permet fer canvis en els escenaris de forma ràpida i més entenedor.

La jerarquia de classes d'aquest simulador seria de la següent manera:

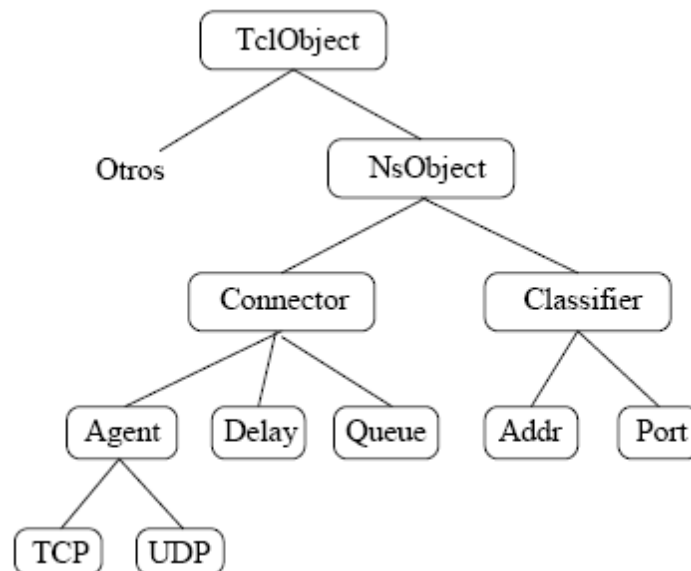


Fig. 2.13. Jerarquia de classes del NS-2 [20]

El simulador NS-2, interpreta els escenaris, anomenats scripts, escrits en llenguatge oTcl, on té un planificador d'events de simulació i llibreries d'objectes dels components de xarxa tal i com es mostra en la següent figura:



Fig. 2.14. Estructura NS-2 . [20]

### 2.6.5. Eina NAM (Network Animator).

Aquesta eina del simulador, s'empra per visualitzar les traces creades amb el llenguatge de programació Tcl/Tk que fa servir el simulador.

Permet doncs, crear un entorn gràfic per a les simulacions realitzades en NS. NAM disposa d'un entorn gràfic per crear simulacions mitjançant un entorn més senzill i visual, disposa també d'un editor gràfic per no crear els escenaris definits al simulador mitjançant línies de codi, sempre i quan siguin escenaris senzills.

Aquesta eina permet representar gràficament la xarxa dissenyada com es mostra en la següent figura, i on ens permet també visualitzar dinàmicament els resultats de la simulació realitzada.

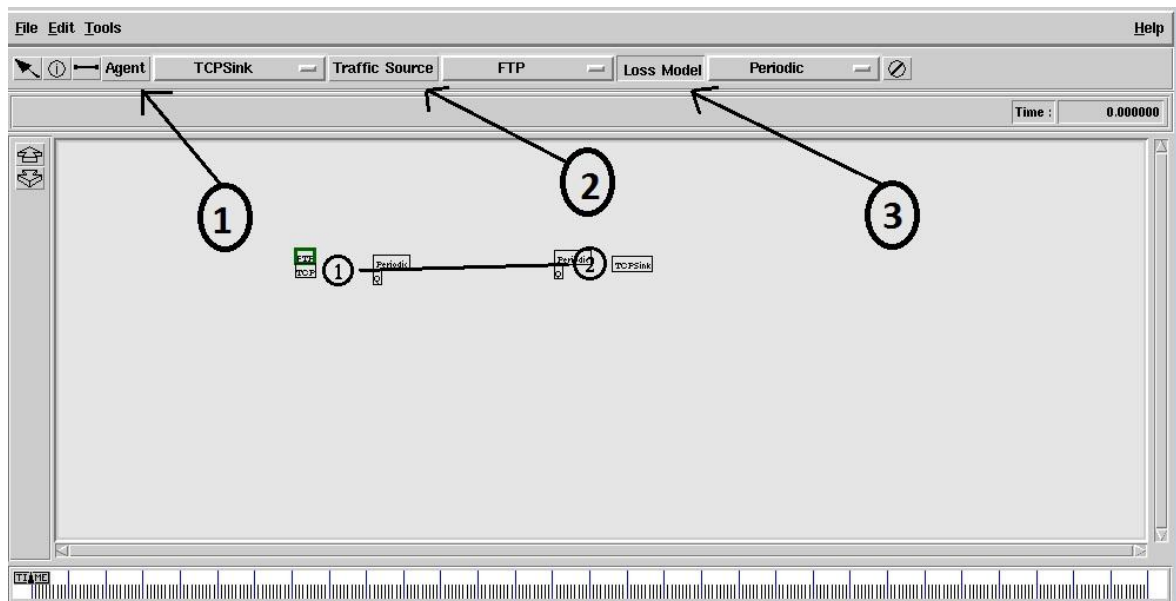


Fig. 2.15. Editor NAM.

En aquest editor, podem crear escenaris relativament senzills, tal i com es pot veure en el gràfic anterior.

Les parts més importants d'aquest editor són els agents, el trànsit i el temps de la simulació.

Una vegada que es creen els nodes, en aquest cas 2, s'ha de introduir l'agent, és a dir, quin tipus de protocol de la capa de transport s'utilitzarà, en aquest cas el protocol TCP. Ha d'haver per tant, un emissor TCP i un destí TCP, que en aquest cas és: node1 origen, node2 destí.

S'ha d'introduir també, el tipus de trànsit que pot utilitzar el protocol TCP, en aquest cas, es fa servir protocol FTP.

Es creen les connexions a ambdós nodes i es configura el temps de la simulació.

Guardem el projecte i directament NAM ens guarda l'arxiu gràfic que em creat i també el codi de la simulació en TCL.

Si per altra banda, creem escenaris més complexos, com els que s'han creat en aquest treball, es farà servir directament el llenguatge Tcl i s'executarà en el terminal, guardant també un fitxer de visualització NAM i el propi de l'escript ns.

En la següent figura es mostra la visualització d'escenaris creats mitjançant els escripts amb Tcl i la senyalització dels components d'aquest visualitzador:

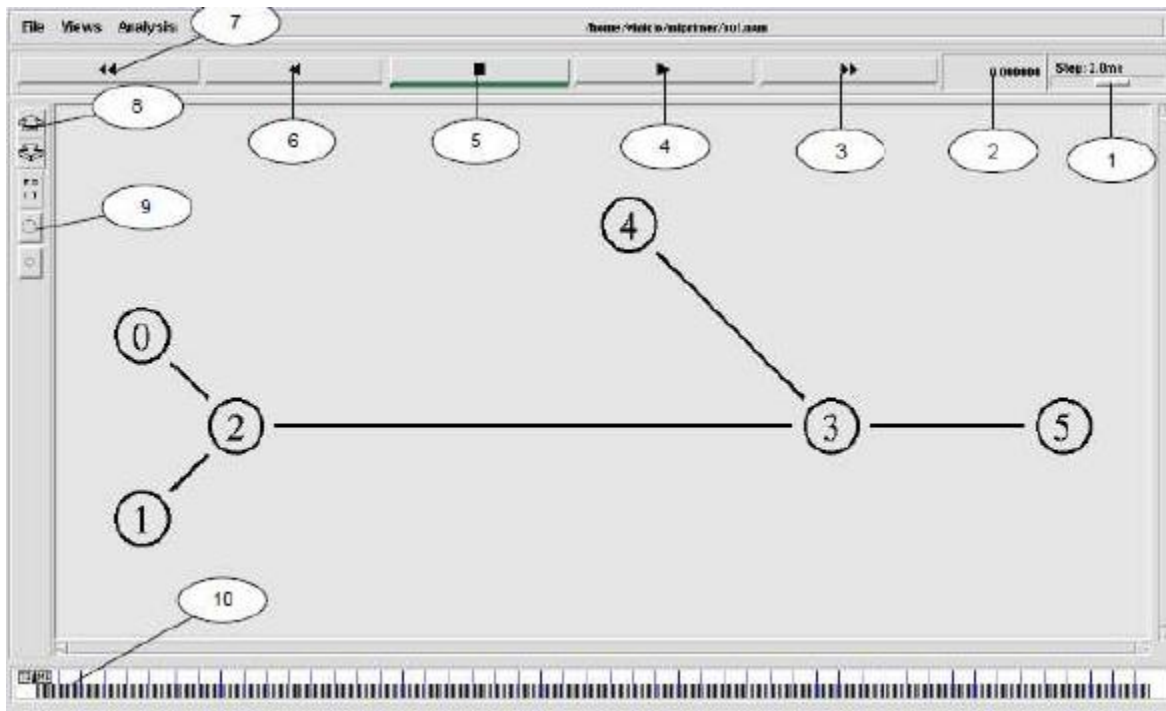


Fig. 2.16. Elements NAM .

En els components del visualitzador, cal destacar els més importants:

Escala de temps (1) : Es mostra l'equivalència del temps del simulador amb el temps real, en aquesta figura representa els 2ms, que significaria que 1 segon a la realitat són 2ms en el simulador.

Barra del temps (10) : Es mostra en quin moment de la simulació està en cada segon, poden avançar i retrocedir. [20]

### 2.6.6. Eina XGRAPH.

Eina que genera gràfics proporcionats per ns-2, pot ser invocat dins el propi script tcl, per visualitzar immediatament després de l'execució de l'escript.

En aquest treball, no s'ha utilitzat aquesta eina de treball, ja que he trobat més interessant el programa MATLAB per a l'extracció d'algunes dades i per a la creació dels gràfics. [20]

### **2.6.7. AWK.**

AWK és un llenguatge de programació dissenyat per processar dades basats en text, ja siguin fitxers o un flux de dades.

Aquest programa ens permet buscar cadenas en documents de text, i a continuació realitzar diferents operacions amb elles.

En quant a les simulacions realitzades amb NS-2, aquesta funcionalitat ens és especialment útil per filtrar arxius de traça.

Un programa de AWK, està compost per tres blocs:

- Bloc d'inicialització.
- Bloc de filtrat.
- Bloc de finalització.

El funcionament típic és el següent: en el primer bloc es dona un valor a las variables necessàries. A continuació, en el segon bloc, es recorre iterativament les línies del fitxer d'entrada, buscant les cadenes patró que li haguem indicat i realitzant amb aquestes les operacions indicades.

Per últim, en el bloc de finalització, es realitzen les operacions corresponents amb els resultats obtinguts en els dos blocs anteriors i escrivim així, el fitxer de sortida.

