



Escola Politècnica Superior  
de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# TREBALL FINAL DE CARRERA

**TÍTOL: Avaluació de l'impacte del traspàs entre sistemes GPRS i UMTS  
en els protocols TCP/IP**

**AUTOR: Xavier Figueras Garcia**

**DIRECTOR: Carles Gómez Montenegro**

**DIRECTOR: Marisa Catalán Cid**

**DATA: 24 de febrer de 2006**

**Títol:** Avaluació de l'impacte del traspàs entre sistemes GPRS i UMTS en els protocols TCP/IP

**Autor:** Xavier Figueras Garcia

**Director:** Carles Gómez Montenegro

**Data:** 24 de febrer de 2006

## **Resum**

*En aquest treball es pretén realitzar un estudi del traspàs entre els sistemes UMTS i GPRS, per tal d'avaluar quin és l'impacte que produeix el traspàs en serveis basats sobre el protocol TCP/IP.*

*Inicialment es descriuen els sistemes UMTS i GPRS. A continuació es mostra el procediment del traspàs entre els sistemes esmentats. Posteriorment es descriu la metodologia i els escenaris emprats en la realització de les proves. Per mostrar com afecta el traspàs entre sistemes UMTS i GPRS al protocol TCP/IP, s'han realitzat una sèrie de caracteritzacions, tant a nivell IP com a nivell TCP en un escenari interior i un d'exterior. Per últim es mostren els resums dels resultats obtinguts en les proves, duent a terme una anàlisi a fons dels experiments més representatius. A l'annex s'inclou el detall dels resultats de totes les proves realitzades.*

*Dels resultats obtinguts podem concloure que, a nivell IP, el traspàs entre sistemes introdueix gaps de connectivitat de durada significativa, retards elevats i pèrdues de paquets. Aquests fenòmens provoquen efectes perjudicials en TCP, degradant encara més les prestacions a l'usuari.*

**Title:** Evaluation of the impact of handover between systems GPRS and UMTS in TCP/IP protocols

**Author:** Xavier Figueras Garcia

**Director:** Carles Gómez Montenegro

**Date:** February, 24th 2006

## **Overview**

*In this document we aim to study the handover between UMTS and GPRS systems, in order to evaluate the impact of handover in services based on TCP/IP protocol.*

*Initially, UMTS and GPRS systems are described. Next, we show the handover procedure between the mentioned systems. Later on the methodology and the scenarios used in the accomplishment of the tests are described. To show how handover affect to TCP/IP protocol, a serie of characterizations at IP level and TCP level have been performed in outdoor an indoor scenarios. Finally, the summaries of the obtained results are shown, taking into account a thorough analysis of the most representative experiments. In the annexes we include the detail of the results of all the tests.*

From the obtained results we can conclude that, at IP level, the handover between systems introduces connectivity gaps of significant duration, high delays and packet losses. These phenomena cause detrimental effects on TCP transmissions, degrading still more the performance observed by the user.

## DEDICATÒRIA

Dedicar aquest treball a la meva família i amics, així com agrair primer de tot a la meva família el suport mostrat durant tots aquests anys d'estudis, ajudant sempre en el que poden. I agrair als directors del treball el seu treball com a directors, que ha fet que aquest treball sigui molt interessant i els seus coneixements que han aportat, necessaris en algunes ocasions per acabar d'obtenir el resultat desitjat.

# ÍNDIX

<b>CAPÍTOL 1</b>	<b>INTRODUCCIÓ</b>	<b>1</b>
1.1	Motivació	1
1.2	Objectius	1
1.3	Estructura	2
<b>CAPÍTOL 2</b>	<b>SISTEMES GPRS I UMTS</b>	<b>3</b>
2.1	GPRS	3
2.1.1	Introducció	3
2.1.2	Arquitectura	3
2.1.3	Terminals i prestacions	6
2.2	UMTS	7
2.2.1	Arquitectura UMTS	7
2.2.2	Qualitat de servei	10
<b>CAPÍTOL 3</b>	<b>ESTUDI TEÒRIC DEL TRASPÀS ENTRE SISTEMES GPRS I UMTS</b>	<b>11</b>
3.1	Procediment de traspàs entre sistemes GPRS i UMTS	11
3.1.1	Condicions per l'inici del traspàs	11
3.1.2	Mode comprimit	13
3.2	Tipus de traspàs i procediment	16
3.2.1	Intra-MSD Handovers	16
3.2.1.1	Traspàs Intra-MSD de UMTS a GPRS	17
3.2.1.2	Traspàs Intra-MSD de GPRS a UMTS	18
3.3	Estudi teòric sobre el temps de traspàs entre sistemes	20
3.3.1	Retards dels elements de xarxa	20
3.3.2	Retard de la interfície: Senyalització	21
3.3.3	Retard de les cues	21
3.3.4	Retard d'inici del traspàs	21
3.3.5	Retard d'altres processos	22
3.3.6	Càlcul del retard en el traspàs	23
3.3.7	Estudis publicats	24
<b>CAPÍTOL 4</b>	<b>DEFINICIÓ D'ESCENARIS I METODOLOGIA DE PROVES</b>	<b>25</b>
4.1	Definició d'escenaris	25
4.1.1	Escenari interior	26
4.1.1.1	Movistar	26
4.1.1.2	Vodafone	27
4.1.2	Escenari exterior	28
4.2	Equipament utilitzat	29
4.3	Metodologia de les proves	30
4.3.1	Metodologia de les proves a nivell IP	30
4.3.2	Metodologia de les proves a nivell TCP	32
<b>CAPÍTOL 5</b>	<b>CARACTERITZACIÓ A NIVELL IP</b>	<b>34</b>
5.1	Caracterització a nivell IP	34
5.1.1	Resultats de l'escenari interior	34
5.1.2	Resultats de l'escenari exterior	35
5.1.3	Anàlisi a fons dels resultats amb UDP	36
5.1.3.1	Resultats més pròxims a la mitjana	37
5.1.3.2	Resultats extrems	39
<b>CAPÍTOL 6</b>	<b>CARACTERITZACIÓ A NIVELL TCP</b>	<b>41</b>
6.1	Caracterització a nivell TCP	41
6.1.1	Resultats de l'escenari interior	41

6.1.2	Resultats de l'escenari exterior .....	42
6.1.3	Anàlisi a fons dels resultats amb TCP .....	43
6.1.3.1	Resultats més pròxims a la mitjana en Movistar .....	44
6.1.3.2	Resultats més pròxims a la mitjana en Movistar a l'exterior .....	46
<b>CAPÍTOL 7 CONCLUSIONS I LÍNIES FUTURES .....</b>		<b>49</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>		<b>51</b>
<b>ANNEXOS.....</b>		<b>52</b>
<b>A.</b>	<b>GPRS .....</b>	<b>53</b>
A.1.	Elements del Network and Switching subsystem: .....	53
A.2.	Terminals i prestacions.....	54
A.3.	Gestió de la mobilitat .....	55
<b>B.</b>	<b>UMTS .....</b>	<b>57</b>
B.1.	Qualitat de servei.....	57
<b>C.</b>	<b>Altres estudis.....</b>	<b>58</b>
<b>D.</b>	<b>Tipus de traspàsos i procediment.....</b>	<b>59</b>
D.1.	Inter MSC Handovers .....	59
D.1.1.	Traspàs Inter-MSC de UMTS a GPRS .....	60
D.1.1.1.	Traspàs de UMTS a GPRS amb circuit de connexió .....	60
D.1.1.2.	Traspàs de UMTS a GPRS sense circuit de connexió .....	62
D.1.2.	Traspàs Inter-MSC de GPRS a UMTS .....	63
D.1.2.1.	Traspàs de GPRS a UMTS amb circuit de connexió .....	63
D.1.2.2.	Traspàs de GPRS a UMTS sense circuit de connexió .....	65
D.2.	Traspàs entre cel·les GSM/GPRS.....	66
<b>E.</b>	<b>Definició dels escenaris .....</b>	<b>69</b>
<b>F.</b>	<b>Anàlisi dels resultats de les caracteritzacions IP.....</b>	<b>71</b>
F.1.	Resultats de les proves realitzades .....	71
F.1.1.	Escenari Interior.....	71
F.1.2.	Escenari Exterior.....	73
F.2.	Anàlisi de resultats més pròxims a la mitjana del escenari interior .....	74
F.2.1.	Enllaç de baixada Movistar .....	74
F.2.2.	Enllaç de pujada Vodafone .....	76
F.2.3.	Enllaç de baixada Vodafone.....	78
F.3.	Anàlisi de resultats extrems del escenari interior .....	80
F.3.1.	Casos extrems amb Movistar .....	80
F.3.2.	Casos extrems amb Vodafone.....	85
F.4.	Anàlisi a fons dels resultats amb UDP a l'escenari exterior .....	89
F.4.1.	Resultats més pròxims a la mitjana .....	90
F.4.2.	Casos extrems .....	94
F.5.	Altres resultats .....	96
F.5.1.	Proves amb altres terminals .....	96
F.5.2.	Prova de velocitat màxima per l'enllaç de pujada.....	97
F.5.2.1.	Movistar .....	98
F.5.2.2.	Vodafone.....	98
<b>G.</b>	<b>Anàlisi dels resultats de les caracteritzacions TCP .....</b>	<b>99</b>
G.1.	Resultats de les proves realitzades .....	99
G.1.1.	Escenari Interior.....	99
G.1.2.	Escenari Exterior.....	100
G.2.	Mecanismes de control de congestió de TCP.....	101
G.3.	Anàlisi a fons dels resultats amb TCP a l'escenari interior .....	101
G.3.1.	Resultats més pròxims a la mitjana .....	101
G.3.1.1.	Movistar .....	102
G.3.1.2.	Vodafone.....	103

<b>G.3.2. Resultats extrems .....</b>	<b>106</b>
<b>G.3.2.1. Casos extrems amb Movistar .....</b>	<b>106</b>
<b>G.3.2.2. Casos extrems amb Vodafone .....</b>	<b>109</b>
<b>G.4. Anàlisi a fons del resultats amb TCP a l'escenari exterior. ....</b>	<b>112</b>
<b>G.4.1. Resultats més pròxims a la mitjana en Movistar.....</b>	<b>112</b>
<b>G.4.2. Resultats extrems amb Movistar .....</b>	<b>113</b>
<b>H. Glossari .....</b>	<b>116</b>

# CAPÍTOL 1 INTRODUCCIÓ

## 1.1 Motivació

La implantació de la tercera generació de telefonia cel·lular representa un avenç en el món de les comunicacions mòbils. Tenint en compte que el sistema de segona generació GSM ja està totalment desplegat i, per tant, ja hi ha una base amb la qual es podran cobrir els serveis bàsics, caldrà que UMTS tingui una complementació amb GPRS, per tal de suplir el fet que UMTS encara no està completament desplegat. Fins ara el desplegament de UMTS s'ha reduït a les grans ciutats o poblacions turístiques on pugui haver-hi una demanda suficient dels nous serveis que ens ofereix UMTS, tot i que ara ja s'està fent un desplegament més ampli per tal d'anar cobrint el territori. El fet que el desplegament sigui per zones fa que la cobertura d'UMTS es distribueixi en illes i no tingui una cobertura com la que té el sistema GSM. Aquest fet suposa un problema, ja que al desplaçar-nos mentre utilitzem el sistema pot implicar sortir d'una illa de cobertura i no poder continuar la trucada o el servei que estiguem utilitzant. Per aquesta raó és tan important que el traspàs entre sistemes es realitzi amb èxit, per tal de no limitar una tecnologia com és la d'UMTS a determinats llocs concrets. D'aquesta manera, realitzant un traspàs a GPRS podrem continuar utilitzant els serveis que teníem en UMTS, fins que tornem a disposar de cobertura UMTS.

## 1.2 Objectius

En aquest treball es pretén analitzar els efectes i implicacions que es donen quan s'està utilitzant el sistema de comunicacions mòbil de tercera generació, UMTS, i cal fer un traspàs al sistema GPRS, i viceversa. Aquest traspàs entre sistemes pot afectar a la comunicació que s'estigui duent a terme en aquell moment.

En el cas que en aquell moment s'estigui realitzant una transmissió, el temps que passa des de que s'inicia el traspàs fins que aquest finalitza, pot arribar a ser gran. Es pot donar el cas que es talli la connexió o bé que es produeixi una interrupció en aquesta.

En els diferents escenaris que tractarem nosaltres, determinarem quina és la duració del traspàs i com afecta al servei que el pateix. Es realitzaran dues caracteritzacions, una per TCP i una altre per IP. En la caracterització IP, s'analitzarà el temps de traspàs així com les pèrdues. En el cas de TCP, s'analitzarà el temps de traspàs i el comportament que presenta TCP en el traspàs.

Per avaluar el traspàs entre els sistemes UMTS i GPRS, es realitzaran una sèrie de proves en diferents escenaris, per tal de mesurar les diferències que es produeixen, així com també s'avaluaran diferents terminals i operadors de



telefonía per tal de tenir un ventall de proves suficientment ampli com per extreure les conclusions de com afecta el traspàs entre diferents sistemes.

### **1.3 Estructura**

En aquest treball els diferents apartats s'han estructurat de manera que sigui fàcilment comprensible i alhora, a mida que s'avanci en la lectura d'aquest, tinguem tota la informació i conceptes necessaris per comprendre les diferents proves realitzades així com els resultats obtinguts.

En primer lloc, es descriuran les principals característiques dels sistemes que s'estudiaran, que seran GPRS i UMTS. Aquesta descripció ens servirà per conèixer l'arquitectura del sistema així com les prestacions que ofereixen.

Un cop ja tenim caracteritzats els sistemes que utilitzarem, el tercer capítol estarà dedicat al estudi teòric del traspàs entre els sistemes UMTS i GPRS, on es descriurà com es duu a terme el procés de traspàs (també anomenat Handover). També s'inclourà en aquest estudi una anàlisi teòrica dels temps que pot durar un traspàs entre sistemes UMTS i GPRS, tenint en compte els diferents elements que influeixen en el traspàs.

Al quart capítol s'exposarà la metodologia utilitzada per realitzar les caracteritzacions, així com la definició dels escenaris i dels equips utilitzats, per tal de saber en quines condicions es troba l'escenari de proves.

Al cinquè capítol ja entrarem en la part de caracterització IP, on realitzarem una anàlisi dels resultats obtinguts en les diferents proves realitzades. En aquest capítol es tractaran els casos més generals i el resultats obtinguts, així com l'anàlisi dels casos més representatius. El sisè capítol es realitzarà, de forma anàloga, una caracterització TCP.

Per últim, en el setè capítol hi haurà les conclusions obtingudes d'aquest treball així com les línies futures que presenta el tema del traspàs entre sistemes i com afecta aquest als diferents serveis que el pateixen.

## **CAPÍTOL 2    SISTEMES GPRS I UMTS**

### **2.1 GPRS**

En aquest apartat es descriuran les principals característiques del sistema GPRS per tal de disposar dels coneixements necessaris per seguir amb normalitat el treball.

#### **2.1.1 Introducció**

El sistema GPRS (General Packet Radio Service), és la xarxa cel·lular considerada la generació 2,5, entre la segona generació (GSM) i la tercera (UMTS). El sistema GPRS es basa en l'arquitectura del GSM, però modificant-ne certes parts que permeten que es pugui utilitzar el protocol de xarxa IP, així com proporcionar amplitud de banda molt més grans i utilitzar aplicacions com, Web, e-mail, ftp, etc....

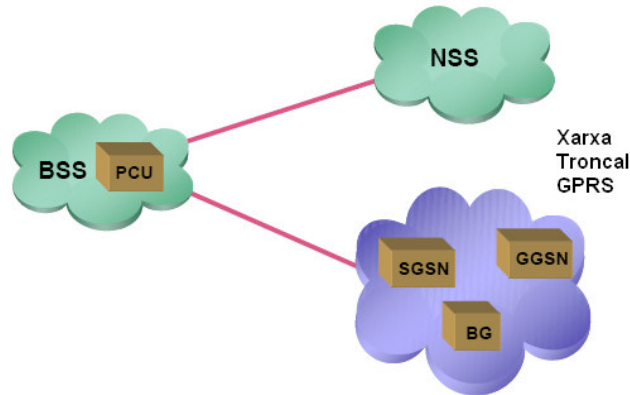
Gràcies a que només s'han de realitzar petites modificacions al sistema GSM, per tal de poder utilitzar el sistema GPRS i que s'utilitzin els mateixos recursos que GSM, fan que el sistema GPRS sigui una manera viable de millorar el sistema GSM i alhora donar el primer pas cap a l'evolució a UMTS.

Amb la xarxa cel·lular de GPRS es poden suportar tràfics a ràfegues o asimètrics que són més característics de les xarxes IP. A més a més ofereix diferents velocitats, que varien en funció de la distància a la que ens trobem respecte a l'estació base. Com ja s'ha comentat suporta el protocol IP, però també d'altres com pot ser X.25. Com les dades van en paquets, es poden aplicar diferents esquemes de tarificació i es millora la transmissió de dades respecte GSM.

#### **2.1.2 Arquitectura**

Tal com ja s'ha comentat l'arquitectura del sistema GPRS es basa en la de GSM, però amb petites modificacions. Per tal que aquestes modificacions no suposessin una gran modificació a tota la xarxa, es va procurar no modificar la xarxa d'accés i fer aquests canvis a la xarxa troncal.

Per aconseguir no modificar la xarxa d'accés el que es va fer va ser afegir un sistema de commutació de paquets. Amb aquest canvi la xarxa passava a tenir dues parts diferenciades, la de commutació de circuits per GSM i la de commutació de paquets per GPRS.



**Fig. 2.1** Modificacions a la xarxa GSM

Al sistema de commutació de paquets, la xarxa troncal de GPRS, hi haurà tres nous elements, que són els següents:

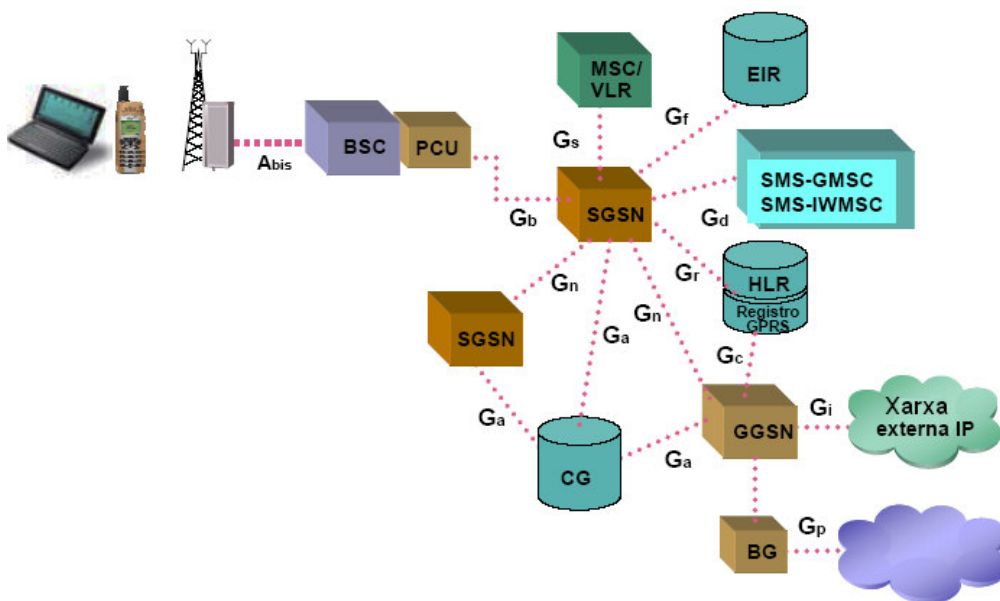
- **SGSN (Serving GPRS Support Node)**  
És el node encarregat de realitzar la commutació de paquets a la xarxa GPRS i des del punt de vista del terminal mòbil suposa el punt d'accés a la xarxa GPRS.  
Les funcions del SGSN són les següents:
  - Commutació de paquets
  - Compressió de dades
  - Xífrat, no el realitza la BTS com a GSM
  - Autenticació, Gestió de sessions.
  - Proporciona gestió de la mobilitat, on segons l'estat del terminal informa de l'àrea d'encaminament (routing area) o de la informació de la BTS.
  - Tarificació: Recull informació sobre la utilització de la xarxa a la interfície radio.
  - Traspàs: S'encarrega de l'enviament del paquets no confirmats pel mòbil, segons el tipus de traspàs al nou SGSN o al mòbil.
  
- **GGSN (Gateway GPRS Support Node)**  
És el node encarregat d'interconnectar les xarxes de dades externes amb la xarxa troncal GPRS.  
Les funcions del GGSN són les següents:
  - Connexió a les xarxes de paquets externes
  - Tarificació, recull la informació per tarificar l'ús de xarxes externes.
  - Des de les xarxes externes es veu com un router, amb el qual intercanvien informació d'encaminament.
  - Pot funcionar com un dispositiu RADIUS (Remote Access Dial-In User Service) per connectar amb altres ISPs.
  - Permet associar a l'usuari amb el seu SGSN corresponent.

- **BG (Border Gateway)**  
És l'element que actua com a punt de connexió amb altres PLMNs<sup>1</sup> i possibilita l'intercanvi de dades de forma segura sense haver d'utilitzar Internet per interconnectar diferents xarxes. Permet monitoritzar els missatges i acostuma a tenir implementada la funció de firewall.

Un cop tenim la xarxa dividida en dues parts, ens caldrà un element que diferenciï els tipus de paquets que s'envien, es a dir, si és per commutació de circuits o bé per commutació de paquets. L'element que s'encarregarà de diferenciar els paquets serà el Packet Control Unit (PCU), que controlarà i gestionarà les funcions relacionades amb la part radio del sistema GPRS.

La PCU pot estar col·locada en diferents ubicacions, la primera d'elles pot ser a la BTS, fet que provocaria que s'haguessin d'instal·lar tantes PCU com BTS hi ha, fet que suposaria un alt cost econòmic. La segona ubicació i que és la que esta adoptada actualment és la de col·locar la PCU a la BSC, així d'aquesta manera la PCU agruparia a varies, BTS. Per últim es podria col·locar abans del SGSN, per tal d'agrupar encara més BTS's en una sola PCU. La solució utilitzada és la segona ja que d'aquesta manera hi ha una distribució més equilibrada i no es confia tant tota la carrega a una única PCU.

Tal com es pot veure a la figura 2.2 la xarxa GPRS queda de la següent manera:



**Fig. 2.2** Xarxa GPRS

A continuació descriurem els altres elements de la xarxa, que pertanyen a l'arquitectura de GSM, que és en la que es basa GPRS.

<sup>1</sup> PLMN's (Public Land Mobile Networks) o Xarxes Mòbils Terrestres Públiques

Estació Mòbil o Mobile Station (MS): Consta de varis elements com són el MT (Mobile Termination), el TA (Terminal Adaptor), el TE (Terminal Equipment) i per últim la SIM (Subscriber Identity Module). Els tres primers elements fan referència al que seria el terminal, com podria ser un ordinador portàtil (TE) connectat mitjançant un cable de dades (TA) a un telèfon mòbil (MT). La SIM que és el Mòdul d'identificació d'abonat, permet diferenciar al abonat i al terminal, disposa d'autenticació, i proporciona dades personals del abonat i del sistema per tal de oferir-li uns determinats serveis.

L'Estació Base o Base Station Subsystem (BSS): Consta de dos elements que són la Base Transceiver Station (BTS) o Base Station i la Base Station Controller (BSC). La funció d'aquests elements és la de connectar les estacions mòbils amb els NSS, a més de ser els encarregats de la transmissió i recepció. La BTS consta de transceptors per poder enviar i rebre les senyals via radio, que també poden fer mesures de senyal referents al nivell i la qualitat i s'encarreguen de xifrar la informació.

Per la seva part les BSC's són els controladors de les BTS i tenen com funcions principals les d'estar al càrrec dels traspassos, la selecció i configuració de canals, el control de potència.

El Subsistema de Commutació i Xarxa o Network and Switching Subsystem (NSS): Aquest sistema s'encarrega d'administrar les comunicacions que es realitzen entre els diferents usuaris de la xarxa; per a poder realitzar aquest treball la NSS consta de set elements, cadascun amb una missió dins la xarxa. A l'annex es pot trobar més informació sobre els elements de la NSS:

- Mobile Switching Center (MSC)
- Gateway Mobile Switching Center (GMSC)
- Home Location Register (HLR)
- Visitor Location Register (VLR)
- Authentication Center (AuC)
- Equipment Identity Register (EIR)
- GSM Interworking Unit (GIWU)

El Subsistema de suport i Operació o Operation and Support Subsystem (OSS): El OSS es connecten a diferents NSS i BSC per a controlar i monitoritzar tota la xarxa GSM. La tendència actual en aquests sistemes és que, atès que el nombre de BSS s'està incrementant es pretén delegar funcions que actualment s'encarrega de fer-les el subsistema OSS a les BTS de manera que es redueixin els costos de manteniment del sistema.

### **2.1.3 Terminals i prestacions**

Segons quins terminal utilitzem, podrem obtenir un millor rendiment del sistema GPRS. Hi ha terminals de varies classes que segons quants timeslots disposin tindran major velocitat, però també influirà la codificació utilitzada. A l'annex es pot trobar molt més ampliat, els diferents tipus de terminals i les codificacions que utilitzen i el rendiment que poden obtenir.



La primera d'elles és la part del usuari on les estacions moblis es connectaran via radio amb la BTS en cas que siguin terminal de GSM o be al Node B en cas que siguin terminals duals GSM/UMTS. Pel que fa al que faria d'estació mòbil a GSM, en UMTS és el User Equipment (UE) i estarà format per l'equipament mòbil (ME) i per la USIM (UMTS Subscriber Identity Module), que s'interconnecten a través de la interfície Cu.

La xarxa d'accés a UMTS, s'anomena UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) i els elements que la formen són la RNC (Radio Network Controller) i el Node B. La UTRAN està subdividida en sistemes de xarxa radio, RNSs (Radio Network Systems), on cada RNS està controlada per una RNC. La RNC està connectada a un grup d'elements anomenats Nodes B, els quals cadascun d'ells donarà servei a un grup de cel·les. Si fem una comparació d'aquests nous elements amb els que teníem a la xarxa GPRS, veiem que la RNC seria el substitut de la BSC, mentre que el Node B equivaldria a la BTS.

La principal diferència d'accés a la xarxa és la de la pròpia interfície d'accés, es a dir en GPRS per accedir al BSS, utilitzàvem la interfície  $U_m$  que es basava en TDMA (Time Division Multiple Access) mentre que en UMTS, utilitza la interfície  $U_u$  basada en WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) que és com també es coneix UMTS. Node B i la RNC s'interconnecten a través de la interfície  $I_{ub}$ , mentre que per la interconnexió de les RNC entre elles mateixes s'utilitza la interfície  $I_{ur}$ .

Un de les diferències que trobem amb GPRS és que en aquest, no era possible connectar les BSCs entre elles mateixes sinó que havien de passar sempre per la MSC, fet que suposa una càrrega extra a la xarxa troncal amb comparació de la possibilitat de connectar-se entre elles com fan les RNCs. Una altra diferència que trobem respecte a les interfícies amb comparació amb GPRS és que aquest últim per comunicar els BSS amb la xarxa troncal utilitzava la interfície Gb que funcionava sobre Frame Relay. Però degut a la necessitat de major ample de banda per poder utilitzar WCDMA, així com per integrar serveis i poder accedir a xarxes de paquets i circuits d'interfície  $I_u$  d'UMTS utilitza ATM per connectar amb la xarxa troncal.

Les principals funcions que porta a terme la RNC són les següents:

- Es l'encarregada de la gestió dels recursos.
- Es connecta simultàniament a la MSC i al SGSN.
- Des del punt de vista funcional es correspon a la BSC.
- Realitza control de càrrega als Nodes B.
- Realitza controls d'admissió.
- El xifrat passa del SGSN a la RNC.
- Realitza control de potència i controla els traspassos.

La RNC també pot ser anomenada SRNC o be DRNC segons si s'està duent a terme un traspàs entre diferents RNCs o be entre diferents sistemes.

Si l'usuari, està en una comunicació activa i per tant connectat a un node B i a la seva corresponent RNC, pot ser que es doni el cas en que l'usuari hagi de canviar de cel·la i pot ser que la cel·la destí estigui controlada per una altra RNC. Si es dona aquest cas, la RNC que estava servint al usuari, passa a ser

SRNC (RNC Servidor) i a través de la interfície  $I_{ur}$  informarà a la nova RNC del canvi de cel·la per tal que li reservi els recursos necessaris. La nova RNC passarà a anomenar-se DRNC (RNC derivada) ja que la SRNC li haurà derivat tota la informació necessària per fer el traspàs entre cel·les.

Per altre banda, el Node B te les funcions de capa física, i la seva principal tasca serà la de gestionar els recursos radio i actuar com a unitat física radio però la transmissió o recepció de la cel·la o varies cel·les que gestioni. Un node B pot suportar dos tipus de mode transmissió ja sigui FDD (Frequency Division Duplex) o TDD (Time Division Duplex) i per tal de reduir els costos d'implementació pot estar col·locada juntament amb una BTS de GSM. Tal com ja s'ha comentat a l'apartat de la RNC, el Node B es connecta a l'UE a través de la interfície radio WCDMA  $U_u$  i amb la interfície ATM  $I_{ub}$  amb la RNC.

La principal funció del node B és la conversió de dades cap a la interfície  $U_u$  o des de la interfície  $U_u$ , així com la correcció d'errors posteriors, FEC (Forward Error Correction), l'adaptació de la taxa, eixamplament/estrenyiment del WCDMA, la modulació QPSK de la interfície radio.

El Node B mesura la qualitat i el nivell de senyal de la connexió i determina la taxa d'errors per cada trama, FER (Frame Error Rate), llavors transmet aquesta informació a la RNC com un informe de mesures pel traspàs. El node B també participa en el control de potència. Per realitzar l'ajustament de potència el node B envia a través de l'enllaç de baixada, les comandes de control de potència de la transmissió (TPC – Transmission Power Control) per tal que ajusti la seva potència depenent de les mesures que l'UE li hagi enviat al Node B per l'enllaç de pujada.

Respecte el que comporta la xarxa troncal, gràcies a que amb ja GPRS s'utilitzen el SGNS, el GGSN i d'altre elements com el BG, fan que no calgui introduir-hi nous elements sinó que amb algunes petites modificacions com la introducció de la funció Interworking function (IWF) per poder fer la conversió de protocols entre les interfícies A i la lu-CS ja és suficient.

A la figura 2.5 podem veure com quedaria integrada la xarxa UMTS juntament amb la xarxa GSM/GPRS, amb les que compartiria xarxa troncal. La xarxa d'accés seria diferent per cada xarxa així com les interfícies que utilitzen. En el esquema es veu l'arquitectura més detallada, on podem veure els elements que pertanyen al domini de commutació de paquets i els que pertanyen a la commutació de circuits, així com els que poden treballar en ambdós dominis:



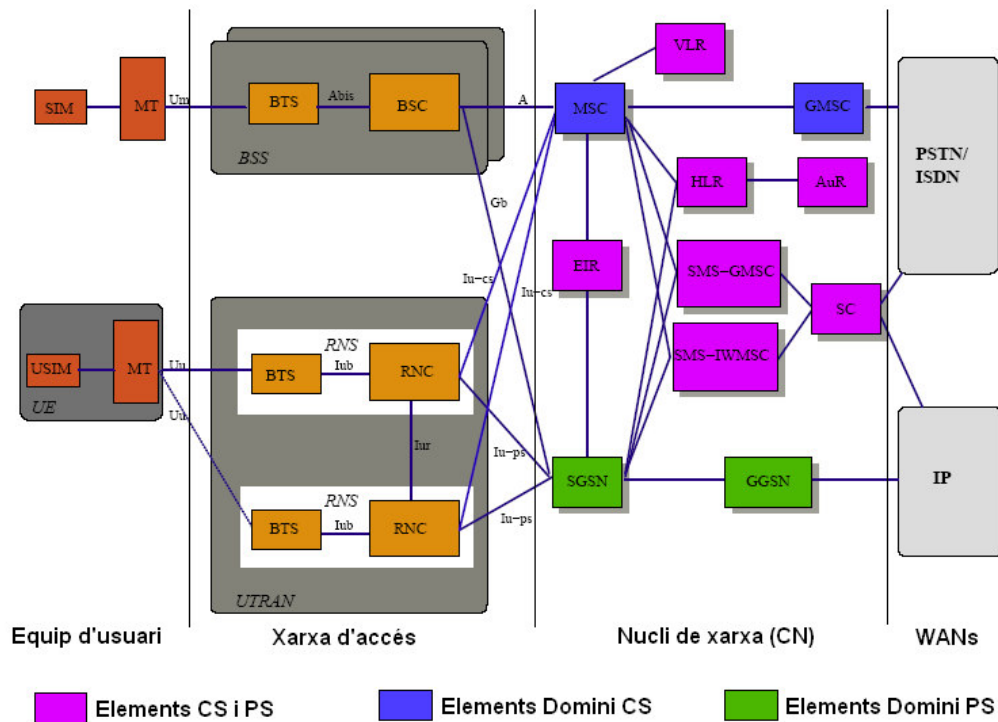


Fig. 2.5 Detall de la xarxa UMTS/GPRS

## 2.2.2 Qualitat de servei

En UMTS hi ha quatre classes de qualitat de servei (QoS) que afecten de diferent manera al tràfic. La principal diferència entre ells és el tractament que fan del retard. Tot i que a l'annex es pot trobar més informació sobre les classes de qualitat de servei, les quatre classes de qualitat de servei, ordenades segons si el retard és més crític o no, són les següents:

- Conversacional
  - Tràfic en temps real amb retards necessàriament petits
- Streaming
  - Tràfic en temps real amb retards petits
- Interactiu
  - Aplicacions tradicionals d'Internet
- Background
  - Aplicacions tradicionals d'Internet
  - Menor importància del retard

## **CAPÍTOL 3 ESTUDI TEÒRIC DEL TRASPÀS ENTRE SISTEMES GPRS I UMTS**

### **3.1 Procediment de traspàs entre sistemes GPRS i UMTS**

En aquest apartat es descriurà com es duu a terme el traspàs entre UMTS i GPRS, i viceversa. També es veurà quines són les condicions que indiquen que s'ha de produir el traspàs, així com de quina manera s'avaluen aquestes.

#### **3.1.1 Condicions per l'inici del traspàs**

A l'actualitat la cobertura UMTS no és uniforme en tot el territori, com si ho és la de GSM, sinó que es presenta en forma d'illes de cobertura UMTS amb una base de cobertura GSM que si que cobreix tot el territori.

Aquest fet provoca que si estem en una zona amb cobertura UMTS i ens desplacem cap a una altre zona, pot donar-se el cas que cap a on ens dirigim no hi hagi cobertura UMTS o que pel camí hi hagi zones sense cobertura UMTS. Tenint aquest escenari se'ns presenta un problema, ja que si estem portant a terme una trucada en el moment en que ens desplacem pot ser que se'ns talli la comunicació per falta de cobertura UMTS.

Per solucionar aquest problema disposem del procediment de traspàs (Handover), que ens permet passar a utilitzar el sistema GSM en comptes del d'UMTS en zones on no hi ha cobertura d'aquest últim i d'aquesta manera evitar que la trucada que esta en curs es talli o be que tinguem una baixa qualitat de servei.

El traspàs pot ser iniciat segons criteris de nivell de senyal mesurats per l'estació mòbil (Mobile Station) o la xarxa (nivell de senyal, qualitat de senyal, nivell de potència, retards, etc ...) o be segons criteris de tràfic (tràfic que s'està cursant per cel·la, nivells d'interferència, peticions de manteniment, etc...). En aquest cas el que tractarem seran els criteris de mesures o senyals.

En els estàndards del 3GPP, hi ha definida la senyalització necessària, així com el rang de paràmetres que es poden utilitzar per realitzar el traspàs entre diferents sistemes de tecnologia radio diferent (Handover inter-RAT) des de UMTS a GSM. Tot i que ens els estàndards del 3GPP s'especifiquen aquests paràmetres els que realment decideixen quan s'ha de portar a terme i en quines condicions es fa el traspàs són els propis operadors tenint en compte com es troba la seva xarxa en aquell moment.

Cal triar molt acuradament les condicions en que es portarà a terme el traspàs així com els paràmetres que s'utilitzaran, ja que des del punt de vista del

rendiment del sistema, el traspàs pot afectar en termes de taxes de trucades caigudes, manteniment de la qualitat de la trucada o èxit en el traspàs.

A continuació es descriurà el procediment utilitzat per realitzar el traspàs inter-RAT (inter – Radio Access Technology) handover, que està dividit en els següents passos:

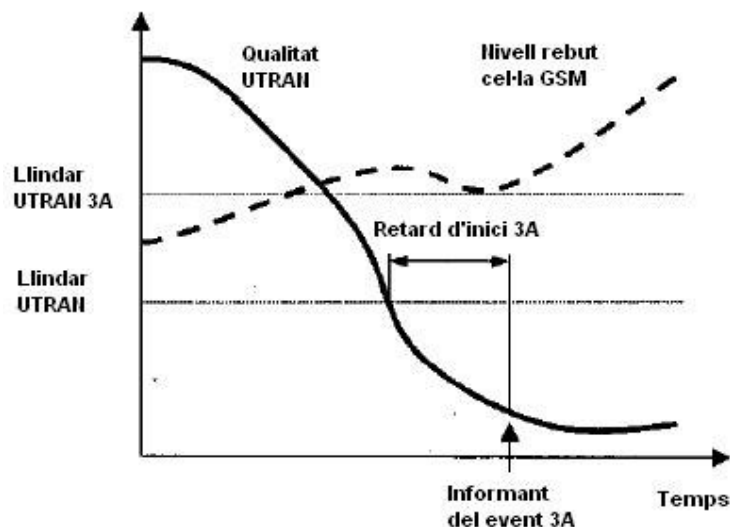
- Organització de les mesures inter-RAT.
- Informes de mesures inter-RAT segons l'esdeveniment que es doni.
- Detecció del traspàs inter-RAT.
- Execució del traspàs inter-RAT.

Com a part del procediment d'organització de les mesures, la primera decisió que cal que prengui la xarxa UMTS és quins terminals en una trucada UMTS activa necessiten ser instruïts a començar la presa de mesures en GSM.

Llavors el terminal proporcionarà a la xarxa els detalls de la cel·la veïna GSM que es mesurarà, la quantitat de mesures que es faran i les condicions en les que es troba. L'enviament de les mesures preses en UMTS pot ser dependent d'un esdeveniment, es a dir, que la xarxa UMTS pot instruir als terminals a enviar els informes amb les mesures realitzades a les cel·les veïnes, quan es doni un esdeveniment inter-RAT en concret.

En les especificacions estàndards hi ha definit un ampli ventall d'esdeveniments, els quals poden donar a l'enviament de les mesures preses, però un dels que més es donen o és el més habitual és l'esdeveniment inter-RAT 3A:

*Esdeveniment 3A: La qualitat estimada de la freqüència UTRAN utilitzada actualment està per sota de un determinat llindar i la qualitat estimada d'un altre sistema es per sobre d'un cert llindar.*



**Fig. 3.1** Gràfica dels llindars de nivell de senyal dels sistemes UMTS i GPRS

Les mesures que es prenen per estimar la qualitat de la freqüència UTRAN són les següents:

- Received signal code power (RSCP):  
És la potència per chip rebuda en un canal pilot comú en UMTS-FDD.
- Received signal strength indication (RSSI):  
La potència rebuda en l'ample de banda del sistema.
- $E_c/N_0$ :  
La relació d'energia chip-soroll per UMTS-FDD en un canal pilot comú.  
Que és el mateix valor que la relació RSCP/RSSI.

Pel que fa a la mesura en GSM de les cel·les veïnes, la mesura presa és RXLEV, que es defineix com la mitjana del nivell de senyal rebut en dBm en el canal que s'està mesurant.

Un cop que s'han realitzat aquestes mesures i s'han anat analitzant mentre es portaven a terme, si les condicions resultaven les idònies, el terminal envia un informe de les mesures GSM a la xarxa, amb el qual s'avaluaran les condicions del inter-RAT handover.

En el cas que sigui necessari fer el traspàs, la xarxa l'executarà enviant la comanda HANDOVER, que conté els detalls de la cel·la GSM de destí, al terminal.

Tot aquest procés que s'ha comentat fa referència a un traspàs assistit pel terminal mòbil o MAHO (Mobile Assisted HandOver ). Però per poder realitzar aquest tipus de traspàs el terminal ha de complir la condició que, per tal de poder realitzar les mesures que calen, disposi de dos receptors radio o bé que utilitzi la tècnica del Mode comprimit.

El problema que sorgeix és que si un terminal mòbil està portant a terme una trucada activa UMTS poden sorgir problemes al realitzar les mesures de GSM degut a que en UMTS-FDD la transmissió i la recepció són contínues. Una de les solucions que ja s'ha esmentat es la d'utilitzar un receptor radio dual, que permeti accedir simultàniament a GSM i a UMTS.