Entrant una miqueta més en detall, direm que mitjançant l'expressió \$x (X=1,2,3...) es fa referència a l'element en la posició x de cada línia d'entrada.

Aquest tipus de construccions fa que el llenguatge sigui molt apropiat per analitzar fitxers que repeteixen una estructura de dades, com passa en els arxius de traça en el cas del NS-2.

## 3. Implementació en l'ambient de proves.

### 3.1. Instal·lació del simulador.

#### 3.1.1. Sistema Operatiu.

Tant les simulacions de xarxes ad-hoc mòbils, com les d'infraestructura com les simulacions de HPAV, seran realitzats sobre el simulador de xarxes Ns-2 dissenyat per treballar amb sistemes UNIX, LINUX o Windows sota Cygwin, però per a un millor funcionament dels mòduls del simulador i un millor ús de la memòria es recomana instal·lar el simulador en un sistema Linux, ja que el seu disseny basat en C++ està pensat per ser executat en aquesta plataforma.

En aquest treball, s'ha instal·lat prèviament una màquina virtual amb el sistema operatiu UBUNTU, la versió 10.04 per així poder instal·lar Ns-2.

#### 3.1.2. Instal·lació del NS-2.

La versió del NS-2 utilitzada ha estat la v2.33, ja que per instal·lar el paquet HPAV és prerequisite tenir una de les versions antigues del simulador.

Per fer la instal·lació del simulador NS-2, s'ha creat prèviament una màquina virtual amb VMware Player sobre Windows 7 amb el sistema operatiu Ubuntu 10.04.

Els passos per instal·lar NS-2.33 han estat els següents:[6][7]

1. Baixar el paquet ns-allinone-2.33.tar de la pàgina oficial ns.
2. Extreure el paquet .tar.gz en el directori /home/usuari/Simulador.
3. Descarregar les llibreries següents, introduint unes comandes al terminal:

<code>apt - get install xlibs - dev</code>
<code>apt - get install g++</code>

4. Instal·lar el compilador necessari per a la versió del NS-2, gcc-4.3.  
Aquest pas pot ser una mica confús, ja que el compilador gcc-4.3 és una versió antiga, i a l'hora d'introduir la comanda a la terminal ens pot donar alguna mena d'error d'incompatibilitats.  
El que cal fer és anar a l'arxiu /usr/bin i eliminar la carpeta gcc que Ubuntu guarda per defecte.



Un cop fet això, repetim el pas número tres a la terminal del sistema operatiu.

5. Modificar l'arxiu Makefile.in de la carpeta ns-2.33/otcl-1.13, on es canvia la línia de codi CC = @CC@ per la CC = gcc-4.3, la versió del compilador gcc que ens hem descarregat anteriorment.
6. Ubicar-ne al terminal a ns-2.33 i introduir la comanda

```
./install
```

7. Editar els camins de l'arxiu bash, introduint en el terminal \$ gedit ~/.bashrc i afegint al final de l'arxiu els següents camins per així poder compilar i validar tots els test de prova del NS-2 sense errors:

```
#LD_LIBRARY_PATH
  OTCL_LIB=/home/tania/Simulador/ns-allinone-2.33/otcl-1.13
  NS2_LIB=/home/ tania/Simulador /ns-allinone-2.33/lib
  X11_LIB=/usr/X11R6/lib
  USR_LOCAL_LIB=/usr/local/lib
  export
LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:$OTCL_LIB:$NS2_LIB
:$X11_LIB:$USR_LOCAL_LIB
  # TCL_LIBRARY
  TCL_LIB=/home/ tania/Simulador /ns-allinone-2.33/tcl8.4.18/library
  USR_LIB=/usr/lib
  export TCL_LIBRARY=$TCL_LIB:$USR_LIB
  # PATH
  XGRAPH=/home/ tania/Simulador /ns-allinone-2.33/bin:/home/
tania/Simulador /ns-allinone-2.33/tcl8.4.18/unix:/home/ tania/Simulador r/ns-allinone-
2.33/tk8.4.18/unix:/home/ tania/Simulador /ns-allinone-2.33/xgraph-12.1/
  NS=/home/ tania/Simulador /ns-allinone-2.33/ns-2.33/
  NAM=/home/ tania/Simulador /ns-allinone-2.33/nam-1.13/
  export PATH=$PATH:$XGRAPH:$NS:$NAM
```

8. Ubicar-ne al terminal /ns-2.33 i introduir-ne:

```
./validate
```

Aquest pas pot tardar en compilar-se uns 30 min. ja que el simulador ha de testejar tots els protocols i escenaris de prova per verificar el seu correcte funcionament.

Al acabar tots els passos anteriors, ja podem crear i executar escenaris de simulació amb ns-2, i la comanda que s'introduirà pel terminal serà:

ns nomPrograma.tcl
--------------------

### 3.1.3. Compilació paquet HomePlug AV.

Una vegada instal·lat el simulador NS-2, els passos a seguir per a la compilació del hpav són els següents:

- Canviar al directori ns-whatever/ns-x.y/
- Canviar de l'arxiu Makefile.in i incloure:

<pre>- add to INCLUDES:   -I./plc/hpav - add to OBJ_CC:   plc/hpav/HPAV_cl.o plc/hpav/HPAV_cm.o \   plc/hpav/HPAV_mac.o plc/hpav/plci.o \   plc/hpav/HPAV_phy.o plc/hpav/PLCChannel.o \   plc/hpav/HPAV_macQ.o plc/hpav/HPAVQ.o \   plc/hpav/PLCRouter.o plc/hpav/PLCPropagation.o\   plc/hpav/HPAV_timer.o plc/hpav/HPAV_cco.o - add to NS_TCL_LIB:   plc/hpav/tcl/vplc.tcl \   plc/hpav/tcl/ConfQueue.tcl \   plc/hpav/tcl/ns-default-plc.tcl</pre>
---

- Canviar del teu ns-whatever/ns-x.y/tcl/lib/ns-lib.tcl:

<pre>- add to the source list: # PLC source ../../plc/hpav/tcl/vplc.tcl source ../../plc/hpav/tcl/ConfQueue.tcl source ../../plc/hpav/tcl/ns-default-plc.tcl</pre>
--

- Canviar del teu ns-whatever/ns-x.y/common/packet.h:

<pre>- add to the header file:   #include "PLCPktStamp.h" - add a public variable   PLCPktStamp plc_txinfo_; - change copy() procedure by adding this init instruction:   p-&gt;plc_txinfo_.init(&amp;plc_txinfo_);</pre>
---

- Canviar de ns-whatever/ns-x.y/common/Simulator.cc::

```

else if (strcmp(argv[1], "add-broadcast-node") == 0) {
    BroadcastNode *node = (BroadcastNode *) (TclObject::lookup(argv[2]));
    if (node == NULL) {
        tcl.add_errorf("Wrong object name %s", argv[2]);
        return TCL_ERROR;
    }
    int id = atoi(argv[3]); add_node(node, id);
    return TCL_OK;
}

else if (strcmp(argv[1], "add-plcnode") == 0) {
    PLN *node = (PLN *) (TclObject::lookup(argv[2]));
    if (node == NULL) {
        tcl.add_errorf("Wrong object name %s", argv[2]);
        return TCL_ERROR;
    }
    int id = atoi(argv[3]);
    add_node(node, id);
return TCL_OK;
}

```

- Canviar del teu ns-whatever/ns-x.y/common/parentnode.h:

```

class PLN : public ParentNode {
public:
    PLN() : ParentNode() {}
    virtual int command(int argc, const char*const* argv);
};

```

- Canviar del mateix directori, l'arxiu parentnode.cc:

```

static class PLNClass : public TclClass {
public:
    PLNClass() : TclClass("PLN") {}
    TclObject* create(int, const char*const*) {
return (new PLN);
    }
    } class_pln;
int PLN::command(int argc, const char*const* argv) {
    if (argc == 3) {
if (strcmp(argv[1], "addr") == 0) {
    address_ = Address::instance().str2addr(argv[2]);
return TCL_OK;
    } else if (strcmp(argv[1], "nodeid") == 0) {

```

```

nodeid_ = atoi(argv[2]);

return TCL_OK;
    }

return ParentNode::command(argc,argv);
    }

```

Després al terminal de Linux introduir la següent comanda, dins el directori ns o re-  
compilant ns-2:

```
run ./configure; make clean; make depend; make
```

### 3.2. Escenaris, Comparacions i Conclusions.

A continuació es generen diferents escenaris amb les tres tecnologies més usades en les llars i més similars possibles com ho són: les xarxes WI-FI 802.11b, les xarxes amb cablejat estructurat Ethernet 802.3 i les xarxes amb cablejat per la línia elèctrica, PLC - HomePlug AV.

S'han creat els diferents escenaris per poder comprovar el rendiment en cada una d'elles a l'enviar paquets d'informació TCP i UDP, i poder així comparar-los i avaluar quin són els problemes i avantatges en cada cas.

En la tecnologia WI-FI 802.11b, s'han creat quatre escenaris pel model de xarxa ad-hoc i quatre escenaris més pel model d'infraestructura.

En mode ad-hoc, s'ha creat un escenari amb dos nodes mòbils i enviant informació de paquets TCP i un altre escenari enviant informació de paquets UDP.

Com que aquestes proves són per escenaris a la llar, s'ha volgut crear els mateixos escenaris anteriors, però aquesta vegada amb tres nodes, un escenari pel màxim ampla de banda utilitzat a la xarxa amb paquets TCP i un altre escenari amb el màxim ampla de banda utilitzat a la xarxa amb paquets UDP.

El mateix s'ha fet pel model de xarxa infraestructura i el mateix pel cablejat estructurat Ethernet, tal i com s'explica a continuació.

### 3.2.1. Estudi del rendiment en mode ad-hoc amb 802.11b.

#### Escenari model ad-hoc amb dos nodes mòbils i paquets d'informació TCP

Les característiques de l'escenari en mode ad-hoc són els següents:

- Xarxa WI-FI a 11 Mbps
- Retard d' 1 ms
- Nivell d'enllaç i canal físic estàndard
- Política de cues DropTail

Les característiques del node font (node 0) són les següents:

- Agent de transmissió TCP i UDP
- Agent d'aplicació FTP i CBR
- Política de cues DropTail

#### Descripció de l'escenari:

Definim primer la xarxa Adhoc, com un conjunt d'estacions connectats un amb altres sense un punt d'accés o base estació, on comparteixen recursos entre si, anomenat també conjunt de serveis bàsics independents (IBSS).