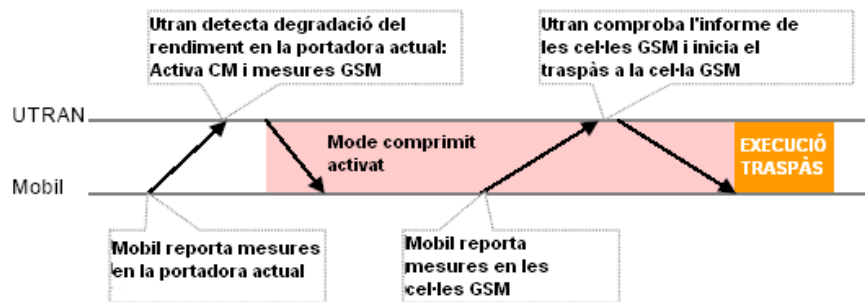
Gràcies al receptor dual es pot estar en una trucada UMTS activa i al mateix temps estar fent mesures en GSM utilitzant el segon receptor. Però aquesta opció suposa un increment del cost addicional per tal de poder implementar aquest sistema. Per aquesta raó en els estàndards del 3GPP es va definir el mecanisme de mode comprimit que permet fer les mesures inter-RAT amb un únic receptor.

### 3.1.2 Mode comprimit

La utilització del mode comprimit permet, que al comprimir la informació que s'ha de transmetre, aquesta es transmeti en un temps menor i que es creïn períodes en els quals no s'ha de transmetre res i que poden ser utilitzats per fer mesures en altres freqüències.

Per tal d'activar el mode comprimit, s'ha de donar el cas que es produeixi un fet en concret, que és que la UTRAN detecti una degradació del rendiment en la portadora que s'utilitza en aquell moment en les mesures que li proporciona el terminal. Per detectar aquesta degradació la UTRAN es basa en paràmetres com el RSCP o  $E_c/I_0$ , que en el moment en que descendeixen d'un cert llindar, es considera que hi ha degradació del rendiment i per tant s'inicien aquestes mesures a les cel·les GSM amb el mode comprimit activat.

Un cop es comença la fase de prendre mesures de les cel·les de GSM es van guardant els valors de nivell de senyal existents a cada cel·la (RSSI), per enviar-ho posteriorment a la RNC, ja sigui periòdicament o be per algun esdeveniment predefinit. En el següent gràfic podem veure com es desenvolupa el procés de presa de mesures des de que es detecta la degradació del rendiment fins que cal executar el traspàs.

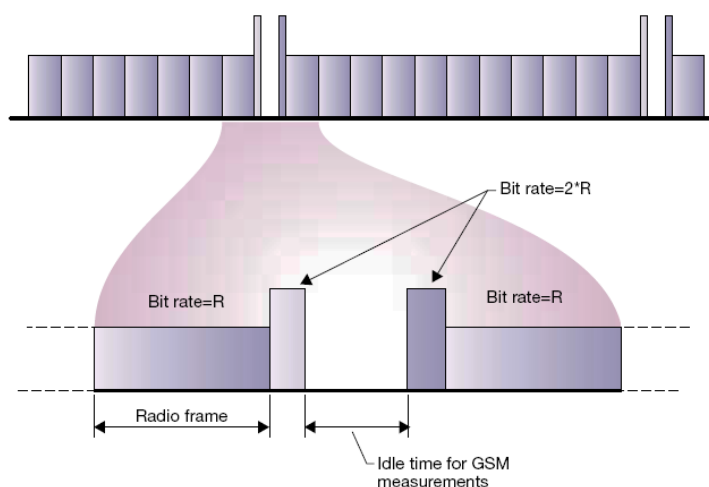


**Fig. 3.2** Funcionament del Mode Comprimit

Cal comentar que el fet d'estar realitzant mesures en cel·les veïnes amb el mode comprimit no és bo pel que fa al rendiment de la connexió. Es a dir com més aviat s'inicia la fase de prendre mesures d'altres sistemes, en aquest cas GSM, la qualitat de la connexió es va degradant per la utilització del mode comprimit. Però per altra banda com més tard s'inicien les mesures, l'execució del traspàs es realitza més tard i per tant hi pot haver-hi pèrdues de connexió al realitzar tant tard el traspàs. Per tant cal tenir un algoritme de traspàs entre UMTS i GSM ben posat a punt per evitar els problemes comentats anteriorment.

En els estàndards del 3GPP hi ha definits tres mètodes per reduir el temps de transmissió:

- Disminuir el factor d'eixamplament en un rati 2:1, ja que d'aquesta manera s'incrementa la taxa d'enviament.
- Reduint la taxa de símbols
- Reduir la taxa de dades a enviar proporcionant menys timeslots per usuari.



**Fig. 3.3** Esquema del gaps per realitzar mesures en mode comprimit

El fet de comprimir les dades per crear forats de temps fa que altres aspectes es vegin afectats, com poden ser:

- El rendiment del radio enllaç: Degut a la reducció del temps de transmissió, les dades estan menys protegides, s'interromp el bucle de control de potència (permet al Tx UE obtenir una potència de sortida específica)
- El rendiment del sistema: Degut a l'increment de potència dels frames comprimits, apareixen interferències addicionals i la capacitat del sistema es redueix.
- Cobertura: La cobertura de l'enllaç de baixada es veu reduïda degut a que els frames comprimits necessiten més potència.

Amb la utilització del mode comprimit el forat de temps que podem obtenir dependrà de quin patró de mode comprimit utilitzem dels diferents que hi ha disponibles. D'aquesta manera segons el patró utilitzat podrem aconseguir des de 3 fins a 14 slots, per realitzar mesures. Aquests patrons TGP (Transmission Gap Patterns) són repetits successivament un cert nombre de vegades, i aquesta successió de 2 patrons repetits s'anomena TGPS (Transmission Gap Patterns Sequence). Un cop finalitza el mode comprimit, aquest patrons deixen de repetir-se, i es torna a la portadora de l'enllaç de pujada i de baixada que es tenia anteriorment.

En les mesures realitzades, a part d'obtenir la RSSI de la portadora GSM, també pot ser que la RNC necessiti el BSIC (Base Station Identification Code) de la portadora que estem mesurant per tal de poder diferenciar la cel·la de les altres que puguin tenir el mateix BCCH. Per tal de verificar el BSIC el terminal el que fa és comprovar quin és el BSIC de les vuit cel·les de GSM amb més senyal i posteriorment li confirma a la RNC el BSIC de la cel·la en la que està fent mesures.

## 3.2 Tipus de traspàsos i procediment

En la recerca d'informació sobre el procediment de traspàs de UMTS a GPRS, hem pogut observar que no hi ha cap document, ni especificació que presenti com es duu a terme el traspàs entre els dos sistemes. S'ha obtingut informació de com realitzar el traspàs entre diferents cel·les de UMTS, però cap que faci referència a GPRS. Per aquesta raó s'ha exposat el procediment de traspàs de UMTS a GPRS en el cas del servei de veu, ja que podríem aproximar que funcionalment seguirien el mateix procediment, però en comptes d'involucrar la MSC, serien els elements corresponents al domini de paquets els que figurarien en el traspàs, és a dir el SGSN i el GGSN.

Un dels aspectes que s'ha de tenir en compte a l'hora de realitzar el traspàs, és en quin escenari ens trobem, ja que els elements que hi intervenen poden ser diferents. Ja que el traspàs no es produirà de la mateixa manera si aquest es fa entre cel·les d'una mateixa MSC (Intra-MSCHandover) o bé entre cel·les que pertanyen a diferents MSCs (Inter-MSCHandover).

A part de la diferenciació entre els traspàsos dins d'una mateixa MSC o bé entre diferents MSCs, cal diferenciar si els traspàsos són interns o externs dins del sistema, és a dir si involucren a la MSC o no.

En el cas dels traspàsos interns, aquests es produeixen entre els canals d'una mateixa cel·la o entre d'altres cel·les controlades per una única BSC, sense que la MSC hi participi, tot i que pot estar informada de que s'està portant a terme un traspàs.

Els traspàsos entre els canals d'una mateixa cel·la o entre d'altres cel·les de la mateixa BSS i que estan controlats per la MSC s'anomenen traspàsos externs, ja que no és el subsistema de l'estació base l'únic que porta a terme el traspàs, sinó que també hi participa la xarxa troncal.

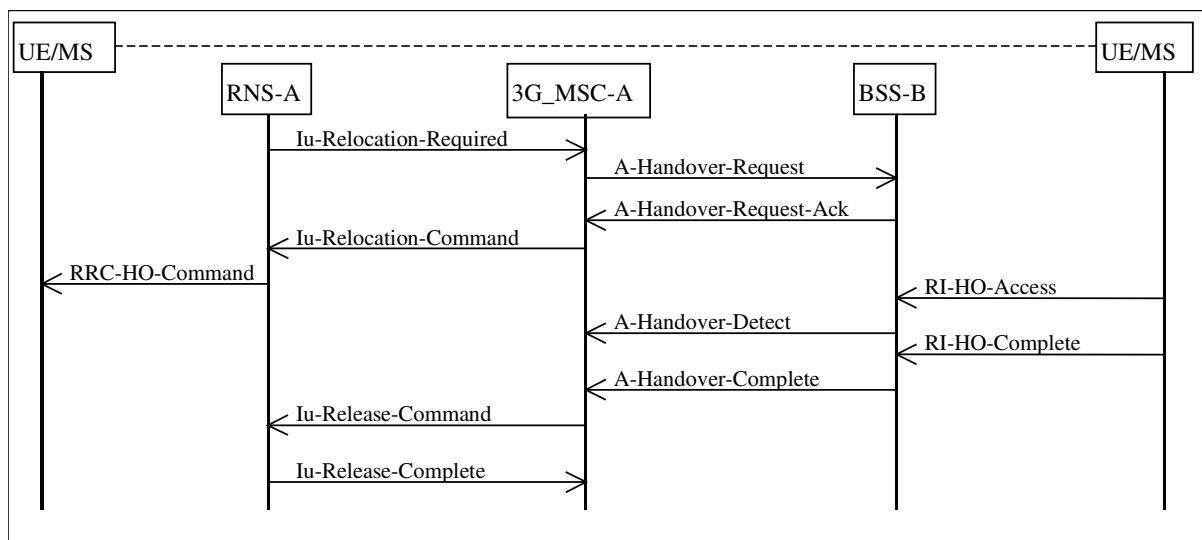
Els traspàsos en UMTS també es poden classificar segons si són Soft Handover o Hard Handover. El primer d'ells, el Soft Handover (Traspàs suau), fa referència al traspàs portat a terme per la UTRAN sense la necessitat d'utilitzar la xarxa troncal, però aquest últim només es consideren quan el traspàs és entre diferents cel·les del mateix sistema. Per la seva banda el Hard Handover, el traspàs requereix de la xarxa troncal i és el que es duu a terme quan hi ha traspàsos entre sistemes.

### 3.2.1 Intra-MSCHandovers

A continuació tractarem els traspàsos Intra-MSCHandover de UMTS a GSM i de GSM a UMTS. Tot i que els traspàsos que estem estudiant són els de UMTS a GPRS, a la practica com GPRS es basa en la xarxa GSM, podem dir que analitzem els traspàsos de UMTS a GSM.

### 3.2.1.1 Traspàs Intra-MSC de UMTS a GPRS

En el gràfic següent es pot veure com es portarà a terme el traspàs quan aquest es produeix des de UMTS cap a GSM. La situació inicial és la d'UE connectat a la RNS-A, que pertany a la MSC de UMTS (3G\_MSC-A) i que inicia el traspàs per connectar-se a la BSS-B. El procediment es pot veure descrit en la figura següent:



**Fig. 3.5** Traspàs intra-MSC de UMTS a GPRS

En primer lloc serà la RNS-A (Radio Network Subsystem) qui determinarà que l'estació mòbil determinada haurà de fer un traspàs de UMTS a GSM. I la RNS-A enviarà un missatge IU-RELOCATION-REQUIRED a la MSC, en aquest cas la 3G-MSC-A que conté la cel·la a on haurà de ser traspassada.

Un cop que la 3G-MSC-A rep el missatge IU-RELOCATION-REQUIRED comença el procés per traspassar l'estació mòbil a la BSS-B. Per això genera el missatge A-HANDOVER-REQUEST i li envia a la nova BSS que conté la cel·la de destí. Quan la BSS-B rep el missatge A-HANDOVER-REQUEST aquesta iniciarà el procés per reservar els recursos radio necessaris que necessitarà l'estació mòbil un cop s'hagi produït el traspàs. En el moment en que la BSS ja té els recursos reservats, aquesta envia el missatge A-HANDOVER-REQUEST-ACK a la MSC. I quan la MSC rep el ACK, s'inicia el procés per instruir a l'estació mòbil perquè comenci a buscar el nou recurs que li ha estat reservat, per indicar-ho envia el missatge IU-RELOCATION-COMMAND a la RNS-A. Quan la RNS-A rep el missatge IU-RELOCATION-COMMAND, aquesta li envia a l'estació mòbil un missatge de control de recursos radio (RRC-HANDOVER-COMMAND) que conté el número de referència del traspàs que prèviament ha indicat la BSS-B. Posteriorment l'estació mòbil accedeix al nou recurs radio mitjançant un missatge RI-HANDOVER-ACCESS que conté el número de traspàs.



Un cop que es fa la comprovació que els números coincideixen, la BSS-B envia el missatge A-HANDOVER-DETECT a la MSC, i en el moment en que l'estació mòbil ja es comunica amb normalitat amb la BSS, s'envia un RI-HANDOVER-COMPLETE des de l'estació base fins a la BSS. Posteriorment la BSS informarà a la MSC que el traspàs ja s'ha portat a terme amb èxit amb el missatge A-HANDOVER-COMPLETE.

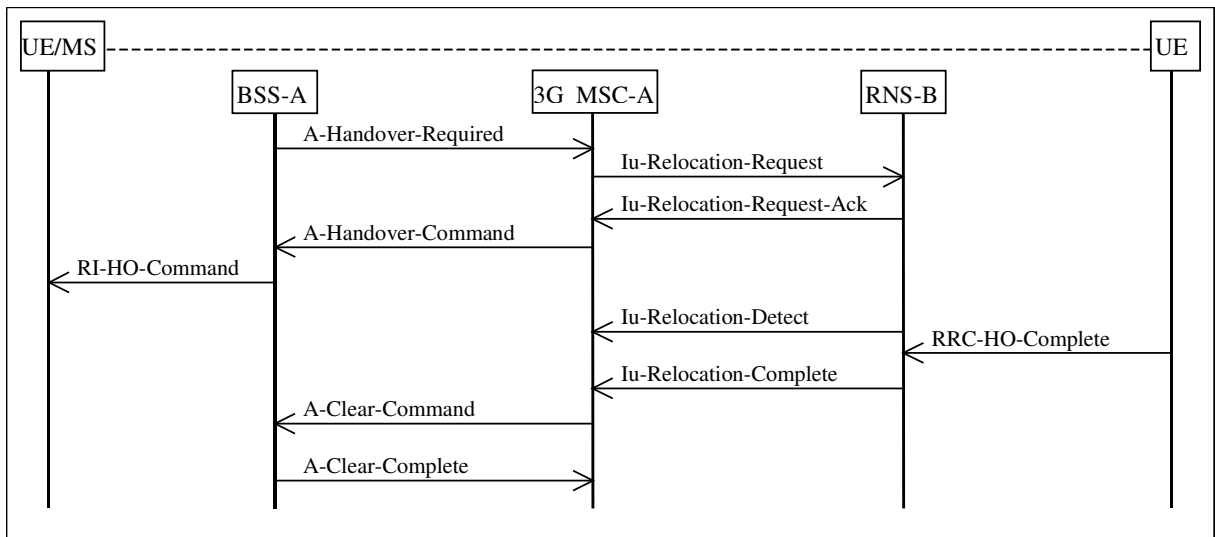
Un cop, la MSC ha rebut el missatge A-HANDOVER-COMPLETE de la BSS. Es començarà a alliberar els recursos que s'utilitzaven en UMTS i ho farà amb un missatge IU-RELEASE-COMMAND. I un cop que els recursos han estat alliberats de la RNS-A, aquesta envia el missatge IU-RELEASE COMPLETE per indicar-li a la MSC.

Tal com passa en el cas anterior tots els missatges que no hagin pogut ser servits a l'estació mòbil ja que no estava connectada a la xarxa, són emmagatzemats per la 3G-MSC i són servits posteriorment un cop que la comunicació ja funciona amb tota normalitat a la nova BSS.

En el cas que es produís un error en el traspàs, com per exemple que la BSS-B retorni un missatge A-HANDOVER FAILURE a la MSC, en aquest cas la MSC informarà de la cancel·lació del traspàs a la RNS mitjançant el missatge IU-RELOCATION-CANCEL-ACKNOWLEDGE. En cas que sigui la RNS la que desitgi cancel·lar el traspàs, aquesta enviarà un IU-RELOCATION-CANCEL a la MSC i aquesta un cop finalitzi la cancel·lació, enviarà a la RNS el missatge IU-RELOCATION-CANCEL-ACKNOWLEDGE.

### 3.2.1.2 Traspàs Intra-MSC de GPRS a UMTS

Un cop que el terminal ja ha estat escollit per realitzar el traspàs de GPRS a UMTS, ja sigui perquè en UMTS hi ha millor nivell de senyal o be per altres motius com pot ser la distribució de carrega d'una cel·la.



### Fig. 3.6 Traspàs intra-MS-C de GPRS a UMTS

La BSS és la que determina que s'ha d'iniciar el procediment de preparació del Handover, enviant a la MSC UMTS (3G MSC-A) el missatge A-HANDOVER-REQUIRED. El missatge A-HANDOVER-REQUIRED conté la cel·la on serà traspasat l'UE. Un cop que la MSC ha rebut el missatge d'inici del traspàs s'inicia el procés de reservar recursos a la RNS-B per tal que l'UE pugui fer el traspàs. La MSC enviarà el missatge lu-RELOCATION-REQUEST per tal que la RNS-B prepari els recursos radio als que accedirà l'UE.

Un cop que la RNS ha reservat els recursos aquesta enviarà el missatge lu-RELOCATION-REQUEST-ACK a la MSC. La MSC envia el missatge A-HANDOVER-COMMAND a la BSS per tal que informi a l'UE que ja pot accedir als recursos radio de la RNS. Per tal d'informar a l'UE d'aquest fet, la BSS envia el missatge d'interfície radio RI-HO-COMMAND a l'UE.

En aquest moment l'UE, accedirà als recursos radio reservats per ell a la RNS -B. Un cop que la RNS detecta que l'UE esta accedint als recursos, envia el missatge lu-RELOCATION-DETECT a la MSC. En el moment en que l'UE ja es comunica amb normalitat amb la RNS, aquest envia el missatge RRC-HANDOVER-COMplete a la RNS i aquesta informa a la MSC que l'UE ja funciona amb els nous recursos radio amb el missatge lu-RELOCATION-COMplete.

Un cop que la MSC ja sap que l'UE ja esta a la RNS, per finalitzar els traspàs només caldrà alliberar els recursos que s'utilitzaven anteriorment a la BSS amb el missatge A-CLEAR-COMMAND enviat per la MSC a la BSS. Aquesta última, un cop hagi alliberat els recursos enviarà el missatge A-CLEAR-COMplete a la MSC, i es donarà per finalitzat procediment de traspàs.

Ta com passa en el traspàs d'UMTS a GPRS, els missatges que no hagin pogut ser servits a l'estació mòbil ja que no estava connectada a la xarxa, són emmagatzemats per la 3G-MS-C i són servits posteriorment un cop que la comunicació ja funciona amb tota normalitat a la nova RNS.

En cas que es produeixi algun error durant el traspàs, per exemple s'envii un A-HANDOVER-FAILURE des de la BSS-A o be la RNS envii el missatge lu-RELOCATION FAILURE, la MSC (3G-MS-C-A) finalitzarà el procés de traspàs cap a la RNS. Opcionalment la RNS por decidir realitzar altres accions com són les següents.

- Esperar a rebre el pròxim missatge A-HANDOVER-REQUIRED.
- Enviar el missatge A-HANDOVER-REQUIRED-REJECT a la BSS-A, en cas que no s'hagi enviat el A-HANDOVER-COMMAND.

En cas que es produeixi algun error, les connexions existents que disposa l'UE no es finalitzen per tal que pugui continuar connectat, tot i haver-se produït un error en el traspàs.

### 3.3 Estudi teòric sobre el temps de traspàs entre sistemes

El que es pretén amb aquest apartat és analitzar quins són els diferents elements o processos que influeixen en temps durant el qual es porta a terme el traspàs entre sistemes UMTS i GPRS. Aquesta aproximació teòrica referent al temps que s'inverteix en fer els traspàs entre sistemes UMTS i GPRS ens servirà per poder valorar els resultats obtinguts en les diferents proves realitzades.

El temps que s'inverteix en realitzar el traspàs es podria separar segons els diferents retards que introdueixen els elements de xarxa així com els processos paral·lels que es duen a terme durant el traspàs, com poden ser els missatges de senyalització o el temps durant el qual es porten a terme altres processos que formen part del traspàs com pot ser la utilització del mode comprimit.

#### 3.3.1 Retards dels elements de xarxa

Un dels retards que són fixos i que depenen més de com està implementat el sistema i no d'altres factors, són els retards introduïts pels diferents elements de la xarxa, ja sigui la troncal o bé la xarxa d'accés així com les interfícies que s'utilitzen per comunicar-se.

El retard en els elements de xarxa, fa referència al temps que triga el node a processar un missatge o un paquet de dades. Lògicament com més elements de xarxa es travessin durant el traspàs, més retard s'introduirà en el còmput global. Aquests valors són fixos i dependran de l'equipament que disposi l'operador. És complicat obtenir aquests valors dels equips d'un operador ja que no és una informació a l'abast de tothom. Els valors del retard dels elements de xarxa d'UMTS s'han obtingut de forma aproximada de resultats de simulacions realitzades en un altre estudi[6].

**Taula 3.1.** Retard dels elements de xarxa en UMTS

<b>Elements de Xarxa</b>	<b>Retard (ms)</b>
Node B	UL: 35,5 DL: 38 (Dades i senyalització) UL: 5 DL: 15,5 (AMR-Veu)
SGSN / GGSN	50
MSC	100
HLR / EIR	Missatges Update: 70 Missatges Request: 100
VLR	Missatges Update: 10 Missatges Request: 100
RNC	Variable

Un altre element de la xarxa que també pot introduir cert retard, serien els enllaços entre els diferents element de xarxa. Es de suposar que aquests enllaços seran d'alta capacitat amb taxes de transferència molt altes, atès a que han de suportar gran quantitat de tràfic, ja sigui el propi tràfic de dades o bé el de senyalització.

### 3.3.2 Retard de la interfície: Senyalització

En el retard total també influeixen, els retards que afegeixen les interfícies. Aquests venen donats pel temps que triguen els missatges a ser passats a altres protocols, fragmentacions que es produeixen o la inclusió de capçaleres.

### 3.3.3 Retard de les cues

Quan s'inicia el traspàs, els paquets de dades de l'usuari han de ser emmagatzemats als buffers dels elements de la xarxa temporalment fins que l'estació mòbil accedeix als nou recursos radio del traspàs, i ja esta llesta per transmetre dades normalment.

Com la informació enviada per l'usuari s'ha d'encapsular en N-PDU (Network Packet Data Unit), la mida d'aquestes així com la quantitat de N-PDU que s'hagin d'emmagatzemar influirà en el retard total del traspàs. També cal incidir que en el cas que la carrega que estigui suportant un cel·la, així com la MSC, influirà, ja que al seu buffer hi haurà més missatges per processar.

### 3.3.4 Retard d'inici del traspàs.

A mida que el nivell de senyal es va deteriorant, la xarxa i l'UE (User Equipment o subscriptor UMTS) comencen a negociar el traspàs. En la fase de decisió del traspàs es pot donar el cas que s'utilitzi el mode comprimit per poder realitzar les mesures necessàries per estimar si és el moment de realitzar el traspàs o no. En alguns casos el temps durant el qual s'utilitza el mode comprimit (Trigger Delay), es considera part del retard del traspàs. En el cas dels traspàsos entre sistemes CS (Circuit Switched) aquest temps és pel traspàs mentre que pels traspàsos PS (Packet Switched) aquest temps és per la reselecció de cel·la (Cell reselection). A la taula 3.2 podem veure alguns valors del retard pels diferents tipus de commutació CS i PS.

**Taula 3.2** Retard del inici del traspàs

<i><b>Tipus de traspàs</b></i>	<i><b>Sentit del traspàs</b></i>	<i><b>Retard</b></i>
Traspàs – CS	2G-3G	8
	3G-2G	7,86
Cell Reselection – PS	2G-3G	11,3
	3G-2G	7,65

A la figura 3.1 veiem, que quan el nivell de senyal d'UMTS disminueix per sota d'un llindar determinat, l'UTRAN threshold, es considera que el rendiment esta baixant i per tant s'han de prendre mesures d'altres cel·les per comprovar si es pot fer el traspàs. Aquest procediment de prendre mesures es pot realitzar amb el mode comprimit. Llavors s'envia l'esdeveniment 3A que determina que el

nivell de UMTS esta per sota de GPRS i que per tant s'hauria d'iniciar l'execució del traspàs.

En el cas de que el terminal que duu a terme el traspàs disposi de mode dual, no és necessari comptar amb aquest retard en el còmput global. Ja que al tenir dos receptor, un per UMTS i un altre per GSM/GPRS no cal que utilitzi el mode comprimit.

### 3.3.5 Retard d'altres processos

La utilització del mode comprimit implica que s'invertirà un temps realitzant mesures que si es tenen en compte com a part del traspàs faran que aquest s'allargui.

El temps que es triga per mesurar el nivell de potència no és molt gran i per tant si només es realitzés aquesta tasca en la fase de mesures aquesta no es prolongaria excessivament en el temps. Però com també s'han de fer altres accions com buscar i descodificar el BSIC de les cel·les on s'està fent mesures, que requereix buscar la informació de sincronització i demodular la senyal SCH (Synchronization Channel), això implica que el temps serà major.

Per tal de realitzar les mesures s'utilitzen tres patrons en el terminal mòbil al mateix temps, que corresponen a les següents accions:

- Un patró per mesurar la RSSI de la portadora GSM.
- Un patró per la identificació inicial del BSIC.
- Un patró per la reconfirmació del BSIC.

Cal tenir present que la duració d'aquestes mesures influirà en l'inici del procés de traspàs i que per tant el fet que aquest s'allargui pot implicar altres problemes com la pèrdua de connexió. La duració de les mesures realitzades dependrà del tipus de patró que s'utilitzi i del numero de cel·les que apareixen en la llista de cel·les veïnes.

**Taula 3.3** Retards de les mesures en mode comprimit segons el patró

<b>Patró</b>	<b>Configuració del patró</b>	<b>Duració de les mesures RxLEV en 32 cel·les</b>	<b>Temps màxim per identificar el BSIC</b>	<b>Temps mig per identificar el BSIC</b>
1	Un forat de 7 slots cada 3 trames	0,480 s	1,56 s	1,16 s
5	Un forat de 14 slots cada 24 trames	1,536 s	5,28 s	2,79 s
7	Un forat de 10 slots cada 8 trames	0,768 s	2,88 s	1,59 s

A la taula 3.3 podem veure els diferents resultats obtinguts en les simulacions realitzades en un estudi sobre el mode comprimit [4], utilitzant diferents patrons. A la tercera columna podem veure el temps que es triga en realitzar les mesures de RSSI en 32 cel·les GSM. Pel que fa a la quarta i la cinquena columna podem veure el temps màxim i el temps mig per identificar el BSIC per una sola cel·la. Tal com es pot veure la utilització d'un patró o un altre afecta molt al temps per identificar el BSIC. I es veu que com major és la freqüència per realitzar les mesures més reduïts són els temps necessaris. Tal com s'ha comentat a l'apartat del mode comprimit, l'apartat 3.1.2, el fet d'identificar el BSIC abans implica una pèrdua de rendiment menor i al contrari, el fet de identificar el BSIC més tard implica allargar més el temps per iniciar el traspàs amb la possible pèrdua de connexió que pot suposar.

La duració de les mesures no té un temps determinat, sinó que és variable i depèn de quins resultats s'obtinguin en aquestes mesures, que puguin fer que la fase de presa de mesures finalitzi anticipadament (és el cas del esdeveniment 3A). Però si s'inicia el mode comprimit com a mínim la duració serà d'un TGP (Transmission Gap Pattern). La duració del TGP haurà de contenir com a mínim un frame en el qual s'enviïn les dades amb tota normalitat i un altre amb la compressió de les dades, que es quan s'efectuarà la mesura. Per tant el mínim serà de dos frames, amb una durada per frame de 10 ms, que s'aniran repetint un determinat nombre de vegades, però que com a mínim serà un cop. Per tant la utilització del mode comprimit en el millor dels casos ens podria introduir un retard de 20 ms.

### 3.3.6 Càlcul del retard en el traspàs

Per poder determinar una expressió que s'aproximi a la del retard que es dona en el traspàs haurem de tenir en compte els diferents retards que influeixen en aquest. Per aproximar aquest càlcul del retard, ens hem basat en el traspàs de veu, de UMTS a GPRS, que podem veure a la figura 3.5.

En primer lloc considerarem els retards (D) que introdueixen els diferents elements de la xarxa en el moment en que processen els paquets rebuts, i d'aquesta manera obtindrem un retard total de procés ( $D_{\text{procés}}$ ).

$$D_{\text{Procés}} = D_{\text{RNS}} + D_{\text{CN1}} + D_{\text{BSS}} + D_{\text{CN2}} + D_{\text{RNS}} + D_{\text{UE}} + D_{\text{BSS}} + D_{\text{CN3}} + D_{\text{RNS}} \quad (3.1)$$

$$\text{On } D_{\text{CN1}} = D_{\text{CN2}} = D_{\text{CN3}} = D_{\text{SGSN}}; \quad D_{\text{BSS}} = D_{\text{BTS}} + D_{\text{BSC}} \\ D_{\text{RNS}} = D_{\text{RNC}} + D_{\text{NODE B}}$$

el cas de  $D_{\text{SGSN}}$  correspondria al retard introduït pel SGSN,  $D_{\text{BTS}}$  i  $D_{\text{BSC}}$  els retards introduïts per la BSC i la BTS i per últim els retards introduïts per la RNC i el Node B,  $D_{\text{RNC}} + D_{\text{NODE B}}$ .

Un cop tenim els retards de procés que introdueixen els diferents elements de la xarxa, haurem de afegir-hi els retards provocats per la transmissió dels diferents missatges que s'intercanvien els elements a través de les seves

interfícies. El retard de les interfícies equivaldria al temps de transmissió del enllaços que disposen els diferents elements de la xarxa.

### 3.3.7 Estudis publicats

Per poder comparar els resultats obtinguts en les proves realitzades, també disposem d'altres estudis que s'han fet on s'analitza el temps que es triga a realitzar un traspàs entre UMTS i GPRS. En l'estudi "Static analysis of Inter-system handover"[6] s'han realitzat els traspàsos utilitzant un sistema de simulació, en 6 escenaris diferents, tant en commutació de paquets com en commutació de circuits. Tant els serveis que han utilitzat i els escenaris definits, es poden trobar a l'annex.

Amb aquest serveis s'han definit sis escenaris, en els quals es combina tant el traspàs de UMTS a GPRS com el de GPRS a UMTS. En cada escenari es té en compte una qualitat de servei (QoS) diferent segons quin sigui el servei utilitzat, i si es tracta de commutació de circuits (CS) o de commutació de paquets (PS).

Un cop realitzades les proves en un simulador de xarxa, els resultats obtinguts han estat els que apareixen a la taula següent:

**Taula 3.6** Resultats del estudi

<i>Escenari</i>	<i>Retard de senyalització (ms)</i>	<i>Retard de les dades (ms)</i>		<i>Retard elements de xarxa(ms)</i>	<i>Retard Trigger (ms)</i>	<i>Retard Total (ms)</i>	<i>Retard Total – trigger (ms)</i>
		Uplink	Downlink				
1	1712.12	114.41	1393.48	1579.42	8000	11291.54	3291.53
2	2169.44	741.45	2482.34	2278.22	7860	11969.42	4447.65
3	2884.8	5685.20		2001.6	11290	21861.6	10506.6
4	1295.6	10451.68		2308.72	7650	21705.99	14055.9
5	2884.8	1061.65		1061.65	11290	17178.05	5888.04
6	1295.6	2080.86		2080.86	7650	13228.55	5685.17

Tal com podem veure a la taula, el Retard total, s'obté de sumar les quatre primeres columnes amb el qual també incloem el retard de trigger que pertany al mode comprimit. Però en cas que no el tinguem, en compte seria la última columna la que ens donaria el retard del traspàs, corresponent al retard total menys el del trigger. Cal dir que en el nostre cas, dels 5 escenaris estudiant en aquest estudi, els que més s'aproximen són el 3 i el 4, on s'utilitza una qualitat de servei com la que nosaltres teníem al realitzar les proves, background, i el servei d'Email, s'aproxima bastant al que és la transferència de dades, ja sigui en UDP o TCP. Els resultats obtinguts en l'escenari 4 no s'allunya gaire dels obtinguts en les nostres proves que es veuran posteriorment, però els resultats de l'escenari 3 si que són bastant diferents al nostres.

## CAPÍTOL 4    DEFINICIÓ D'ESCENARIS I METODOLOGIA DE PROVES

### 4.1 Definició d'escenaris

Per realitzar les proves s'han utilitzat dos escenaris, un interior i l'altre exterior. A continuació descriurem els diferents escenaris, així com el nivell de senyal que hi ha disponible en aquests. Ambdós escenaris són mòbils, ja que el que estem analitzant és el comportament al realitzar un traspàs per canvi sistema, de UMTS a GPRS i viceversa.

En aquests escenaris, s'han realitzat mesures de nivell de potència amb el terminal i l'ordinador portàtil. El terminal utilitzat ha estat el Nokia 6680, que és el mateix amb el que hem fet les principals proves.

Per obtenir les mesures de nivell de senyal hem connectat el terminal, amb la SIM del operador que s'està mesurant, amb l'ordinador portàtil mitjançant el cable de dades USB. Per prendre les mesures de senyal no podem estar connectats a la xarxa i prendre mesures al mateix temps, així que només ens caldrà obrir un consola del Hyperterminal<sup>2</sup> configurant que utilitzi el terminal com a mòdem i que sigui pel port Usb on esta connectat. Un cop fet això ja tenim preparada la connexió amb el terminal i només ens haurem de comunicar amb comandes AT per tal d'obtenir la informació que desitgem.

La comanda AT que utilitzarem per obtenir la RSSI serà la següent:

AT+CSQ

Amb aquesta comanda AT, obtindrem dos valors dels quals, un és la BER (Bit Error Rate) i l'altre que és el que farem servir, la RSSI.

Las RSSI ens la dona en una format numèric, al qual hem d'aplicar una formula per tenir la RSSI en dBm. Els valors que podem obtenir tenen una equivalència com la que es veu a la següent taula:

**Taula 4.1** Equivalència dels valors de RSSI del terminal amb el valor real

<i>Valor numèric</i>	<i>RSSI en dBm</i>
0	-113 dBm
1	-11 dBm
2-30	-109 ... -53 dBm
31	-51 dBm o major
99	No es coneix o no es pot detectar

<sup>2</sup> Aplicació que permet la connexió amb altres terminals o be ordinadors



La fórmula que correspon a aquestes equivalències és la següent:

$$Y \text{ dBm} = -112 \text{ dBm} + (2 * X) \quad (4.1)$$

On Y dBm és el resultat en dBm que volem obtenir i X és el valor numèric que obtenim en la comanda AT.

#### 4.1.1 Escenari interior

El primer escenari correspon a l'interior del edifici C3 del Campus Nord de la UPC. Per caracteritzar aquest escenari vam realitzar unes proves de nivell de senyal, RSSI, amb els diferents terminals utilitzats, per així poder relacionar els resultats obtinguts amb les característiques del escenari.

En el escenari interior, es van realitzar proves, amb dos operadors, Vodafone i Movistar, i amb dos terminals Nokia i un Samsung, el Nokia 6650 i 6680, i el Samsung SGH Z100. Però ens basarem en les mesures del Nokia 6680 ja que és amb el que s'han realitzat les proves de caracterització.

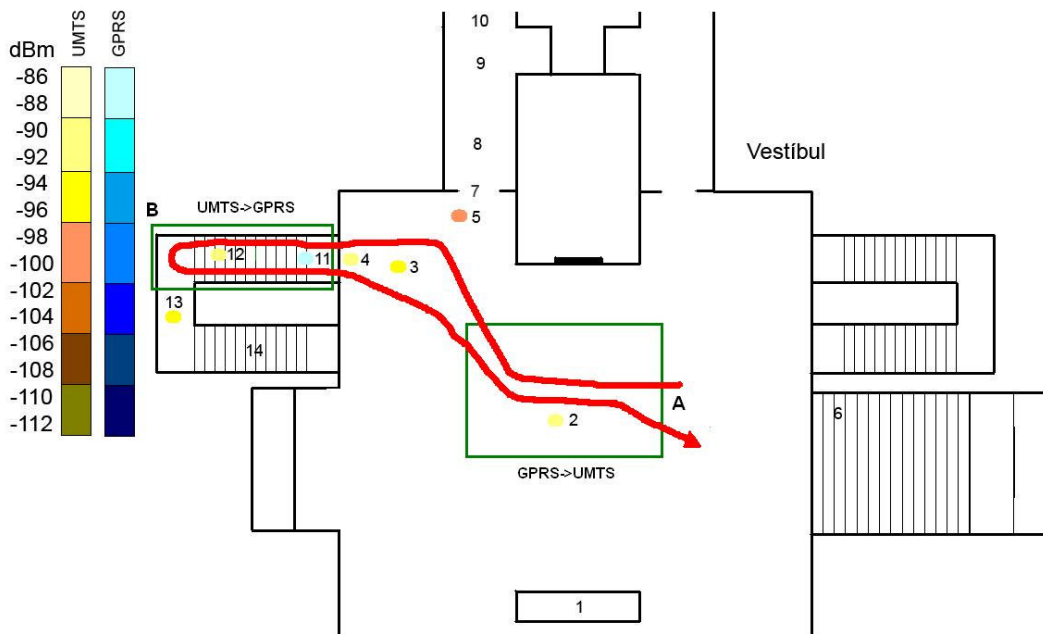
En les següents figures hi ha representat els diferents nivells de senyal mesurats en ambdós operadors al edifici C3. A les següents figures es mostra el plànol del vestíbul, amb l'ascensor entre els dos passadissos del fons i les escales de la esquerra que baixen i les de la dreta que pugen. També es mostra el plànol del pis inferior, on també hi ha els dos passadissos paral·lels al ascensor i les escales de la esquerra que baixen del vestíbul. La representació dels nivells de senyal està feta obtenint-les del terminal Nokia 6680.

A les figures podem veure una sèrie de números que fan referència als llocs on s'han realitzat mesures de senyal. Aquestes mesures es poden trobar classificades per operador i escenari a l'annex. En els punts indicats en a l'escenari, no solament es va realitzar una mesura sinó que se'n van fer varies.

##### 4.1.1.1 Movistar

En aquestes figures hem marcat també la zona on es produeix el traspàs de UMTS a GPRS i viceversa. Amb l'operador Movistar el traspàs de UMTS i GPRS es dona un cop passem del vestíbul cap a les escales i les comencem a baixar, normalment el traspàs es dona en el moment de travessar la porta que comunica el vestíbul i les escales. Pel que fa al traspàs de GPRS i UMTS, a aquest es dona un cop hem tornat a pujar les escales i quan ja ens trobem al vestíbul, es produeix el traspàs.

A continuació podem veure la figura 4.1., on apareix representat l'escenari, amb els nivells de senyal al llarg del camí recorregut per realitzar els traspàsos en Movistar.



**Fig. 4.1.** Representació de les mesures preses en Movistar

El nivell de la RSSI mesurat en els diferents punts es pot trobar a l'annex, on apareix el valor mínim i màxim de la RSSI en cada punt de l'escenari. El recorregut de l'escenari, sempre ha estat anar d'A a B i tornar.

#### 4.1.1.2 Vodafone

Tal com hem fet en el cas anterior, hem marcat també la zona on es produeix el traspàs de UMTS a GPRS i viceversa. Amb l'operador Vodafone el traspàs de UMTS i GPRS es realitza mentre baixem les escales i en alguns casos és necessari entrar fins davant del ascensor de la planta inferior o soterrani. En cas del traspàs de GPRS i UMTS, a aquest es dona un cop hem tornat a pujar les escales i quan ja ens trobem al vestíbul, es produeix el traspàs.

El recorregut realitzat per tal d'obtenir els traspessos ha estat anar fins al punt B, des d'A, i tornar.

Únicament s'han representat els nivells de senyal mes pròxims al camí, perquè són els que més caracteritzen l'escenari tot i que a l'annex es poden trobar tots els valors mesurats.

A continuació podem veure la figura 4.2, on apareix representat l'escenari, amb els nivells de senyal al llarg del camí recorregut per realitzar els traspessos en Vodafone.

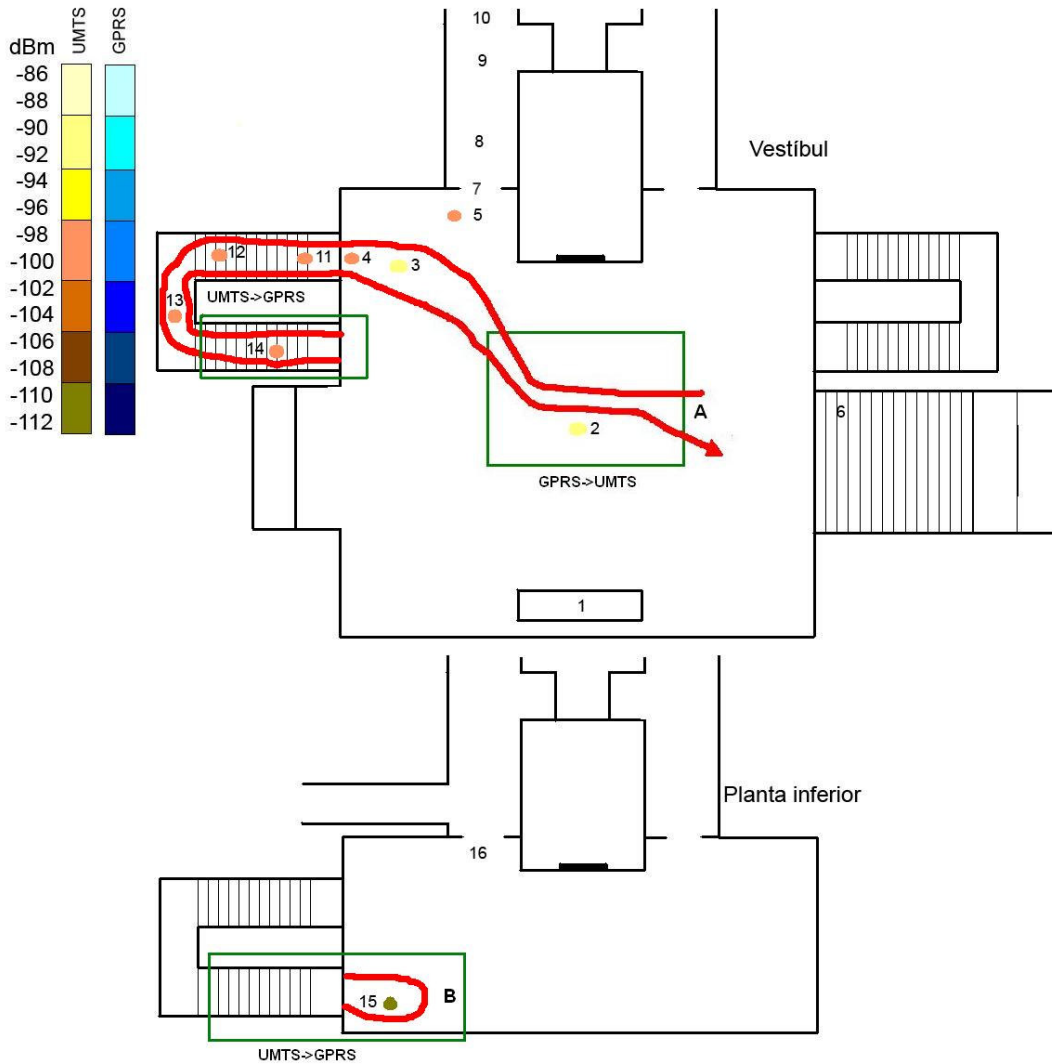


Fig. 4.2 Representació de les mesures preses en Vodafone

#### 4.1.2 Escenari exterior

En l'escenari exterior s'han realitzat les mateixes mesures de senyal com en el cas anterior, però només per l'operador Movistar, ja que ha estat l'única zona exterior on es podia apreciar bé el traspàs entre sistemes. Amb Vodafone, es van fer proves per varies ciutats, com Castelldefels, Gavà, Viladecans, Granollers, La Garriga i al Campus Nord de la UPC, i en cap d'elles es va trobar una zona amb un traspàs reproduïble entre els sistemes analitzats, segurament en algun lloc es pot trobar un traspàs per Vodafone però aquest lloc pot estar situat, en zones suburbanes, o en espais no transitables.

La ubicació de l'escenari exterior es troba a la urbanització els Gorcs de les Franqueses del Vallès. En aquest cas es tracta d'un carrer on no hi ha cases ni edificis, ja que és una zona on s'hi edificarà en un futur. El traspàs entre UMTS

i GPRS, i viceversa s'aprecia molt bé en aquest escenari, ja que en una punta tenim cobertura de UMTS amb bon nivell de senyal, en el punt A, mentre que a mida que ens anem acostant al final del carrer, punt B, es produeix el traspàs. Quan ens acostem al final del carrer, el nivell de senyal de UMTS va baixant progressivament fins que es produeix el traspàs i passem a tenir cobertura de GSM/GPRS. Per fer el traspàs de GPRS a UMTS només cal seguir el mateix camí però al revés i al final del camí es torna a produir un traspàs de GPRS a UMTS.

Per tal de representar aquests valors en una gràfica, la figura 4.3 mostra la representació d'aquests valors de les diferents mesures realitzades. Com a valor referència per la representació s'han escollit els valors màxims de cada dos mesures de RSSI obtingudes, tot i que les mesures es van fer aproximadament amb un distància d'un metre entre elles. A l'annex hi ha una taula molt més completa amb la RSSI.

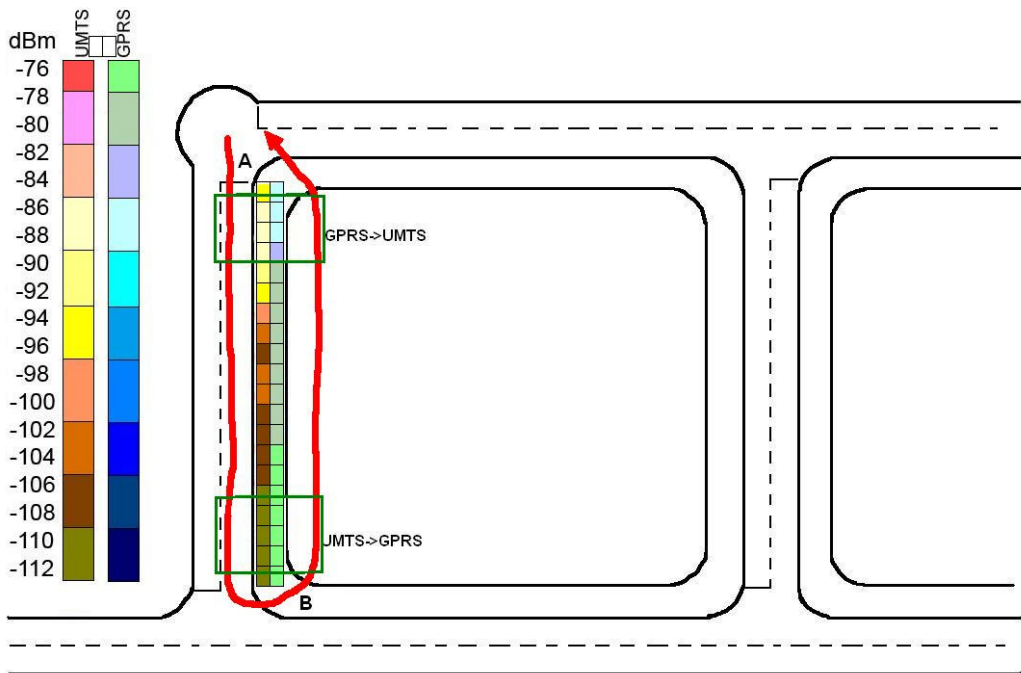


Fig. 4.3 Representació gràfica del escenari exterior

## 4.2 Equipament utilitzat

Per realitzar les proves, hem utilitzat un ordinador portàtil IBM ThinkPad R32 amb sistema operatiu Windows XP Professional 2002 Service Pack 2 el qual ha actuat tant de client com de servidor depenent de la prova realitzada. Pel que fa l'altre ordinador fix que ha treballat tant com a client com a servidor, disposa d'un sistema operatiu Windows 2000. Per últim, hem utilitzat 3 terminals UMTS duals (suporten tant UMTS com la xarxa GSM), dos dels quals es van fer servir,

a l'inici, en certes proves i un últim terminal que és en el que estan basades la majoria de proves. Els terminals utilitzats són els següents:

- Samsung SGH Z100
  - 4 slots de baixada i 2 de pujada, amb codificació CS-2 en GPRS.
- Nokia 6650
  - 3 slots de baixada i 1 de pujada o bé 2 slots de baixada i 2 de pujada, ambdues amb codificació CS-2 en GPRS.
- Nokia 6680
  - 4 slots de baixada i 1 de pujada o bé 3 slots de baixada i 2 de pujada, ambdues amb codificació CS-2 en GPRS.

En quant als operadors utilitzats aquests han estat Movistar i Vodafone, ambdós amb targetes SIM UMTS.

### **4.3 Metodologia de les proves**

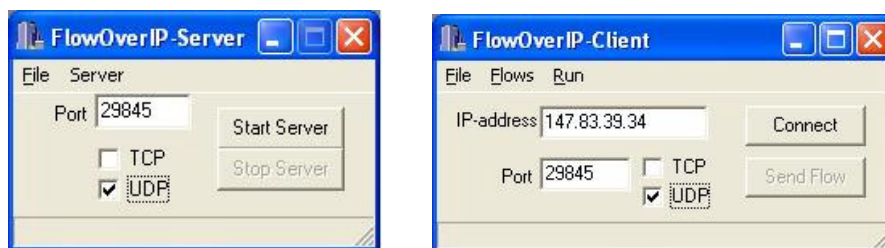
En aquesta part del capítol, definirem quina ha estat la metodologia que s'ha seguit a l'hora de realitzar les proves, tant en la caracterització IP com en TCP. I també es comentaran les petites diferències en la realització de proves segons l'escenari que s'analitzi.

#### **4.3.1 Metodologia de les proves a nivell IP**

Per realitzar les proves a nivell IP, s'han utilitzat els tres terminals amb la SIM corresponent a l'operador que s'estava analitzant, connectats a l'ordinador portàtil mitjançant un cable USB. El portàtil ha actuat tant de servidor com de client ja que d'aquesta manera analitzàvem els enllaços de baixada i pujada respectivament.

Les proves han consistit en l'enviament d'un flux UDP, i mentre s'enviava aquest flux desplaçar-se per l'escenari, seguint un camí preestablert per tal que es produís el traspàs entre sistemes.

A l'ordinador fix, que quan analitzàvem l'enllaç de pujada funcionava com a servidor, disposava de l'aplicació FlowOverIP-Server en el qual només cal indicar el port pel qual es rebrien els paquets, en aquest cas el port era UDP, i iniciar el servidor. Aquesta aplicació genera un informe dels paquets rebuts amb el temps d'arribada, el temps d'origen, la adreça IP d'origen i destí i el número de paquet, així com la informació continguda en el paquet UDP.



**Fig. 4.4** Servidor per rebre tràfic i Client per l'enviament de tràfic

Pel que fa a la connexió del terminal amb el portàtil s'ha utilitzat el cable de dades USB, i l'ordinador del laboratori està connectat a la xarxa de la UPC. Un cop tenim el muntatge realitzat només cal que l'estació mòbil es connecti a la xarxa UMTS, acció que es realitza amb un programa de connexió instal·lat en el portàtil com a part del software del terminal on només s'ha de seleccionar l'operador utilitzat i connectar-s'hi. Un cop estem registrats a la xarxa de l'operador i disposem d'una adreça IP, ja podem iniciar les proves.

Pel que fa a l'aplicació pel client, FlowOverIP-Client en aquest cas l'ordinador portàtil amb el terminal connectat amb el cable de dades, serà la que enviarà el flux UDP a l'adreça IP indicada pel port indicat. Per tal de d'iniciar l'enviament només cal que el servidor estigui encès i nosaltres premem el boto Connect i el Send Flow.

Però abans d'enviar el flux UDP, haurem de definir com serà aquest flux. Per definir el flux UDP hem de crear un fitxer que s'ha de guardar en el directori de l'aplicació i que s'anomena flow.inp. En aquest arxiu hi consta el tipus de flux UDP, en aquest cas Lease Line, i el temps entre paquets enviats i la mida de paquet que s'utilitza. En aquestes proves hem utilitzat una mida de paquet de 50 Bytes amb un temps entre paquets de 100 ms. La raó d'utilitzar aquestes valors es perquè d'aquesta manera ens assegurem que al efectuar el traspàs, quan estiguem en GPRS no saturem l'enllaç, ja que la taxa a la que enviem, 4 Kbps és inferior a la mínima que podem obtenir en GPRS. Per tant així ens assegurem que al menys si es produeixen pèrdues, aquestes no són degudes a la saturació de l'enllaç per enviar les dades a una taxa inadequada.

Amb les proves realitzades es pretén mesurar el temps durant el qual no hi ha transmissió d'informació, que anomenarem *gap*, ja que s'està portat a terme el traspàs, les pèrdues de paquets produïdes durant el traspàs i el temps d'arribada entre paquets (PID - Packet Interarrival Delay).

Les proves realitzades per avaluar el traspàs entre sistemes amb el protocol UDP han estat les següents:

En l'escenari interior s'ha avaluat ambdós operadors amb el terminal Nokia 6680. Per avaluar l'enllaç de pujada, l'ordinador fix ha funcionat com a servidor mentre que l'ordinador portàtil ha estat el client que ha enviat el flux UDP al servidor. En el cas l'enllaç de baixada, la configuració ha estat la contrària que en l'enllaç de pujada, es a dir el portàtil ha estat el servidor mentre que l'ordinador fix era el client que enviava el flux. També s'han realitzat algunes proves enviant un flux UDP amb els altres dos terminals, el Samsung SGH Z100

i el Nokia 6650, que disposàvem a l'inici del treball fins a l'arribada del Nokia 6680.

Pel cas de l'escenari exterior, només s'han realitzat les proves amb Movistar, tot i que el desenvolupament ha estat el mateix que el portat a terme en l'escenari interior. S'ha avaluat tant l'enllaç de pujada com de baixada, utilitzant els ordinador portàtil i l'ordinador fix com a client i servidor, i viceversa. En aquest cas l'ordinador fix no ha estat el del laboratori del edifici C3 del campus nord, sinó que ha estat un altre ordinador, amb unes característiques molt semblants al utilitzat al laboratori amb sistema operatiu Windows XP com en el portàtil, degut a que la proximitat geogràfica amb l'escenari era menor i així poder realitzar les proves més fàcilment.

Totes les proves han estat realitzades a les tardes, per d'aquesta manera mantenir unes condicions iguals.

### **4.3.2 Metodologia de les proves a nivell TCP**

Per realitzar les proves d'estudi amb TCP, s'ha utilitzat el terminal Nokia 6680 juntament amb les dues targetes SIM dels dos operadors, Movistar i Vodafone. El muntatge de l'escenari de proves a estat molt semblant al de les proves IP però amb algunes diferències. El portàtil, tal com en les proves Ip ha actuat com a client i com a servidor per tal d'analitzar els dos enllaços.

Per tal de poder utilitzar el protocol TCP hem utilitzat el servei FTP, ja que es basa en TCP. En l'ordinador fix del laboratori hem instal·lat un servidor FTP, més concretament el servidor FileZilla en versió 0.9.12, on hi hem definit un usuari amb permisos per poder accedir al directori on hi haurà l'arxiu de descarrega, així com també permisos per tal de poder crear-ne de nous. Amb aquesta configuració des de l'ordinador portàtil podrem descarregar via FTP l'arxiu per tal d'avaluar l'enllaç de baixada així com poder pujar un arxiu al servidor i avaluar l'enllaç de pujada. Per tal d'iniciar el servidor FTP, només ha calgut activar el servei en l'administrador del sistema operatiu.

L'arxiu que s'ha utilitzat per descarregar i pujar ha estat un arxiu del d'uns 40 MB aproximadament format per carpetes i arxius varis comprimits per tal de disposar d'un arxiu prou gran com per poder realitzar els traspassos.

A l'ordinador portàtil s'ha instal·lat un client FTP, que en aquest cas ha estat el Ipswitch WS\_FTP Professional 2006, amb el qual podrem accedir al servidor ja sigui per pujar o baixar arxius. En un primer moment el programa utilitzat per client, era el FileZilla en versió client, però sofria desconexions durant el temps que la connexió estava inactiva, es a dir sense transmetre paquets, tot i configurar el temporitzador amb un temps molt superior al dels traspassos. Per aquesta raó es va decidir canviar el client per el WS\_FTP Professional 2006, el qual ha funcionat amb total normalitat.

Per poder veure els paquets enviats i poder analitzar el funcionament del protocol TCP tant en el servidor com en el client s'ha utilitzat l'analitzador de protocols Ethereal, el qual analitza tot el tràfic que hi ha per la connexió que

s'està utilitzant, en aquest cas la del terminal. I Amb les captures obtingudes del Ethereal podem comprovar quins paquets han esta retransmesos en quin moment, quan han arribat al servidor, per caracteritzar l'enllaç en TCP.

Així doncs, amb l'analitzador de protocols en els dos ordinadors, el servidor FTP activat i l'estació mòbil registrada a la xarxa UMTS, ja podrem iniciar les proves. Per analitzar l'enllaç de baixada es descarregarà des del portàtil l'arxiu que hi ha al servidor, mentre que per l'enllaç de pujada s'enviarà aquest mateix arxiu al servidor via FTP. Només caldrà desplaçar-se per l'escenari seguint el camí preestablert, per tal de recórrer les zones acotades on es produeixen els traspasos.

En el cas de l'escenari exterior, el procediment ha estat el mateix que s'ha aplicat a l'escenari interior però utilitzant un ordinador fix personal, en comptes del l'ordinador del laboratori, tal com ja s'ha comentat en la caracterització IP.

En aquestes proves TCP no cal determinar la velocitat de transmissió ni d'altres paràmetres de la connexió ja que TCP adequa la transmissió dels paquets depenent del estat de la xarxa controlant com poden ser els paquets que han arribat, els perduts o els retardats. Amb les proves realitzades es podrà mesurar els mateixos paràmetres de la caracterització IP, com poden ser el temps de gap durant el qual no hi ha transmissió d'informació deguda al traspàs, i les retransmissions en cas que se'n produeixin, així com analitzar el funcionament del protocol TCP.



## CAPÍTOL 5 CARACTERITZACIÓ A NIVELL IP

### 5.1 Caracterització a nivell IP

La primera part de les proves realitzades van encaminades a la caracterització del traspàs entre sistemes a nivell IP. Hem utilitzat el protocol UDP per tal de poder comprovar si durant el traspàs es produeixen talls que poden fins i tot representar un canvi d'adreça IP i per tant la pèrdua de la connectivitat.

#### 5.1.1 Resultats de l'escenari interior

El resum dels resultats de les proves obtingudes en l'escenari interior es basen en un bateria de 15 proves per d'aquesta manera obtenir un valor que puguem determinar com a significatiu gràcies a les múltiples proves realitzades. De les quinze proves realitzades en cada enllaç, pujada i baixada, a la taula 5.1. es presenten els valors mitjos de temps de gap i de pèrdues, tot i que posteriorment s'analitzaran més a fons certs resultats obtinguts de les 15 proves realitzades.

**Taula 5.1.** Resultats de les proves del traspàs de UMTS a GPRS

<i>Operador</i>	<i>Traspàs</i>	<i>Sentit</i>	<i>Gaps (s)</i>	<i>Desviació Gaps (s)</i>	<i>Pèrdues (paquets)</i>	<i>Desviació Pèrdues (s)</i>
<b><i>Movistar</i></b>	UMTS→GPRS	Pujada	19,4552	8,002	3,666	2,554
	UMTS→GPRS	Baixada	18,784	5,381	177,113	68,101
	GPRS→UMTS	Pujada	3,063	0,414	10,666	6,422
	GPRS→UMTS	Baixada	3,798	2,265	30,733	22,480
<b><i>Vodafone</i></b>	UMTS→GPRS	Pujada	34,4529	5,721	48,4667	13,271
	UMTS→GPRS	Baixada	10,8683	0,701	107	4,826
	GPRS→UMTS	Pujada	6,190	0,569	62,8	21,762
	GPRS→UMTS	Baixada	6,042	0,673	35,866	7,999

Tal i com es pot veure a la taula, els resultats obtinguts en els traspassos de UMTS a GPRS difereixen bastant entre ells, tot i que en el cas de Movistar mantenen una certa igualtat pel que fa al temps de gap en pujada i baixada. Els resultats obtinguts amb Vodafone mantenen un diferencia bastant gran entre el de pujada i el de baixada.

Si comparem aquests temps amb els comentats a l'apartat d'anàlisi teòric del traspàs, que estaven sobre uns 15 o 20 segons, ens trobem que els que més s'aproximen són els de l'operador Movistar, mentre que en el cas de Vodafone en l'enllaç de pujada es bastant superior i en el de baixada es molt més petit.

Pel que fa referència a la zona on es produeix el traspàs de UMTS a GPRS tant en un operador com en l'altre s'ha de dir que pot influir bastant en els resultats. Tot i que els diferents canvis que fa l'icona de selecció de xarxa, no són del tot fiables, ens permet veure en quin moment s'està portant a terme el traspàs i quan finalitza, fet que ens permet situar en l'escenari el lloc on es porta a terme. En el cas de Movistar en totes les proves realitzades el moment en que es produïa el traspàs ha estat un cop passada la porta de les escales fins aproximadament al final del primer replà, en l'escenari seria entre el punts 11 i 14, on els nivells de senyal de UMTS són molt baixos tant en Movistar com en Vodafone. En canvi amb Vodafone els traspàsos de UMTS a GPRS es produïen gairebé l'entrada de la planta inferior on el nivell de senyal és molt baix o gairebé nul. Per tant es podria determinar que el fet que Vodafone trigui més en realitzar el traspàs es podria deure a que les condicions en que es produeix el traspàs són pitjors i el fet d'estar en una zona on per moments no hi ha cobertura fa que el traspàs s'allargui, tot i que la configuració del traspàs per part del operador també influirà molt.

La pèrdua de paquets durant el traspàs no és igual en els quatre casos, tot i que segueixen un mateix patró on les pèrdues són menors quan el flux que s'envia per l'enllaç de pujada, mentre que en el de baixada són majors.

En quant al traspàs de GPRS a UMTS podem veure a la taula 5.1. que els resultats són molt semblants per la pujada i baixada de cada operador. Tenint en compte que el traspàs de GPRS a UMTS sempre es realitza al vestíbul on hi ha bon nivell de senyal tant de UMTS com de GPRS, es pot veure que les diferències en quant a temps del traspàs vindran influïdes per l'implementació que fa cada companyia en el traspàs, ja sigui per la configuració que disposen de la xarxa o bé per les diferents accions que ha de portar a terme el terminal segons estigui en un companyia o una altre.

En les pèrdues de paquets les diferències són semblant al cas del traspàs de UMTS a GPRS ja que les diferències de pèrdues en la pujada són molt grans entre les dues companyies i suposant que és degut més a la implementació de la xarxa i no del nivell de senyal ja que en aquest punt del escenari (punt 2) ambdues companyies ofereixen una bona cobertura.

### **5.1.2 Resultats de l'escenari exterior**

Tal com s'ha comentat les proves exteriors només s'ha pogut dur a terme amb l'operador Movistar ja que era l'únic al qual hem trobat una zona on es veïes clarament un traspàs. Tot i que no és un model amb el qual puguem generalitzar els resultats i establir-los com a exemple per tots els casos, s'ha de dir que els resultats obtinguts coincideixen amb el que s'esperava d'un escenari com aquest.

Els resultats obtinguts en el temps de gap són molt més petits que en l'escenari interior, els quals principalment són deguts a que la zona del escenari exterior disposa de millors nivells de senyal, no com en el cas del edifici C3 que a mida que es va baixant a la planta inferior el senyal es va degradant per la pròpia situació del escenari, a més a més en l'escenari exterior la zona de traspàs esta molt ben delimitada.

Tenint en compte que estem en un espai obert, les mesures del terminal per determinar una cel·la de destí per fer el traspàs són molt més fructíferes que no dins d'un edifici on el nivell de senyal que disposem és baix, sigui quina sigui la cel·la que mesurem.

Pel que fa a les pèrdues, aquestes mantenen la relació mostrada en l'escenari interior amb unes pèrdues de paquets petites en l'enllaç de pujada mentre que en el de baixada es mantenen valor considerablement alts.

**Taula 5.3.** Resultats de les proves del traspàs de UMTS a GPRS i viceversa

<i>Operador</i>	<i>Traspàs</i>	<i>Sentit</i>	<i>Gaps (s)</i>	<i>Desviació Gaps (s)</i>	<i>Pèrdues (paquets)</i>	<i>Desviació Pèrdues (s)</i>
<b>Movistar</b>	UMTS→GPRS	Pujada	14,531	2,114	3,533	6,243
	UMTS→GPRS	Baixada	12,551	2,332	128,667	25,365
	GPRS→UMTS	Pujada	2,856	0,375	8,2	5,361
	GPRS→UMTS	Baixada	2,172	0,202	15,2	1,897

A la taula 5.3. es mostren els resultats obtinguts durant el traspàs de GPRS a UMTS a l'exterior. Es veu com aquest segueixen la mateixa línia que en el cas d'UMTS a GPRS amb valors inferior a l'escenari interior, com ja hem comentat propiciats per les millors condicions del escenari. Les pèrdues també disminueixen però es manté la diferència superior de pèrdues en la baixada i menors en la pujada. Aquests resultats del escenari exterior favorables també podrien ser deguts a diferents configuracions de la xarxa segons la zona, ja que l'escenari interior es troba a la comarca de Barcelona mentre que l'exterior es troba al Vallès Oriental, però aquesta seria una possibilitat més improbable degut a que els millors nivells de senyal influeixen més que no la configuració que en tot cas hauria de ser millor a Barcelona que no Les Franqueses del Vallès, però no es pot descartar cap opció degut a la desconexió de l'estat de la xarxa així com de la configuració implementada.

En els següents apartats es mostraran altres proves realitzades i una anàlisi més a fons d'alguns dels resultats obtinguts en els diferents grups de proves realitzats.

### 5.1.3 Anàlisi a fons del resultat amb UDP

En aquest apartat es tractaran més a fons els casos més representatius del resultat obtingut amb les proves de UDP, així com també s'analitzaran els que presenten uns resultats prou diferenciats de la resta. Tots els resultats obtinguts de les proves i anàlisi d'altres casos, juntament amb l'anàlisi dels resultats amb Vodafone es poden trobar a l'annex.

### 5.1.3.1 Resultats més pròxims a la mitjana

De les diferents proves realitzades hi ha algunes que són les que més s'aproximen a la mitjana, amb les quals podríem considerar com a casos de referència. Hem escollit algun dels casos més representatius i que més s'aproxima a la mitja.

En cas de les proves realitzades amb Movistar en pujada, la que més s'aproxima a la mitja es la prova numero 4 de l'escenari interior, amb els següents resultats:

**Taula 5.4** Resultats de la prova numero 4 de Movistar en pujada.

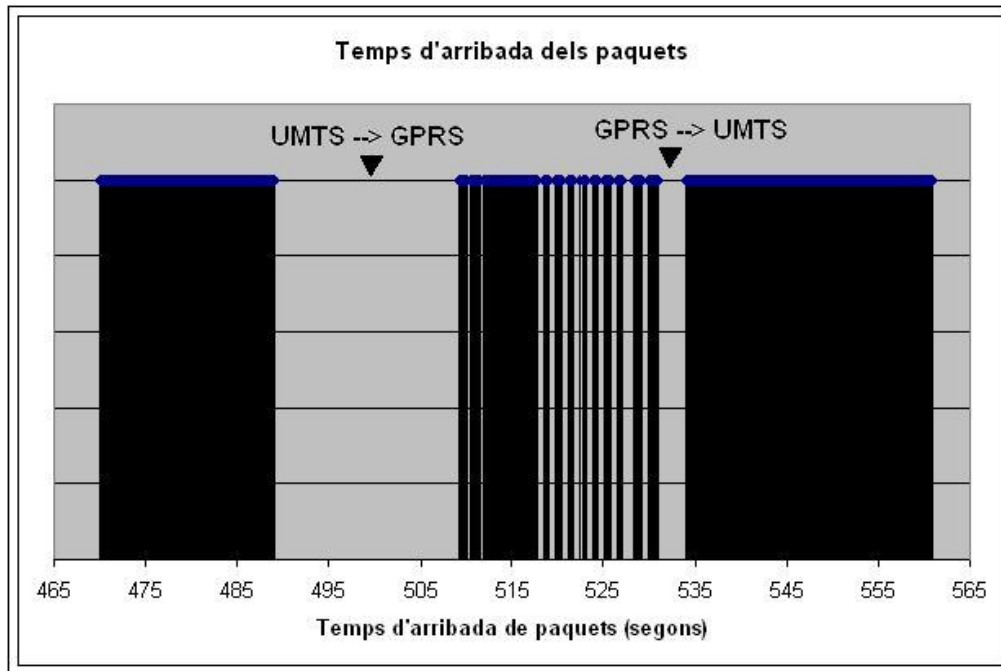
<i>Operador</i>	<i>Traspàs</i>	<i>Gaps (s)</i>	<i>Pèrdues (paquets)</i>
<i>Movistar</i>	UMTS -> GPRS	20,049	3
	GPRS -> UMTS	2,994	8

Tal com veiem a la taula els valors obtinguts són molt pròxims als de la mitja de totes les proves, per tant és prou representatiu com a cas genèric.

A la figura 5.1 podem veure la representació de la recepció del flux enviat per l'ordinador portàtil on s'aprecia clarament el gap més gran corresponent al traspàs de UMTS a GPRS així com el gap de 2, 994 segons.

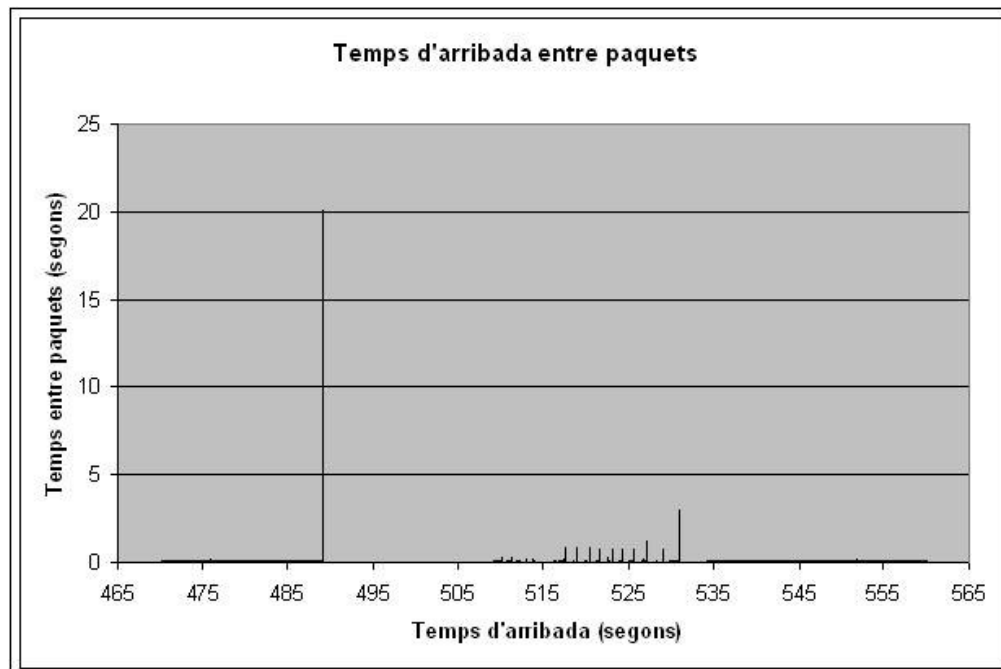
Com es pot veure a la figura 5.1 hi ha sis parts que corresponen a les diferents fases que podem veure en un traspàs. La primera d'elles correspon a al flux de paquets enviats mentre s'està utilitzant el sistema UMTS, la següent part és on es veu el traspàs de UMTS a GPRS que es porta a terme en 20,049 segons, a la següent part podem veure com ja estem en GPRS i en els primers moments ens arriben de cop molts paquets que havien quedat en el buffer del sistema durant el traspàs. La següent part que podem identificar són els petits retards que hi ha en GPRS en la recepció de paquets. El pròxim gap que veiem correspon al traspàs de GPRS a UMTS que dura 2,994 segons, i posteriorment ja tornem a tenir el flux de paquets uniforme utilitzant el sistema UMTS.

A la figura veiem com a l'inici mentre es transmet en UMTS el flux arriba al destí de manera molt uniforme amb un temps entre paquets de 100 ms, el mateix amb el que s'envia. Mentre que un cop ja estem en GPRS arriben molt paquets, emmagatzemats al buffer del sistema, de cop i fins que no s'estabilitza no tornem a rebre els paquets cada 100 ms . Tot i que en el període durant el qual estem en GPRS la transmissió no és del tot continua, sinó que hi ha petits retards com es pot veure en la representació de l'arribada del paquets al servidor.



**Fig. 5.1** Gràfica de recepció del flux enviat pel portàtil

A la figura 5.2 també es pot veure el temps d'arribada entre paquets PID, on hi ha dos moments destacats, el traspàs de UMTS a GPRS i viceversa.



**Fig. 5.2** Gràfica de representació del PID

Tot i que a la gràfica l'apreciació del temps entre paquets no és molt clara es pot veure com en els primers paquets (470-489 segons) i en els últims (a partir dels 535 segons) el temps entre paquets es manté en un valor gairebé constant de 100 ms. També podem apreciar els petits retards que comentàvem anteriorment durant la fase de transmissió en GPRS, on fins i tot es produeix alguna pèrdua puntal de un parell de paquets, que molt possiblement sigui degut al pobre nivell de senyal que disposem GSM l'escenari.

Pel que fa a les pèrdues de paquets aquestes on molt reduïdes amb comparació amb la baixada de Movistar que analitzarem a continuació.

### 5.1.3.2 Resultats extrems

A continuació mostrarem un dels resultats obtinguts que presenta unes diferències bastant considerables amb el casos que més s'aproximen a la mitjana de les proves realitzades.

En aquest cas hem escollit de l'escenari exterior la prova 14, que correspon a l'enllaç de baixada i que és amb la que obtenim els millors resultats de l'escenari exterior tan pel que fa a temps de gap com a pèrdues.

**Taula 5.5.** Resultats de la prova numero 14 de Movistar en baixada

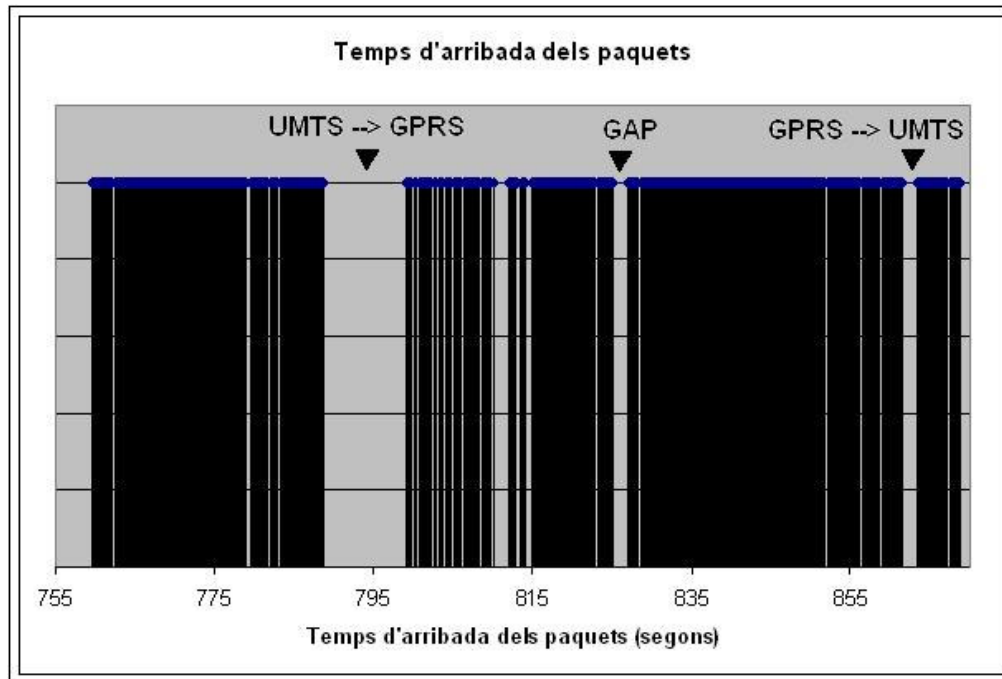
<i>Operador</i>	<i>Enllaç</i>	<i>Traspàs</i>	<i>Gaps (s)</i>	<i>Pèrdues (paquets)</i>
<b>Movistar</b>	Baixada	UMTS -> GPRS	10,305	102
		GPRS -> UMTS	1,922	12

Els resultats obtinguts han estat molt baixos, fet que demostra que en llocs oberts amb bon nivell de senyal podem obtenir un rendiment bastant bo. Tot i que els resultats del traspàs són bons, en la resta de moments de la prova no ho són tant, ja que hi ha varis retards.

En la gràfica 5.3 es pot veure com al inici hi ha dos petits retards de 400 ms abans del traspàs de UMTS a GPRS. El traspàs provoca un gap de 10,305 segons on es perden 102 paquets, una diferència notable respecte a l'enllaç de pujada.

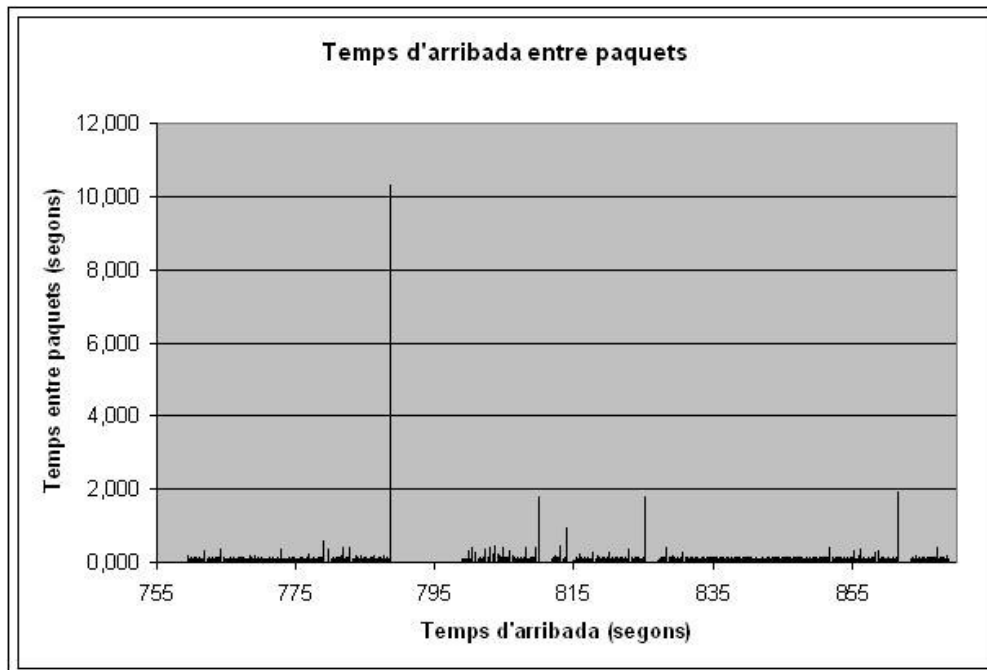
Un cop estem en GPRS, podem veure com es produeixen varis retards amb uns temps molt semblant als del traspàs de GPRS a UMTS de 1,922 segons que correspon al últim gap representat i que podem veure millor a la gràfica 5.4, on es perden 12 paquets.

Durant el període que estem en GPRS hi ha una primera part on hi ha varis retards on en un d'ells s'arriben a perdre 13, i en la posterior part el temps entre arribada de paquets s'estabilitza al voltant dels 100 ms. Finalment es produeix el traspàs de GPRS a UMTS on es perden els 12 paquets comentats.



**Fig. 5.3** Gràfica de recepció del flux de enviat des del portàtil

Tal com veiem els retards produïts durant el període de transmissió en GPRS no concorden amb els bons resultats obtinguts, on cabria esperar que el bon nivell de senyal afavorís el traspàs però alhora també afavorís la transmissió dels paquets en ambdós sistemes.