A l'acabar la simulació amb NS2, executem el fitxer al terminal i ens apareixen dos fitxers més, un de sortida.tr i un altre de sortida.nam.

El fitxer de sortida.nam, ens mostra la gràfica dels nodes de la nostra simulació de la següent manera:



Fig. 3.1. Representació NAM simulació adhoc 2 nodes

Els nodes mòbils estan representats pel cercle en negre, numerats nodes 0 i 1 respectivament. Quan el temps va transcorrent, el node 0 i 1 es comencen a desplaçar en les coordenades descrites en l'arxiu .tcl i comencen a transmetre paquets RTC i CTS, aquests últims, representats per ones de radiofreqüència.

El moviment d'escrit en l'arxiu .tcl, són de distàncies mínimes, ja que el que veia important era comparar cada tecnologia per igual, el seu rendiment a la xarxa amb paquets TCP i UDP, amb un i dos nodes.

En l'instant 6 segons, comença la transmissió de paquets TCP i ACK entre els nodes 0 i 1, sent el node 0, la font i el node 1, el destí.

Quan s'executa l'arxiu .tcl, es genera un arxiu .tr i un altre .nam , tal i com s'ha explicat anteriorment.

En l'arxiu .tr , és on es tenen totes les dades per ser tractades i poder extreure la informació que volem de la simulació.

En aquest cas, es vol comprovar el rendiment o Throughput d'aquesta xarxa i calcular el màxim d'ampla de banda utilitzat en enviar paquets TCP i veure com actua en el transcurs dels segons la xarxa Adhoc amb els nodes mòbils.

S'ha tingut que crear un petit programa awk, on ens extreu les dades dels segons, començant en el segon 6, que és quan es comença a fer la transmissió dels paquets, fins al segon 26.

I també es calcula el Throughput en cada moment per veure comportament dels nodes i la utilització de l'ampla de banda en cada segon de la transmissió.

Amb l'extracció de les dades i el càlcul del rendiment, ja es pot fer el gràfic per poder tenir una opinió visual del comportament de la xarxa.

S'ha creat un programa amb Matlab, on mitjançant les dades extretes i calculades del fitxer .tr i el programa creat amb awk, podem veure les següents gràfiques:

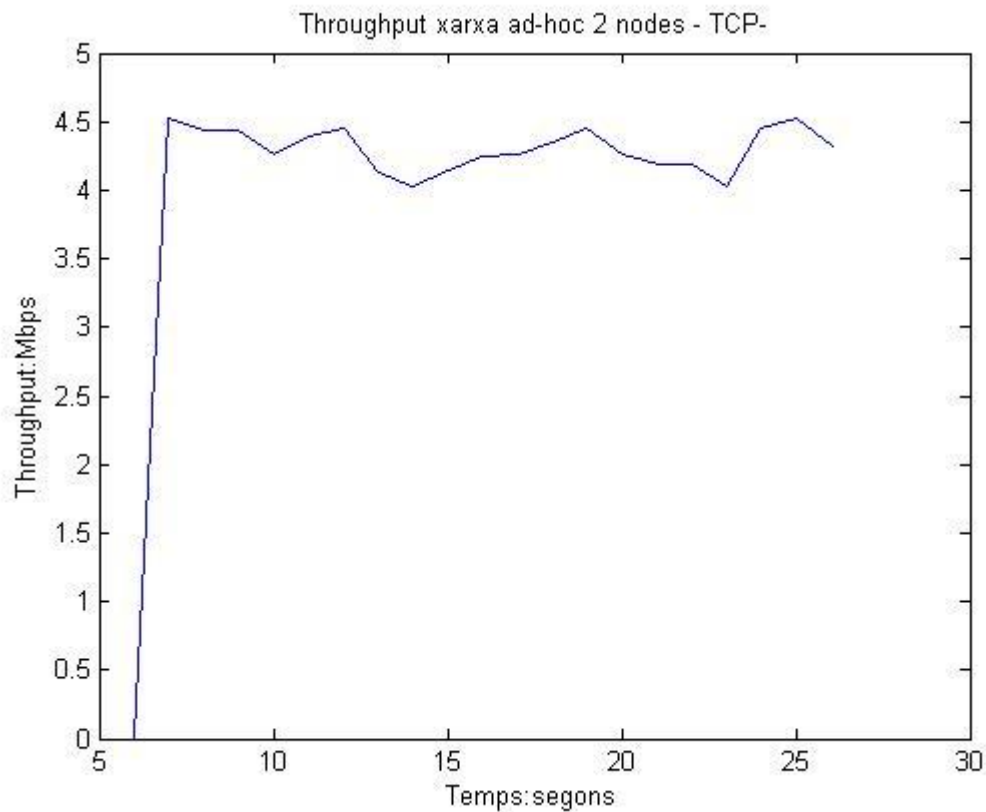


Fig. 3.2. Throughput simulació ad-hoc 2 nodes 802.11b TCP

### Conclusions:

En la figura anterior (Fig.3.2.), es pot veure el rendiment de la xarxa en relació al temps que transcorre de la simulació. S'observa que la taxa promig és entre 4 i 4.5 Mbps.

Aquest valor s'atribueixen a diversos factors que incideixen en la degradació del rendiment de la xarxa. Aquest estàndard que estudiem, el 802.11b, té una taxa de transmissió de dades de 11Mbps, però per causa del mecanisme d'accés al medi utilitzat en les comunicacions sense fils (CSMA/CA) i altres factors com per exemple la distància entre els nodes, les condicions de propagació, el rendiment pot disminuir en picat .

Si les condicions de la xarxa fossin favorables, el rendiment màxim de la xarxa seria entre 6 i 6.5 Mbps.

Tot això es degut en la transmissió de paquets, aquests paquets contenen informació de sincronisme i correcció d'errors que es necessari transmetre a una taxa molt més baixa (1Mbps).

També es sumen factors com, els espais entre trama, el temps d'execució de l'algoritme backoff i la duració del paquet ACK al ser transmès, tot això, afecten a la eficiència del rendiment.

En la nostra simulació, l'eficiència del rendiment es veu més afectat ja que hi ha un intercanvi de paquets RTS i CTS, i això fa que ocupin més paquets l'ampla de banda i baixi la eficiència del rendiment.

### **Escenari model ad-hoc amb dos nodes mòbils i paquets d'informació UDP**

A l'igual que l'anterior escenari, però aquesta vegada, els nodes envien paquets d'informació UDP.

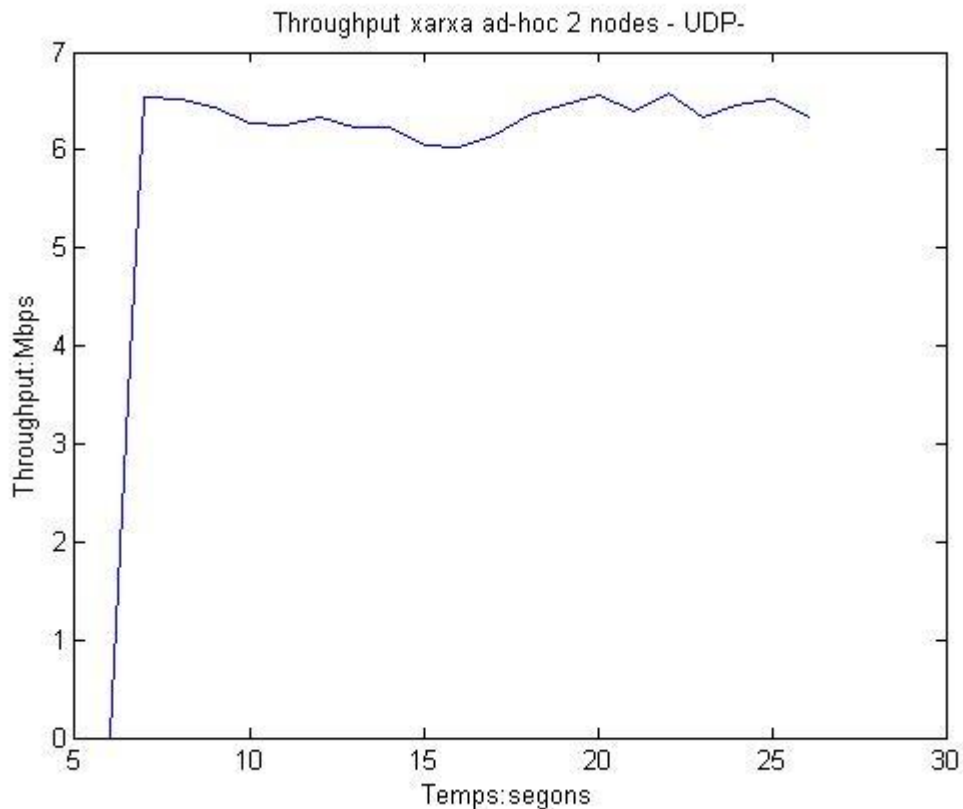


Fig. 3.3. Throughput simulació ad-hoc 802.11b UDP

UDP és un protocol simple no orientat a la connexió, on no necessita intercanvis de paquets RTS i CTS, ocupant així més ampla de banda que TCP.

La diferència de les dues gràfiques per així poder veure la diferència en el màxim rendiment de la xarxa dependent de el tipus d'informació:



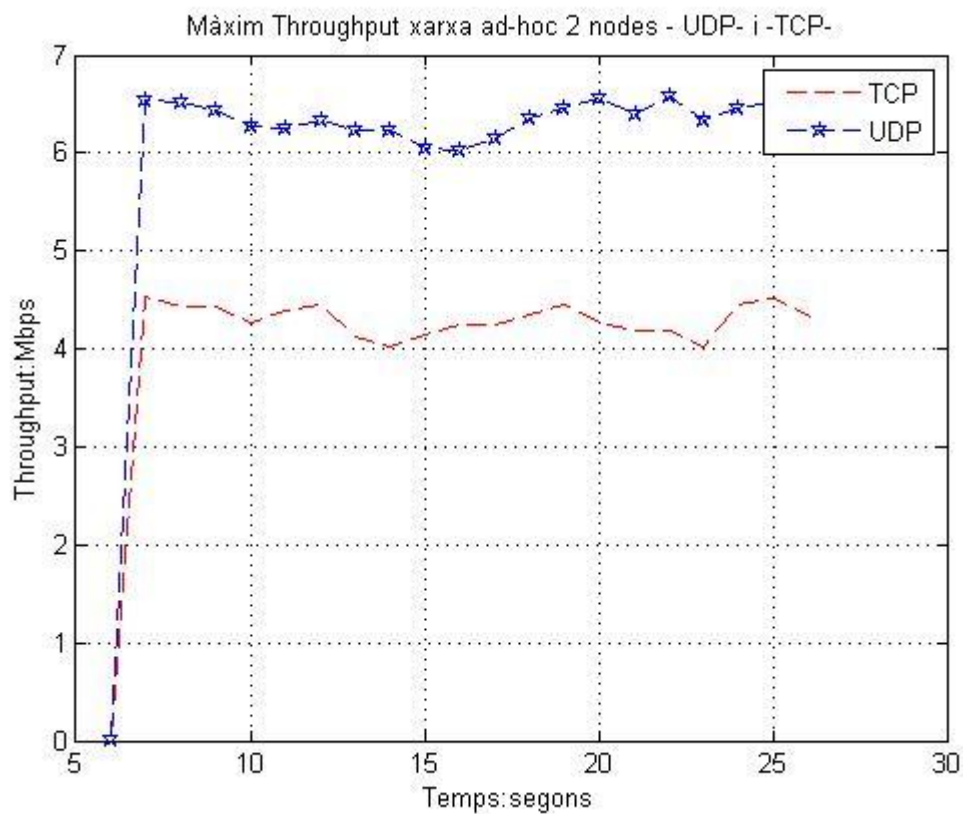


Fig. 3.4. Throughput simulació ad-hoc 802.11b TCP i UDP

### Escenari model ad-hoc amb tres nodes mòbils i paquets d'informació UDP i TCP

El següent escenari que s'ha creat ha estat el mateix que l'anterior, però aquesta vegada amb tres nodes, per veure com es comporta el rendiment de la xarxa al compartir els recursos amb un altre estació.

L'escenari NAM del NS-2 és el següent:

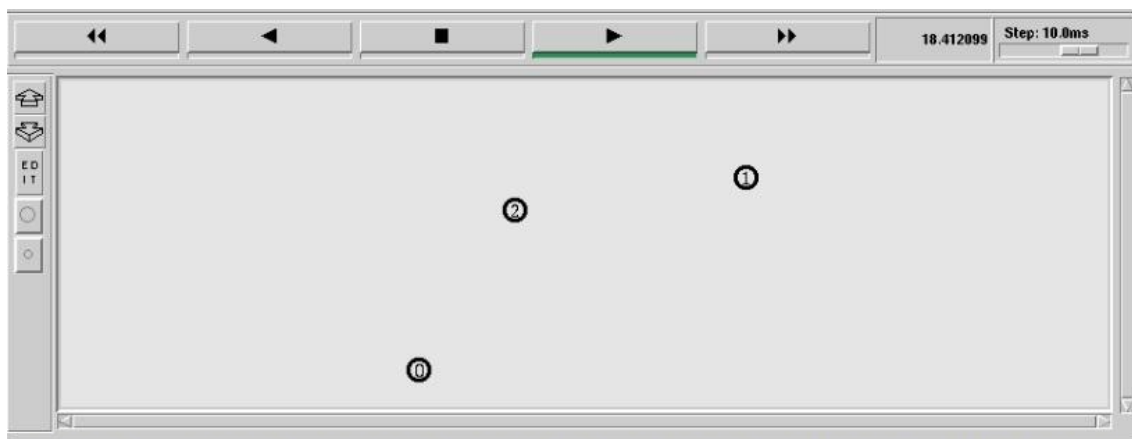


Fig. 3.5. Representació NAM simulació ad-hoc 3 nodes

Ara l'escenari consta d'una font, el node 0 i dos receptors, els nodes 1 i 2, on es van intercanviant informació de paquets TCP i UDP.

Ara els nodes 1 i 2, han de compartir el canal i per això el rendiment de l'ampla de banda es veurà afectada, com es pot comprovar en la figura següent:

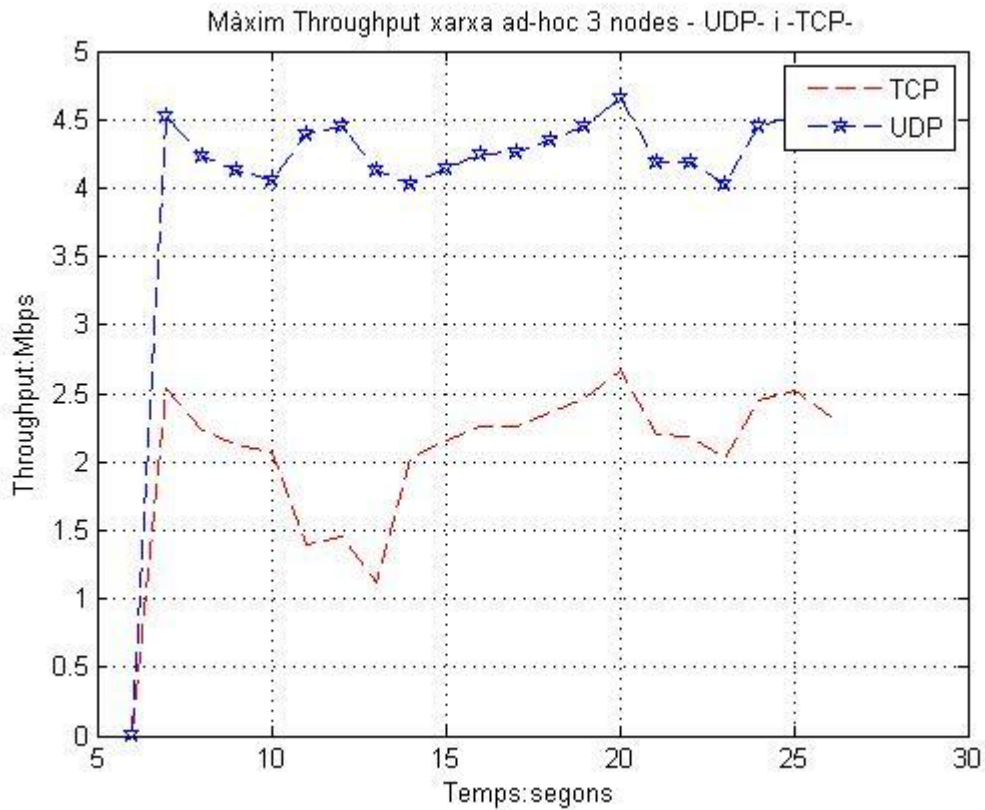


Fig. 3.6. Throughput simulació ad.hoc 3 nodes 802.11b TCP i UDP

### 3.2.2. Estudi del rendiment en mode infraestructura amb 802.11b i transmissions TCP.

#### Escenari model infraestructura amb un node mòbil i paquets d'informació UDP i TCP

La següent figura mostra l'escenari NAM del simulador NS-2:

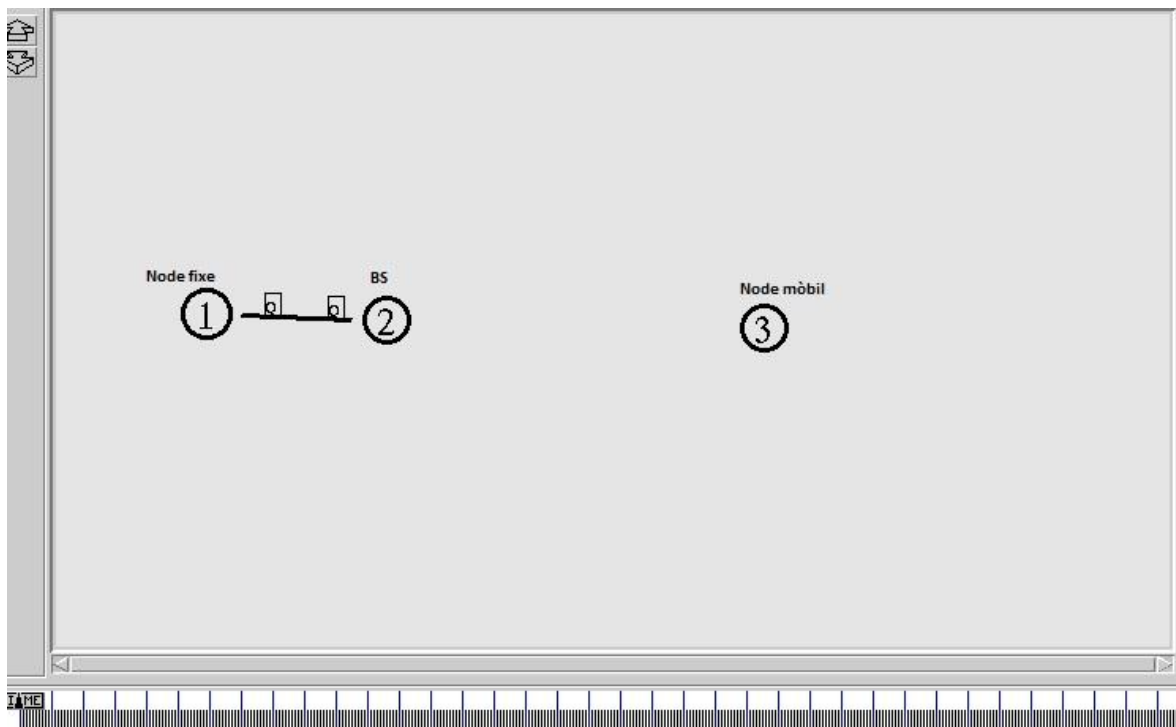


Fig. 3.7. Representació NAM simulació infraestructura un node mòbil

**Les característiques de l'escenari en mode infraestructura són els següents:**

- Xarxa cablejat estructurat a 10 Mbps
- Retard d' 1 ms
- Nivell d'enllaç i canal físic estàndard
- Política de cues DropTail

**Les característiques del node font (node 1) són les següents:**

- Agent de transmissió TCP i UDP
- Agent d'aplicació FTP i CBR
- Política de cues DropTail

### **Les característiques del node mòbil:**

- Xarxa wi-fi a 11 Mbps
- Retard d' 1 ms
- Nivell d'enllaç i canal físic estàndard
- Política de cues DropTail

### **Descripció de l'escenari:**

Aquest escenari representa model d'infraestructura d'una xarxa, on està representat per un node fixa que anirà enviant flux de dades TCP i UDP respectivament, cap al node tres, que serà el nostre node mòbil, i en el qual serà el receptor de les dades.