**Fig. 5.4** Gràfica de representació del PID

## CAPÍTOL 6 CARACTERITZACIÓ A NIVELL TCP

### 6.1 Caracterització a nivell TCP

En aquesta segona part de les proves realitzades, es pretén veure com afecten els traspàsos entre sistemes quan es treballa amb el protocol TCP. Tenint en compte que el protocol TCP, es un protocol de transport orientat a connexió, ens ha de evitar les pèrdues de paquets, o en cas que hi hagi pèrdues, es retransmetin els paquets perduts.

#### 6.1.1 Resultats de l'escenari interior

Aquest resum de resultats es basa en un bateria de 15 proves per cas en cada escenari, tal com s'ha realitzat en la caracterització IP, per tal d'obtenir una mitjana que puguem aproximar com a cas general. S'han realitzat les proves amb els dos operadors, així com analitzat l'enllaç de baixada i de pujada de cadascun.

Un cop realitzades totes les proves de TCP hem obtinguts els següents resultats on apareixen les mitjanes del temps de gap en el traspàs de UMTS a GPRS i viceversa, així com la desviació.

**Taula 6.1.** Traspàsos de UMTS a GPRS i de GPRS a UMTS, a l'escenari interior

<i>Operador</i>	<i>Sentit</i>	<i>Traspàs</i>	<i>Gaps (s)</i>	<i>Desviació</i>
<b>Movistar</b>	Pujada	UMTS → GPRS	21,721	5,662
		GPRS → UMTS	4,121	0,858
	Baixada	UMTS → GPRS	26,213	9,097
		GPRS → UMTS	5,492	0,809
<b>Vodafone</b>	Pujada	UMTS → GPRS	29,213	7,107
		GPRS → UMTS	6,138	0,521
	Baixada	UMTS → GPRS	22,042	9,535
		GPRS → UMTS	6,673	0,852

Tal i com es pot veure a la taula, els resultats obtinguts no presenten unes diferències molt grans respecte a la caracterització IP, tret d'alguns casos. No es mostren resultats tan diferenciats entre ells com en el cas de IP, on amb Vodafone teníem un temps de traspàs de UMTS a GPRS de 34 segons en l'enllaç de pujada mentre que en l'enllaç de baixada el traspàs era 10 segons.

En els resultats del Movistar podem veure com, els temps de gap en TCP s'han incrementat respecte als de IP però no en valors molt grans en general, menys en el cas de l'enllaç de baixada, el traspàs de UMTS a GPRS que ha passat dels 18 segons als 26,213 de TCP, mentre que l'enllaç de pujada només ha



presentat un increment de 2 segons. En el traspàs de GPRS a UMTS amb Movistar, les diferències respecte els resultats de IP no són gaire importants, tot i que en ambdós enllaços s'han incrementat però en el de baixada un mica més, coincidint amb el major augment del temps de traspàs de UMTS a GPRS.

Pel que respecta a Vodafone les diferències respecte a la caracterització IP presenten unes diferències bastant més notables en el traspàs de UMTS a GPRS, on a l'enllaç de pujada en la caracterització IP el gap era de 34 segons i en TCP baixa fins als 29,213 segons. Aquest fet demostra que segons les condicions de la xarxa o l'escenari els resultats poden sortir influenciats, com també ho demostra la desviació, ja que sabem que com a mínim el temps de traspàs de TCP haurà de ser el obtingut en IP o superior a aquest. El fet que el traspàs hagi de ser igual o major que en IP, es degut a que en IP no ens afecten els temporitzadors i les possibles retransmissions com en TCP, i d'aquesta manera sabem que quan es realitza el gap del traspàs aquest es degut a s'està realitzant el traspàs i un cop finalitzi tornarem el flux UDP en el que únicament es van enviant els paquets sense tenir en compte si l'enllaç falla, o be els paquets no arriben al destinatari, etc. En l'enllaç de baixada passa el contrari, que de 10 segons que obteníem en IP, passem a 22,042 segons en TCP, tot i que veiem que és el que té la major desviació. En els traspàsos de GPRS a UMTS en Vodafone no hi ha canvis, mantenint els 6 segons de mitja en tots dos enllaços.

Cal comentar que en aquesta taula resum no s'hi ha inclòs el numero de paquets perduts perquè podem considerar que no hi ha paquets que es perdin. Durant el traspàs tots els paquets que es perden, són retransmesos un cop es torna a disposar de la connexió, gràcies al control de flux que realitza el protocol TCP. Les retransmissions dels paquets perduts no es realitzen instantàniament un cop s'ha recuperat la connexió sinó que un cop que es detecta que el paquets que es reben no són els que s'estaven esperant, es demana la retransmissió del paquets desitjats o be es pot donar el cas que expirin els temporitzadors de retransmissió i es torni a enviar els paquets que no han estat confirmats.

### 6.1.2 Resultats de l'escenari exterior

A l'escenari exterior, a les proves realitzades només s'ha utilitzat Movistar. I els resultats han estat diferents als de l'escenari interior tal com passava en la caracterització IP. A la següent taula es mostren els resultats obtinguts.

**Taula 6.2.** Traspàsos de UMTS a GPRS i de GPRS a UMTS a l'exterior

<i>Operador</i>	<i>Sentit</i>	<i>Traspàs</i>	<i>Gaps (s)</i>	<i>Desviació</i>
<b>Movistar</b>	Pujada	UMTS → GPRS	16,655	8,617
		GPRS → UMTS	2,972	0,822
	Baixada	UMTS → GPRS	32,318	10,961
		GPRS → UMTS	6,472	3,430

Com es pot veure a la taula tots els resultats no són millors a l'exterior que a l'interior com passava amb IP sinó que en alguns casos presenten millors resultats com a l'enllaç de pujada. En aquest escenari s'esperava una millora en general de tots els resultats respecte l'escenari interior utilitzant Movistar, però que només s'ha complert en certa manera.

A l'enllaç de pujada ambdós traspessos s'han realitzat en un temps molt menor que en l'escenari interior i fins i tot més ràpid que en l'escenari exterior amb la caracterització IP, tot i que aquest fet pot ser degut a unes millors condicions en l'escenari en el moment de realitzar les proves, que fins a aquest moment era el que presentava els millors resultats de Movistar. El millor nivell de senyal que podem disposar al exterior, clarament en les dues caracteritzacions permet traspessos més ràpids entre UMTS i GPRS. Tot i que en l'enllaç de baixada en TCP els resultats disten molt dels que s'esperaven. De les 15 proves realitzades en l'enllaç de baixada per comprovar el traspàs de UMTS a GPRS en general totes obtenen valors entre els 25-30 segons i ens trobem algun cas que arriba fins als 50 segons, aquests casos poden haver fet que la mitjana de les proves sigui tan elevada. El moment de realització de les proves de l'enllaç de baixada en ambdues caracteritzacions sempre ha estat unes hores més tard que el de pujada a la tarda. Podríem atribuir aquesta diferència de resultats al fet que potser la xarxa no estigui en les mateixes condicions, però això és un condicionant que no podem saber amb certesa.

A l'annex es poden trobar totes les taules amb tots els resultats de les proves realitzades on es reflecteixen aquest grup de casos amb un temps de traspàs de UMTS a GPRS tan elevat. El traspàs de GPRS a UMTS en l'enllaç de baixada també presenta un valor força elevat quan caldria esperar uns resultats al voltant dels 3 segons com a l'enllaç de pujada i tal com succeeix en l'enviament del flux IP.

Tal com també passa en la en les proves TCP de l'escenari interior no es produeixen pèrdues de paquets definitives sinó que gràcies a les retransmissions de TCP s'aconsegueix que els paquets perduts tornin a ser retransmesos i arribin al destinatari, tot i depenent del servei el qual estiguem utilitzant, com pot ser servei de streaming<sup>3</sup>, aquestes retransmissions no solucionin el problema que es causa durant el traspàs entre sistemes

### 6.1.3 Anàlisi a fons dels resultats amb TCP

En aquest apartat es tractaran més a fons els casos més representatius del resultats obtinguts amb les proves de TCP. Tots els resultats obtinguts de les proves es poden trobar a l'annex, juntament amb l'anàlisi d'altres casos.

---

<sup>3</sup> Amb el servei de streaming es pot iniciar la visualització de continguts multimèdia durant la descarrega d'aquests.

### 6.1.3.1 Resultats més pròxims a la mitjana en Movistar

El cas escollit en aquest apartat, prova numero 11, és el que s'aproxima més a la mitjana de les 15 proves realitzades tot i que en alguns casos potser no s'aproximi lo suficient a la mitjana algun dels dos traspàsos. El cas analitzat és realitzat amb Movistar, tot i que a l'annex també apareixen els de Vodafone i d'altres anàlisis .

Tal com veiem a la taula els valors obtinguts són molt pròxims als de les mitjanes de totes les proves, per tant són prou representatius com a cas genèric.

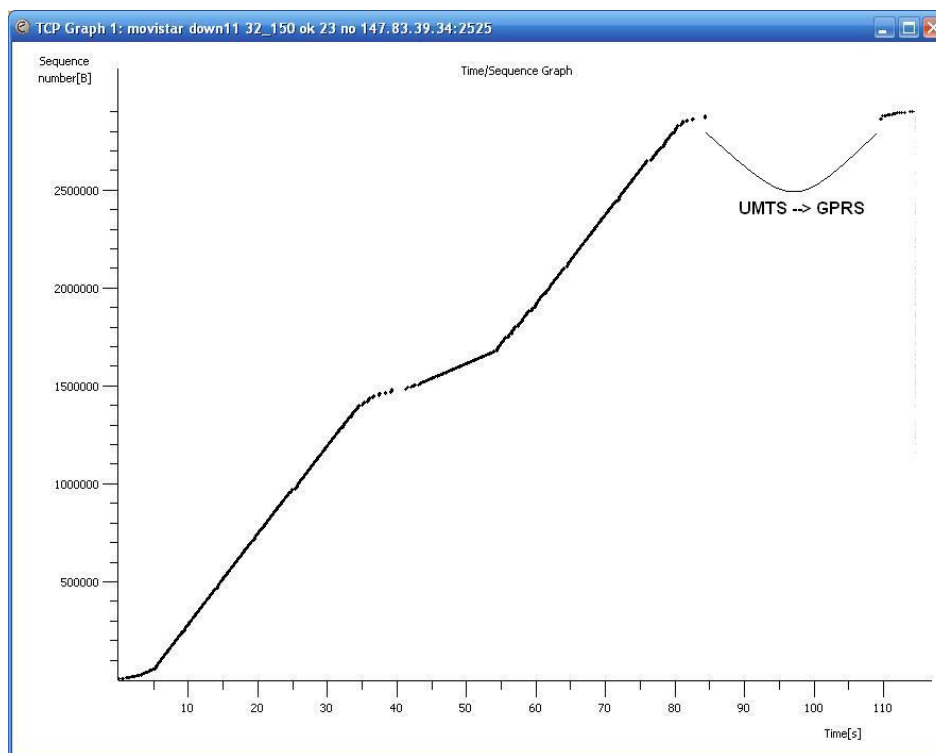
**Taula 6.3.** Casos més pròxims a la mitjana amb Movistar

<i>Operador</i>	<i>Enllaç</i>	<i>Traspàs</i>	<i>Gaps (s)</i>
<i>Movistar</i>	Baixada	UMTS -> GPRS	25,878
		GPRS -> UMTS	5,788

Pel que fa a l'enllaç de baixada hem triat la prova numero 11, la qual té uns valors de traspàs bastant més baixos que la mitjana de la resta de proves. A la figura 6.2. podem observar el traspàs de UMTS a GPRS en l'enllaç de baixada, on un cop es realitza el traspàs, es rep un paquet de dades que no és el que s'esperava, per aquesta raó el client envia el primer ACK duplicat, ja que ha rebut un paquet de dades que no estava esperant, després d'enviar el primer ACK duplicat, arriba un altre paquet de dades que no s'esperava i es torna a enviar un duplicat, i el paquet que arriba a continuació ja es el que s'esperava. Aquest fet es produeix pel retard que sofreix aquest primer ACK a través de la xarxa de l'operador ja que havia esta enviat abans que s'iniciés el traspàs, com que no es perd arriba molt retardat i al arribar tan retardat, el servidor ja havia retransmès dos paquets durant el traspàs que no havien estat confirmats ja que s'envien durant el traspàs, quan la connexió ja esta restablerta els primers paquets que arriben són aquests que s'han enviat durant el traspàs, per aquesta raó s'envien el duplicats, però com posteriorment el servidor rep el ACK retardat, envia el paquet que s'està sol·licitant, i els paquets ja es tornen a enviar amb normalitat. A part podem veure que en la petita part de GPRS que es mostra en la figura, es veu com al ser GPRS disposem de menor velocitat i per aquest motiu no segueix la mateixa pendent que la de UMTS.

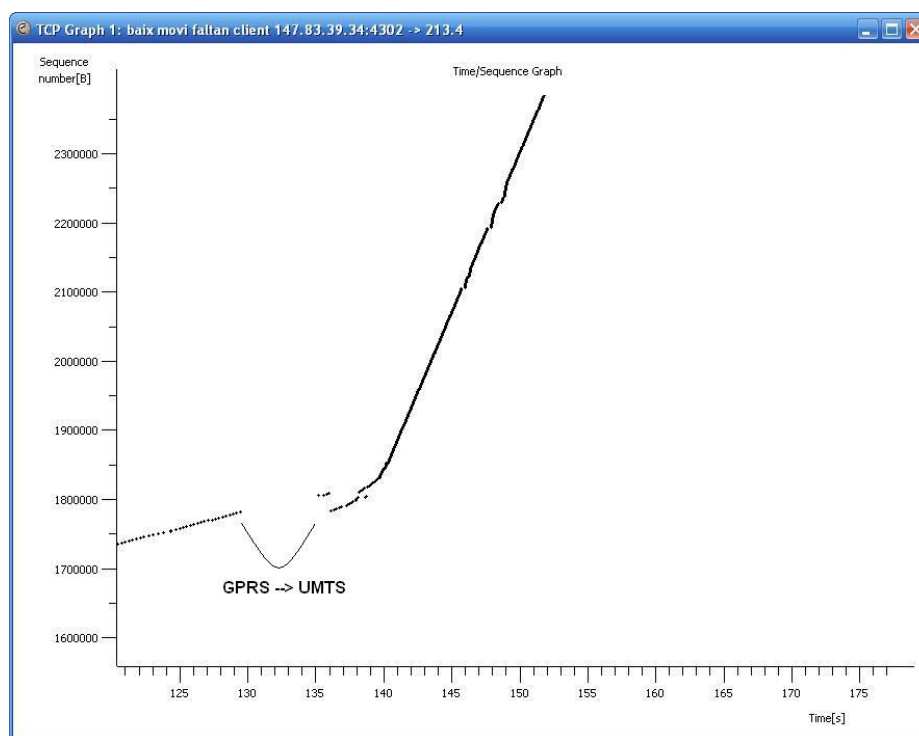
En el traspàs de GPRS a UMTS ens passa el mateix que en el cas anterior, continuem rebent el paquets mentre l'estació mòbil utilitza el sistema GPRS, fins que es produeix el traspàs, que és l'instant en el qual es perden els paquets que s'estaven esperant, i el que fa el client es enviar els següents ACK's informant que espera rebre el paquet perdut.

Quan el servidor rep els tres ACK's duplicats entén que s'ha perdut el paquet, i comença a fer la retransmissió dels paquets perduts fins arribar a l'últim paquet que s'havia rebut correctament.



**Fig. 6.1.** Gràfica de recepció de paquets de l'enllaç de baixada Movistar

A la següent figura 6.2 es pot veure el traspàs de GPRS a UMTS.



**Fig. 6.2.** Gràfica de recepció de paquets de l'enllaç de baixada Movistar

### 6.1.3.2 Resultats més pròxims a la mitjana en Movistar a l'exterior

En aquest cas hem triat un altre dels casos que podem considerar genèric, degut a que es repeteix en varies proves. Tal com s'ha realitzat en la caracterització IP, en aquest apartat es tractaran els casos més representatius dels resultats obtinguts amb les proves de TCP, així com també s'analitzaran els que presenten uns resultats prou diferenciats de la resta. Tots els resultats obtinguts de les proves es poden trobar a l'annex.

El cas que s'ha escollit, és el corresponent a la prova 14 a l'enllaç de baixada.

**Taula 6.4** Prova més pròxima a la mitjana en l'escenari exterior amb Movistar

Operador	Enllaç	Traspàs	Gaps (s)
Movistar	Baixada	UMTS -> GPRS	33,307
		GPRS -> UMTS	3,044

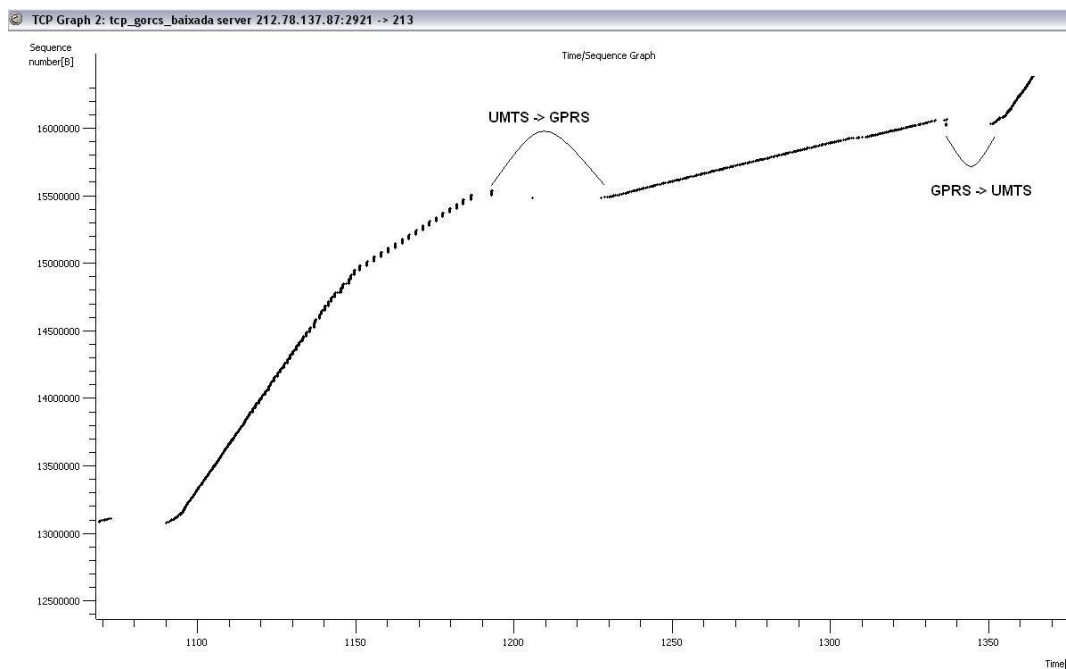
En aquest cas de l'enllaç de baixada el traspàs de UMTS a GPRS és molt més gran, però pel que fa a la transmissió de paquets, es produeixen retransmissions, i per tant s'entén que els paquets que es trobaven enviant-se s'han perdut i han estat retransmesos per l'expiració del temporitzador. Al primer paquet que no esta confirmat, li expira el seu temporitzador de retransmissió que és de 11 segons i torna a enviar el paquet. Com han transcorregut 11 segons i s'ha enviat el paquet i no s'obté resposta ja que el traspàs encara no ha finalitzat, al cap de 22 segons d'expirar el primer RTO, torna a expirar, i envia un altre cop el paquet. Finalment aquets paquet arriba i ja es torna a entrar en la dinàmica de retransmetre tots els paquets que encara no havien arribat i que s'entén que s'havien perdut.

No. -	Time	Source	Destination	Protocol	Info
18338	1224.9113	213.4.161.218	212.78.137.87	TCP	1041 > 2921 [ACK] Seq=1 Ack=15466497
18339	1224.9213	212.78.137.87	213.4.161.218	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
18340	1225.1016	213.4.161.218	212.78.137.87	TCP	1041 > 2921 [ACK] Seq=1 Ack=15467957
18341	1225.5222	212.78.137.87	213.4.161.218	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
18342	1225.6223	212.78.137.87	213.4.161.218	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
18343	1225.6223	213.4.161.218	212.78.137.87	TCP	1041 > 2921 [ACK] Seq=1 Ack=15470877
18344	1225.6323	212.78.137.87	213.4.161.218	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
18345	1225.6323	213.4.161.218	212.78.137.87	TCP	1041 > 2921 [ACK] Seq=1 Ack=15472337
18346	1225.6524	212.78.137.87	213.4.161.218	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
18347	1225.6624	212.78.137.87	213.4.161.218	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
18348	1225.6624	213.4.161.218	212.78.137.87	TCP	1041 > 2921 [ACK] Seq=1 Ack=15475257
18349	1225.6724	212.78.137.87	213.4.161.218	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
18350	1225.6724	213.4.161.218	212.78.137.87	TCP	1041 > 2921 [ACK] Seq=1 Ack=15476717
18351	1226.9743	212.78.137.87	213.4.161.218	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
18352	1227.0843	212.78.137.87	213.4.161.218	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
18353	1227.0843	213.4.161.218	212.78.137.87	TCP	1041 > 2921 [ACK] Seq=1 Ack=15479637
18354	1260.3422	212.78.137.87	213.4.161.218	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
18355	1260.4524	213.4.161.218	212.78.137.87	TCP	1041 > 2921 [ACK] Seq=1 Ack=15481097
18356	1261.1935	212.78.137.87	213.4.161.218	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
18357	1261.3537	213.4.161.218	212.78.137.87	TCP	1041 > 2921 [ACK] Seq=1 Ack=15482557
18358	1261.4538	212.78.137.87	213.4.161.218	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
18359	1261.6541	213.4.161.218	212.78.137.87	TCP	1041 > 2921 [ACK] Seq=1 Ack=15484017
18360	1262.0747	212.78.137.87	213.4.161.218	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
18361	1262.2550	213.4.161.218	212.78.137.87	TCP	1041 > 2921 [ACK] Seq=1 Ack=15485477

**Fig. 6.3.** Captura del paquets rebuts en el portàtil per part del servidor.

A la figura 6.4 es pot veure com en el traspàs de UMTS a GPRS, hi ha un paquet en mig del traspàs que correspon a la retransmissió que fa el servidor

degut a la segona expiració del RTO, mentre que la primera expiració es produeix just després de començar el traspàs de UMTS a GPRS. Com que el servidor envia un paquet i aquest no es confirmat, al expirar el temporitzador de retransmissió, d'onze segons, es retransmet el paquet i per el temporitzador de backoff fa que la segona expiració no es produeixi als 11 segons com la primera, sinó que ho fa als 22 segons tal com hem vist en les captures. D'aquesta manera fa que al enviar el paquet 22 segons després s'allargui el temps d'inactivitat percebut pel client, ja que en cas de no haver expirat el segon temporitzador la comunicació s'hauria recuperat al finalitzar el traspàs i no s'hauria vist allargada com és aquest cas. En el traspàs de GPRS a UMTS en passa com en un dels casos anteriors on el fet que un paquet sigui retardat per la xarxa, provoca que posteriorment s'enviïn els 3 ACKS duplicats, amb els quals es van retransmeten els 24 paquets que s'han perdut durant el traspàs. A la figura 6.4 es poden veure els dos temps de traspàs de UMTS a GPRS, i viceversa, així com un traspàs de UMTS a GPRS que succeeix pocs segons després de realitzar-se el traspàs de GPRS a UMTS.



**Fig. 6.4.** Gràfica l'enviament de paquets per part del servidor al client.

Tal i com hem vist els traspàsos en TCP normalment venen marcats per dues situacions. La primera d'elles es la que acabem de comentar on es produeix l'expiració del temporitzador de retransmissió i per tant es torna a transmetre el paquet, però en aquest cas amb un temporitzador major. Aquest fet suposa que si el traspàs finalitza després del temporitzador, implicarà una retransmissió, com en aquest cas de 22 segon que el que fa es allargar-nos el traspàs. En la segona situació és la del paquet que es retarda en la xarxa fent que fins que aquest no arribi al seu destí s'allargui el temps durant el qual no s'envia cap paquet ja que s'està esperant el paquet que té la xarxa.



## CAPÍTOL 7 CONCLUSIONS I LÍNIES FUTURES

En aquest treball s'ha vist que el traspàs entre sistemes UMTS i GPRS, presenta forces diferències en quant a temps de traspàs i depèn molt de l'escenari en que ens trobem. El que s'ha pogut veure és que en les zones urbanes la cobertura d'UMTS és molt ampla fet que provoca que els traspàsos entre sistemes no siguin gaire habituals. Però en zones allunyades de les ciutats que disposen de cobertura UMTS, si que hi ha zones on es produeixen els traspàsos entre sistemes

En les proves realitzades s'han detectat molts factors que poden influir de manera directa en els resultats. Un fet que queda molt clar és que l'escenari on ens trobem és bàsic per poder obtenir el millor rendiment tant de la xarxa com dels terminals utilitzats ja que en les proves realitzades, els temps de traspàs en l'escenari exterior es veien afavorits pel millor nivell de senyal disponible tant en un sistema com en l'altre. Per altra banda, s'ha demostrat que en escenaris interiors com l'edifici del Campus Nord el fet d'anar perdent el nivell de senyal progressivament en ambdós sistemes, empitjora les condicions del traspàs. Això, a nivell IP, suposa pèrdues bastant elevades durant els traspàsos, així com temps de traspàsos lleugerament més elevats deguts a les majors dificultats trobades per realitzar el traspàs amb uns nivells de senyal bastant baixos.

Els gaps de connectivitat en IP, han estat grans, fins i tot en alguns casos han superat els 40 segons. Degut al traspàs també s'han incrementat les pèrdues i els retards, tot i que depenent del terminal, de l'escenari i de l'operador, el resultat varia.

En els resultats de les proves de TCP hem pogut veure que els gaps de connectivitat són més grans que en el cas de IP, tot i que en aquest cas no hi ha pèrdues ja que els paquets són retransmesos. L'augment del gap en el traspàs ve donat per dos fenòmens que hem pogut apreciar. El primer d'ells és el fet que un ACK quedi retardat a la xarxa degut als buffers fet que fa que la transmissió no es pugui tornar a posar en marxa fins que aquest ACK no arribi al seu destí. L'altre fenomen es l'expiració del temporitzador de retransmissió, fet que provoca, que el valor del temporitzador augmenti, amb la possibilitat de que es doni el cas que el traspàs ja s'ha finalitzat mentre que el temporitzador encara no ha expirat, fent que es retardi la transmissió.

Si l'usuari està utilitzant el sistema UMTS, i es produeix un traspàs, el rendiment quedarà degradat per culpa del traspàs afectant a les aplicacions que funcionin sobre TCP/IP.

En aquest treball s'ha observat que els traspàsos entre sistemes depenen de molts factors: el terminal, l'operador, l'escenari, les condicions del senyal radio, la velocitat del usuari en el traspàs, etc. Per tant, com una línia d'actuació futura, caldria realitzar més proves amb més operadors, terminals i escenaris, per tal de poder obtenir uns resultats que puguem considerar com a més genèrics. També seria interessant conèixer la configuració dels paràmetres de la xarxa de cadascun dels operadors.



Per altra banda, es podria plantejar la utilització de proxys de connexió dividida per resoldre localment els problemes deguts als traspàsos entre GPRS i UMTS (pèrdues de paquets, retards...) sense que l'emissor TCP en sigui conscient. D'aquesta manera, s'evitaria la activació dels mecanismes de control de congestió de TCP o la retransmissió innecessària de paquets millorant el rendiment dels serveis basats en TCP

Respecte a les implicacions ambientals d'aquest treball, no es presenten com un punt a tractar degut a que no presenten cap problema d'ambientalització.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Benson, H. J. Thomas, "Investigation of the UMTS to GSM handover procedure", in Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference (VTC) 2002 – Spring, Birmingham, USA, May 2002
- [2] G. Durastante, A. Zanella, "An efficient monitoring strategy for intersystem handovers from TD-SCDMA to GSM networks ", in Proceedings of the IEEE Conference on Personal Indoor Mobile Radio Communications, (PIMRC 2002), Lisbon, Portugal, September 2002
- [3] B. Singh, K.K. Aggarwal, S. Kumar, "An analytical model for intersystem handover", in Proceedings of TENCON 2003, Bangalore, India, October 2003
- [4] D. Lugara, L. Ammi, M. Griguer, J. Tartièrè, "UMTS to GSM handover based on compressed mode technique", in Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, 2004
- [5] E. Jugl, U. Bernhard, H. Pampel, "Strategy and performance of UMTS-GSM handover", Fourth International Conference on 3G Mobile Communication Technologies (3G2003), London, UK, 2003
- [6] N. Solhjoo, G. Foster, N. Baker, D. Molkdar, H. Thomas, "Static analysis of inter-system handover", 2003
- [7] H. Holma, A. Toskala, *WCDMA for UMTS, Radio Access For Third Generation Mobile Communications*, Jon Wiley & Sons, Ltd, England, 2004
- [8] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Core Network; Handover procedures (Release 1999);3GPP TS 23.009 V3.12.0 (2002-12)
- [9] 3rd Generation Partnership Project;Technical Specification Group Radio Access Network;RRC Protocol Specification, (3G TS 25.331 version 3.1.0 Release 1999)
- [10] Motorola, Inc, "Case study: UMTS Network Performance Modeling Service", 2003
- [11] S. Dick, *L1/L2 Handoff Considerations based on Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)*, InterDigital Communications Corporation, 2002
- [12] G. Alsenmyr, J. Bergström, M. Hagberg, A. Milén, W. Müller, H. Palm, H. van der Velde, P. Wallentin, F. Wallgren, "Handover between WCDMA and GSM", Ericsson Review No. 1, 2003
- [13] R. Vidal, "Xarxes cel·lulars, 2,5G. GPRS", Bloc Optatiu IXT: unitat 14
- [14] R. Vidal, "Xarxes cel·lulars, 3G", Bloc Optatiu IXT: unitat 16
- [15] M. Allman, V. Paxson, W. Stevens , "TCP Congestion Control", RFC 2581
- [16] "UMTS protocols and testing", Web ProForum Tutorials, <http://www.iec.org>
- [17] <http://www.umtsworld.com>
- [18] <http://www.umtsforum.net>
- [19] <http://www.3gpp.org>
- [20] J. Postel , "Internet Protocol", RFC 791
- [21] J. Postel , "Transmission Control Protocol", RFC 793



Escola Politècnica Superior  
de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# ANNEXOS

**TÍTOL: Avaluació de l'impacte del traspàs entre sistemes GPRS i UMTS en els protocols TCP/IP**

**AUTOR: Xavier Figueras Garcia**

**DIRECTOR: Carles Gómez Montenegro**

**DIRECTOR: Marisa Catalán Cid**

**DATA: 24 de febrer de 2006**

## A. GPRS

A continuació s'ampliaran els continguts de certes parts del sistema GSM, que ajuden a comprendre millor el sistema, y ahora el traspàs entres sistemes.

### A.1. Elements del Network and Switching subsytem:

- Mobile Switching Center (MSC): És el component central del NSS i s'encarrega de realitzar la commutació dins la xarxa, així com de proporcionar connexió amb altres xarxes, controlar l'establiment de trucada, controlar traspassos i accedir a les bases de dades del sistema.
- Gateway Mobile Switching Center (GMSC): Un gateway és un dispositiu que s'encarrega d'interconnectar dues xarxes fent que els protocols de comunicacions que existeixen en ambdues xarxes s'entenguin. I la funció en cas d'aquesta xarxa és la d'interconnectar les xarxes externes amb la interna com és el cas de les xarxes de telefonia fixes i la xarxa GSM.
- Home Location Registrer (HLR): El HLR és una base de dades que conté informació sobre els usuaris connectats a la xarxa. La informació que podem trobar emmagatzemada fonamentalment és la localització de l'usuari i les dades del abonat que ens permeten saber a quins serveis te accés, la seva tarificació, així com d'altres paràmetres.
- Visitor Location Registrer (VLR): Aquesta base de dades conté tota la informació sobre un usuari necessària perquè aquest pugui accedir als seus serveis, inicialment aquesta informació es troba en el HLR, però a mesura que l'abonat es va movent i per tant canviant de MSC, aquesta informació es va traslladant del HLR cap als diferents VLR de les diferents MSC's per on esta connectat l'abonat.
- Authentication Center (AuC): Aquest element emmagatzema les claus secretes corresponents al abonat, i per tant proporciona els paràmetres necessaris per a l'autenticació dels abonats dins de la xarxa; també s'encarrega de suportar funcions d'enciptació.
- Equipment Identy Registrer (EIR): La EIR conté una base de dades amb tots els terminals que són vàlids per a ser usats en la xarxa. Aquesta base de dades conté els International Mobile Equipment Identy o IMEI de cada terminal, de manera que si un determinat mòbil tracta de fer ús de la xarxa i el seu IMEI no es troba a la base de dades del EIR, s'entén que aquest terminal no es vàlid per ser utilitzat en aquesta xarxa.
- A.1. GSM Interworking Unit (GIWU): S'utilitza com interfície de comunicació entre diferents xarxes per la comunicació de dades.

## A.2. Terminals i prestacions

D'entre tots els terminals que hi ha disponibles per les xarxes GPRS podem classificar-los en tres tipus de terminals, com són els de Classe A, Classe B i Classe C.

- Els terminals de Classe A permet realitzar simultàniament comunicacions en mode circuit i en mode paquet.
- Els terminals de Classe B poden monitoritzar els serveis en mode paquet o circuit però només poden realitzar les comunicacions en mode circuit o en mode paquet.
- Els terminals de Classe C només poden monitoritzar i realitzar comunicacions en mode paquet o circuit.

A part dels diferents tipus de terminal que disposem també hem de tenir en compte que segons les condicions del entorn es podran utilitzar uns esquemes de codificació (CS) determinats. Els esquemes de codificació que es poden utilitzar són els que es mostren a la següent taula:

**Taula A.1.** Esquemes de codificació

<b>Classe</b>	<b>Bits informació</b>	<b>Bits CRC</b>	<b>Modificació Abis</b>	<b>Velocitat Kbps</b>
<b>CS-1</b>	184	40	No	9,05
<b>CS-2</b>	272	16	No	13,4
<b>CS-3</b>	320	16	Sí	15,6
<b>CS-4</b>	440	16	Sí	21,4

Tal com podem veure a la taula, segons l'esquema de codificació que s'utilitzi es podran assolir diferents velocitats, que alhora determinaran el grau de protecció amb la que viatgen les dades, ja que la major velocitat s'aconsegueix en detriment de la seguretat de les dades que van menys protegides.

Cal dir que les codificacions CS-3 i CS-4 impliquen una modificació a la interfície Abis entre l'estació base i l'estació mòbil, amb lo qual les operadores pot ser que no tinguin aplicada aquesta modificació i per tant només puguin oferir les dues primeres. A més a més a mida que el terminal s'allunyi de l'estació base la velocitat disminuirà i per tant les codificacions CS-3 i CS-4 queden limitades a un entorn molt pròxim a l'estació base, en canvi amb les codificacions CS-2 i CS-1 es disposa d'una cobertura similar a la de GSM, tot i que la CS-1 millora la cobertura de GSM.

La velocitat que es pot assolir amb la xarxa GPRS es de 144 Kbps, però aquest valor teòric, s'allunya bastant de la realitat i a més a més ve influïda pel terminal. Els terminals tenen a la seva disposició fins a 8 canals de dades o slots, que li permetran aconseguir diferents velocitats segons quants slots utilitzem. L'esquema de codificació utilitzat serà o be el CS-1 en cas que estiguem allunyats de l'estació base i pròxims al límit de cobertura de la cel·la o be el CS-2 si estem dins de l'àrea de cobertura de la cel·la i bastant pròxims a l'estació base, fet que en permetria disposar de canals de 13,4 Kbps. La

utilització de les altres codificacions com ja s'ha comentat dependria de si l'operador ha fet els canvis necessaris en la interfície Abis.

El numero de canals o slots, dependrà del model de terminal que disposem, el qual ens indicarà el numero de slots de pujada i de baixada que utilitza. Per tant si un terminal GPRS en indica que te tres slots de baixada i un de pujada ho indicarà com a 3+1. Per un terminal 4+1 tindriem quatre slots de baixada i un de pujada.

La tarificació en GPRS depèn de la quantitat d'informació enviada i rebuda i no pel temps de connexió, fet que millora notablement els preus ja que amb GSM al tarificar per temps i disposar de menors velocitats suposava un cost econòmic alt. A més amb GPRS se li dona prioritat al tràfic de veu, ja que al basar-se en GSM, la primera de les funcions que ha de complir es la de dur a terme trucades i per tant sempre serà més prioritària una trucada que un paquet de dades si utilitzem canals dinàmics.

Pel que fa a la interfície radio, les dades es transmeten per una multitrama de 52 canals, els canals dedicats a portar paquets de dades s'anomenen PDCH (Packet Data Channel). En podem trobar de dos tipus, estàtics o de dinàmics. Els primer d'ells, els estàtics, tal com el seu nom indica són canals que queden fixats per se utilitzats pels paquets de dades GPRS i no poden ser ocupats però trucades de veu en mode circuit. El segon tipus de canals PDCH, els dinàmics, aprofiten la capacitat no utilitzada per les trucades en mode circuit per ser utilitzada en mode paquet, però en aquest cas la veu te prioritat sobre les dades, fet que podria provocar que en alguns moments puntuals la cel·la es quedés sense capacitat per dades.

### **A.3. Gestió de la mobilitat**

Pel que fa a la gestió de la mobilitat ens podem trobar el terminal GPRS en tres estats que són Idle, Standby i Ready. En l'estat Idle o en repòs, el terminal no esta connectat a la xarxa GPRS i la xarxa no te constància de que aquest terminal estigui disponible. En l'estat Standby o preparat, el terminal esta encès però sense cap comunicació activa, la xarxa sap en quina àrea es troba el terminal, i el terminal el que fa es escoltar els canals de paging. Per últim en l'estat Ready o actiu, el terminal es troba enviat dades o rebent-les.

Per poder iniciar una transmissió de dades, el terminal haurà de disposar d'un context PDP i un context de Mobilitat. Un cop que la xarxa te localitzat el terminal, i aquest "s'enganxa" a la xarxa es quan es disposa d'un context de mobilitat i per tant si es vol iniciar la transmissió de dades només caldrà establir un context PDP.

Quan s'estableix un context PDP, el que estem fent és obtenir la informació necessària, per tal que després puguem transmetre la informació desitjada per la xarxa. El context PDP conté la següent informació:

- Tipus de PDN (Packet Data Network): Aquest camp indica el tipus de xarxa de paquets que s'utilitzarà, com per exemple X25, Ipv4, Ipv6, etc....
- Adreça IP: La adreça IP pot ser estàtica o dinàmica.
- QoS: El tipus de qualitat de servei que se li oferirà al abonat.
- Adreça GGSN: La adreça del GGSN la utilitzarem com a router per defecte.

El context PDP s'emmagatzema a l'estació mòbil (MS), al SGSN i al GGSN, i es pot disposar de varies direccions que comportaran cadascuna d'elles un context PDP associat.

El fet de disposar d'una adreça IP dinàmica, comporta que si no tenim una sessió activa (context PDP) i ens arriba un paquet amb retard, si el terminal no té una adreça IP estàtica aquest paquet haurà de ser descartat i s'informarà al node origen d'aquest fet.

## B. UMTS

### B.1. Qualitat de servei

En UMTS hi ha quatre classes de qualitat de servei (QoS) que afecten de diferent manera al tràfic. La principal diferència entre ells es el tractament que fan del retard. Les quatre classes de qualitat de serveis ordenades de major a menor importància del retard són les següents:

- Conversacional
  - Tràfic en temps real amb retards necessàriament petits
- Streaming
  - Tràfic en temps real amb retards petits
- Interactiu
  - Aplicacions tradicionals d'Internet
- Background
  - Aplicacions tradicionals d'Internet
  - Menor importància del retard

El primer d'ells, el conversacional s'utilitza per els serveis de videotelefonia i per telefonia, ja sigui telefonia tradicional o be Veu sobre IP. Les principals característiques d'aquest tràfic és que es requereix un retard molt baix i amb petites variacions del retard, ja que durant el transcurs del traspàs degut a que en una conversació si estem molt de temps sense escoltar al l'altre persona podem entendre que ha finalitzat la trucada.

Pel que fa a la classe de Streaming, aquesta esta enfocada principalment al tràfic multimèdia ja siguin serveis d'àudio o vídeo. El tràfic de streaming acostuma a ser en una sola direcció i el retard tampoc ha de ser gaire gran ja que no es poden acceptar un tall continuat durant la reproducció. A més a més hi ha petites variacions del retard condicionades per la capacitat ajustament del receptor en la qual influeix la mida del buffer.