El node 2, és el punt d'accés o estació base, encarregat de que la transmissió es pugui fer a terme cap al node mòbil. Aquest node és el que uneix la part dels nodes amb fils de la simulació amb la part sense fils.

Per fer aquesta simulació, s'han tingut de configurar una sèrie d'adreces jerarquitzaes al NS-2, donant una configuració de dominis, clústers i nodes.

Per tant, hi haurà dos dominis, una que serà el de la part dels fils i l'altre representarà a la part de la transmissió sense fils.

Hi haurà un clúster per a cada domini , on en el primer clúster hi haurà 1 node, serà el que representi al node fixa i representarà al primer domini, i dos nodes en el segon clúster que representarà a l'estació base i al punt d'accés.

Els gràfics creats a partir de l'arxiu de traça del simulador NS-2, ha estat el següent:

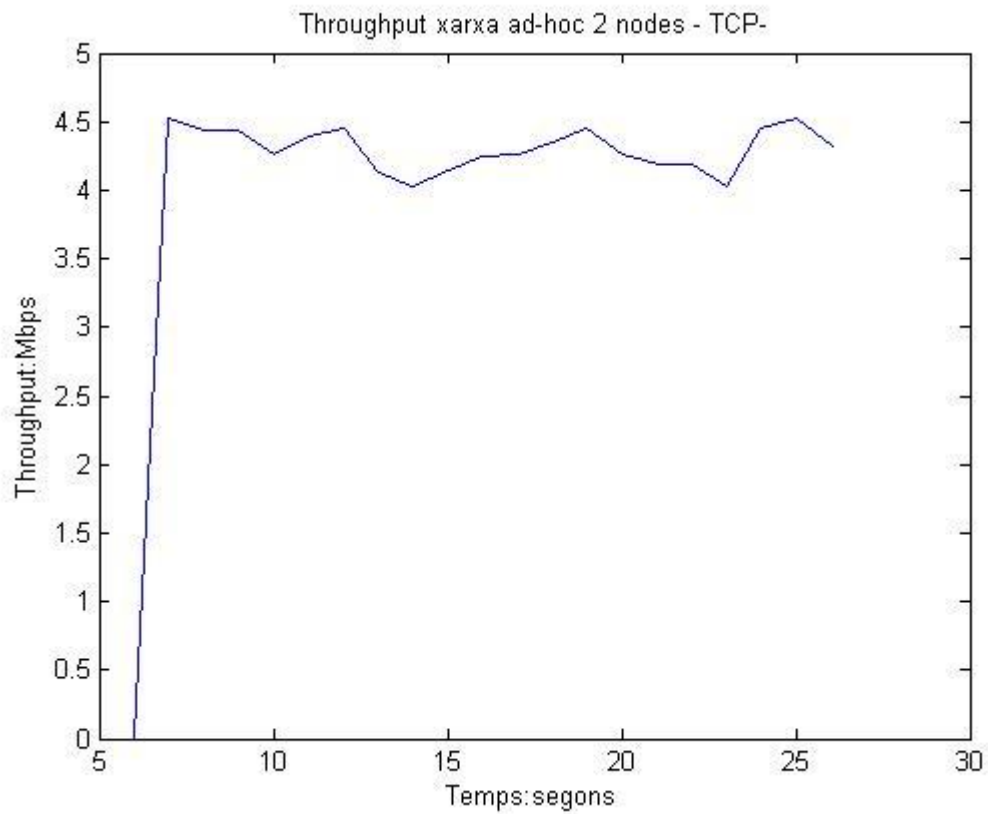


Fig. 3.8. Throughput simulació Infraestructura 802.11b TCP

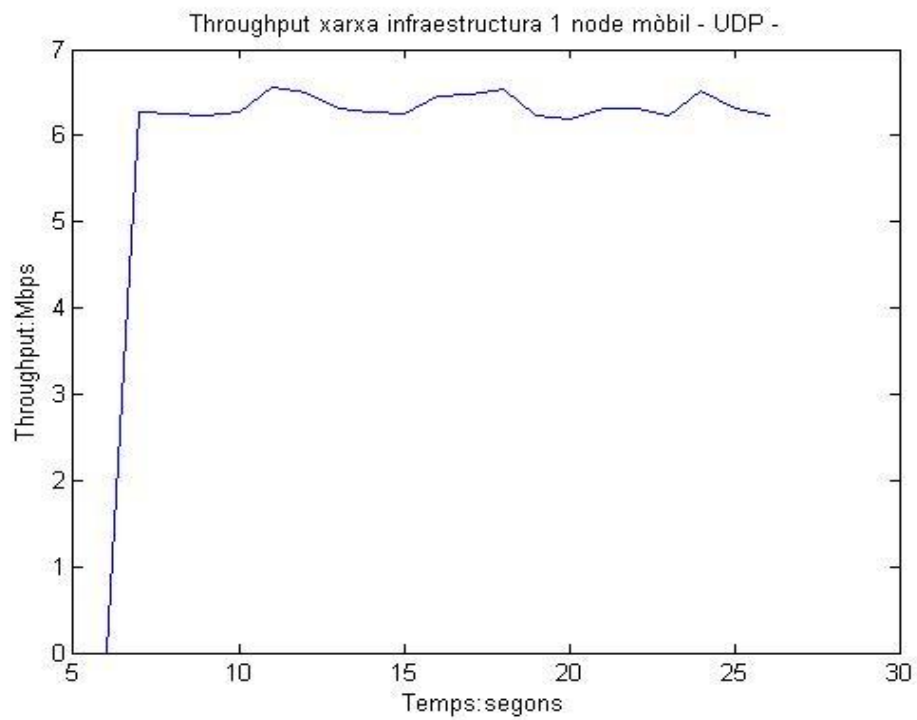


Fig. 3.9. Throughput simulació Infraestructura 802.11b UDP

Es pot comprovar doncs, que la diferència que pot haver-hi entre el mode ad-hoc i d'infraestructura és molt petita.

El rendiment de la xarxa depèn molt de la quantitat de nodes que hi estiguin transmetin, ja que han de compartir un mateix canal de transmissió.

També dependrà del tipus d'informació que s'envii, ja que com es pot veure, el protocol TCP consumeix força més recursos a la xarxa i l'amplada de banda es veu disminuït.

### **Escenari model infraestructura amb dos nodes mòbil i paquets d'informació UDP i TCP**

Introduïm un segon node a la xarxa WI-FI en mode d'infraestructura, on l'escenari NAM del simulador NS-2 ha estat el següent:

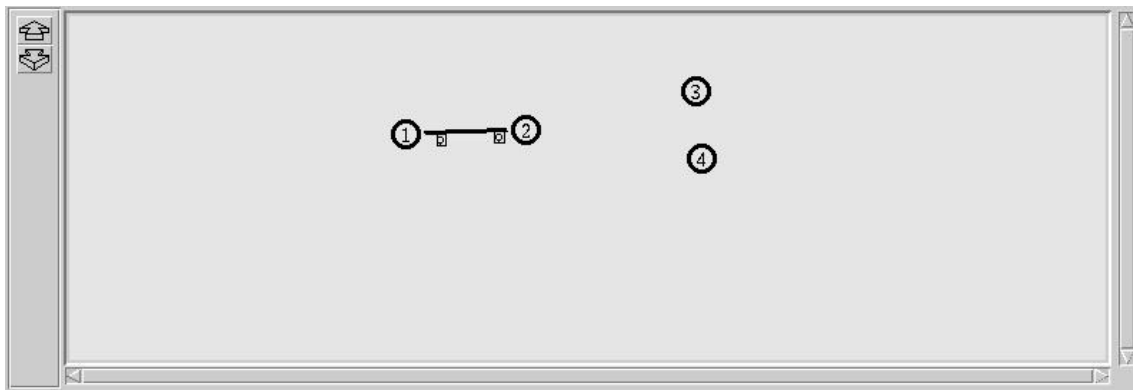


Fig.3.10. Representació NAM simulació infraestructura dos nodes mòbils

Ara són dos nodes a la xarxa que reben informació de paquets TCP i UDP respectivament del node fixa.

Si comparem els dos protocol , TCP i UDP en una sola gràfica:

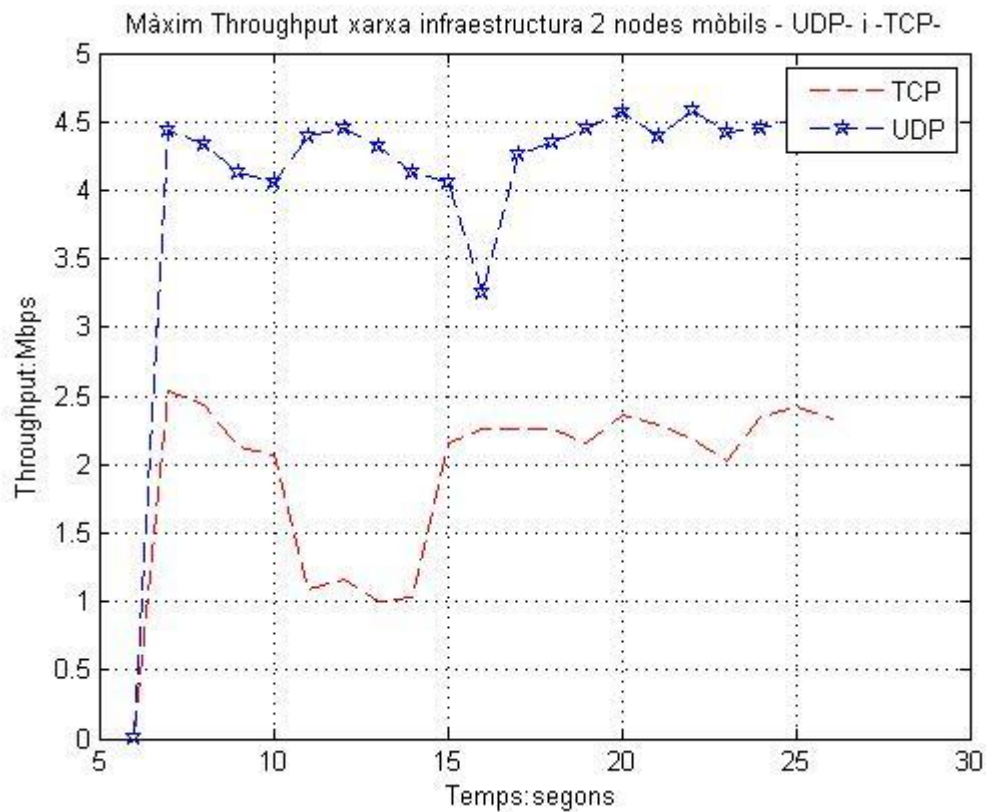


Fig. 3.11. Throughput simulació infraestructura 802.11b TCP i UDP

### Conclusions:

Com estem treballant dins de l'estàndard 802.11b veiem en la figura anterior els valors del rendiment dins dels paràmetres establerts en una comunicació TCP.