En el cas les classes de tràfic interactiu i background, aquestes no són tan sensibles com les primeres al retard, amb lo que es disposa d'un marge major. Els principals serveis que suporten són l'accés a servidors d'informació, la navegació web i l'ús del correu electrònic. Els temps d'anada i tornada són bastant grans però a canvi tenim unes taxes d'error baixes, fet que ens proporciona més protecció.



## C. Altres estudis

A la memòria s'ha fet referència al estudi del anàlisi del traspàs entre sistemes [6], on hi havia present la definició dels serveis i escenaris.

**Taula C.1** Serveis utilitzats en el estudi

<b>Servei</b>	<b>Descripció</b>
AMR_CS_TCH_12	AMR en el canal TCH 12,2 Kbits/s
Email_Hdr_RF_32	Capçalera d'Email de 32 bits.
Web_PS_TCH (1-2, 2-4)	Web en el canal TCH amb 1 Timeslot pujada i 2 de baixada
Web_DD_RF_64	Web
AMR_CS_DD_12	AMR en el canal DCH-DCH a 12Kbits/s
Email_Hdr_PS_TCH (1-2,3-2)	Email en el canal TCH amb 1 Timeslot de pujada i 3 de baixada

Amb aquest serveis s'han definit sis escenaris, en els quals es combina tant el traspàs de UMTS a GPRS com el de GPRS a UMTS. En cada escenari es té en compte una qualitat de servei (QoS) diferent segons quin sigui el servei utilitzat, i si es tracta de commutació de circuits (CS) o de commutació de paquets (PS):

**Taula C.2** Escenaris utilitzats en l'estudi

<b>Escenari</b>	<b>Tipus</b>	<b>Sentit</b>	<b>Servei inicial</b>	<b>Servei rebut</b>	<b>UMTS QoS</b>
1	CS	2G->3G	AMR_CS_TCH_12	AMR_CS_DD_12	Conversational
2	CS	3G->2G	AMR_CS_DD_12	AMR_CS_TCH_12	Conversational
3	PS	2G->3G	Email_Hdr_PS_TCH (1-2,3-2)	Email_Hdr_RF_32	Background
4	PS	3G->2G	Email_Hdr_RF_32	Email_Hdr_PS_TCH (1-2,3-2)	Background
5	PS	2G->3G	Web_PS_TCH (1-2, 2-4)	Web_DD_RF_64	Interactive
6	PS	3G->2G	Web_DD_RF_64	Web_PS_TCH (1-2, 2-4)	Interactive

A la taula es pot veure com per cada escenari, hi ha un servei inicial segons quin sistema s'estigui utilitzant i en el moment de fer el traspàs, com que es canvia de sistema el servei serà diferent. En aquesta taula també apareixen el sentit del traspàs, el tipus de commutació i la qualitat de servei que es disposa.

Els resultats del estudis ja s'han reflectit a la memòria.

## D. Tipus de traspassos i procediment

A la memòria del treball, s'han analitzat el tipus de traspassos més comuns que es poden donar quan l'està utilitzant el sistema UMTS i GPRS. Tot i que hi ha varis tipus de traspàs, el més comú és el traspàs Intra-MS, on el traspàs es realitza dins d'una mateixa MSC. Aquest és el cas més comú, ja que perquè es donin els traspassos Inter-MS, cal que ens situem entre l'àrea de cobertura de dues BTS, que pertanyin a diferents MSC. Tot i que aquest és un cas possible, es dona en menys casos, ja que hi ha major probabilitat d'estar dins el radi d'acció d'una MSC, que no estar entre dues MSC's. Adicionalment també analitzarem com es realitza un traspàs basic entre cel·les d'un mateix sistema, en aquets cas GSM, per poder veure les diferencies amb els traspassos entre sistemes.

A continuació veurem com són els traspassos Inter-MS, com es porten a terme, així com els diferents tipus que podem trobar.

### D.1. Inter MSC Handovers

A continuació tractarem els traspassos entre diferents MSCs tant entre UMTS i GPRS com al revés. Hem de tenir en compte que aquest tipus de traspàs podríem dir que no és el mes corrent, ja que per que es doni un traspàs entre diferents MSC s'han de donar unes condicions particulars.

La cobertura d'una MSC depèn de com l'operador te distribuïda la seva xarxa, normalment una MSC amb les seves BSS sol cobrir zones molt amplies o be més reduïdes depenen del nombre d'habitants. Per exemple les BTS de varies ciutats poden pertànyer a una mateixa MSC amb lo qual perquè es doni un traspàs entre diferents MSC, aquest s'hauria de produir entre diferents poblacions. Tot i que també es pot donar el cas que ciutats molt poblades com Barcelona estiguin controlades per varies MSC i depenent de on es troben estiguem fent un traspàs dins de la mateixa MSC o be amb una altra. Per tant hi haurà més possibilitats que es portin a terme traspasso intra-MS que inter-MS.

En els traspassos inter-MS hi intervé el protocol de la part d'aplicacions mòbil, MAP (Mobile Application Part), que proporciona un protocol de senyalització entre els diferents elements del NSS. Les principals funcions que executa són les següents:

- Gestió de la mobilitat.
- Operació i manteniment.
- Control de trucada.
- Serveis de missatgeria SMS.

### **D.1.1. Traspàs Inter-MSC de UMTS a GPRS**

En el traspàs entre diferents MSC podem trobar-nos dos tipus de traspàsos. El primer d'ells és el que requereix d'un circuit de connexió entre les dues MSC's i el segon es el que no utilitza circuit de connexió.

#### ***D.1.1.1. Traspàs de UMTS a GPRS amb circuit de connexió***

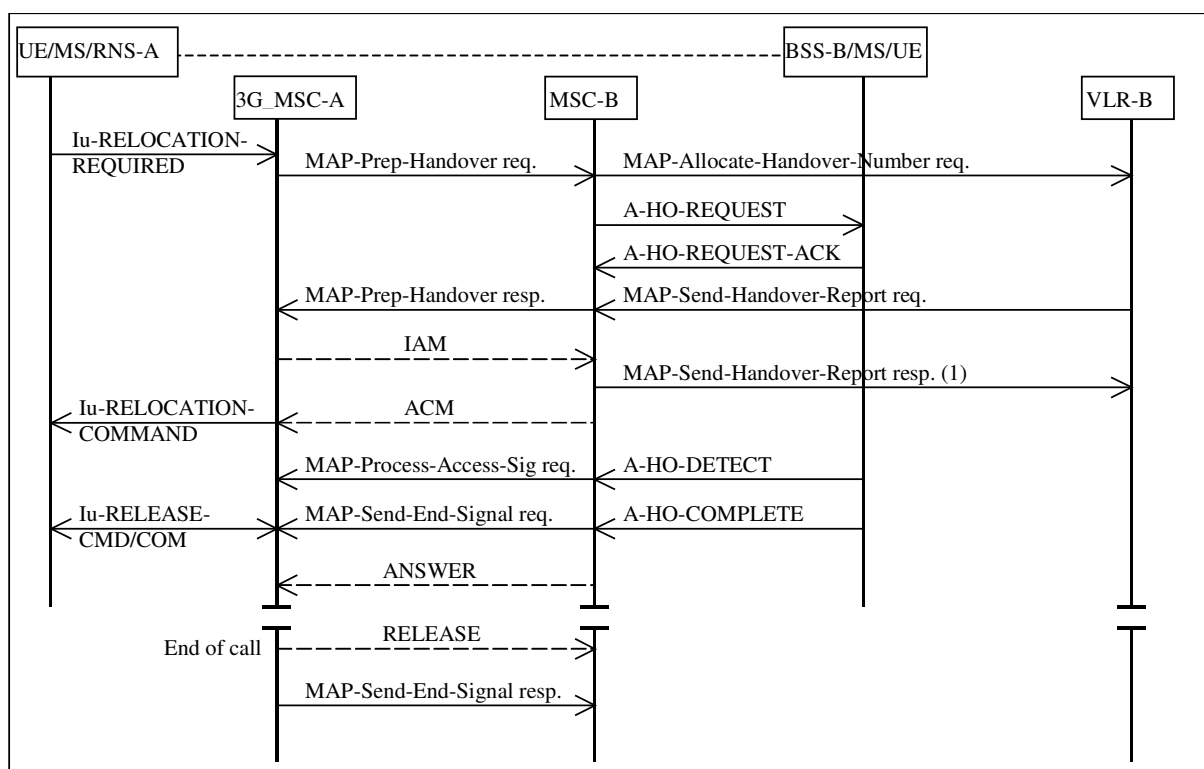
El traspàs s'inicia tal com esta descrit al apartat 3.2.2.1 i que queda representat però el missatge lu-RELOCATION-REQUIRED. Un cop que la 3G-MSC-A ha rebut el missatge enviat per la RNS-A, la 3G-MSC-A enviarà el missatge MAP-PREPARE\_HANDOVER Request a la MSC-B, incloent-hi un missatge A-HANDOVER-REQUIRED complet.

El missatge MAP-PREPARE-HANDOVER request, que identifica la cel·la on es farà el traspàs, porta el missatge A-HANDOVER-REQUEST que conté tota la informació necessària perquè la MSC-B pugui reservar els recursos radio.

La MSC-B retornarà a la 3G-MSC-A el missatge MAP-PREPARE-HANDOVER response després d'haver aconseguit el numero de traspàs del seu VLR associat, intercanviant els missatges MAP-allocate-handover-number request i MAP-send-handover-report request. Aquest numero de traspàs serveix per enrutar la connexió des de la 3G-MSC-A a la MSC-B.

En cas que hi hagi un canal de tràfic lliure a la MSC-B, el missatge MAP-PREPARE-HANDOVER response enviat a la 3g-MSC-A contindrà el missatge A-HANDOVER-REQUEST-ACKNOWLEDGE de la BSS-B, que conté els recursos radio que la RNS-A haurà d'enviar a l'estació mòbil. En cas de no haver-hi cap canal de tràfic lliure a la BSS, es pot enviar el missatge A-QUEUEING-INDICATION a la 3G-MSC-A. El resultat posterior a la reserva de recursos radio, que pot ser un A-HANDOVER-REQUEST-ACK o un A-HANDOVER-FAILURE, s'enviarà a la 3G-MSC-A utilitzant el missatge MAP-PROCESS-ACCESS-SIGNALLING request. En cas de no poder efectuar la reserva dels recursos, el missatge MAP-PREPARE-HANDOVER response, que contindrà un A-HANDOVER-FAILURE, serà enviat a la 3G-MSC-A. Si la MSC-B detecta algun error en la identificació de la cel·la on es produirà el traspàs s'enviarà el missatge anterior.

La 3G-MSC-A es la que decideix quina acció emprendre davant de missatges d'error o per l'expiració del MAP-PREPARE-HANDOVER timer.



**Fig. 3.7** Traspàs de UMTS a GPRS amb circuit de connexió

Un cop que s'ha rebut el A-HANDOVER-REQUEST-ACKNOWLEDGE, la 3G-MSC-A estableix un circuit entre la 3G-MSC-A i la MSC-B mitjançant processos de senyalització de la xarxa. En el esquema la senyalització ve representada pels missatges IAM (Initial Address Message) i el ACM (Address Complete Message) del Sistema de Senyalització N<sup>o</sup> 7.

Quan s'envia el missatge ACM, la MSC-B espera la captura de la UE/MS a la interfície radio com apareix al apartat 3.2.2.1 i la 3G-MSC-A inicia la execució del traspàs (representat com Iu-RELOCATION-COMMAND) quan es rep el missatge ACM.

La MSC-B transfereix a la 3G-MSC-A la confirmació rebuda dl'UE/MS correcte (A-HANDOVER-DETECT/A-HANDOVER-COMPLETE). Si es rep el A-HANDOVER-DETECT es transfereix a la 3G-MSC-A utilitzant el MAP-PROCESS-ACCESS-SIGNALLING request. I quan es rep el A-HANDOVER-COMPLETE, aquest es inclòs en el MAP-SEND-END-SIGNAL i enviat a la 3G-MSC-A. Els antics recursos radio UMTS s'alliberen un cop es rep el missatge A-HANDOVER-COMPLETE enviat per la MSC-B.

L'enviament del missatge MAP-SEND-END-SIGNAL implica l'inici del temporitzador de supervisió MAP, pel diàleg MAP entre la 3G-MSC-A i la MSC-B.

En cas que el circuit entre la 3G-MSC-A i la MSC-B no es pogués establir degut a algun problema, la 3G-MSC-A finalitzaria el traspàs inter-MSC de UMTS a

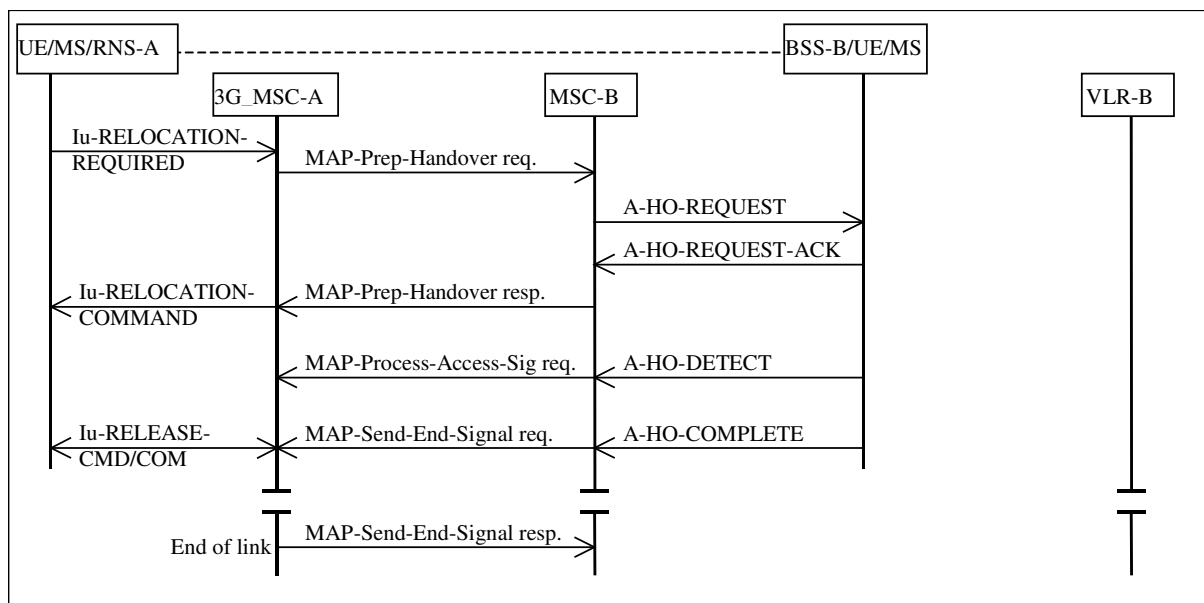
GPRS, mitjançant el missatge MAP ABORT. La 3G-MSC-A mantindrà el control global de la trucada fins que aquesta finalitza i no cal utilitzar les funcions de control de trucada (trucada en espera, cancel·ladors d'eco, ...). Un cop que la 3G-MSC-A finalitza la trucada a l'UE/MS, també finalitza el control de trucada i la 3G-MSC-A envia el missatge MAP-SEND-END-SIGNAL response per alliberar els recursos a la MSC-B. Així com també s'ha d'alliberar el numero de traspàs obtingut del VLR.

#### **D.1.1.2. Traspàs de UMTS a GPRS sense circuit de connexió**

El traspàs bàsic entre diferents MSC's de UMTS a GPRS sense establir un circuit de connexió és bastant similar al cas en que si hi ha circuit connexió però amb diferències pel que fa al establiment de circuits entre els diferents nodes i el numero de handover.

En el traspàs sense circuit de connexió, la 3G-MSC-A ha d'especificar a la MSC-B que no es necessita un numero de traspàs, i per això envia el missatge MAP-PREPARE-HANDOVER request. Tal com també passa en el traspàs amb circuit de connexió, en el bàsic un cop s'envia el missatge MAP-PREPARE-HANDOVER request, la MSC-B envia el missatge A-HANDOVER-REQUEST a la BSS, que és el procés de reserva de recursos radio, com el descrit a l'apartat 3.2.2.1. El missatge MAP-PREPARE-HANDOVER response s'envia a la 3G-MSC-A incloent-hi la resposta a la reserva de recursos radio enviada per la BSS-B provinent del intercanvi de missatges A-HANDOVER-REQUEST-ACKNOWLEDGE / A-HANDOVER-FAILURE. El procediment de traspàs seguirà de la mateixa manera que en cas anterior però sense establir un circuit de connexió amb la MSC-B.

Tal com es pot veure al esquema del procediment de traspàs les majors diferències respecte al cas d'establiment de circuit de connexió corresponen a la inexistència d'enviament de missatges per establir un circuit de connexió i el fet de no utilitzar un numero de traspàs.



**Fig. 3.8** Traspàs de UMTS a GPRS sense circuit de connexió

### D.1.2. Traspàs Inter-MSC de GPRS a UMTS

Tal com succeeix en els traspàs de UMTS a GPRS entre diferents MSC, en el cas dels traspàs de GPRS a UMTS, també trobem les dues possibilitats. La primera d'elles establint un circuit de connexió i la segona sense.

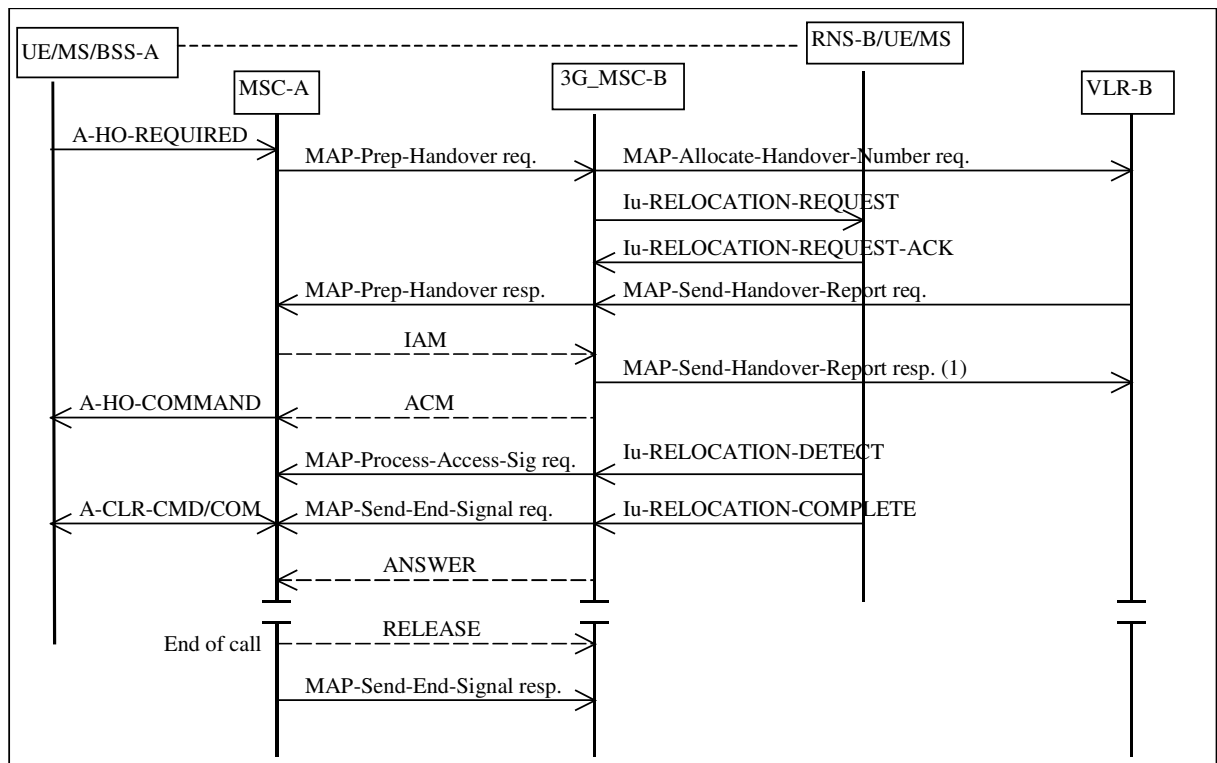
#### D.1.2.1. Traspàs de GPRS a UMTS amb circuit de connexió

L'inici del traspàs de GPRS a UMTS esta representat pel missatge A-HANDOVER-REQUIRED, que correspon al inici del apartat 3.2.2.2. Un cop que la MSC-A ha rebut el missatge A-HANDOVER-REQUIRED de la BSS-A, la MSC-A enviarà el missatge MAP-PREPARE-HANDOVER request a la 3G-MSC-B incloent-hi un missatge complet A-HANDOVER-REQUEST, on hi constarà tota la informació necessària perquè la 3G-MSC-B reservi els recursos a la RNS que s'especifica.

El missatge MAP-PREPARE-HANDOVER requests no es pot enviar una altre cop fins que no s'hagi rebut un MAP-PREPARE-HANDOVER response o hagi expirat algun temporitzador.

La 3G-MSC-B retornarà el missatge MAP-PREPARE-HANDOVER response un cop que hagi aconseguit el numero de traspàs del seu VLR-B mitjançant els missatges MAP-allocate-handover-number request i MAP-send-handover-report request. El numero de traspàs s'utilitzarà per encaminar la connexió de la trucada de la MSC-A a la 3G-MSC-B.

En cas de que hi hagi recursos radio disponibles a la RNS-B, el missatge MAP-PREPARE-HANDOVER response, enviat per la 3G-MSC-B, contindrà un A-HANDOVER-REQUEST-ACK. El A-HANDOVER-REQUEST-ACK estarà generat pel missatge Iu-RELOCATION-REQUEST-ACK provenint de la RNS-B, que contindrà la definició dels recursos radio als quals haurà d'accedir la UE/MS per fer el traspàs. Si no es pogués realitzar la reserva del recursos, el missatge MAP-PREPARE-HANDOVER response que s'envia a la MSC-A contindrà un A-HANDOVER-FAILURE. El missatge A-HANDOVER-FAILURE també ens apareixeria en cas que el identificador de la cel·la a on ha de ser traspasat l'UE/MS fos erroni. Tal com també passava en traspàs de UMTS a GPRS la que pren les decisions davant el possibles errors o l'expiració del temporitzador MAP-PREPARE-HANDOVER, és la MSC-A.



**Fig 3.9** Traspàs de GPRS a UMTS amb circuit de connexió

Un cop que s'ha rebut el A-HANDOVER-REQUEST-ACKNOWLEDGE, la MSC-A estableix un circuit entre la MSC-A i la 3G-MSC-B mitjançant processos de senyalització de la xarxa. En el esquema la senyalització ve representada pels missatges IAM (Initial Address Message) i el ACM (Address Complete Message) del Sistema de Senyalització N<sup>o</sup> 7.

Quan s'envia el missatge ACM, la 3G-MSC-B espera la captura de la UE/MS a la interfície radio com apareix al apartat 3.2.2.1 i la MSC-A inicia la execució del traspàs (representat com Iu-HANDOVER-COMMAND) quan es rep el missatge ACM.

La 3G-MSC-B transfereix a la MSC-A la confirmació rebuda dl'UE/MS correcte (A-HANDOVER-DETECT/A-HANDOVER-COMPLETE). Si es rep el missatge lu-RELOCATION-DETECT, aquest es transforma en el A-HANDOVER-DETECT i es transfereix a la MSC-A utilitzant el MAP-PROCESS-ACCESS-SIGNALLING request. I quan es rep el lu-RELOCATION-COMPLETE, es transforma a A-HANDOVER-COMPLETE, i aquest es inclòs en el MAP-SEND-END-SIGNAL i enviat a la MSC-A. Els antics recursos radio UMTS s'alliberen un cop es rep el missatge A-HANDOVER-COMPLETE enviat per la 3G-MSC-B.

L'enviament del missatge MAP-SEND-END-SIGNAL implica l'inici del temporitzador de supervisió MAP, pel diàleg MAP entre la MSC-A i la 3g-MSC-B.

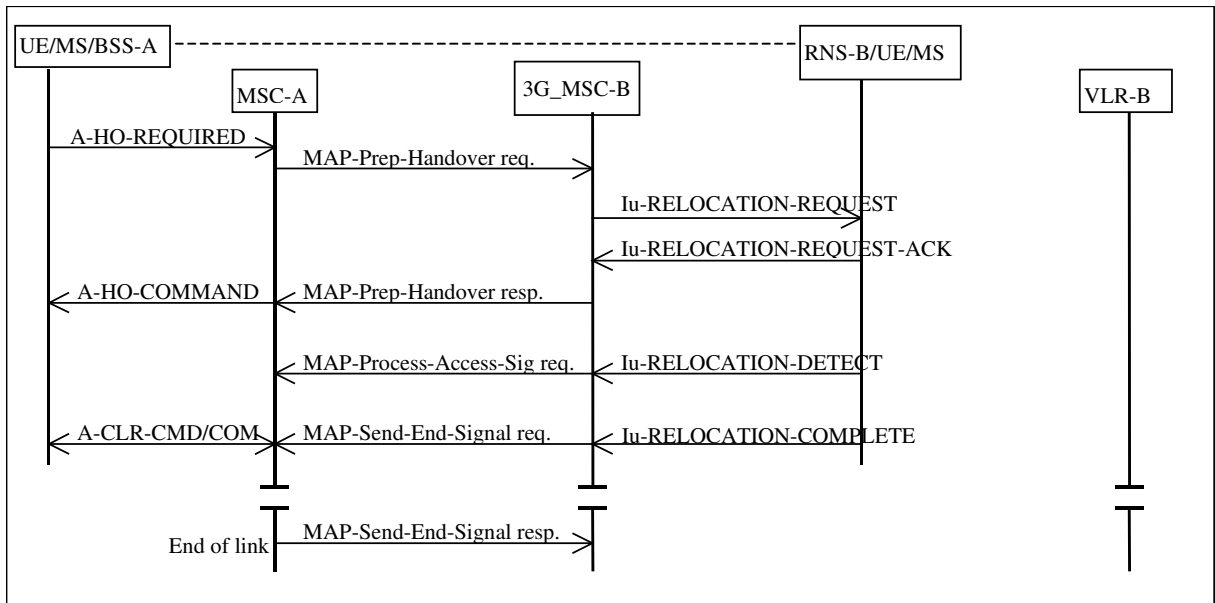
En cas que el circuit entre la MSC-A i la 3G-MSC-B no es pogués establir degut algun problema, la MSC-A finalitzaria el traspàs inter-MSC de GPRS a UMTS, mitjançant el missatge MAP ABORT. La MSC-A mantindrà el control global de la trucada fins que aquesta finalitza i no cal utilitzar les funcions de control de trucada (trucada en espera, cancel·ladors d'eco, ...). Un cop que la MSC-A finalitza la trucada a l'UE/MS, també finalitza el control de trucada i la MSC-A envia el missatge MAP-SEND-END-SIGNAL response per alliberar els recursos a la 3G-MSC-B. Així com també s'ha d'alliberar ell numero de traspàs obtingut del VLR.

#### **D.1.2.2. Traspàs de GPRS a UMTS sense circuit de connexió**

En el traspàs sense circuit de connexió, la MSC-A ha d'especificar a la MSC-B que no es necessita un numero de traspàs, i per això envia el missatge MAP-PREPARE-HANDOVER request. Tal com també passa en el traspàs amb circuit de connexió, en el bàsic un cop s'envia el missatge MAP-PREPARE-HANDOVER request, la 3G-MSC-B envia el missatge A-HANDOVER-REQUEST a la RNS-B, que és el procés de reserva de recursos radio, com el descrit al apartat 3.2.2.2. El missatge MAP-PREPARE-HANDOVER response s'envia a la MSC-A incloent-hi la resposta a la reserva de recursos radio enviada per la RNS-B que prové del intercanvi de missatges A-HANDOVER-REQUEST-ACKNOWLEDGE / A-HANDOVER-FAILURE. El procediment de traspàs seguirà de la mateixa manera que en cas anterior però sense establir un circuit de connexió amb la 3G-MSC-B.

Tal com es pot veure al esquema del procediment de traspàs les majors diferències respecte al cas d'establiment de circuit de connexió corresponen a la inexistència d'enviament de missatges per establir un circuit de connexió i el fet de no utilitzar un numero de traspàs.



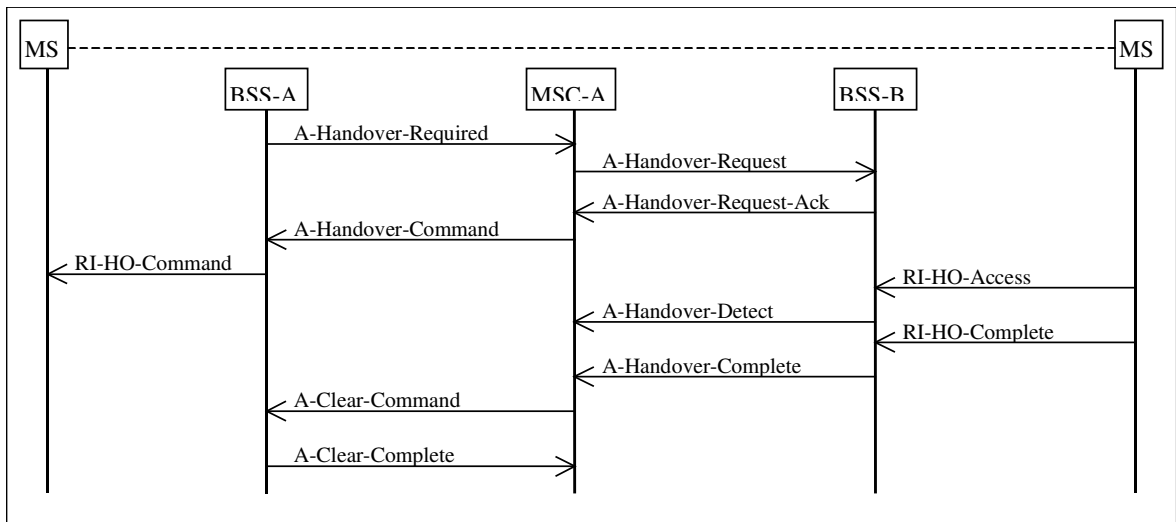


**Fig. 3.10** Traspàs de GPRS a UMTS sense circuit de connexió

## D.2. Traspàs entre cel·les GSM/GPRS

Analzarem un simple traspàs entre cel·les GSM/GPRS, per poder veure després les principals diferències amb els traspàsos entre sistemes.

A la figura inferior es pot veure com seria un Handover intra-MS.



**Fig. 3.4** Traspàs entre cel·les GSM/GPRS

Un cop tenim seleccionat l'estació mòbil (terminal) que compleix les característiques per fer un traspàs i la BSS determina que aquesta estació

mòbil ha de fer un traspàs, la BSS que ho determina, en aquest cas la A, envia la comanda A-HANDOVER –REQUIRED a la MSC.

A la comanda A-HANDOVER –REQUIRED s’hi especifica un llista de cel·les o be una en concreta a la qual l’estació mòbil pot realitzar el traspàs. En aquesta llista les cel·les estaran ordenades per ordre de preferència segons el criteri que l’operador decideixi com poden ser les mesures de nivell de senyal realitzades abans de fer el traspàs.

Un cop que la MSC rep el missatge A-HANDOVER –REQUIRED, aquesta informa a la nova BSS o be a la mateixa en cas de no canviar de MSC, que es produirà un traspàs i que per tant l’altre MSC realitzi les accions necessàries, per donar-li els recursos radio a l’estació mòbil.

Un cop ja se li ha reservat recursos a la BSS-B, aquesta envia un missatge A-HANDOVER-REQUEST-ACK a la MSC. Un cop la MSC rep el missatge per donar lloc a la nova estació mòbil, per indicar-ho ho fa amb el missatge A-HANDOVER REQUEST. Un cop la MSC ha rebut el missatge, aquesta envia un missatge A-HANDOVER-COMMAND a la BSS-A per indicar-li que ja pot començar el procés d’instruir a l’estació mòbil per trobar el nou recurs radio.

Un cop la BSS-A rep el missatge A-HANDOVER-COMMAND, aquesta li envia a l’estació mòbil el missatge de interfície radio RI-HANDOVER-COMMAND, el qual conté un numero que fa referència al traspàs que es pordarà a terme i que ha estat proporcionat per la BSS de destí, en aquest cas la B. En aquest moment l’estació mòbil accedeix al recurs radio que tenia reservat a la nova BSS amb el missatge RI-HANDOVER-ACCESS però fent abans la comprovació que el numero de referència de traspàs que proporciona l’estació mòbil coincideix amb el que li havia assignat la BSS-B.

En cas que la comprovació sigui positiva, la BSS-B enviarà a la MSC el missatge A-HANDOVER-DETECT. Quan l’estació mòbil ja s’estigui comunicant amb tota normalitat amb la nova BSS, l’estació mòbil enviarà el missatge RI-HANDOVER-COMplete a la nova BSS, i aquesta informarà a la MSC de que el traspàs s’ha completat amb el missatge A-HANDOVER-COMplete.

Com ara l’estació mòbil esta funcionant amb la BSS-B ja es poden alliberar els recursos que utilitzava a la BSS antiga, i això ho fa la MSC enviant-li el missatge A-CLEAR-COMMAND.

Durant tot el temps que l’estació mòbil no esta connectada a la xarxa, la MSC va emmagatzemant els missatges que pertanyin a l’estació mòbil i un cop que ja s’hagi fet tot el procés de traspàs, la MSC aquesta li lliurarà a l’estació mòbil.

En el cas que es produís un error en el traspàs, es senyalitzaria amb el missatge A-HANDOVER-REQUIRED i es finalitzaria el traspàs i la MSC tindria la possibilitat de triar una de les següents opcions:

- Tornar a provar el traspàs amb la mateixa cel·la.
- Seleccionar la següent cel·la a la llista de les proposades al inici del traspàs i provar de realitzar-lo.
- Esperar a rebre un missatge del tipus A-HANDOVER-REQUIRED.

- Enviar el missatge A-HANDOVER-REQUIRED-REJECT a la BSS-A en cas que A-HANDOVER-COMMAND no s'hagi enviat.

## E. Definició dels escenaris

Tal com s'ha comentat a la memòria, en les següents taules es poden trobar totes les mesures de nivell de senyal dels escenaris utilitzats, tant del punt per on es recorria el camí preestablert per que es produís un traspàs així com altres punts mesurats per tenir una idea més global. A les taules apareixen els valors mínims i màxims mesurats així com el sistema en el qual s'ha fet la mesura.

**Taula E.1.** Nivells de RSSI mesurats en l'escenari interior amb Movistar

<b>Punt</b>	<b>RSSI mínima (dBm)</b>	<b>RSSI màxima (dBm)</b>	<b>Sistema</b>
1	-100	-92	UMTS
2	-94	-92	UMTS
3	-97	-96	UMTS
4	-98	-92	UMTS
5	-102	-98	UMTS
6	-94	-94	UMTS
7	-96	-92	GPRS
8	-98/-104	-94/-104	UMTS/GPRS
9	-92	-92	GPRS
10	-112	-106	GPRS
11	-96	-88	GPRS
12	-96	-90	UMTS
13	-100	-96	UMTS
14	-106/-96	-104/-96	UMTS/GPRS
15	-112/-112	-112/-112	UMTS/GPRS
16	-112	-110	GPRS

**Taula E.2.** Nivells de RSSI mesurats en l'escenari interior Vodafone

<b>Punt</b>	<b>RSSI mínima (dBm)</b>	<b>RSSI màxima (dBm)</b>	<b>Sistema</b>
1	-96	-92	UMTS
2	-92	-92	UMTS
3	-100	-92	UMTS
4	-100	-100	UMTS
5	-104	-100	UMTS
6	-88	-88	UMTS
7	-104	-104	UMTS
8	-104/-92	-104/-86	UMTS/GPRS
9	-106/-90	-106/-90	UMTS/GPRS
10	-112/-112	-112/-112	UMTS/GPRS
11	-104	-100	UMTS
12	-102	-98	UMTS
13	-100	-100	UMTS
14	-100	-100	UMTS
15	-106/-112	-106/-112	UMTS/GPRS
16	-112/-112	-112/-110	UMTS/GPRS

**Taula E.3.** Nivells de RSSI mesurats en l'escenari exterior en Movistar

Punts	RSSI UMTS (dBm)		RSSI GPRS (dBm)	
	Mínima	Màxima	Mínima	Màxima
1	-94	-94	-88	-88
2	-94	-88	-88	-88
3	-88	-88	-88	-88
4	-88	-88	-86	-84
5	-88	-88	-84	-84
6	-88	-88	-86	-86
7	-88	-86	-84	-84
8	-88	-88	-80	-80
9	-90	-90	-80	-80
10	-96	-96	-80	-80
11	-96	-96	-82	-80
12	-96	-96	-82	-80
13	-100	-100	-82	-80
14	-102	-100	-80	-80
15	-106	-102	-80	-80
16	-106	-106	-80	-80
17	-106	-106	-80	-80
18	-106	-106	-80	-80
19	-106	-106	-80	-80
20	-108	-106	-80	-80
21	-108	-106	-80	-80
22	-106	-104	-80	-80
23	-104	-104	-80	-80
24	-104	-104	-80	-80
25	-106	-106	-80	-80
26	-106	-106	-80	-80
27	-106	-106	-80	-80
28	-106	-106	-80	-80
29	-106	-106	-80	-80
30	-108	-106	-78	-78
31	-108	-108	-80	-78
32	-112	-110	-80	-78
33	-110	-110	-78	-78
34	-112	-112	-78	-78
35	-112	-112	-78	-78
36	-112	-112	-78	-78
37	-112	-112	-78	-78
38	-112	-112	-78	-78
39	-112	-112	-78	-78
40	-112	-112	-78	-78
41	-112	-112	-78	-78
42	-112	-112	-78	-78

## F. Anàlisi dels resultats de les caracteritzacions IP

A continuació es poden trobar tots els resultats de les proves realitzades en la caracterització IP, així com els anàlisis a fons de les proves realitzades amb Vodafone i altres casos de Movistar .

### F.1. Resultats de les proves realitzades

En aquest apartat hi ha representades les taules que contenen tots els resultats de les proves realitzades per la caracterització IP. Es mostren els resultats tant en l'escenari exterior com l'interior, indicant el temps de traspàs de UMTS a GPRS i viceversa , així com els valors mitjos de les proves i la desviació.