Al ser una connexió sense fils 802.11 b, sabem que l'ampla de banda és de 11 Mbps i que amb bones condicions del canal, el màxim de rendiment de la xarxa seria d'uns 6 Mbps.

Però en aquest cas, a l'estar dos nodes enviant i rebent informació, l'ampla de banda es redueix considerablement.

### 3.2.3. Escenaris Ethernet: xarxes d'àrea local.

NS-2 permet simular les característiques d'una xarxa d'àrea local utilitzant un tipus d'estacions especials anomenades LanNode. El model que utilitza NS-2 es basa en la utilització d'estacions connectades amb un medi compartit. Bàsicament, quan una estació envia un paquet de dades, aquest és rebut pel canal i el qual ho enviarà a totes les estacions de la xarxa local.

En funció de les direccions font i destí del mateix, les estacions determinaran la correcta recepció d'aquest paquet.

La següent figura adjunta mostra les entitats d'aquest model, les estacions i el medi compartit.

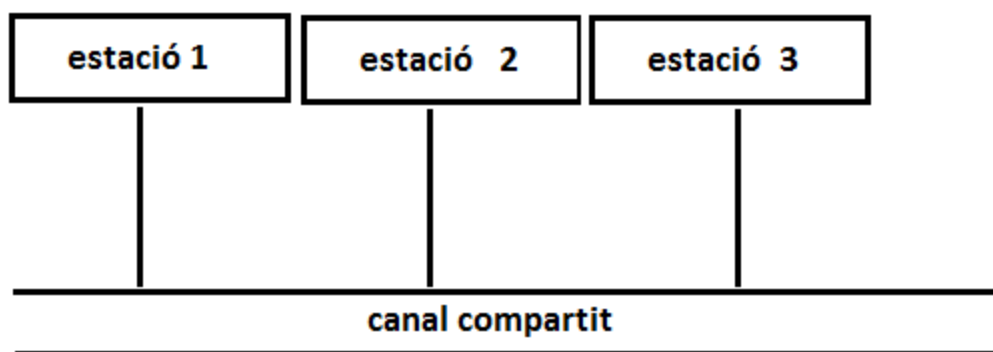


Fig. 3.12. Model de canal compartit utilitzat per NS-2.

Totes les estacions disposen d'una interfície de xarxa connectat al medi compartit. A més a més, cada una de les estacions pot disposar d'interfícies addicionals que es poden connectar a estacions individuals mitjançant enllaços punt a punt.

### Estudi del rendiment entre els nodes en una xarxa de canal compartit.

L'escenari que s'ha creat en el simulador NS-2 ha estat d'un node com a font generadora de trànsit cap a un i dos nodes dins d'una xarxa local amb canal compartit com a receptors.



**Les característiques de l'escenari en medi compartit (node 0 i node 1) són els següents:**

- Xarxa local Ethernet a 10 Mbps
- Retard d' 1 ms
- Nivell d'enllaç i canal físic estàndard
- Política de cues DropTail

**Les característiques del node font (node 3) són les següents:**

- Agent de transmissió UDP i TCP
- Agent d'aplicació CBR i FTP
- Política de cues DropTail
- Velocitat d'enllaç a 10 Mbps
- Retard d' 1 ms

**Descripció de l'escenari:**

Amb els escenaris Ethernet, s'ha fet el mateix que amb els escenaris WI-FI, per així poder comparar-los en les mateixes situacions.

El primer escenari, un node que envia paquets de dades a un segon node que es troba dins d'un medi compartit.

El gràfic NAM del simulador NS-2 ha estat el següent:

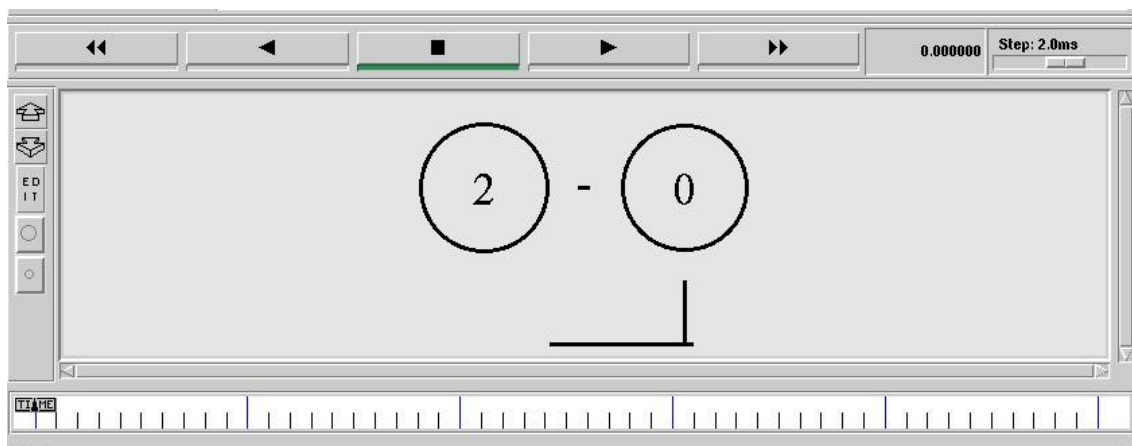


Fig. 3.13. Representació NAM simulació Ethernet dos nodes

El node 2, actua com a font, enviant paquets TCP i UDP respectivament, cap el node 0 que es troba dins d'una àrea de xarxa local.

Els resultats dels màxims rendiments de la xarxa amb els protocols TCP i UDP han estat els següents:

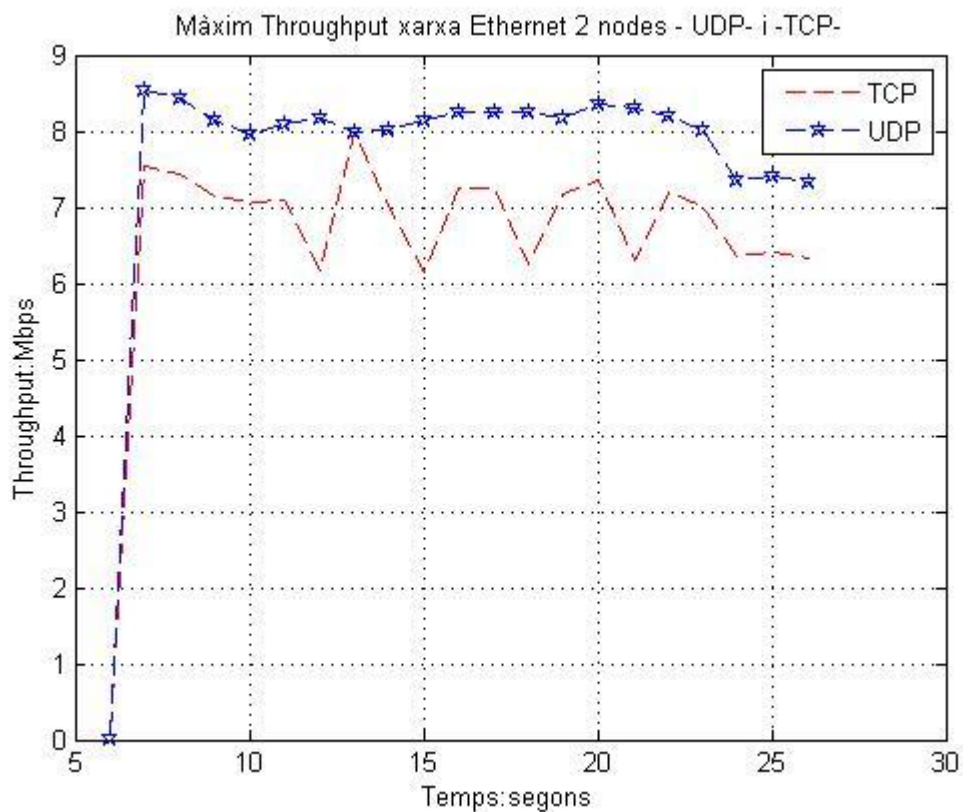


Fig. 3.14. Throughput xarxa Ethernet dos nodes TCP i UDP

El segon escenari amb el simulador, ha estat el mateix que l'anterior, però aquesta vegada amb un node com a font i dos nodes com a receptors, que estaran en un medi compartit, a continuació e gràfic NAM del simulador NS-2:

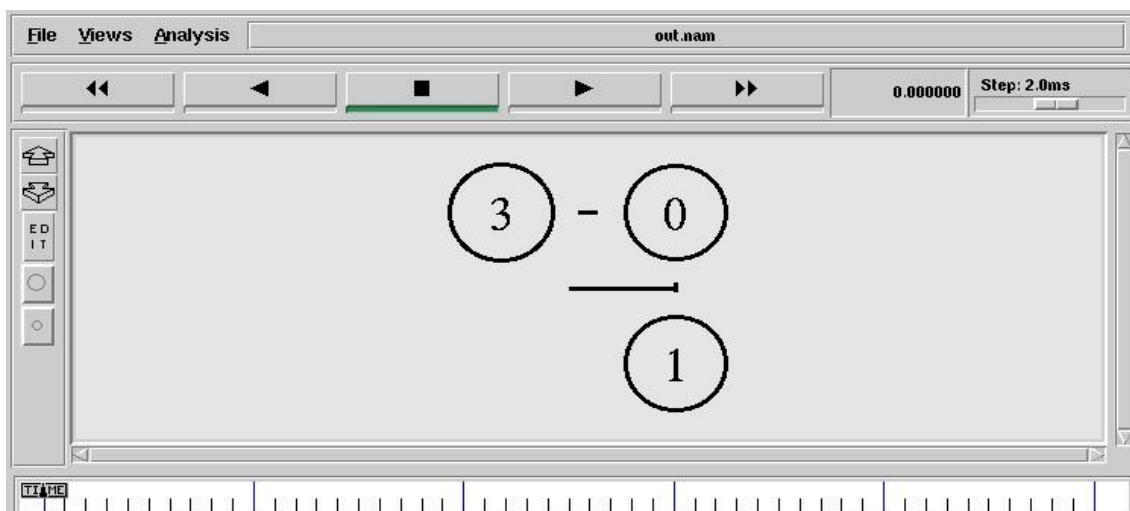


Fig. 3.15. Representació NAM simulació Ethernet tres nodes

En la primera simulació, s'utilitza els paquets d'informació UDP, cap els nodes 0 i 1, i en la segona simulació, s'utilitzen els paquets d'informació TCP.