#### F.1.1. Escenari Interior

**Taula F.1.** Resultats de les proves de l'enllaç de pujada a Movistar

<b>Movistar – Enllaç de Pujada – Escenari interior</b>				
<b>Prova</b>	<b>Temps de traspàs</b>		<b>Pèrdues</b>	
	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>
1	18,196	3,214	2	9
2	14,651	3,105	3	19
3	40,298	2,844	2	5
4	20,049	2,994	3	8
5	18,827	2,894	3	6
6	18,707	3,975	12	27
7	18,236	2,975	6	10
8	11,126	3,616	2	17
9	26,849	2,683	3	4
10	12,348	2,604	5	8
11	32,346	2,684	3	6
12	16,684	2,573	3	8
13	11,646	2,974	3	9
14	16,340	3,696	3	7
15	15,522	3,125	2	17
<b>Mitjana</b>	19,455	3,064	3,667	10,667
<b>Desviació</b>	8,002	0.414	2,554	6,422

**Taula F.2.** Resultats de les proves de l'enllaç de baixada a Movistar

<b>Movistar – Enllaç de Baixada – Escenari interior</b>				
<b>Prova</b>	<b>Temps de traspàs</b>		<b>Pèrdues</b>	
	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>
1	11,977	6,579	117	57

2	19,057	2,384	189	16
3	15,462	11,126	152	104
4	32,267	3,395	391	26
5	13,089	3,525	129	26
6	12,619	2,463	158	18
7	14,571	2,734	135	21
8	23,734	3,255	206	26
9	16,023	3,765	159	31
10	21,991	2,944	219	23
11	23,154	3,535	214	29
12	20,356	3,136	156	25
13	17,238	2,956	134	17
14	22,120	2,723	116	22
15	18,103	2,445	182	20
<b>Mitjana</b>	18,754	3,798	117,33	30,733
<b>Desviació</b>	3,798	2,265	68,101	22,480

Taula F.3. Resultats de les proves de l'enllaç de pujada a Vodafone

<b>Vodafone – Enllaç de Pujada – Escenari interior</b>				
<b>Prova</b>	<b>Temps de traspàs</b>		<b>Pèrdues</b>	
	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>
1	37,423	5,318	40	61
2	49,191	6,850	51	64
3	40,577	6,099	54	21
4	31,225	6,199	61	113
5	29,602	6,098	48	71
6	40,529	5,948	57	68
7	31,866	6	62	72
8	34,550	5,798	63	66
9	31,605	5,858	53	71
10	32,997	5,948	63	17
11	38,055	7,02	44	63
12	28	7,601	22	63
13	29,112	5,708	23	64
14	30,68	6,239	49	64
15	31,378	6,079	37	64
<b>Mitjana</b>	34,453	6,190	48,467	62,800
<b>Desviació</b>	5,721	0,569	13,271	21,762

Taula F.4. Resultats de les proves de l'enllaç de baixada a Vodafone

<b>Vodafone – Enllaç de Baixada – Escenari interior</b>				
<b>Prova</b>	<b>Temps de traspàs</b>		<b>Pèrdues</b>	
	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>
1	11,407	6,209	113	32
2	10,655	6,329	103	36
3	10,515	5,628	109	32

4	10,324	7,841	102	52
5	10,315	5,828	105	32
6	11,126	5,348	110	31
7	10,435	6,099	103	37
8	10,626	7,01	105	36
9	12,989	5,328	118	29
10	10,916	5,568	108	31
11	11,246	6,259	111	31
12	10,204	5,437	101	33
13	11,256	6,189	110	37
14	10,43	5,608	103	32
15	10,585	5,958	105	57
<b>Mitjana</b>	10,868	6,043	107	35,867
<b>Desviació</b>	0,701	0,673	4,826	7,999

### F.1.2. Escenari Exterior

Taula F.5. Resultats de les proves de l'enllaç de pujada a Movistar

<b>Movistar – Enllaç de Pujada – Escenari exterior</b>				
<b>Prova</b>	<b>Temps de traspàs</b>		<b>Pèrdues</b>	
	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>
1	12,659	2,757	1	7
2	13,624	2,421	1	19
3	13,342	2,752	26	14
4	14,589	2,574	2	4
5	13,675	2,939	2	9
6	13,406	2,6	2	8
7	16,601	3,383	2	8
8	19,818	2,522	3	1
9	13,484	3,695	1	17
10	15,503	3,161	2	8
11	16,624	2,801	2	6
12	13,699	2,354	2	0
13	11,654	3,207	2	10
14	16,532	2,971	3	9
15	12,752	2,696	2	3
<b>Mitjana</b>	14,531	2,856	3,533	8,2
<b>Desviació</b>	2,114	0,375	6,243	5,361

Taula F.6. Resultats de les proves de l'enllaç de pujada a Movistar

<b>Movistar – Enllaç de Baixada – Escenari exterior</b>				
<b>Prova</b>	<b>Temps de traspàs</b>		<b>Pèrdues</b>	
	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>
1	10,886	2,253	141	16
2	13,259	2,043	126	14



3	11,336	2,163	113	15
4	13,63	2,324	171	17
5	11,246	2,453	112	18
6	15,181	1,923	144	13
7	12,589	2,163	125	15
8	16,394	1,833	164	12
9	11,306	2,043	113	14
10	10,826	2,413	108	17
11	10,806	2,053	108	14
12	10,805	2,374	108	17
13	11,416	2,444	114	18
14	10,305	1,922	103	13
15	18,006	2,183	180	15
<b>Mitjana</b>	12,551	2,172	128,667	15,2
<b>Desviació</b>	2,332	0,202	25,365	1,897

## F.2. Anàlisi de resultats més pròxims a la mitjana del escenari interior

En aquest apartat s'analitzaran més en detall, els diferents casos de les proves realitzades que més s'aproximen a la mitjana .

### F.2.1. Enllaç de baixada Movistar

En cas de les proves realitzades amb Movistar en baixada, de les diferents proves realitzades la que més s'aproxima a la mitjana és la prova numero 2, amb els següents resultats:

**Taula F.7** Resultats de la prova numero 2 de Movistar en baixada.

<b>Operador</b>	<b>Traspàs</b>	<b>Gaps (s)</b>	<b>Pèrdues (paquets)</b>
<b>Movistar</b>	UMTS -> GPRS	19,057	189
	GPRS -> UMTS	2,384	16

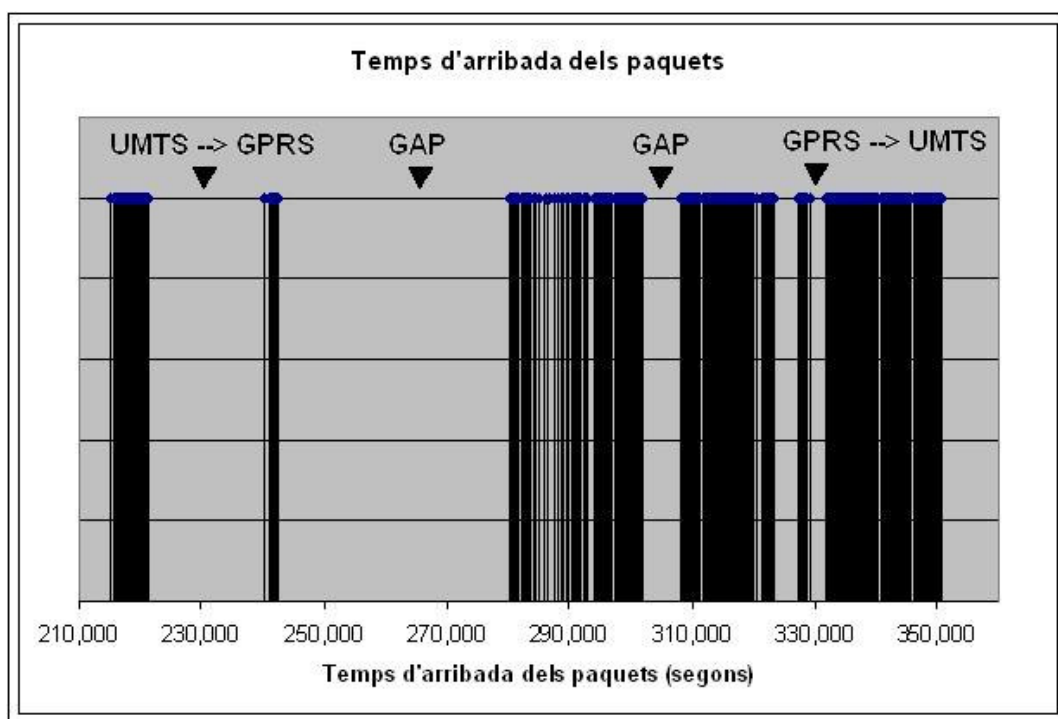
Els resultats d'aquesta prova són els que més s'aproximen a la mitja tenint en compte que cap dels altres resultats s'aproxima més a la mitja.

Si només tenim en compte només els resultats numèrics podríem dir que aquest no deixa de ser un cas més dins de les quinze proves realitzades, però en un anàlisi més complet podem veure a la figura 4.7 que no ho és ja que hi ha un gap d'una mida considerable.

A la figura F.1 es pot veure que al inici la transmissió es realitza amb UMTS i a continuació hi ha el gap corresponent de UMTS a GPRS de 19,057 segons i posteriorment es passa a GPRS. Durant aquest traspàs es perden 189

paquets, que és un augment molt important respecte a la baixada amb Movistar. Un cop ja estem en GPRS, la transmissió en GPRS es mínima ja que es produeix una gap de 37,734 segons però durant els quals no es produeix cap traspàs segons les indicacions de xarxa del terminal. Durant aquests 37,734 segons es perden 371 paquets, els quals no han pogut ser emmagatzemats en el buffer del sistema. Tot i que aquest temps es considerablement gran, no implica la pèrdua de connexió ja que un cop es tornen a transmetre els paquets continuem amb la mateixa adreça IP. Es podria considerar un intent de traspàs de GPRS a UMTS fallit i que impliqués un traspàs entre sistemes sense la reserva anticipada dels recursos radio i que al no poder-se finalitzar es torna al sistema GPRS.

Després del gap de 37 segons, hi trobem petits retards en la transmissió de GPRS, on fins hi tot hi ha un gap de 6 segons on tampoc es produeix cap traspàs, fins que finalment es produeix el traspàs de GPRS a UMTS que te una durada de 2,384 segons i una pèrdua de 16 paquets. I a partir del traspàs de GPRS a UMTS ja es continua la transmissió amb UMTS.



**Fig. F.1** Gràfica del flux de recepció

La pèrdua dels 16 paquets en el traspàs de GPRS a UMTS podem considerar-la acceptable tenint en compte que és el doble que amb l'enllaç de pujada, però la pèrdua de 189 paquets durant els 19 segons del primer traspàs és un resultat massa alt i que deu estar determinat per la configuració de la xarxa ja que aquest resultat es repeteix en les altres proves realitzades.

A la figura F.2 també es pot veure el temps d'arribada entre paquets PID, on apareix el gap de 37 segons, mentre que el temps d'arribada entre paquets

continua sent més o menys constant, menys a la fase durant la qual s'està en GPRS ja que es presenten una sèrie de petits retards que es poden veure entre els paquets 100 i 200.

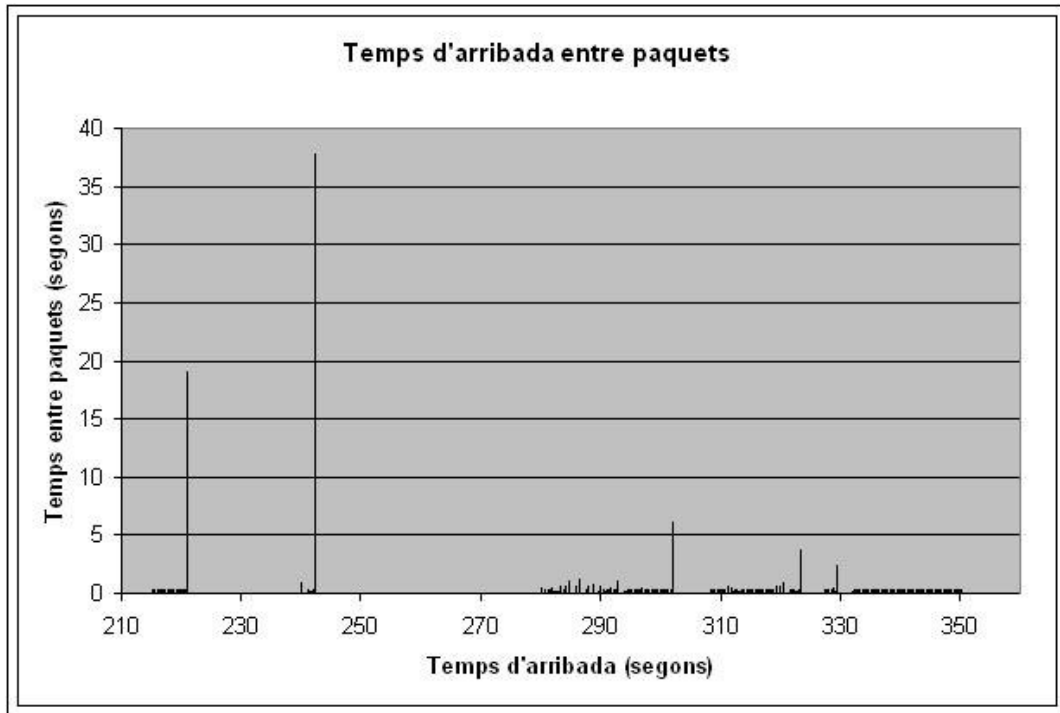


Fig. F.2 Gràfica de representació del PID

### F.2.2. Enllaç de pujada Vodafone

Tal com ja hem fet en Movistar a continuació realitzarem anàlisis dels resultats obtinguts amb Vodafone. De les proves realitzades amb Vodafone en pujada, la que més s'aproxima a la mitja es la prova numero 8, amb els següents resultats:

Taula F.8 Resultats de la prova numero 8 de Movistar en pujada.

<i>Operador</i>	<i>Traspàs</i>	<i>Gaps (s)</i>	<i>Pèrdues (paquets)</i>
<b>Vodafone</b>	UMTS -> GPRS	34,55	63
	GPRS -> UMTS	5,798	66

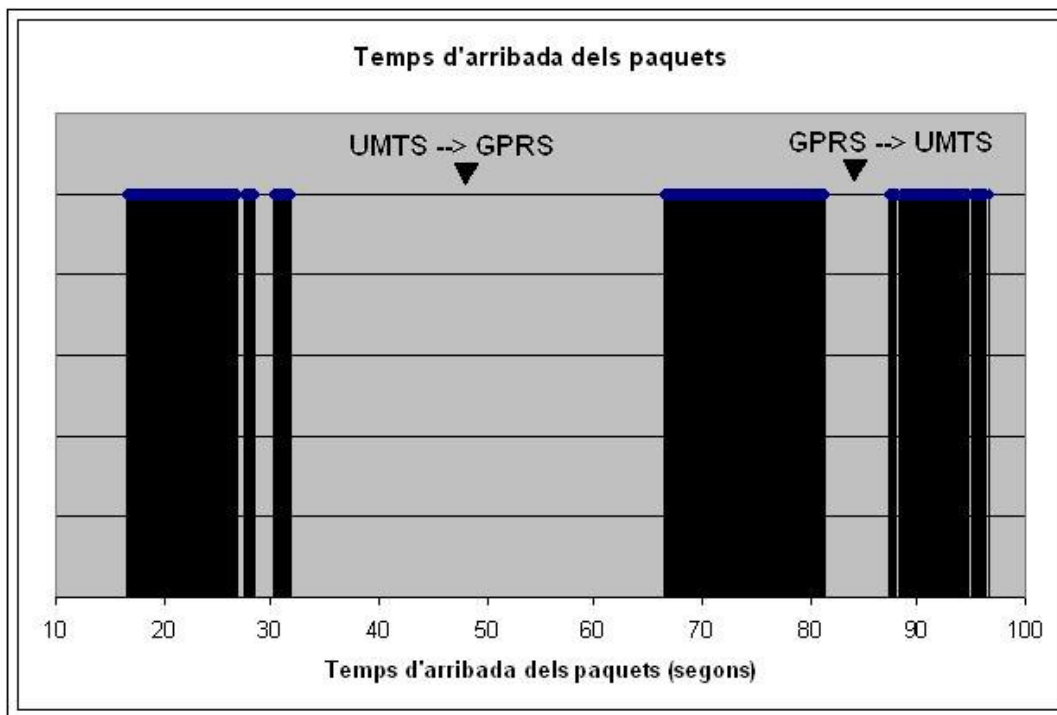
Tal com veiem a la taula els valors obtinguts són molt pròxims als de la mitja de totes les proves, per tant es prou representatiu com a cas genèric.

A la figura F.3 podem veure la representació de la recepció del flux enviat per l'ordinador portàtil on s'aprecia clarament el gap més gran, de 34,55 segons,

corresponent al traspàs de UMTS a GPRS així com el gap de 5,798 segons del traspàs de GPRS a UMTS.

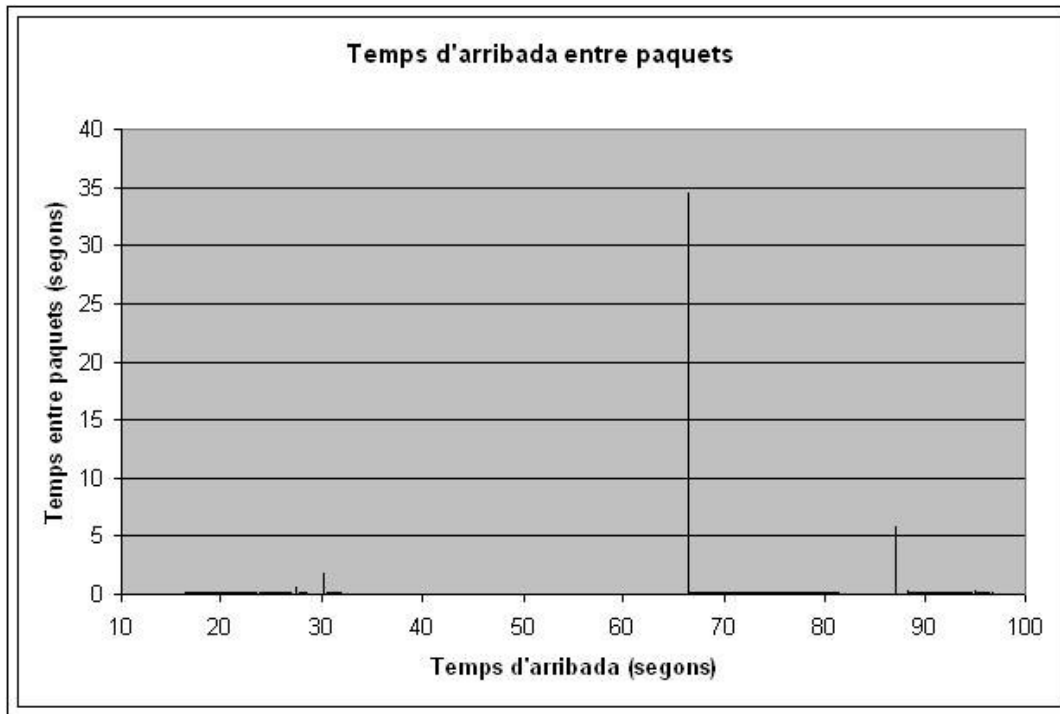
Com es pot veure a la figura 4.9 en aquest cas al inici mentre s'utilitza el sistema UMTS hi ha un petit retard del voltant d'un segon i un cop passat aquest retard i quan es transmet en UMTS amb normalitat, es produeix el traspàs de UMTS a GPRS, el qual dura 34,55 segons. Posteriorment en GPRS no hi ha cap mena de retard i la transmissió s'efectua de forma continua amb un temps entre paquets de 100 ms com el flux que es enviat.

El pròxim gap que observem correspon al del traspàs de GPRS a UMTS que triga 5,798 segons, en el qual es perden 66 paquets. Tal com s'ha vist en l'anàlisi general de el temps de traspàs de GPRS a UMTS en vodafone és el doble que el de movistar, però en el cas de Vodafone les pèrdues tal com veiem són molt majors. Aquest fet es podria deure a la millor implementació del traspàs per part de Movistar ja que aconseguix menys pèrdues i un temps de traspàs molt menors



**Fig. F.3** Gràfica del flux de recepció

A la figura F.4 veiem que el temps d'arribada entre paquets PID, representa clarament els dos traspassos, mentre que el temps entre paquets durant la transmissió, ja sigui en UMTS o GPRS es manté en nivells constants de 100 ms.



**Fig. F.4** Gràfica de representació del PID

### F.2.3. Enllaç de baixada Vodafone

En cas de les proves realitzades amb Vodafone en baixada, la que més s'aproxima a la mitja es la prova numero 15, amb els següents resultats:

**Taula F.9** Resultats de la prova numero 15 de Movistar en pujada.

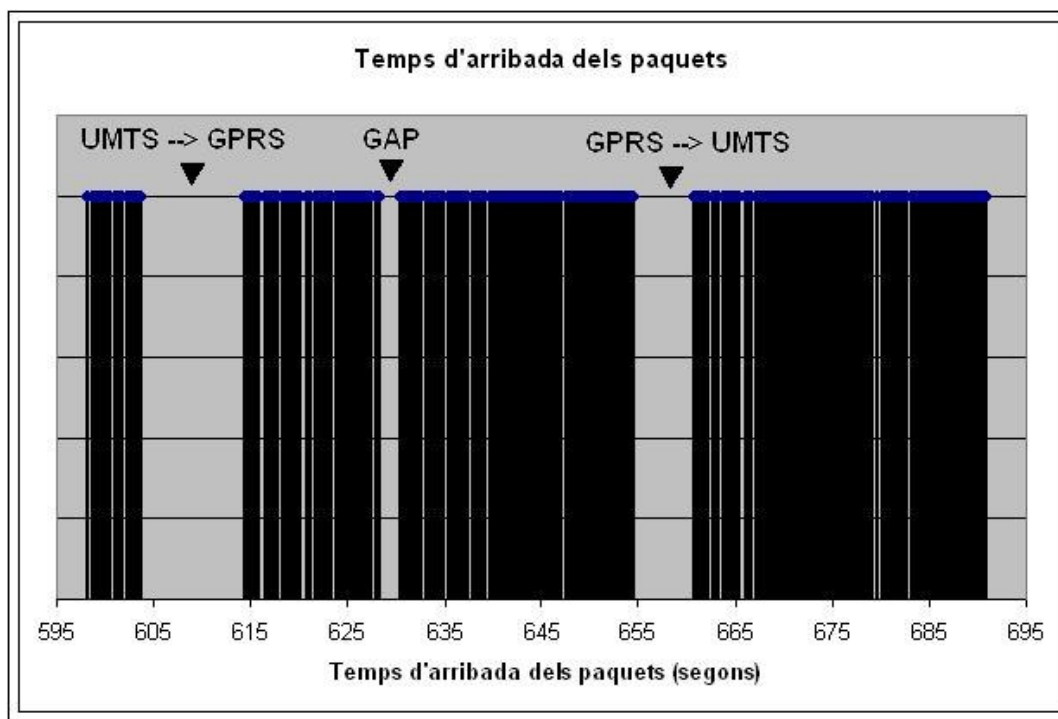
<i>Operador</i>	<i>Traspàs</i>	<i>Gaps (s)</i>	<i>Pèrdues (paquets)</i>
<b>Vodafone</b>	UMTS -> GPRS	10,585	105
	GPRS -> UMTS	5,958	57

Tal com veiem a la taula els valors obtinguts són molt pròxims als de la mitja de totes les proves, per tant es prou representatiu com a cas genèric.

A la figura F.5 podem veure la representació de la recepció del flux enviat per l'ordinador portàtil on s'aprecia clarament el gap més gran corresponent al traspàs de UMTS a GPRS, així com l'últim gap de 5,958 segons.

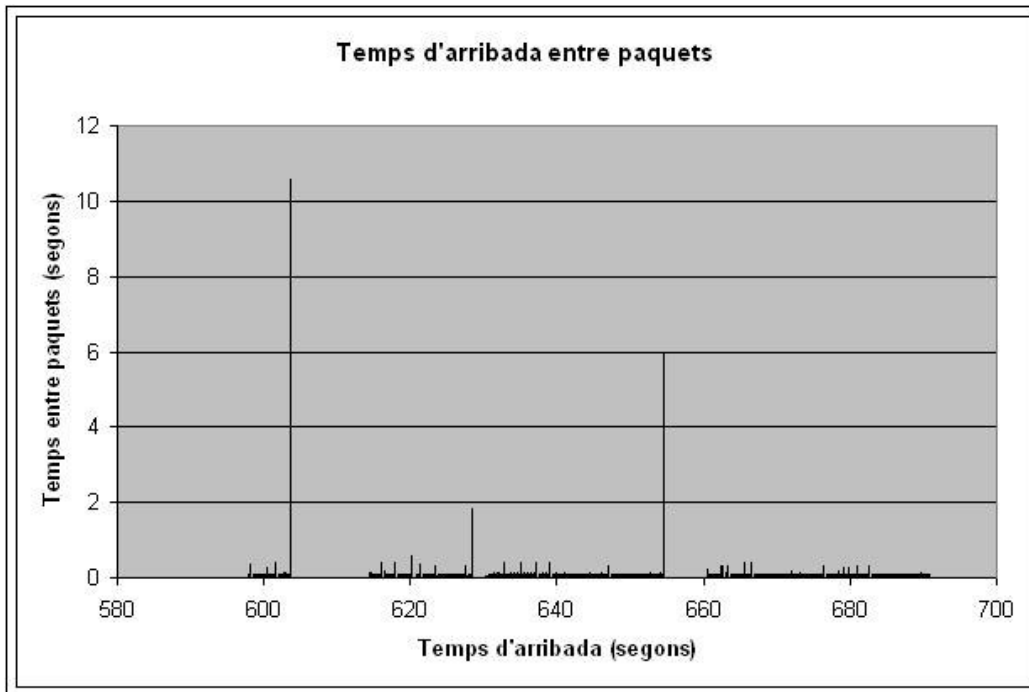
En aquest cas, ens passa el mateix que amb l'anterior, disposem de els dos gaps, de UMTS a GPRS i de GPRS a UMTS, i en la part que estem utilitzant el sistema GPRS en compte de ser una transmissió continua, hi trobem petits retards i fins i tot un petit gap de 1,8 segons en el qual no es perd cap paquet, ni suposa cap pèrdua de connexió.

A la figura F.6 es veuen representats clarament els diferents temps d'arribades entre paquets.



**Fig. F.5** Gràfica del flux de recepció

A la figura F.6 també es pot veure el temps d'arribada entre paquets PID, on hi ha dos moments destacats que són els del traspàs de UMTS a GPRS i viceversa



**Fig. F.6** Gràfica de representació del PID

### F.3. Anàlisi de resultats extrems del escenari interior

A continuació mostrarem alguns dels resultats obtinguts que presenten unes diferències bastant considerables amb el casos que més s'aproximen a la mitjana de les proves realitzades. Aquests resultats presenten temps de gap molt grans, o bé d'altres amb un temps de gap molt petit, que ens demostra fins a quin punt amb condicions favorables podem obtenir bons resultats.

#### F.3.1. Casos extrems amb Movistar

A la taula següent es poden veure els resultats dels casos més extrems que s'han obtingut amb les proves realitzades amb Movistar:

**Taula F.10.** Casos extrems amb Movistar

<i>Operador</i>	<i>Enllaç</i>	<i>Traspàs</i>	<i>Gaps (s)</i>	<i>Pèrdues (paquets)</i>
<b>Movistar</b>	Pujada	UMTS -> GPRS	40,298	2
		GPRS -> UMTS	2,844	5
	Baixada	UMTS -> GPRS	11,977	117
		GPRS -> UMTS	6,579	57

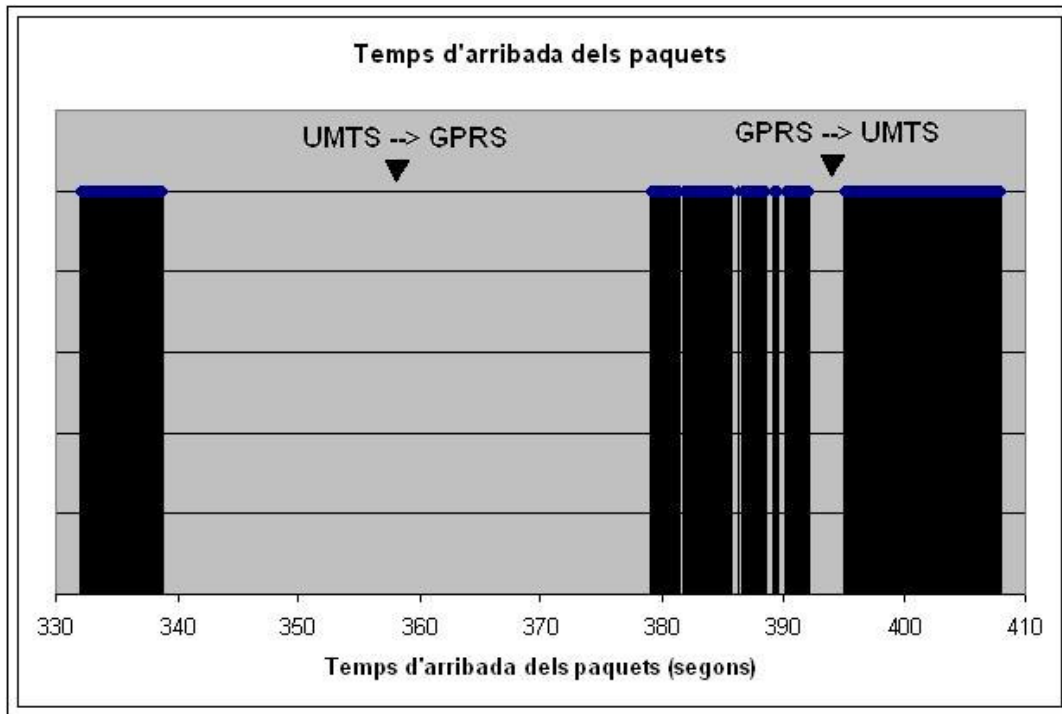
En el cas de l'enllaç de pujada podem veure la prova tres en la que hem obtingut un gap bastant més gran que la mitjana, en el que podem considerar un dels pitjors resultats que podríem obtenir però mantenint la connectivitat durant el traspàs. Tot i que el resultat el considerem dolent, només ho és degut al temps de traspàs de UMTS a GPRS, ja que al revés, obtenim un temps millor que la mitja. Pel que fa a les pèrdues, aquestes són millors en el dos casos, que en els valors mitjos.

Aquest temps de traspàs amb un gap superior pot ser degut a que al realitzar la prova l'estació mòbil, no realitzava el traspàs a la zona acotada als mapes, sinó que calia entrar més a la planta inferior per tenir pitjor cobertura i iniciar el traspàs. Fet que suposa una degradació del senyal UMTS però també de la de GSM, que es el sistema al qual ha de fer el traspàs i per tant les mesures que es prengueren seran en ambdós casos dolentes i pot ser que la elecció de la cel·la es demori una mica més.

A continuació podem veure la gràfica on s'observen els paquets rebuts pel servidor i on es poden diferenciar perfectament els dos traspàsos. El primer d'ells de UMTS a GSM es veu molt clar, ja que al inici estem en UMTS, on la l'arribada de paquets es segons el temps entre paquets amb el qual han estat enviats.

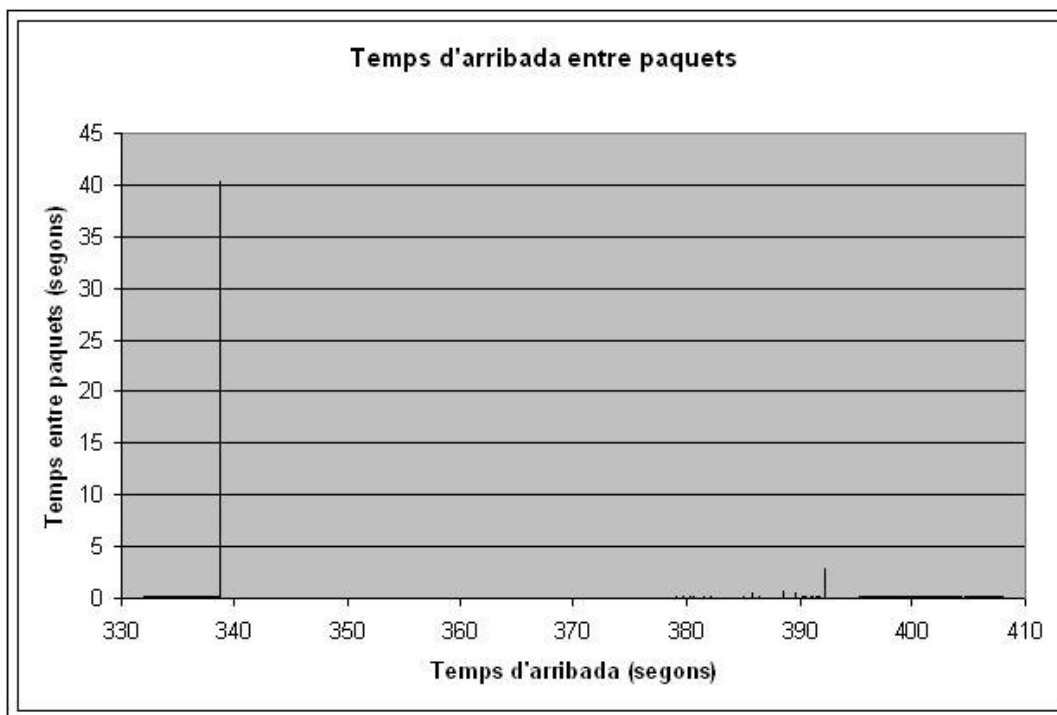
Seguidament es produeix un període d'inactivitat de 40,298 segons on es produeix el traspàs de UMTS a GPRS amb dos paquets perduts. Sorpren en certa manera aquest valor de pèrdues tan reduït en l'enllaç de pujada de Movistar tenint en compte que en tots els altres casos han les pèrdues han esta molt més elevades. Un cop estem en GPRS el temps entre paquets deixa de ser de 100 ms i passa a ser de 60 ms aproximadament, durant tot el període en que estem en GPRS. Es produeixen varis retards, dels quals únicament un d'ells supera els 500 ms. Un cop finalitza el període de GPRS, amb el traspàs a UMTS de 2,844 segons, tornem a tenir la transmissió en UMTS amb un temps entre paquets de 100 ms.





**Fig. F.7** Gràfica del flux de recepció

Cal de destacar que entre els segons 383 i 384, es produeixen una pèrdua de 287 paquets que no s'aprecia a la figura, però que mostra que tot i que en el traspàs de UMTS a GPRS no s'han produït gaires pèrdues, posteriorment en el moment de lliurar els paquets emmagatzemats per la xarxa veiem com els buffers no han estat capaços de emmagatzemar aquests paquets. A la següent gràfica F.14 podem veure els temps d'arribada entre paquets.

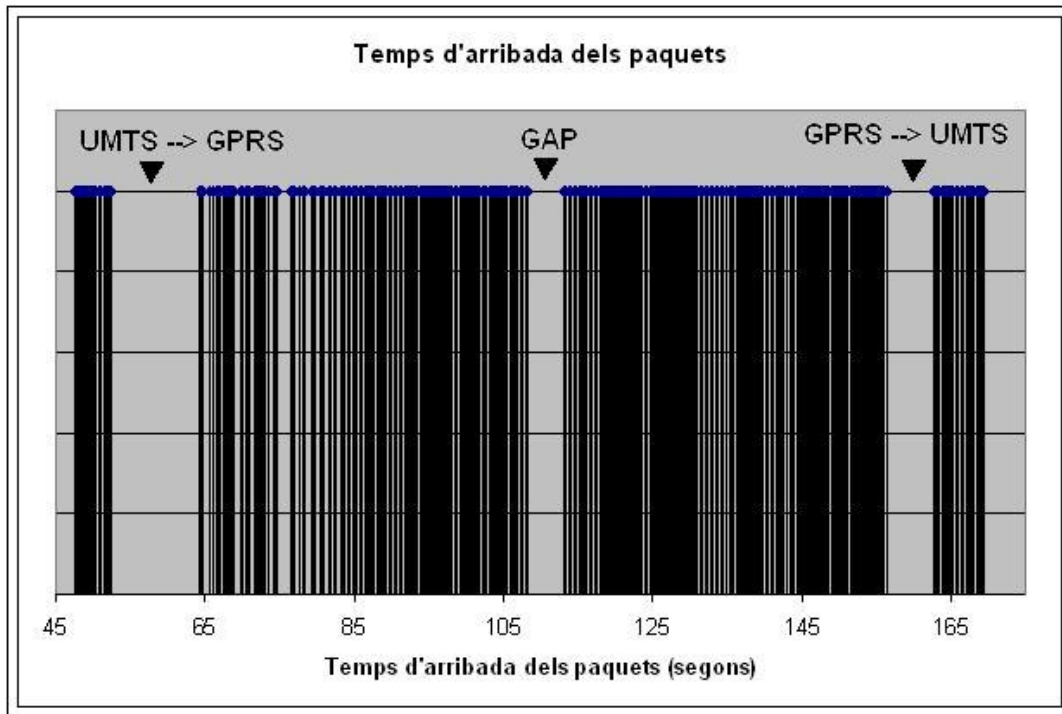


**Fig. F.8** Gràfica de representació del PID

Pel cas de l'enllaç de baixada s'ha triat la primera prova com a valor representatiu el que presentava un temps menor que la mitja, que en aquest cas el resultat de 11,977 suposen una millora de 6,807 segons respecte la mitja i en mostra que podem obtenir resultats millors sempre i quan es donin les condicions idònies, tot i que en aquest cas no podem considerar l'escenari com un dels millors que podem disposar comparat amb els resultats del exterior el millor rendiment que podem obtenir durant un traspàs de UMTS a GPRS. El gap que es produeix en la baixada de GPRS a UMTS també presenta una variació considerable respecte a la mitja que també es pot veure com influeix en les pèrdues, que també augmenten considerablement.

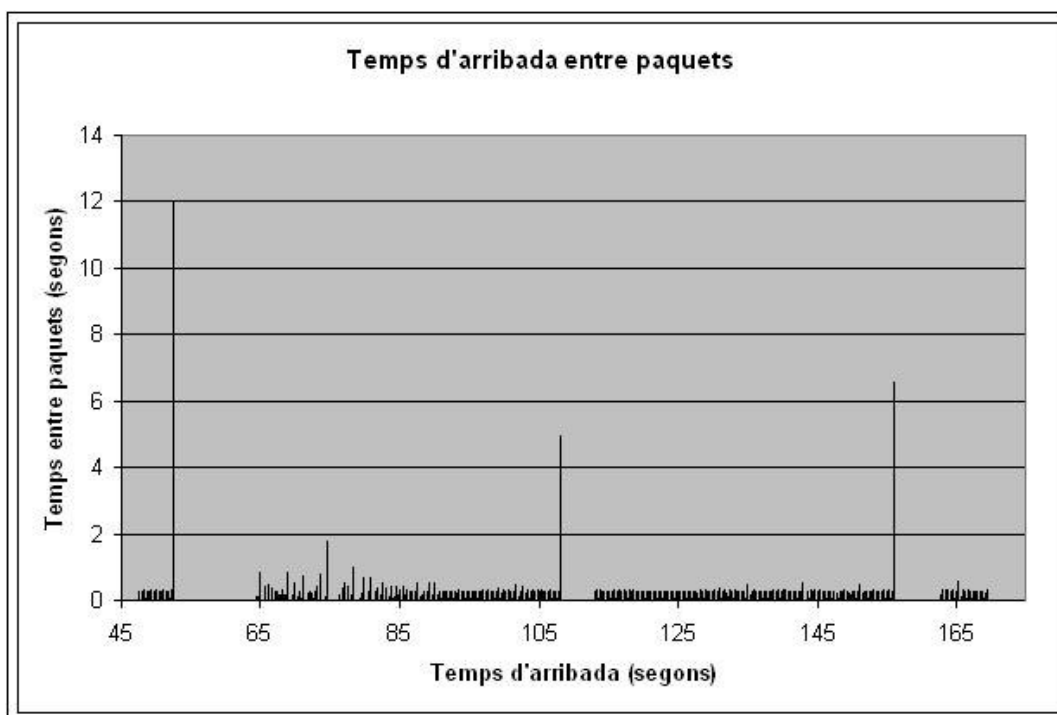
Tot i ser un dels millors resultats, pel que fa a temps d'arribada entre paquets, en aquest cas hi ha continues variacions amb molts retards, i fins i tot un retard prou significatiu de 4,928 segons on es perden 52 paquets.

A la gràfica F.15 podem veure com a l'inici estem utilitzant el sistema UMTS i es produeix el traspàs a GPRS en 11,977 segons. Un cop estem en GPRS veiem que es produeixen molt petits retards en la recepció dels paquets, possiblement deguts a la baix nivell de senyal disponible que no ens permet tenir un flux de paquets que mantingui els 100 ms amb els que s'envien els paquets.



**Fig. F.9** Gràfica del flux de recepció

Durant el període que estem en GPRS es produeix un gap de 4,928 segons, que fins i tot podríem considerar que és el traspàs de GPRS a UMTS, però l'indicador de xarxa del terminal indicava el contrari. A la gràfica F.10 es pot apreciar millors els retards que donen en GPRS. Després del gap de 4,928 segons el temps entre paquets s'estabilitza en els 100 ms, permetent un flux molt més continu. Finalment tenim el traspàs de GPRS a UMTS 6,579 segons en qual es perden 57 paquets.



**Fig. F.10** Gràfica de representació del PID

### F.3.2. Casos extrems amb Vodafone

A la taula següent es poden veure els resultats dels casos més extrems que s'han obtingut amb les proves realitzades amb Vodafone:

**Taula F.11.** Casos extrems amb Vodafone

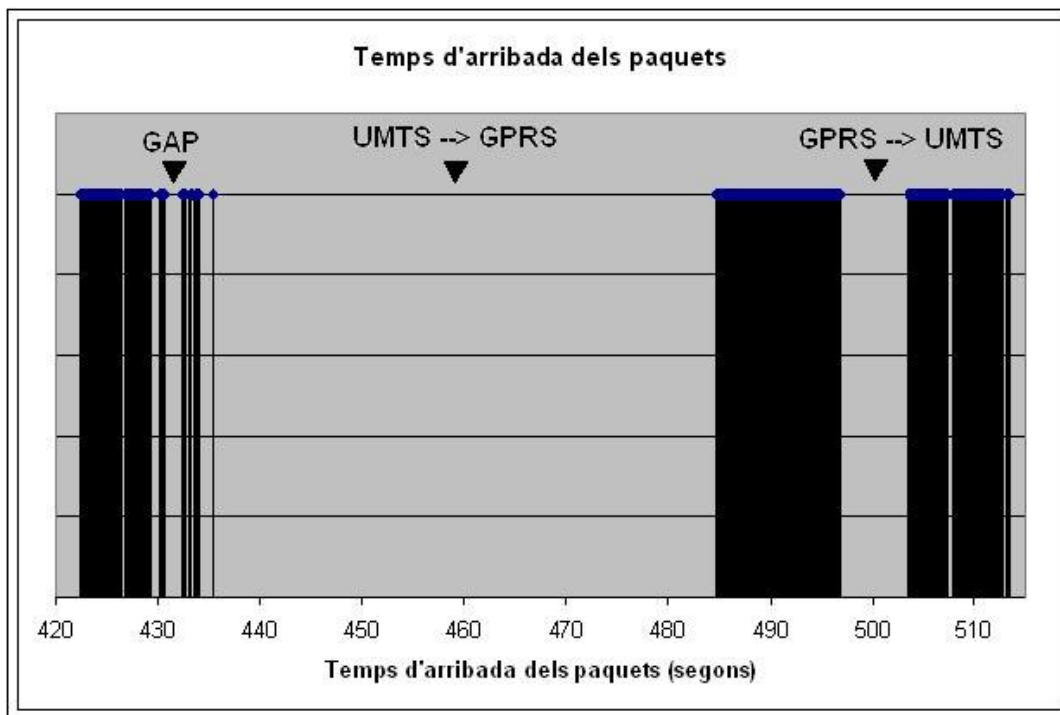
<b>Operador</b>	<b>Enllaç</b>	<b>Traspàs</b>	<b>Gaps (s)</b>	<b>Pèrdues (paquets)</b>
<b>Vodafone</b>	Pujada	UMTS -> GPRS	49,191	51
		GPRS -> UMTS	6,85	64
	Baixada	UMTS -> GPRS	10,204	101
		GPRS -> UMTS	5,437	33

En el cas de Vodafone, tan com hem pogut veure en el resum inicial es continuen mantenint les diferències considerables entre l'enllaç de pujada i el de baixada, tot i que en aquests casos extrems que estem tractant, en l'enllaç de baixada no presenten gaires diferències respecte la mitjana, però en el cas de l'enllaç de pujada, la diferència en el gap de UMTS a GPRS és considerablement més gran, fet que encara accentua més la diferència entre l'enllaç de pujada i el de baixada.