En la següent figura, es mostra el màxim rendiment de la xarxa Ethernet amb els dos nodes:

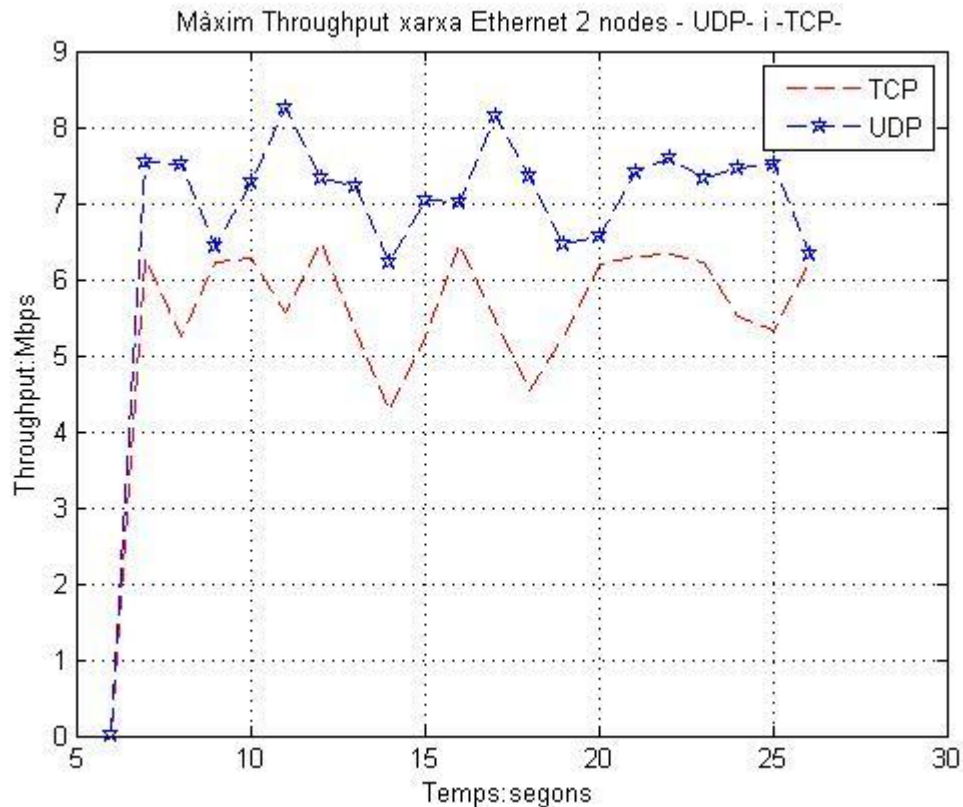


Fig. 3.16. Throughput xarxa Ethernet 3 nodes TCP i UDP

### Conclusions:

S'ha desenvolupat un escenari de xarxa local que utilitza Ethernet com a protocol d'accés al medi.

La tecnologia Ethernet és la més utilitzada en l'entorn de xarxes locals, però com es pot comprovar en els gràfics, presenta alguns problemes de prestacions:

- A mesura que es va incrementant el tràfic a la xarxa, apareixen un major nombre de col·lisions, això es pot veure en el node 0, com el més afectat, ja que ha de compartir el canal amb el node 1. Quan apareixen les col·lisions, les estacions o nodes executen l'algoritme de back off, augmentant el retard mig dels paquets de dades i com a conseqüència, el temps de resposta de les aplicacions.

- A mesura que es va incrementant la carga al sistema, el rendiment de la xarxa va decaient.
- Igual passa amb la distància, a mesura que els nodes s'allunyen de la font generadora de trànsit, el paquet tarda més a arribar al node destí, es generarà per tant més trànsit en el mateix temps i això farà que el rendiment de la xarxa disminueixi.

### **3.2.4. Resultats pràctics amb HomePlug AV.**

Ja que no ha sigut possible fer un estudi pràctic sobre la tecnologia PLC , el HomePlug AV al simulador NS-2, tal i com ho explico en els Annexes, s'ha intentat fer una recerca d'informació d'aquesta tecnologia sobre el seu rendiment i eficiència gràcies a la informació que m'ha proporcionat l'empresa **Devolo**, on té la seva seu principal a Alemanya.

### **Estudi del màxim rendiment en HomePlug AV amb TCP i UDP.**

#### **Característiques de l'escenari :**

- Xarxa d'àrea local amb HomePlug AV dLAN 200
- Agent de transmissió UDP i TCP
- Agent d'aplicació CBR i FTP
- Velocitat d'enllaç a 200 Mbps

#### **Descripció de l'escenari:**

En aquest escenari, es tracta d'una connexió entre dispositius per la línia elèctrica dins de la llar, on la informació enviada són paquets UDP i paquets TCP.

Es podria aplicar per a la creació d'una LAN per a jocs en xarxa o per fer streaming de música o vídeo (pel·lícules).

Un dels escenaris possibles podria ser de la següent manera :

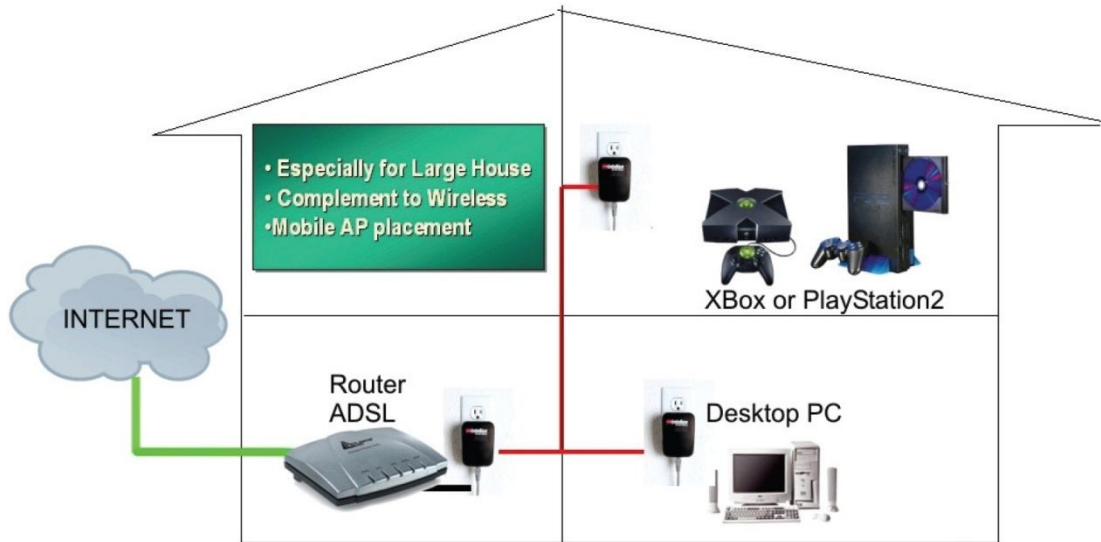


Fig.3.17. Possible escenari real HPAV

On dos dispositius de diferents plantes, s'estan enviant informació mitjançant la línia elèctrica.

La gràfica del rendiment de la xarxa HomePlug amb paquets TCP i UDP seria la següent:

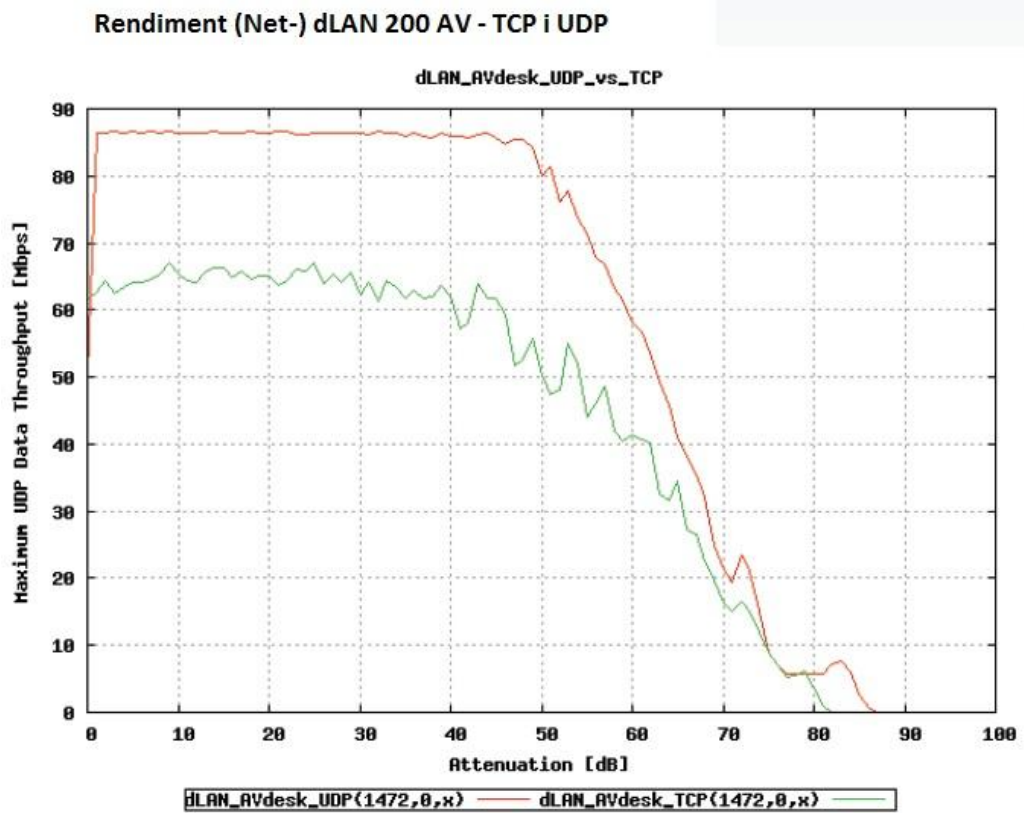


Fig. 3.18. Rendiment xarxa HomePlug AV amb trànsit TCP vs. UDP

**Conclusions:**

Com es pot veure a la Gràfica 3.15 totes dos tecnologies comencen amb la seva velocitat de transferència respectiva, UDP té major rendiment a la xarxa ja que és un protocol més senzill i té menys restriccions. Tant UDP com TCP la seva senyal és va degradant a mesura que van augmentant els dB, es a dir l'atenuació, ja sigui tant per la llargada del cable com per el tipus de cable(gruix del coure), com per el soroll que afecti a la senyal, com es pot veure a la gràfica, quant l'atenuació assoleix uns 50dB aproximadament, la senyal comença a degradar-se bastant ràpid, fins el punt de no poder recuperar-la. Llavors tenim dos solucions per que això no passi, una és canviant el cable, es a dir, posar-ho més gruix, que això seria molt mes costos, una altre posar un amplificador a partir dels 30dB o 40dB per així poder recuperar el senyal.