A la prova numero 2 a l'enllaç de pujada les diferències que presenten les majors pèrdues d'aquesta prova amb la mitjana, són degudes al major temps

que dura el traspàs, tot i que en el cas de GPRS a UMTS el temps no és tan gran com per provocar aquest increment de pèrdues.

Tal com podem veure a la gràfica F.111 la transmissió anterior al traspàs en UMTS, ja no era del tot bona, ja que presentava retards importants que superaven el segon i que comporta que els següents paquets arribin en un interval de temps més reduït, fet que pot provocar un increment de les pèrdues en el moment de realitzar el traspàs. Es pot veure que el traspàs de UMTS a GPRS és bastant important, de fet és el més elevat de totes les proves UDP realitzades. Un cop finalitza el traspàs de UMTS a GPRS, en el període durant el qual estem en GPRS, els paquets arriben cada 80 ms, menys en algunes ocasions on s'aproximen als 200 ms. En aquest cas també es perden paquets en el període de GPRS, en total 329, els quals estan concentrats en el segon 493.

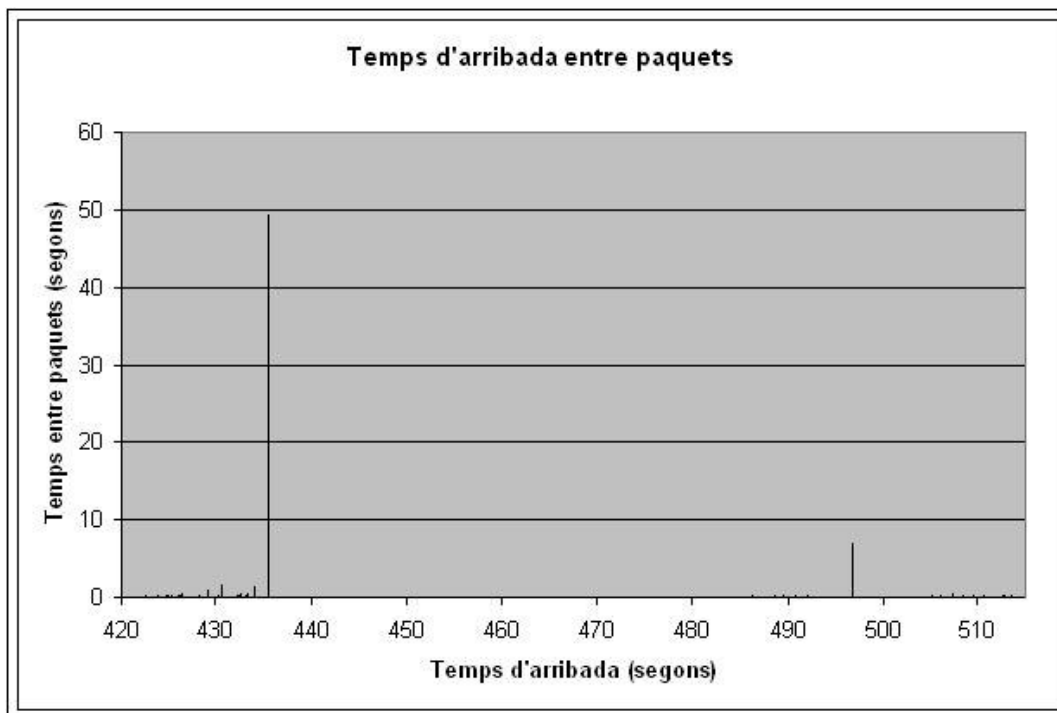


**Fig. F.11** Gràfica del flux de recepció

Posteriorment es realitza el traspàs de GPRS a UMTS en el qual es perden 64 paquets i passem a UMTS, on tampoc tenim un flux constant degut als diferents retards que es van introduint, però en els qual no hi ha pèrdues de paquets. Aquests retards que es produeixen en UMTS no són deguts a un baix nivell de senyal, ja que en la zona de traspàs de GPRS a UMTS, el nivell de senyal es prou bo en ambdós sistemes.

A la gràfica F.12 corresponent al temps d'arribades entre paquets (PID) podem veure com estan clarament diferenciats el traspàs de UMTS a GPRS i viceversa, mentre que també ens permet veure com a l'inici de la transmissió

mentre estem en UMTS, es produeixen certa retards, en comptes de tenir transmissió de paquets sense retards i amb un PID de 100 ms.

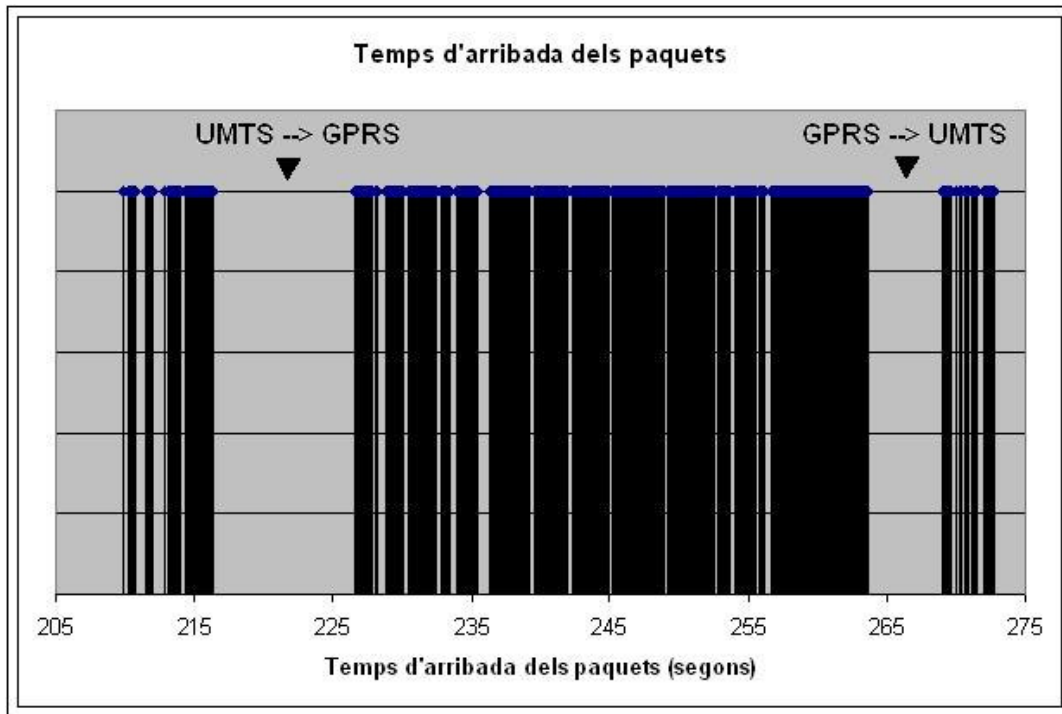


**Fig. F.12** Gràfica de representació del PID

Pel que fa a l'enllaç de baixada hem triat la prova numero 12 que ha donat un dels millors resultats, tot i que la diferència respecte la mitjana és de només 0,664 segons. El traspàs de GPRS a UMTS també millora 0,606 segons i les pèrdues són menors que la mitjana de proves, però sempre obtenint uns resultats molt pròxims a la mitjana.

A la gràfica podem observar la recepció de paquets a l'ordinador portàtil, on es veuen clarament identificades les dues parts corresponents al traspàs de UMTS a GPRS i viceversa, així com les parts on s'utilitzen els dos sistemes, UMTS i GPRS.

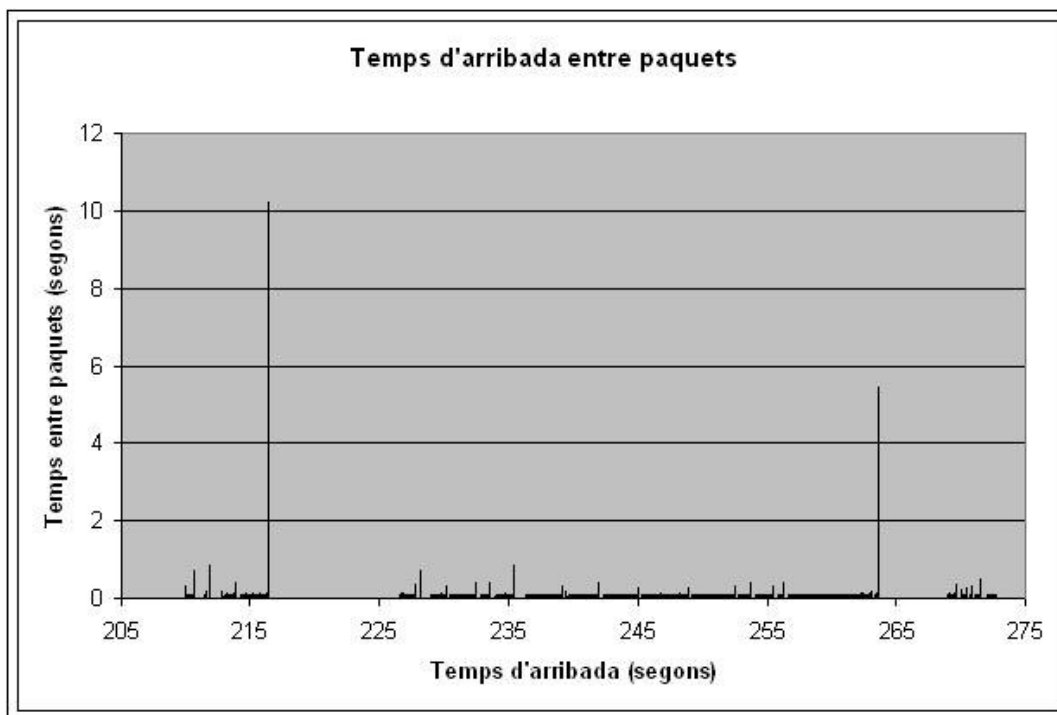
Al inici veiem que tenim la recepció de paquets en UMTS, però amb retards notables de més de 500 ms, que tot i no provoquen pèrdues, fan que el flux de dades no sigui continu. Un cop finalitza el traspàs de UMTS a GPRS, que es duu a terme en 10,204 segons, s'inicia el període durant el qual estarem utilitzant GPRS. En GPRS continuen els petits retards en la recepció, que fan que els paquets arribin a ràfegues, però no es produeixen pèrdues de paquets.



**Fig. F.13** Gràfica del flux de recepció

Finalment es produeix el traspàs de GPRS a UMTS, el qual es realitza en 5,437 segons amb 33 paquets perduts, un cop que el traspàs ja s'ha realitzat i ja estem en UMTS, es produeixen pèrdues de paquets que en alguns casos arriben als 23 paquets. Els paquets en UMTS arriben amb retards com els que trobàvem a l'inici i amb forma de rafegues.

A la figura F.14 podem veure la representació del temps entre arribades de paquets on es veu que en aquets cas, en GPRS els retards, tot i ser-hi presents són menys acusats que en els períodes en els quals estem utilitzant UMTS.



**Fig. F.14** Gràfica de representació del PID

Curiosament en un dels millors resultats en el traspàs de UMTS a GPRS es perden 101 paquets, quan es podria pensar que el fet que el traspàs es porti a terme en un temps menor, implicaria una pèrdua menor de paquets, però es pot donar el cas que els condicions no siguin les idònies o be que amb temps de traspàs majors s'efectua un millor control del paquets en transit que en el traspàs més ràpids.

El fet que crida més l'atenció de les proves realitzades, es gran diferencia en el gap de UMTS a GPRS en l'enllaç de baixada i el de pujada, i que en aquest casos extrems es veu incrementada.

#### **F.4. Anàlisi a fons del resultat amb UDP a l'escenari exterior**

En aquest apartar realitzarem el mateix anàlisi que en l'escenari interior dels resultats obtingut en les proves. Primer analitzarem un dels casos que s'aproxima més a la mitjana i seguidament analitzarem una cas on es presenten un resultat que difereixen dels resultats mitjos. L'anàlisi dels resultats de l'escenari exterior només es realitzarà amb Movistar com ja s'ha comentat anteriorment.



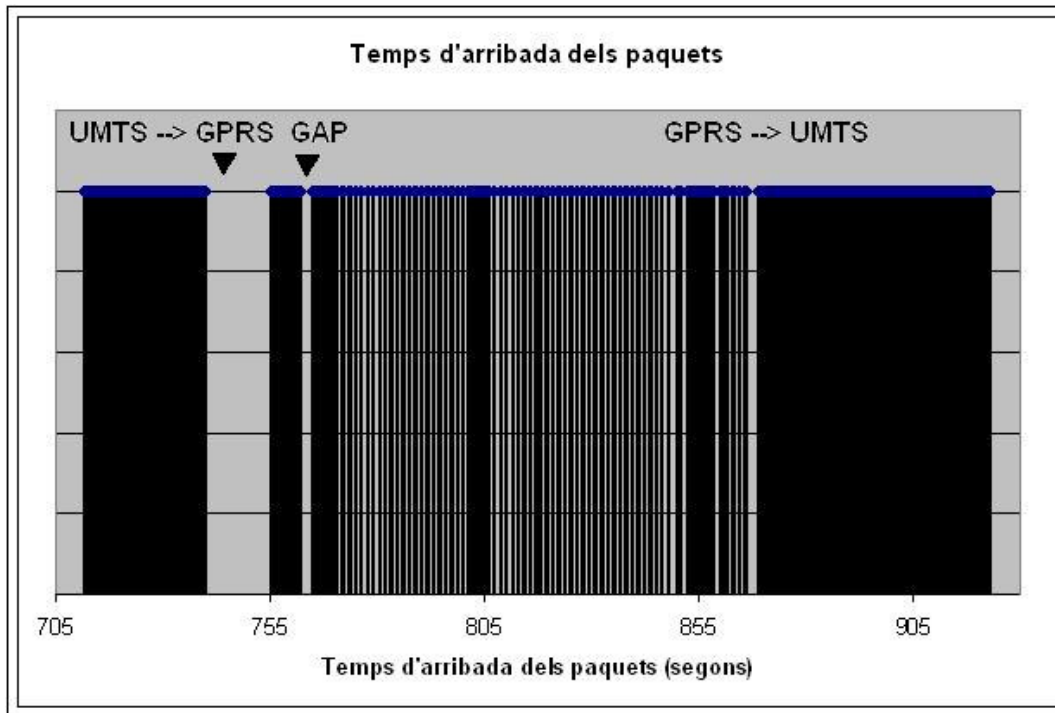
### F.4.1. Resultats més pròxims a la mitjana

Els primers resultats a comentar són els que són més pròxims a la mitjana obtinguda de les 15 proves realitzades, tal com s'ha fet en l'anàlisi de l'escenari interior i que es mostren a la següent taula.

**Taula F.12.** Casos pròxims a la mitjana amb Movistar

<i>Operador</i>	<i>Enllaç</i>	<i>Traspàs</i>	<i>Gaps (s)</i>	<i>Pèrdues (paquets)</i>
<b>Movistar</b>	Pujada	UMTS -> GPRS	14,589	2
		GPRS -> UMTS	2,574	4
	Baixada	UMTS -> GPRS	12,859	125
		GPRS -> UMTS	2,163	15

Tal com podem veure a la taula de resultats més pròxims a la mitjana, els valors obtinguts són en tots els casos inferiors al escenari interior, fet que posa de manifest que el nivell de senyal rebut al exterior fa que el traspàs sigui més eficient. A continuació veurem les gràfiques dels enllaços de pujada i baixada, corresponents a les proves 4 i 7, respectivament.

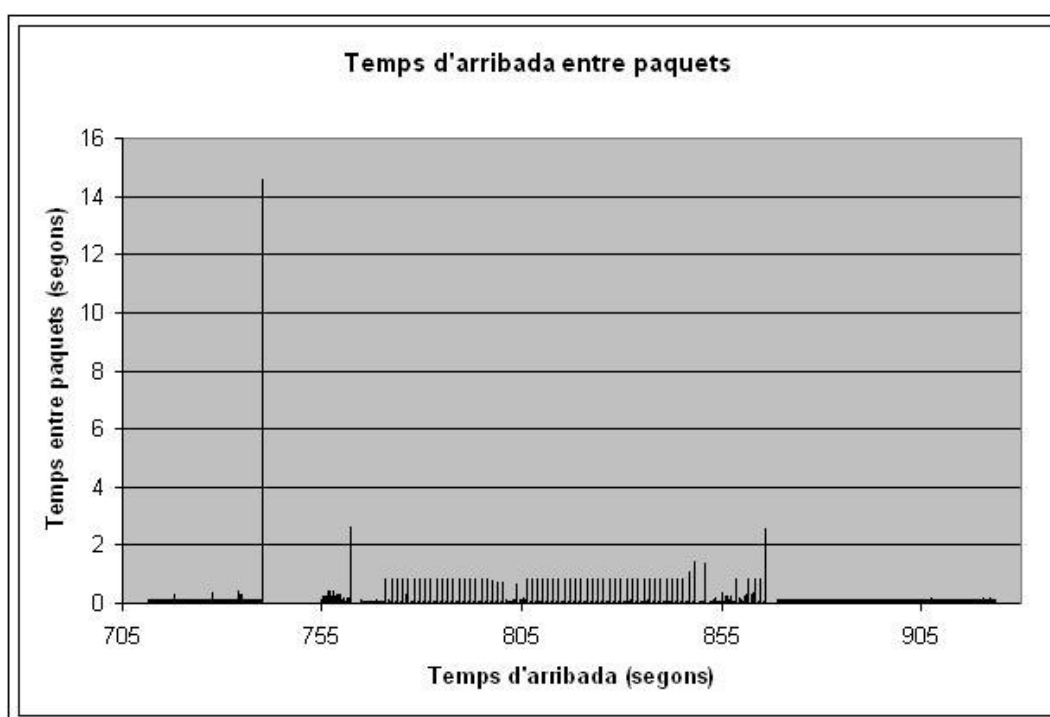


**Fig. F.15** Gràfica del flux de recepció

Tal com veiem a la figura F.15 al inici la recepció dels paquets enviats pel client al servidor per l'enllaç de pujada es realitza amb normalitat mentre estem en UMTS i els paquets van arribant cada 100 ms. Seguidament podem veure el

gap corresponent al traspàs de UMTS a GPRS que dura 14,589 segons, el qual dona pas a una fase de recepció de paquets no del tot regular en GPRS, on es produeix un petit gap de 2,3 segons i tal com es pot veure la recepció de paquets no es continua hi han petits retards en alguns paquets que fan que els següents arribin amb un temps entre ells inferior als 100 ms. Un cop que ja estem a la zona de traspàs de GPRS a UMTS, aquest s'inicia i només triga 2,574 segons i posteriorment continua la recepció de paquets en UMTS amb una cadència de 100ms.

Pel que fa a les pèrdues, la diferencia respecte l'escenari interior no és gaire notable, però si són menors en l'escenari exterior tant com el temps dels traspassos. A la següent figura podem observar la variació del temps d'arribada entre paquets (PiD).



**Fig. F.16** Gràfica de representació del PID

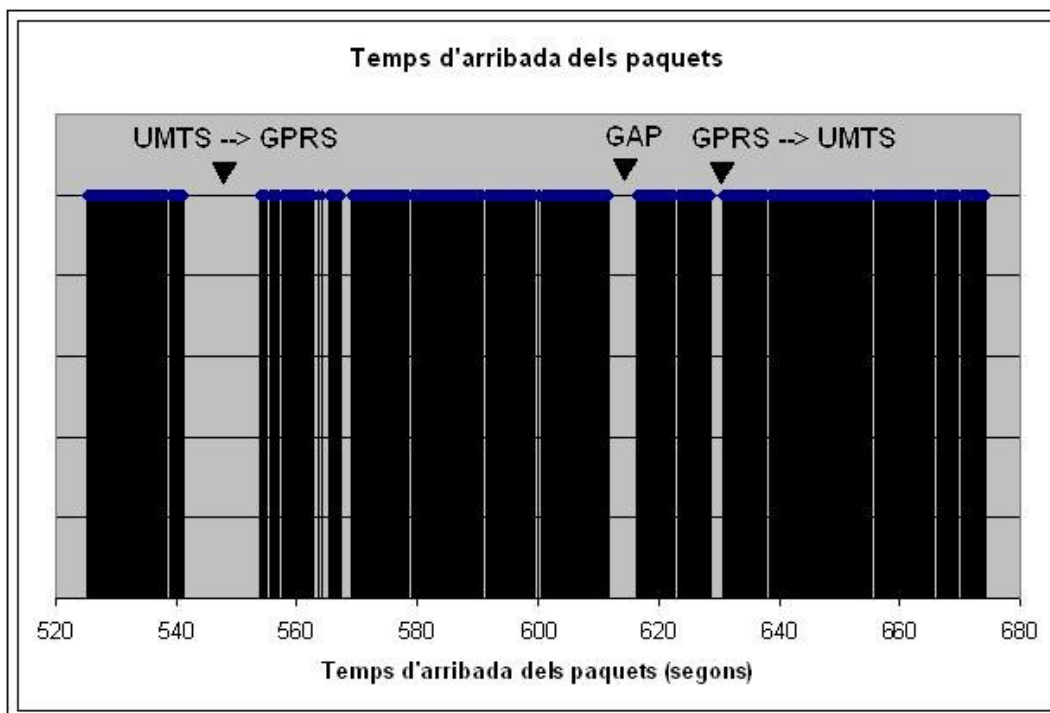
Es pot observar que durant les fases en les quals la transmissió s'efectua mitjançant el sistema UMTS, el PID es manté en els 100 ms amb que s'envien els paquets, però en la fase de GPRS els petits retards que sofreixen alguns paquets fan que els immediatament posteriors a aquests arribin molt en un espai de temps molt reduït fent que no es mantingui el temps entre ells de quan són enviats.

En l'enllaç de baixada també obtenim uns temps de traspàs i pèrdues inferiors, gràcies al bon nivell de senyal que ja hem comentat anteriorment. En aquest cas passa el mateix que en l'escenari interior, que l'enllaç de baixada obté uns

temps de gap lleugerament inferiors al de pujada amb unes pèrdues molt més grans que l'enllaç de pujada.

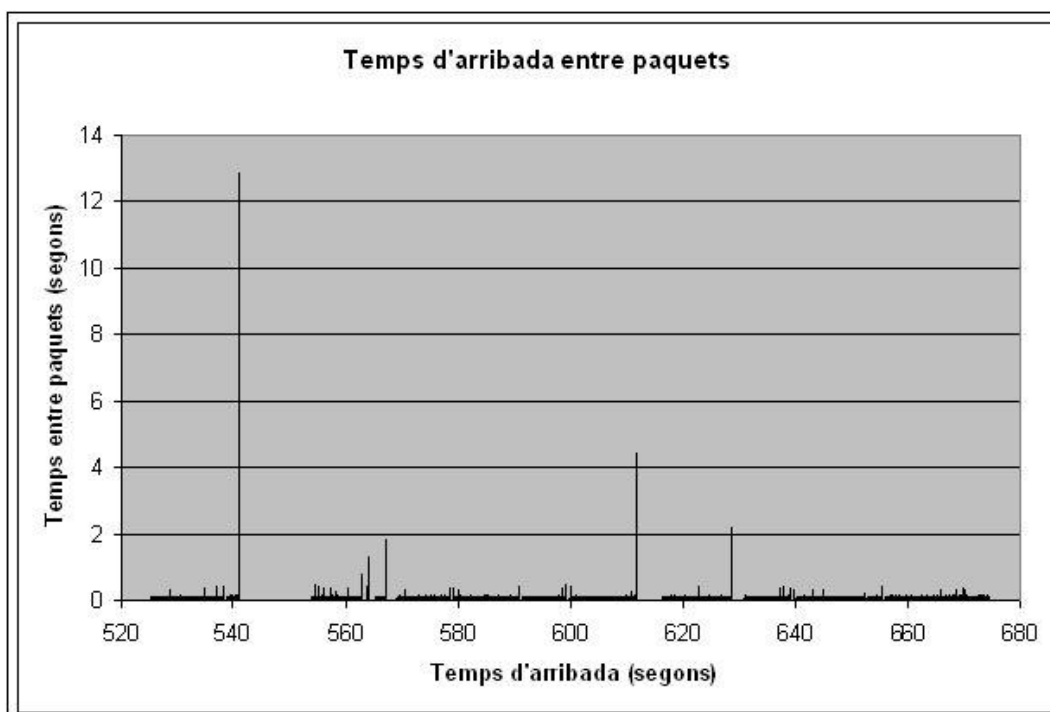
A la següent gràfica podem veure la recepció de paquets en el servidor rebut per l'enllaç de baixada que més s'aproxima a la mitjana. Com podem veure a la primera part la transmissió en UMTS és constant, amb un temps entre paquets al voltant dels 100 ms. Es pot veure que abans de l'instant de temps de 540 segons, hi ha un petit retard però que després es torna a normalitzar. Seguidament trobem el gap de 12,859 segons produït pel traspàs de UMTS a GPRS, a partir d'aquest punt la transmissió es realitza en GPRS amb pèrdues i retards tal com es pot observar a la gràfica. Es poden apreciar dos retards de 400 ms que impliquen que els paquets immediatament consecutius arribin en un espai de temps molt reduït, però es continua mantenent el PiD de 100 ms en la resta de paquets menys en un que es produeix un petit gap de 4,416 segons, on es perden 39 paquets. Aquest fet tot i disposar de bon nivell de senyal pot ser degut a alguna condició canviant del escenari que en aquell moment no afavoria la prova, també es podria interpretar com un traspàs de GPRS a UMTS però tenint aquest no es el cas degut a que quan es feien les proves es tenia en compte la indicació de xarxa del terminal per saber en quin moment estava realitzant el traspàs.

Per últim trobem el traspàs de GPRS a UMTS el qual es produeix en 2,163 segons, on es perden 15 paquets, i la recepció d'informació continua amb normalitat en UMTS. Cal destacar la diferència de pèrdues durant els dos traspassos, ja que de UMTS a GPRS es perden 125 paquets mentre que de GPRS a UMTS només se'n perden quatre. Podríem dir que aquesta diferència tan significativa es veu com un fet normal però no pot ser així ja que en l'enllaç de baixada els resultats són molt més pròxims entre si. Aquesta diferència deu estar deguda al fet que quan l'enllaç es de pujada el terminal pot emmagatzemar alguns paquets abans de enviar-los durant el traspàs mentre que quan es tracta de l'enllaç de baixada la xarxa tot i disposar de buffers no emmagatzema tants paquets.



**Fig. F.17** Gràfica del flux de recepció

A la següent gràfica podem observar el temps d'arribada entre paquets en el que s'aprecien clarament els dos traspassos entre sistemes, corresponents al primer pic de 12,859 segons en el cas de UMTS a GPRS i el pic de 2,163 en el cas de GPRS a UMTS.



**Fig. F.18** Gràfica de representació del PID**F.4.2. Casos extrems**

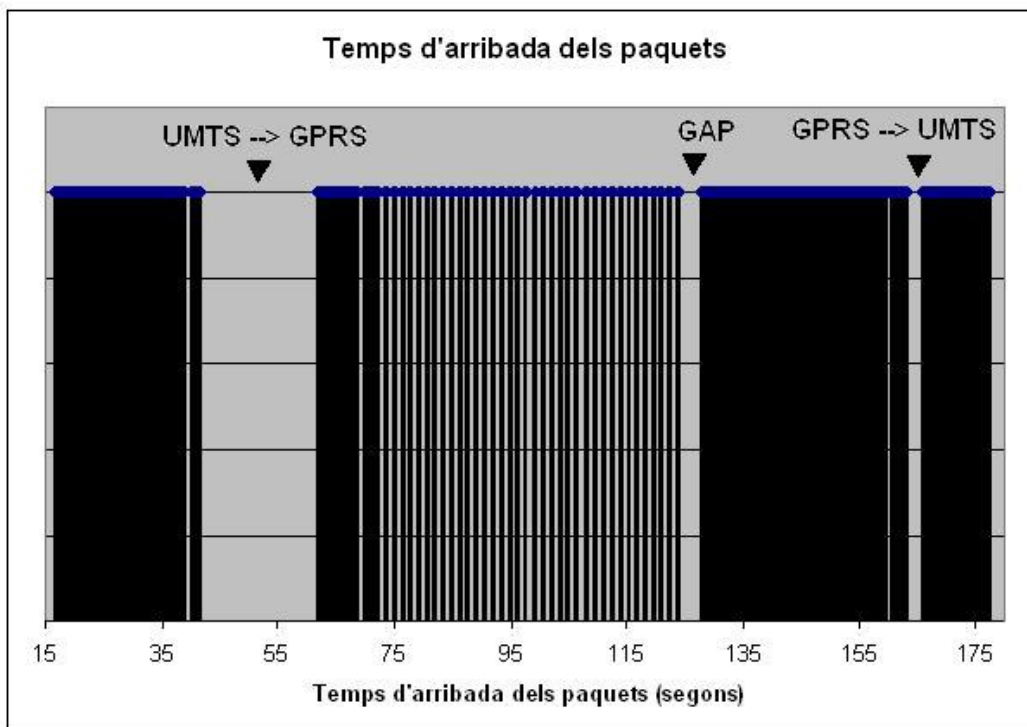
Els casos que analitzem a continuació són els que presenten unes característiques fora del comú en les proves realitzades. En aquest cas hem escollit per l'enllaç de pujada el que presenta els resultats més elevats de totes les proves i per l'enllaç de baixada em escollit la prova que realitza el traspàs en el menor temps possible, corresponents a les proves 8 i 14 respectivament.

**Taula F.13.** Casos extrems amb Movistar a l'escenari exterior

<i>Operador</i>	<i>Enllaç</i>	<i>Traspàs</i>	<i>Gaps (s)</i>	<i>Pèrdues (paquets)</i>
<i>Movistar</i>	Baixada	UMTS -> GPRS	10,305	102
		GPRS -> UMTS	1,922	12

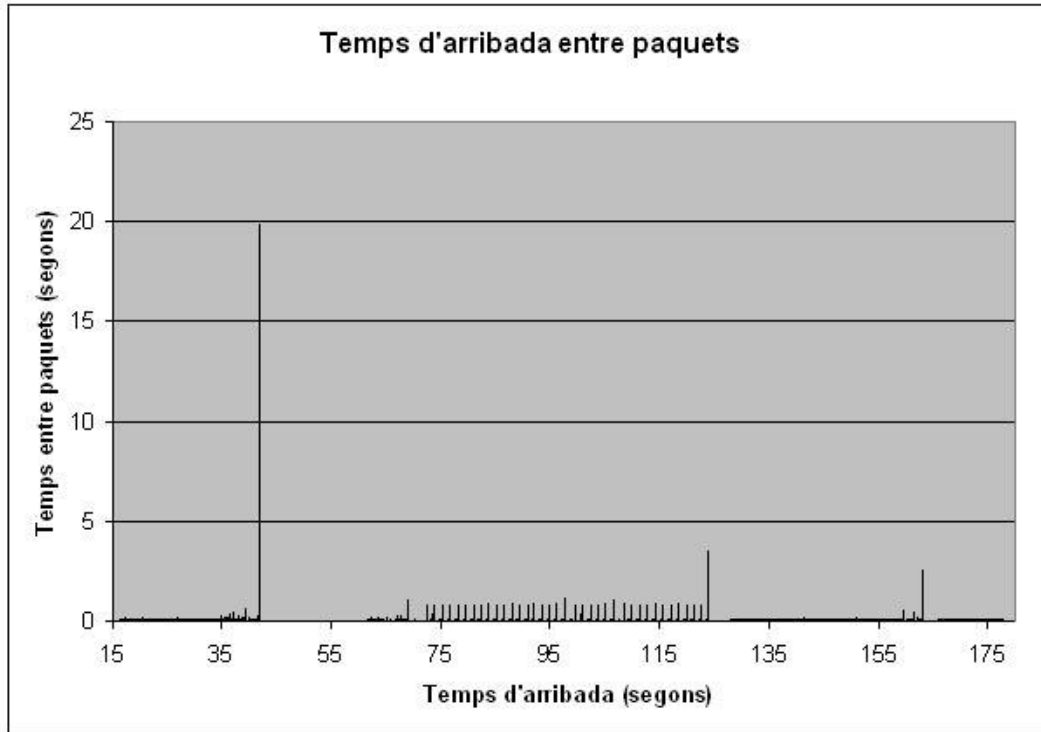
En l'enllaç de pujada trobem el resultat més gran de totes les proves realitzades en UDP al exterior. Com podem veure el temps de traspàs de UMTS a GPRS en el pitjor cas s'aproxima molt a la mitjana obtinguda a l'escenari interior. En aquesta prova quan s'efectuava el traspàs de UMTS a GPRS el terminal no va iniciar el traspàs a l'inici de la zona delimitada per tal acció sinó que va requerir caminar una mica més gairebé al final de la zona delimitada, per tal d'iniciar el traspàs. Es a dir per alguna raó el traspàs no es va portar a terme amb tanta facilitat com en la resta de casos, segurament per algun motiu puntual.

Tal com podem veure a la gràfica F.19, a l'inici la transmissió s'efectua en UMTS mentre l'estació mòbil esta enviat els paquets que mantenen el PID en 100ms, tret de dos petits retards puntuals just abans de produir-se el traspàs. Quan es produeix el traspàs de UMTS a GPRS, que dura 19,818 segons, es perden 3 paquets, aquest és el valor més gran de pèrdues obtingut en les proves exteriors de pujada, així doncs veiem que a major temps de traspàs més pèrdues es produeixen.



**Fig. F.19** Gràfica del flux de recepció

Un cop estem en GPRS, a l'inici la transmissió es manté constant però després de un retard de 1,063 segons, la transmissió ja no disposa del mateix PID sinó que hi ha petits retards constants al de 800 ms, que es mantenen fins que es un retard de 3,5 segons que no correspon al traspàs de GPRS a UMTS i que fa que la transmissió deixi de sofrir els retards anteriors, es podria entendre aquest gap com al traspàs de GPRS a UMTS però l'indicador del terminal no ho mostrava així. Cal determina que la única manera que sabem que tenim per saber si estem en UMTS o GPRS es l'indicador de xarxa del terminal ja que les taxes obtingues no són prou diferents com per justificar el sistema utilitzat. Per últim ens trobem el gap que s'efectua en el traspàs de GPRS a UMTS, el qual es duu a terme en 2,522 segons, moment a partir del qual al transmissió s'efectua en UMTS amb un flux constant de paquets, tal com es pot veure a la gràfica F.20



**Fig. F.20** Gràfica de representació del PID

## F.5. Altres resultats

A part de les proves de caracterització IP comentades a la memòria i a l'apartat anterior també s'han portat a terme unes altres proves però amb diferents terminals, Nokia 6650 i Samsung SGH Z100 concretament, i una prova per determinar la velocitat màxima que podem disposar amb la xarxa UMTS.

### F.5.1. Proves amb altres terminals

Les proves amb altres terminals més antics, es van realitzar en l'escenari interior, però bastant temps abans que les proves realitzades amb el terminal més nou, el Nokia 6680. Els resultats obtinguts en aquestes proves van ser numèricament semblant però en part incompletes, degut al principal problema que ens trobàvem. Dels diferents resultats obtinguts, podem veure alguns d'ells en la taula 4.9.

**Taula F.14.** Exemples de resultats de les proves del traspàs de UMTS a GPRS

<b>Operador</b>	<b>Terminal</b>	<b>Sentit</b>	<b>Gaps (s)</b>	<b>Pèrdues (paquets)</b>
<b>Movistar</b>	Samsung	Pujada	19,11	0
	Samsung	Baixada	7,89	0
<b>Vodafone</b>	Samsung	Pujada	16,774	1
	Samsung	Baixada	10,915	0
	Nokia	Pujada	19,17	175

Com podem veure amb terminal Samsung, curiosament no es produïen pèrdues en general, tot i que un cop passat el gap corresponent al traspàs de UMTS presentaven pèrdues durant la transmissió GPRS.

Pel que fa al Nokia, les zones de traspàs acotades a l'escenari interior era on el terminal feia el traspàs en algunes ocasions, ja que la majoria de vegades, es quedava utilitzant la xarxa UMTS amb la mínim nivell de senyal possible. Aquest fet pot ser degut a unes millors característiques tècniques del terminal referents a la recepció del senyal. Tot i que en els casos en que es produïen els traspàsos presentava pèrdues bastant elevades com es pot veure a la taula, ja que aquest es un dels casos que més s'ha donat.

El principal problema o característica d'aquests terminals és que no són capaços de realitzar el traspàs de GPRS a UMTS. Aquest fet pot ser degut a que aquests terminals no tenen implementada cap funció per retornar a UMTS en cas de passar a GPRS, de totes les proves realitzades en cap d'elles es produïa el traspàs de GPRS a UMTS, la única manera possible per tal de tornar a UMTS es tallant la comunicació. Es a dir mentre s'estan enviant o rebent dades el terminal no efectua el traspàs de GPRS a UMTS, però un cop es finalitza la transmissió i no hi ha cap connexió al cap de pocs minuts es produïa es traspàs de GPRS a UMTS, però durant una transmissió activa no es va produir mai aquest traspàs. Tot i que aquestes proves en van portar a terme força temps abans no podem atribuir-li aquest problema a la xarxa ja que això plantejaria un sistema on es podrien realitzar traspàsos en un sentit però no en l'altre i això des del punt de vista del usuari no es acceptable. Per tant pesa més la raó que al ser terminals que ja disposen d'alguns anys pot ser que només tinguessin implementades les funcions per realitzar el traspàs de UMTS a GPRS. A més a més recentment s'ha realitzat un altre cop algunes proves puntuals amb els terminals vells, i continuen sense realitzar el traspàs de GPRS a UMTS, fet que demostra que són els terminals els que introdueixen aquesta limitació

### **F.5.2. Prova de velocitat màxima per l'enllaç de pujada**

En el moment de realitzar les proves amb el terminal Nokia 6680 vam realitzar una altre prova per veure si realment era la xarxa o els terminals el que limitaven el rendiment de la sistema UMTS. Aquest terminal es capaç d'oferir una velocitat en l'enllaç de pujada de 128Kbps, mentre que la xarxa teòricament només en permet 64 Kbps. Per tal d'avaluar si amb aquest terminal podíem aconseguir velocitats superiors als 64 Kbps el vam realitzar van ser



enviar un flux udp des del l'ordinador portàtil fins a l'ordinador fix. Però per tenir les màximes garanties de que podríem aconseguir aquestes velocitats l'escenari que vam utilitzar va ser a l'exterior del Campus Nord.

La raó d'utilitzar l'exterior del Campus com a escenari va ser perquè hi ha dues zones al campus on es pot tenir visió directa amb les BTS del operadors. En una banda del campus disposem visió directa amb una BTS de Vodafone, mentre que a l'altre costat en passa el mateix però tenim una BTS de Movistar.

La localització d'aquestes BTS les vam trobar la pàgina web del ministeri de ciència i tecnologia de l'estat. Un cop teníem identificades les dues BTS el que vam realitzar va ser una prova amb cada operadors amb la seva corresponent BTS per tal de veure la màxima velocitat disponible. Per tal que el flux UDP arribes als 128 Kbps, es va canviar la configuració del arxiu de descripció del flux UDP amb els següents valors:

- Temps entre paquets de 93,75 ms
- Mida de paquet de 1442 Bytes

Amb aquest temps entre paquets i la mida de paquet més les capçaleres obtenim una velocitat de transmissió de 128 Kbps.