**3.2.5. Comparacions i conclusions**

Les comparacions fetes en aquestes tres tecnologies, estan destinades específicament per a la llar, és a dir, la creació d'una xarxa d'àrea local on hi ha una sèrie de recursos a compartir mitjançant les tres tecnologies explicades anteriorment.

Cada escenari consta de tres nodes, on un d'ells fa de node font i un altre de receptor de les dades, on injectant trànsit a la xarxa i l'afegiment d'un altre node, s'ha comprovat mitjançant gràfics en funció del temps, el rendiment de la xarxa.

Pels escenaris sense cablejat estructurat, s'ha volgut comparar els dos models de xarxes més utilitzats en el dia d'avui com ho són el model ad-hoc i el d'infraestructura. Aquesta tecnologia WI-FI.

Es pot imaginar doncs, en una llar, una xarxa ad-hoc formada per totes les computadores de la casa que es poden o no enviar informació entre si, a l'igual que la xarxa de model infraestructura, on la diferència és que en la primera, totes les estacions o computadores són mòbils, i en la segona trobem una infraestructura de cablejat i un node mòbil.

Pel que fa al cablejat estructurat, també s'ha creat l'escenari com un medi compartit, destinades a enviar informació de paquets TCP i UDP entre els dispositius que hi puguin haver dins de la llar.

Pels escenaris PLC - HomePlug AV, tal i com explico en el seu apartat, són un recull d'informació que he trobat interessant.

Si es vol crear una xarxa d'àrea local en una llar, i ens guiem pels resultats obtinguts en el simulador, la que ens dona més bon rendiment a la xarxa és la d' Ethernet, encara que hi hagués molt de trànsit a la xarxa, provocant així més col·lisions i baixant el rendiment,

seria la més efectiva, tant per l'augment de trànsit a la xarxa com per les distàncies entre els dispositius.

Si a la llar no es té un cablejat estructurat instal·lat i tenim problemes amb la cobertura del WI-FI i es vol crear una xarxa d'àrea local, la solució més ràpida és la tecnologia PLC - HomePlug AV.

## 4. Valoració econòmica

En aquest capítol, es detallen els costos de les creacions de les simulacions en el programa NS-2, en el programa AWK per estudiar les dades i en Matlab per graficar els resultats.

Al final d'aquest apartat es mostra una taula amb tots els costos comentats en els diferents subapartats.

### 4.1. Costos Directes

Els costos que afecten directament al desenvolupament del projecte es detallen en la següent taula:

<b>Descripció</b>	<b>Hores</b>	<b>Total en € (1 h = 25 €)</b>
Estudi i documentació	40	1000
Disseny	10	250
Codificació i proves	500	12500
Redacció de la memòria	30	750
Viatges, reunions i dietes		200

### 4.2. Amortització

#### 4.2.1. Software

El software utilitzat per fer les simulacions i l'extracció de les dades són de software lliure, completament gratuïts, però el software per a fer els gràfics (MATLAB) té un cost.

Tenint en compte que els programes de desenvolupament i proves s'han d'actualitzar cada dos anys (24 mesos), i per fer aquest TFC s'ha necessitat quatre mesos, el factor d'amortització del software és de 4/24.

<b>Descripció</b>	<b>Hores</b>	<b>Total (€)</b>
-------------------	--------------	------------------



MATLAB & Simulink Student Version Release 2011a – Windows	-	70
Amortització: 4/24 x 70	-	12

#### 4.2.2. Hardware

Per al hardware, es considera que l'ordinador necessari per fer possible l'estudi d'aquest TFC s'amortitza en uns 4 anys (48 mesos), com s'han necessitat quatre mesos per poder finalitzar-ho, el factor d'amortització és de 4/48.

Descripció	Hores	Total (€)
Cost de l'ordinador utilitzat en el TFC	-	700
Amortització: 4/48 x 700	-	59

#### 4.3. Costos indirectes

Descripció	Hores	Total (€)
Energia, lloguer i telèfon	-	100

#### 4.4. Taula resum

Descripció	
Costos directes	14700
Costos indirectes	100
Amortització software	12
Amortització hardware	59
<b>TOTAL</b>	<b>14871</b>

## 5. Conclusions

Tres són les tecnologies que s'han intentat estudiar i aprofundir en aquest TFC, una d'elles són les xarxes Ethernet destinades a xarxes d'àrea local, on requereix d'un cablejat estructurat, una altre és la tecnologia WI-FI, on no fa falta cablejat per a la seva connexió i per últim la tecnologia PLC - HomePlug AV, on és necessària la línia elèctrica.

Si es tracta d'un edifici, llar o oficina amb una infraestructura de cablejat estructurat, l'opció més vàlida és la utilització de xarxes Ethernet, ja que aquestes tenen un major rendiment i eficiència a la xarxa, tal i com s'ha vist en els gràfics de rendiment amb paquets TCP i UDP.

En la meua opinió, aquesta tecnologia no té cap mena de rival, ja que donarà millors prestacions en la connectivitat que un WI-FI o un adaptador PLC.

Ara bé, és el PLC una alternativa al WI-FI? , en la meua opinió, no anem a utilitzar la xarxa PLC per tenir Internet a la llar si no per distribuir la senyal a tota la casa, fent ús de la instal·lació elèctrica. Res de tirar cables ni preocupar-se pels cables Ethernet, on hi hagi un endoll, de forma general, tindrem Internet amb només connectant un adaptador PLC.

Si a casa hem d'accedir a Internet des de qualsevol lloc però tenim problemes amb la senyal WI-FI, els adaptadors PLC són la solució més senzilla.

A l'actualitat, un altre ús encara més important del de no dependre de la WI-FI, és de donar connectivitat a equips que el necessiten i en els que no es disposa de possibilitat de connexió sense cables.

En els dies d'avui, són dos els estàndards que s'imposen al mercat: HomePlug i DS2 (UPA), els dos, han aconseguit arribar a una taxa de 200 Mbps, tot i que aquestes xifres són teòriques, i a l'igual que el WI-FI, la velocitat de transmissió dependrà de la distància i l'estat de la instal·lació de la nostra llar, oficina, etc..

WI-FI i PLC no són tecnologies que no puguin subsistir juntes al mateix temps, on el més habitual és que la primera sigui substituïda per la segona, però si es vol, es poden aprofitar les dues al mateix temps.

Un exemple clar és donar connectivitat WI-FI a les zones que ho necessitem més de la llar, imaginem doncs una casa amb varies plantes en el que el router WI-FI es trobi al menjador de la primera planta i vulguem tenir connectivitat al despatx que es troba a la segona o tercera planta, on possiblement tinguem problemes de cobertura amb la senyal WI-FI. El millor en aquest cas seria connectar un adaptador PLC al router WI-FI per poder utilitzar la línia elèctrica com a xarxa de transmissió on connectant un altre adaptador al despatx de la segona o tercera planta, a l'endoll, es podria gaudir de la connectivitat sense preocupar-se per la cobertura WI-FI.

Per tant, crec que el millor ús d'aquestes tecnologies, no es escollir una o altre si no combinant l'ús de les dues per a una millor adaptació de la connectivitat a la llar.

## 6. Referències.

- [1] Behrouz A. Forouzan, *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*. Mc. Graw Hill, 4a edició 2006.
- [2] Andrew S. Tanendaum, *Redes de computadoras*. Pearson educación, 4a edició 2003.
- [3] <http://es.wikipedia.org/wiki/Ethernet>
- [4] [http://es.wikipedia.org/wiki/Power\\_Line\\_Communications](http://es.wikipedia.org/wiki/Power_Line_Communications)
- [5] DEVOLO AG – Presentació de formació, 2011
- [6] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-problems.html>
- [7] <http://www.isi.edu/nsnam/nam/nam-problems.html>
- [8] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-problems.html#xgraph>
- [9] <http://paginespersonals.upcnet.es/~dfp3/links.htm>
- [10] <http://www.devolo.es/consumer/dlan-red-de-corriente-electrica-powerline.html?l=es>
- [11] <http://www.conelectronica.com/PLC/Tecnolog%C3%ADa-PLC-de-Banda-Ancha-para-las-Comunicaciones-del-Hogar.html>
- [12] <http://www.dautecom.com/2007/04/internet-en-el-enchufe-de-corriente.html>
- [13] <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=114>
- [14] <http://www.devolo.es/business/dlan-aplicaciones-en-sintesis.html?l=es>
- [15] <http://online.monlogic.com/18-plc?gclid=CISDvIbnoasCFRQPfAodW2Xkjw>
- [16] <http://www.reparacionlcd.com/informacion/plc.php>
- [17] <http://www.webtaller.com/maletin/articulos/banda-ancha-usando-red-electrica.php>

[18] <http://www.idg.es/pcworldtech/mostrarNoticia.asp?id=101136&seccion=actualidad>

[19] <http://en.wikipedia.org/wiki/OFDM>

[20] Oscar MARTINEZ Bonastre, *Protocols de Comunicaciones con Network Simulator 2*, Editorial Club Universitario, 2004.