Per tal d'avaluar si es podia arribar als 128 Kbps només hauríem de mirar en el receptor el numero de paquets rebuts i el temps en el que han arribat. Així un cop realitzada la prova els resultats van ser els següents:

#### *F.5.2.1.* **Movistar**

En Movistar es van rebre un total de 706 paquets que amb una mida de 1500 Bytes suposen un total de 1059000 Bytes rebuts, que són 8472000 bits, que es van rebre en 134,492 segons.

$$8472000/134,492= 62,9925 \text{ Kbps} \quad \text{(F.1)}$$

#### *F.5.2.2.* **Vodafone**

Amb Vodafone es van rebre un total de 882 paquets que amb una mida de 1500 Bytes suposen un total de 1323000 Bytes rebuts, que són 10584000 bits, que es van rebre en 171,256 segons.

$$10584000/171,256= 61,8022 \text{ Kbps} \quad \text{(F.2)}$$

Tal com es pot veure en ambdós casos tot i que els terminals disposin de velocitats superiors, sempre arribaran com a màxima a la oferta per la xarxa, tot i que si en un futur s'incrementés la velocitat de pujada, aquests terminals ja estarien adaptats per les noves velocitats.

## G. Anàlisi dels resultats de les caracteritzacions TCP

A continuació es poden trobar tots els resultats de les proves realitzades en la caracterització TCP, així com els anàlisis a fons de les proves realitzades amb Vodafone i altres casos de Movistar .

### G.1. Resultats de les proves realitzades

En aquest apartat hi ha representades les taules que contenen tots els resultats de les proves realitzades per la caracterització TCP. Es mostren els resultats tant en l'escenari exterior com l'interior, indicant el temps de traspàs de UMTS a GPRS i viceversa , així com els valor mig de les proves i la desviació.

#### G.1.1.Escenari Interior

**Taula G.1.** Resultats de les proves amb Movistar al escenari interior

<b>Movistar – Escenari interior</b>				
<b>Prova</b>	<b>Temps de traspàs</b>			
	<b>Enllaç Pujada</b>		<b>Enllaç Baixada</b>	
	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>
1	23,894	3,474	25,276	5,908
2	19,917	3,044	22,422	5,768
3	27,749	4,977	27,509	5,918
4	21,16	2,874	19,628	5,547
5	15,91	4,987	21,23	3,815
6	32,987	4,155	20,789	5,848
7	20,569	4,967	42,881	5,557
8	19,808	4,99	23,243	5,865
9	21,36	4,626	18,907	5,758
10	14,991	2,834	20,329	5,668
11	19,598	4,967	25,787	5,888
12	22,091	3,474	32,016	3,264
13	18,626	4,866	41,299	5,803
14	32,847	3,344	11,656	5,788
15	14,3	4,23	40,217	5,978
<b>Mitjana</b>	21,721	4,121	26,213	5,492
<b>Desviació</b>	5,662	0,858	9,097	0,809

**Taula G.2.** Resultats de les proves amb Vodafone al escenari interior

<b>Vodafone – Escenari interior</b>				
<b>Prova</b>	<b>Temps de traspàs</b>			
	<b>Enllaç Pujada</b>		<b>Enllaç Baixada</b>	
	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>
1	47,23	7,019	13,118	6,018
2	19,763	5,721	22,111	6,469
3	35,948	6,114	22,432	6,649
4	35,741	6,459	13,519	6,819
5	25,33	6,679	21,14	6,789
6	32,006	6,839	13,108	6,879
7	28,981	6,299	15,201	6,138
8	34,709	6,29	17,495	6,499
9	37,894	5,848	17,095	9,444
10	27,189	6,218	14,931	5,929
11	28,010	7,53	49,541	6,69
12	43,622	7,07	24,896	6,599
13	32,306	6,919	29,162	6,7
14	27,569	7,21	28,07	6,81
15	29,131	6,869	28,811	5,658
<b>Mitjana</b>	29,213	6,138	22,042	6,673
<b>Desviació</b>	7,107	0,521	9,535	0,852

**G.1.2.Escenari Exterior****Taula G.3.** Resultats de les proves amb Movistar al escenari exterior

<b>Movistar – Escenari exterior</b>				
<b>Prova</b>	<b>Temps de traspàs</b>			
	<b>Enllaç Pujada</b>		<b>Enllaç Baixada</b>	
	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>	<b>UMTS→GPRS</b>	<b>GPRS→UMTS</b>
1	16,507	3,144	35,691	11,686
2	16,995	3,236	18,566	5,117
3	16,464	2,686	12,257	5,828
4	12,872	3,041	43,662	2,804
5	13,64	2,751	25,09	3,144
6	12,005	2,933	28,721	14,53
7	22,572	2,742	27,749	5,507
8	12,999	3,157	24,945	5,618
9	12,821	2,852	41,249	4,746
10	44,864	6,076	50,512	5,738
11	14,043	2,961	49,501	5,748
12	27,939	3,143	39,026	5,928
13	14,891	2,793	29,031	11,736
14	13,219	2,654	33,307	3,044
15	14,495	3,26	25,463	5,899
<b>Mitjana</b>	16,655	2,972	32,318	6,472
<b>Desviació</b>	8,617	0,822	10,961	3,430

## **G.2. Mecanismes de control de congestió de TCP**

Per tal de comprendre millor les accions que es donen a causa del traspàs entre sistemes en TCP, a continuació es pot trobar un petit resum dels mecanismes de control de congestió que utilitza TCP.

En TCP s'utilitzen les tècniques de control de congestió per assegurar que s'envia a la màxima taxa possible i per evitar possible congestions. Per això s'utilitzen els mecanismes de Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Recovery i Fast Retransmit .

Al inici de la connexió TCP s'utilitza el mecanisme Slow-Start que permet tantejar la situació de la xarxa i anar augmentant progressivament el nombre de paquets enviats. Al inici s'envia un paquet, i un cop que aquest es confirma s'augmenta la finestra de transmissió que permet envia més paquets i a mida que es van confirmant s'augmenta progressivament la finestra, fins arribar a un cert llindar. Slow start també s'utilitza en el moment en que expira un temporitzador de retransmissió al haver detectat un pèrdua. Un cop s'arriba a aquest llindar entrem en la fase anomenada Congestion Avoidance. En la fase de congestion avoidance, la finestra de transmissió es va augmentant en la mida de paquet màxima (MSS)cada cop enviem amb èxit un paquet, per d'aquesta manera obtenir un creixement lineal.

En cas que es produeixi la pèrdua d'un paquet, quan es rebin 3 ACK's duplicats demanant el mateix paquet, es retransmetrà immediatament aquest paquet, acció que es coneix com Fast Retransmit i la finestra es reduirà a la meitat, acció que pertany al mecanisme de Fast Recovery. Amb aquestes dues accions, ens assegurem que es redueix la taxa de transmissió per ta de col·laborar i que la congestió no creixi.

## **G.3. Anàlisi a fons dels resultats amb TCP a l'escenari interior.**

En aquest apartat es tractaran més a fons els casos més representatius del resultats obtinguts amb les proves de TCP, així com també s'analitzaran els que presenten uns resultats prou diferenciats de la resta. Tots els resultats obtinguts de les proves es poden trobar a l'annex, juntament amb altres casos.

### **G.3.1.Resultats més pròxims a la mitjana**

Els casos escollits en aquest apartat són el que s'aproximen més a la mitjana de les 15 proves realitzades tot i que en alguns casos potser no s'aproximi lo suficient a la mitjana algun dels dos traspassos.

### G.3.1.1. Movistar

En cas de les proves realitzades amb Movistar, la que més s'aproxima a la mitja, de l'enllaç de pujada és la prova numero 9. Tal com veiem a la taula els valors obtinguts són molt pròxims als de les mitjanes de totes les proves, per tant són prou representatius com a cas genèric.

**Taula G.4.** Casos més pròxims a la mitjana amb Movistar

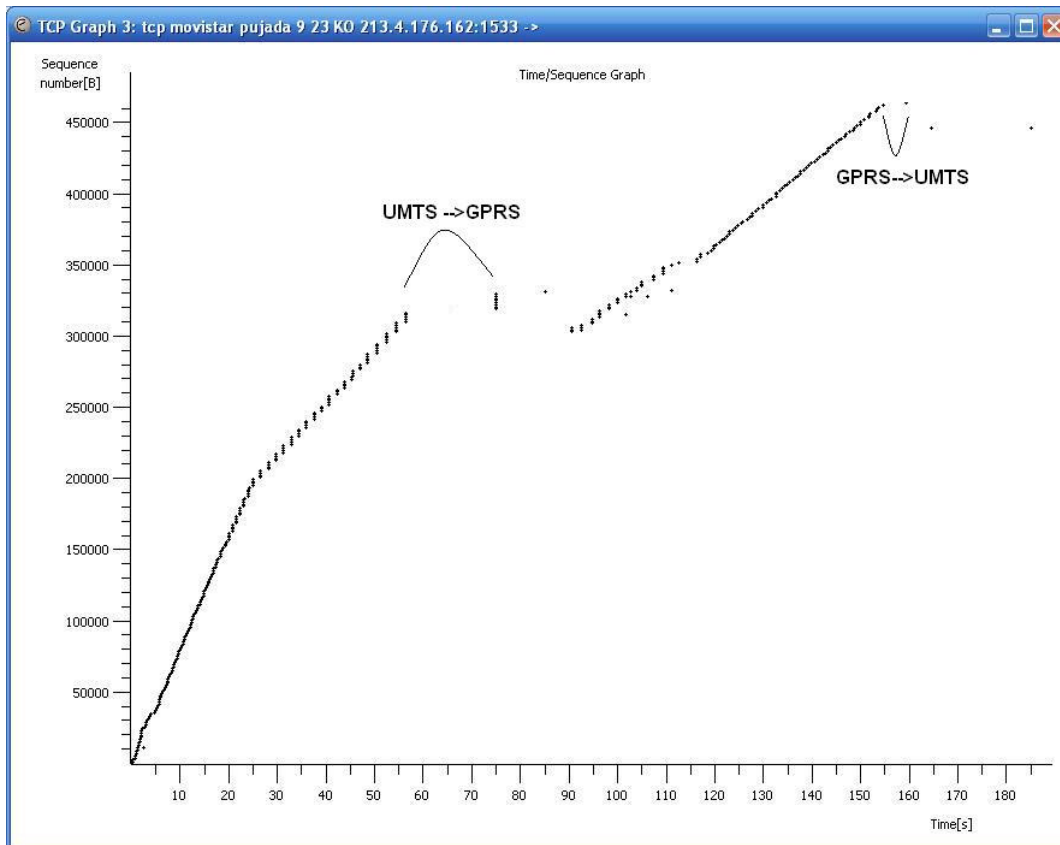
<b>Operador</b>	<b>Enllaç</b>	<b>Traspàs</b>	<b>Gaps (s)</b>
<b>Movistar</b>	Pujada	UMTS -> GPRS	21,36
		GPRS -> UMTS	4,626

Per l'enllaç de pujada tenim el cas en que el traspàs de UMTS a GPRS es realitza en 21,36 segons i el de GPRS a UMTS en 4,626, tal com es poden veure a la Figura G.1.. Hi ha representat l'enviament de paquets que realitza el client (portàtil) al servidor (PC fix) a través del enllaç de pujada. TCP realitza control de flux i de congestió de l'enllaç, fet que permet aprofitar l'enllaç de manera molt més fiable i recuperant els paquets perduts amb les retransmissions. Al inici la transmissió de paquets no es fa la màxima capacitat del enllaç sinó que primer s'envia un paquet i s'espera la confirmació (ACK) de l'arribada al destí, posteriorment es va incrementant els paquets que s'envien. Aquest fase d'inici s'anomena Slow-Start i ens assegura que sempre controlarem una possible congestió de l'enllaç.

Clarament es pot veure a la figura G.1. com a l'inici s'envien menys paquets sense confirmar i a mida que avança el temps el va incrementant el numero de paquets enviats. Podem veure que quan es produeix el traspàs de UMTS a GPRS el client, en aquest cas el portàtil, esta esperant els ACK's dels paquets enviats, però alguns d'aquests paquets no han arribat al servidor. Al finalitzar el traspàs arriba l'ACK que havia quedat retardat a la xarxa, fent que en el moment d'arribar, es confirmen paquets enviat anteriorment que permeten enviar més paquets per part del client. Com els paquets que s'envien no són els que espera rebre el servidor envia ACK's duplicats. En arribar el tercer ACK duplicat el client envia el paquet perdut que esta demanant el servidor, i a partir d'aquest moment es van enviant tots els paquets que segueixen al perdut. Aquesta fase de reenviament dels paquets s'anomena Fast Recovery i es pot veure a la figura 6.1. un cop ha passat el traspàs de UMTS a GPRS. Progressivament es van enviant els paquets i es continua amb el nous.

Analitzant les retransmissions TCP de les dues parts, veiem com en el client, és a dir portàtil, s'ha realitzat l'enviament de 29 paquets retransmesos. Mentre que en el servidor ens apareixen 25 retransmissions. Aquests resultats ens permeten saber que únicament 4 paquets que han estat retransmesos, han arribat al destí i no han estat un altre cop retransmesos, mentre que 25 paquets tot i haver arribat han tornat a ser retransmesos per que havien estat retransmesos a nivell RLC, fent que la eficiència disminueixi, ja que s'estan enviant dades repetides. El cas ideal seria el qual, les retransmissions es

fessin a nivell RLC per d'aquesta manera alliberar a TCP d'aquesta tasca i que en aquests casos el que es fa es enviar dades innecessàries. Finalment es pot apreciar el traspàs de GPRS a UMTS es qual es realitza en 4,26 segons.



**Fig. G.1.** Enviament de paquets de dades del portàtil al servidor

### G.3.1.2. Vodafone

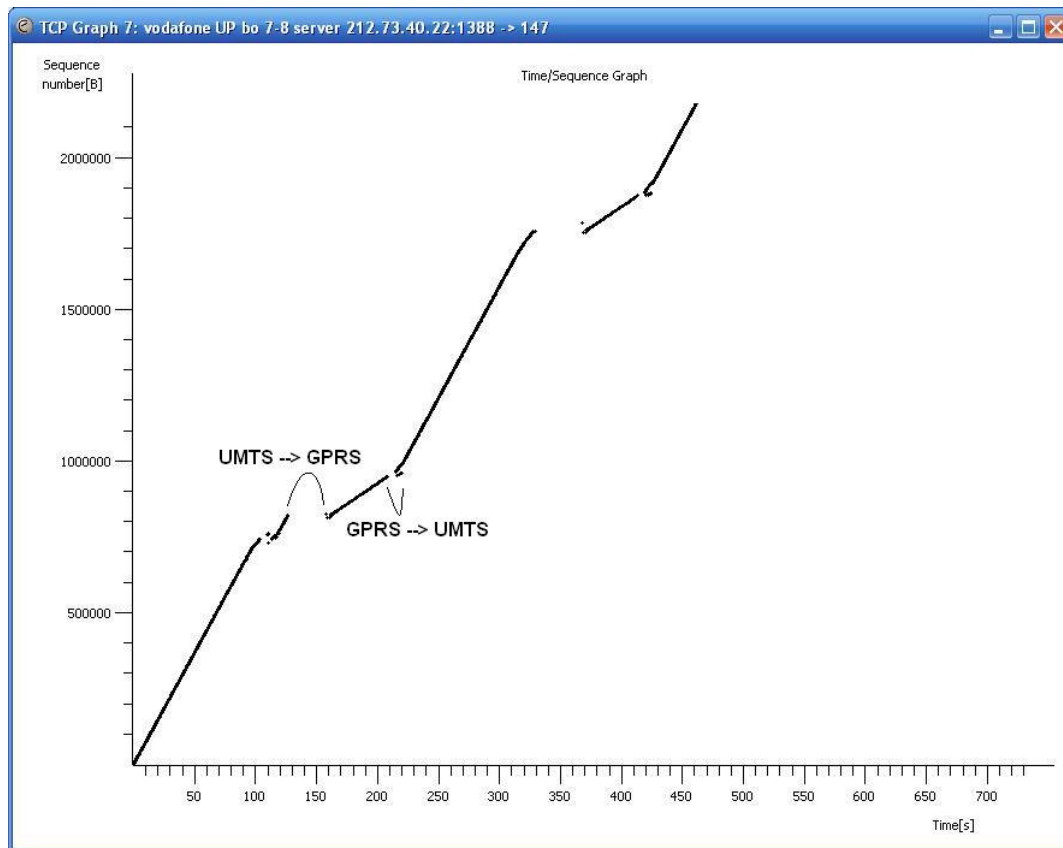
En cas de les proves realitzades amb Vodafone, les que més s'aproximen a la mitja del enllaç de pujada i baixada són les proves 7 i 2, respectivament.

**Taula G.5** Casos més pròxims a la mitja amb Vodafone

<b>Operador</b>	<b>Enllaç</b>	<b>Traspàs</b>	<b>Gaps (s)</b>
<b>Vodafone</b>	Pujada	UMTS -> GPRS	28,981
		GPRS -> UMTS	6,299
	Baixada	UMTS -> GPRS	22,111
		GPRS -> UMTS	6,469

En el cas de Vodafone la mitjana dels resultats es lleugerament més gran en els traspàsos de GPRS a UMTS respecte a Movistar, mentre que en el traspàs de UMTS a GPRS, passa el contrari que amb Movistar, és més gran el gap en l'enllaç de pujada que en el de baixada.

A la figura següent es pot veure els dos traspàsos del enllaç de pujada, on succeeix el mateix que en els anteriors casos, la transmissió de paquets es normal fins que es produeix el traspàs, en aquell moment alguns dels paquets enviats durant el traspàs es perden i no arriba el paquet que el servidor estava esperant, per tant el que fa es enviar un ACK indicant el paquet que necessita, aquest ACK permet al client enviar un altre paquet, però no el que indica l'ACK, sinó que envia el següent paquet nou. Un cop es reben els tres ACK's duplicats, el client envia el paquet que s'indica en l'ACK duplicat i continua enviant tots els paquets perduts fins arribar al últim paquet rebut correctament pel servidor després del traspàs.

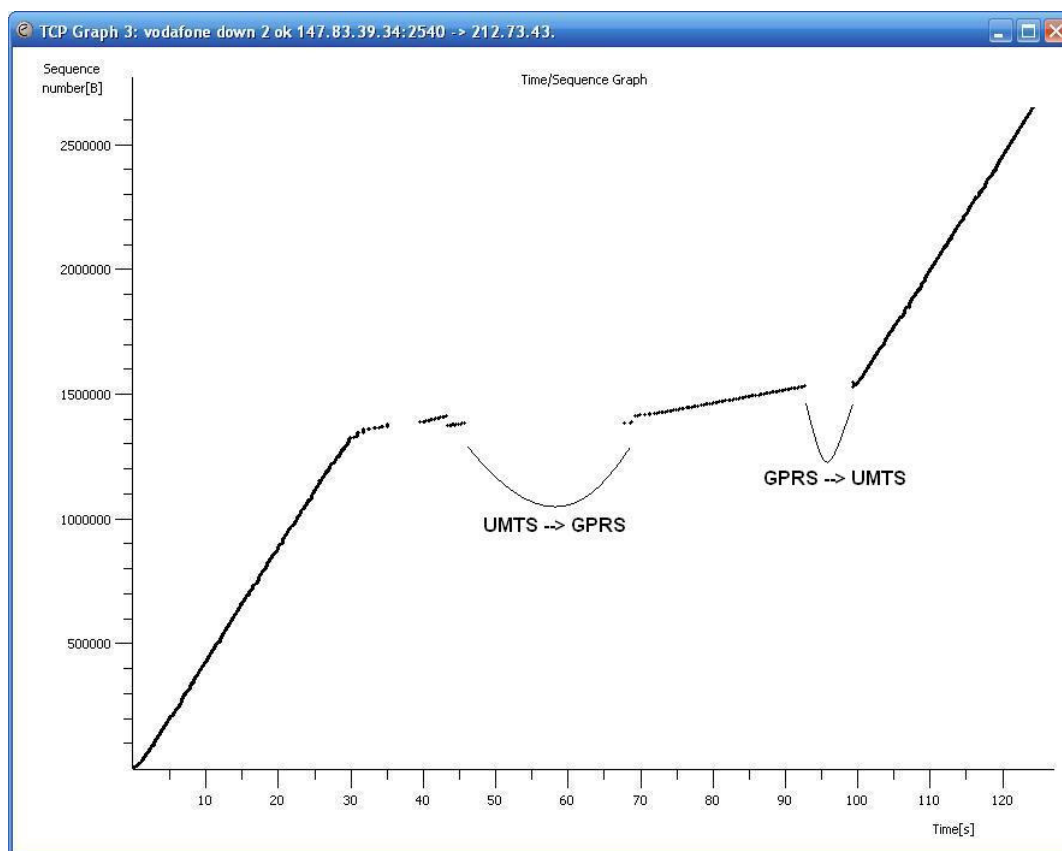


**Fig. G.2.** Gràfica d'enviament de paquets de l'enllaç de pujada Vodafone

A la figura G.2 també es pot veure l'enviament de paquets de la següent prova amb un traspàs de UMTS a GPRS lleugerament més elevat.

A la prova de l'enllaç de baixada ens trobem un cas semblant als anterior però amb una petita diferència. A la figura G.3 podem veure que abans del traspàs de UMTS a GPRS, es produeix una petita pèrdua de paquets que influeixen

lleugerament el les retransmissions provocades pel traspàs. En la pèrdua de paquets que hem comentat, es retransmeten els paquets perduts un cop que han arribat els 3 ACK's duplicats. Mentre s'estan retransmetent els paquets perduts indicats en els ACK's es produeix el traspàs de UMTS a GPRS, i en aquell moment el client envia un ACK per indicar el següent paquet a rebre però aquell ACK es perd en el traspàs i un cop que aquest finalitza, el servidor torna a enviar l'últim paquet de dades, ja que no havia rebut confirmació de que havia estat rebut. Un cop que s'ha rebut aquest paquet, el client torna a enviar el ACK que s'havia perdut, i rep el paquet que havia indicat i es continua la retransmissió de paquets fins arribar al últim paquet rebut correctament en la petita pèrdua abans del traspàs. Com estem retransmetent paquets, es a dir cada paquet envia ha de ser confirmat, durant el traspàs com només se'n perd un i aquest es torna a enviar no provoca les pèrdues que es podrien donar en cas de ser un traspàs aïllat.



**Fig. G.3.** Gràfica d'enviament de paquets de l'enllaç de baixada Vodafone

En el traspàs de GPRS a UMTS, es realitza el mateix procediment que s'ha realitzat en els casos anteriors, amb la recepció del 3 ACK's duplicats i la retransmissió dels paquets perduts.



### G.3.2. Resultats extrems

Tal com ja em realitzat en la caracterització IP, en aquest apartat analitzarem els casos que destaquen sobre totes les proves realitzades, ja sigui pel seus valors extremadament elevats o bé pel seus temps de traspàs molt ajustats.

#### G.3.2.1. Casos extrems amb Movistar

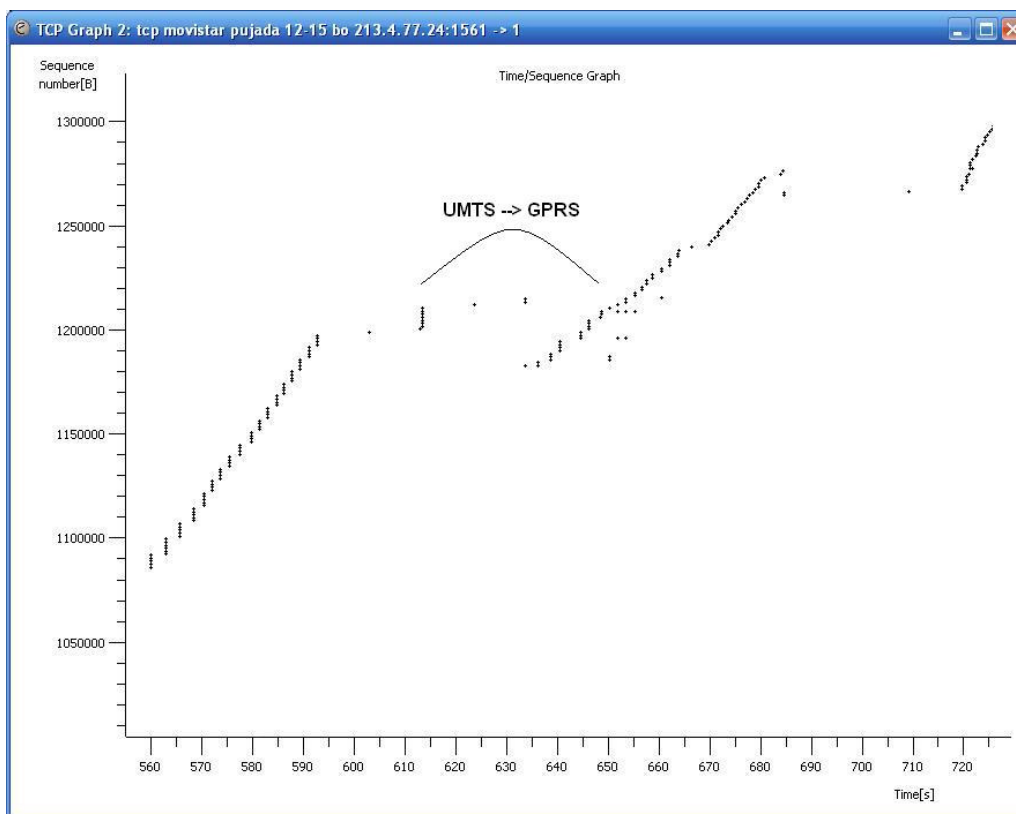
A la taula següent es poden veure els resultats dels casos que presenten una major diferència respecte la mitjana de les proves realitzades amb Movistar. Les proves que hem escollit en ambdós enllaços són la 14, ja que en el de pujada representa el valor més alt obtingut, mentre que en el de baixada és el valor més baix.

**Taula G.6** Casos extrems amb Movistar

<b>Operador</b>	<b>Enllaç</b>	<b>Traspàs</b>	<b>Gaps (s)</b>
<b>Movistar</b>	Pujada	UMTS -> GPRS	32,847
		GPRS -> UMTS	3,344
	Baixada	UMTS -> GPRS	11,656
		GPRS -> UMTS	5,788

En el cas de l'enllaç de pujada podem veure que el temps màxim de traspàs de UMTS a GPRS obtingut, es bastant inferior als superior a la mitja de les proves en IP. Tot i que es inferior al resultat més gran obtingut en IP, encara que aquest fet no resulta determinant per poder dir que en TCP els resultats en el pitjor cas són menors, ja que en altres proves TCP passa justament el contrari i es veu com TCP obté valor més grans que IP.

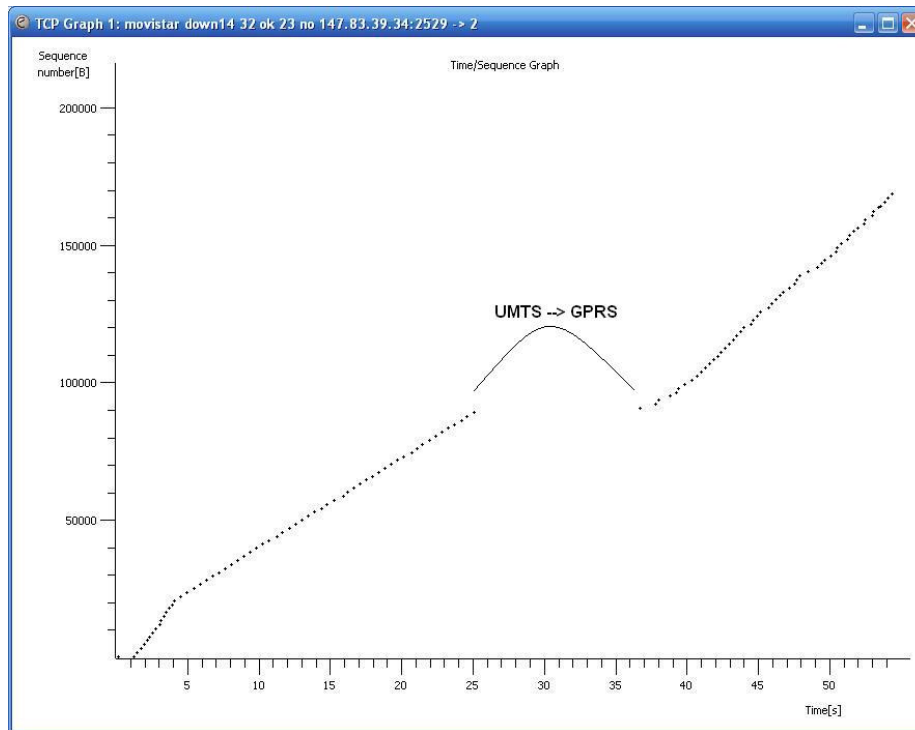
En aquest cas és curiós com en el traspàs de UMTS a GPRS s'obté el valor més elevat de les proves de TCP amb Movistar i l'enllaç de pujada, mentre que en el traspàs de GPRS a UMTS obtenim un dels resultats més baixos. En aquest cas la figura G.4. que hem escollit correspon la gràfica del client, es a dir, el portàtil que esta enviant les dades.



**Fig. G.4.** Gràfica d'enviament de paquets de l'enllaç de pujada Movistar

On es pot veure que durant el traspàs de UMTS a GPRS, con el client encara no te completa la finestra de transmissió, continua enviant dades fins a omplir la finestra de transmissió. Un cop finalitza el traspàs van arribant els ACK's demanant el primer paquet que s'ha perdut, quan n'hi arriben tres, el client torna a retransmetre el paquet perdut, que un cop es rebut pel servidor, va demanant el següents paquets consecutius. Pel que fa al traspàs de GPRS a UMTS, aquest no presenta cap pèrdua de paquet ja que en el moment del traspàs encara s'estaven retransmetent el paquets de anterior traspàs i per tant la taxa no era massa elevada com per suposar que es perdés el paquet en un gap de 3,344 segons.

En el enllaç de baixada hem obtingut el temps de traspàs de UMTS a GPRS més petit de les proves realitzades en TCP i no ha calgut realitzar cap retransmissió de paquets perduts, així que hem de suposar que el possible paquet que s'hagi trobat en mig del traspàs haurà estat emmagatzemat a la xarxa i després de finalitzar el traspàs ha estat enviat al client. A la figura G.5 es pot veure com a la gràfica dels paquets rebuts en el client, es produeix el talla de 11,656 segons i que no suposa cap pèrdua de paquets.



**Fig. G.5.** Gràfica d'enviament de paquets del enllaç de baixada en Movistar

En el traspàs de GPRS a UMTS en baixada es repeteix el mateix procés que en tots els casos anteriors. A la figura G.6 podem veure una captura dels paquets rebuts en el portàtil durant la descarrega del fitxer de prova via FTP. Com podem apreciar a la figura G.6 després de rebre l'últim paquet de dades (# 7389) i enviar el seu ACK de confirmació (# 7390), es produeix el traspàs de GPRS a UMTS, que es porta a terme en 5,788 segons. Un cop ha finalitzat el traspàs el primer paquet que ens arriba es un paquet de dades que no estàvem esperant (# 7391), es a dir que els paquets anteriors a aquets s'han perdut. El següent paquet que s'envia és la primera duplicació del ACK anterior (# 7392), el fet d'enviar aquest ACK permet que el servidor enviï un altre paquet de dades (# 7393), però no el que estàvem esperant i per tant tornem a enviar un altre ACK duplicat. Finalment després del enviament del tercer ACK duplicat, es retransmet el paquet que estàvem esperant (# 7397) i el següent paquet consecutiu. D'aquesta manera es van enviant els ACKs per rebre els paquets de dades consecutius fins arribar a l'últim paquet que anteriorment s'havia rebut correctament.

No. -	Time	Source	Destination	Protocol	Info
7388	492.01748	213.4.191.29	147.83.39.34	TCP	1788 > 4304 [ACK] Seq=1 Ack=2630693 win=65535 Len=0
7389	492.27786	147.83.39.34	213.4.191.29	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
7390	492.47814	213.4.191.29	147.83.39.34	TCP	1788 > 4304 [ACK] Seq=1 Ack=2632153 win=65535 Len=0
7391	498.26647	147.83.39.34	213.4.191.29	FTP-DA	[TCP Previous segment lost] FTP Data: 896 bytes
7392	498.26647	213.4.191.29	147.83.39.34	TCP	[TCP Dup ACK 7390#1] 1788 > 4304 [ACK] Seq=1 Ack=2632153
7393	498.60696	147.83.39.34	213.4.191.29	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
7394	498.60696	213.4.191.29	147.83.39.34	TCP	[TCP Dup ACK 7390#2] 1788 > 4304 [ACK] Seq=1 Ack=2632153
7395	498.94745	147.83.39.34	213.4.191.29	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
7396	498.94745	213.4.191.29	147.83.39.34	TCP	[TCP Dup ACK 7390#3] 1788 > 4304 [ACK] Seq=1 Ack=2632153
7397	499.28794	147.83.39.34	213.4.191.29	FTP-DA	[TCP Retransmission] FTP Data: 1460 bytes
7398	499.46820	147.83.39.34	213.4.191.29	FTP-DA	[TCP Retransmission] FTP Data: 1460 bytes
7399	499.46820	213.4.191.29	147.83.39.34	TCP	1788 > 4304 [ACK] Seq=1 Ack=2635073 win=65535 Len=0 SLE=
7400	499.66848	147.83.39.34	213.4.191.29	FTP-DA	[TCP Retransmission] FTP Data: 1460 bytes
7401	499.66848	213.4.191.29	147.83.39.34	TCP	1788 > 4304 [ACK] Seq=1 Ack=2636533 win=65535 Len=0 SLE=
7402	499.86877	147.83.39.34	213.4.191.29	FTP-DA	[TCP Retransmission] FTP Data: 1460 bytes
7403	499.98894	213.4.191.29	147.83.39.34	TCP	1788 > 4304 [ACK] Seq=1 Ack=2637993 win=65535 Len=0 SLE=
7404	500.04903	147.83.39.34	213.4.191.29	FTP-DA	[TCP Retransmission] FTP Data: 1460 bytes
7405	500.18923	213.4.191.29	147.83.39.34	TCP	1788 > 4304 [ACK] Seq=1 Ack=2639453 win=65535 Len=0 SLE=
7406	500.24932	147.83.39.34	213.4.191.29	FTP-DA	[TCP Retransmission] FTP Data: 1460 bytes
7407	500.24932	213.4.191.29	147.83.39.34	TCP	1788 > 4304 [ACK] Seq=1 Ack=2640913 win=65535 Len=0 SLE=
7408	500.42958	147.83.39.34	213.4.191.29	FTP-DA	[TCP Retransmission] FTP Data: 1460 bytes

Fig. G.6. Captura de paquets rebuts en el client

### G.3.2.2. Casos extrems amb Vodafone

A la taula següent es poden veure els resultats dels casos que presenten una major diferència respecte la mitjana de les proves realitzades amb Vodafone. Les proves que hem escollit en ambdós enllaços són la primera, ja que en el de pujada representa el valor més alt obtingut, mentre que en el de baixada és el valor més baix.

Taula G.7 Casos extrems amb Vodafone

Operador	Enllaç	Traspàs	Gaps (s)
Vodafone	Pujada	UMTS -> GPRS	47,23
		GPRS -> UMTS	7,019
	Baixada	UMTS -> GPRS	13,118
		GPRS -> UMTS	6,018

En el cas de l'enllaç de pujada amb Vodafone, hem obtingut resultat màxim notablement més gran que la mitjana, aproximadament 18 segons de diferència. Però aquest fet el que implica es que al tenir una finestra de transmissió més gran, la major quantitat de paquets que s'envien són susceptibles de ser perduts.

A la figura G.7 podem veure la captura del analitzador de protocols Ethereal, en el client FTP, i per tant el que envia les dades. Si observem la traça completa dels paquets podem veure que durant el traspàs s'envien paquets, dos dels quals dos deguts a la expiració del temporitzador de retransmissió. Primer s'envia el paquet amb tota normalitat abans del traspàs, però en el moment en que aquest es produeix encara no s'havia rebut l'ACK confirmant la recepció, però aquesta raó al cap de 15 segons de haver estat enviat, expira el temporitzador de retransmissió i es torna a enviar el paquet. Com encara esta el traspàs actiu i es continua sense rebre l'ACK torna a expirar el temporitzador i es torna a enviar el paquet. Que en aquest cas si que arriba al servidor i ho confirma a l'ACK corresponent.

No. -	Time	Source	Destination	Protocol	Info
482	64.372563	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
483	64.382577	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
484	64.382577	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
485	64.392592	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
486	64.392592	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
487	64.392592	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
488	65.784593	147.83.39.34	212.73.40.60	TCP	3041 > 2019 [ACK] Seq=1 Ack=341641 win=32768 Len=0
489	67.396912	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
490	67.396912	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
491	67.406926	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
492	67.406926	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
493	67.416941	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
494	67.416941	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
495	68.418381	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
496	70.721898	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	[TCP Window Full] FTP Data: 648 bytes
497	77.331197	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	[TCP Retransmission] FTP Data: 1460 bytes
498	100.58460	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	[TCP Retransmission] FTP Data: 1460 bytes
499	111.79074	147.83.39.34	212.73.40.60	TCP	[TCP Dup ACK 488#1] 3041 > 2019 [ACK] Seq=1 Ack=341641
500	111.79074	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	[TCP Retransmission] FTP Data: 1460 bytes
501	113.07259	147.83.39.34	212.73.40.60	TCP	3041 > 2019 [ACK] Seq=1 Ack=343101 win=32768 Len=0 SLE=
502	113.07259	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	[TCP Retransmission] FTP Data: 1460 bytes
503	116.27719	147.83.39.34	212.73.40.60	TCP	[TCP Dup ACK 501#1] 3041 > 2019 [ACK] Seq=1 Ack=343101
504	116.27719	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	[TCP Retransmission] FTP Data: 1460 bytes
505	117.42885	147.83.39.34	212.73.40.60	TCP	3041 > 2019 [ACK] Seq=1 Ack=344561 win=32768 Len=0 SLE=
506	118.43029	147.83.39.34	212.73.40.60	TCP	3041 > 2019 [ACK] Seq=1 Ack=346021 win=32768 Len=0 SLE=
507	118.43029	212.73.40.60	147.83.39.34	FTP-DA	[TCP Retransmission] FTP Data: 1460 bytes
508	119.45176	147.83.39.34	212.73.40.60	TCP	3041 > 2019 [ACK] Seq=1 Ack=347481 win=32768 Len=0 SLE=

Fig. G.7. Captura de paquets enviats pel client

Un cop s'ha retransmès el paquet que no havia estat confirmat i que en aquesta ocasió sí que és confirmat. Es continua enviant un altre cop tots els paquets que s'havien enviat posteriors al paquet que havia expirat dos cops el seu temporitzador, a base de retransmissions. A la figura següent es pot veure el traspàs de UMTS a GPRS i viceversa.

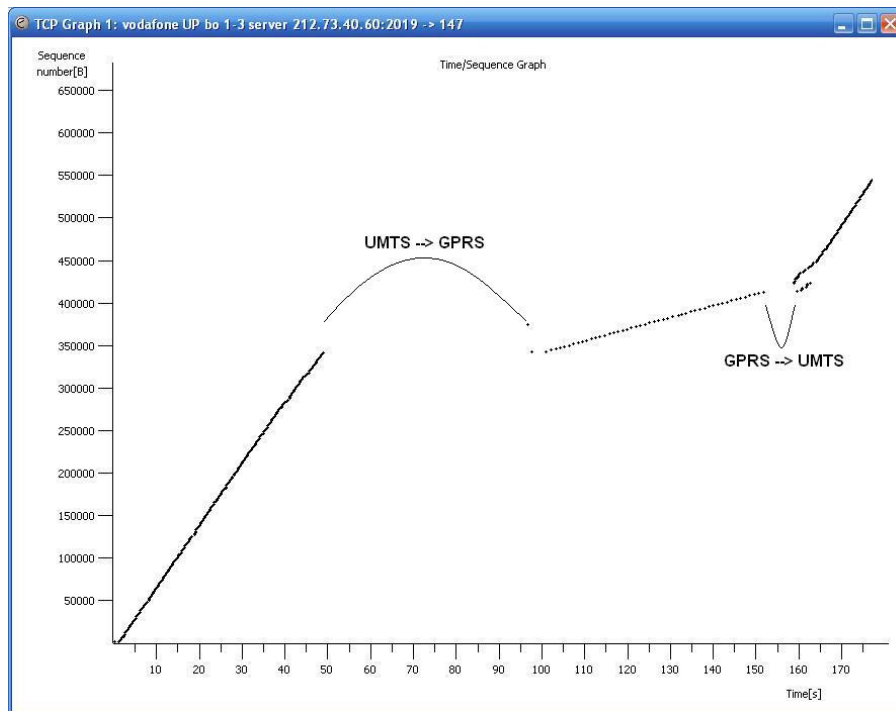
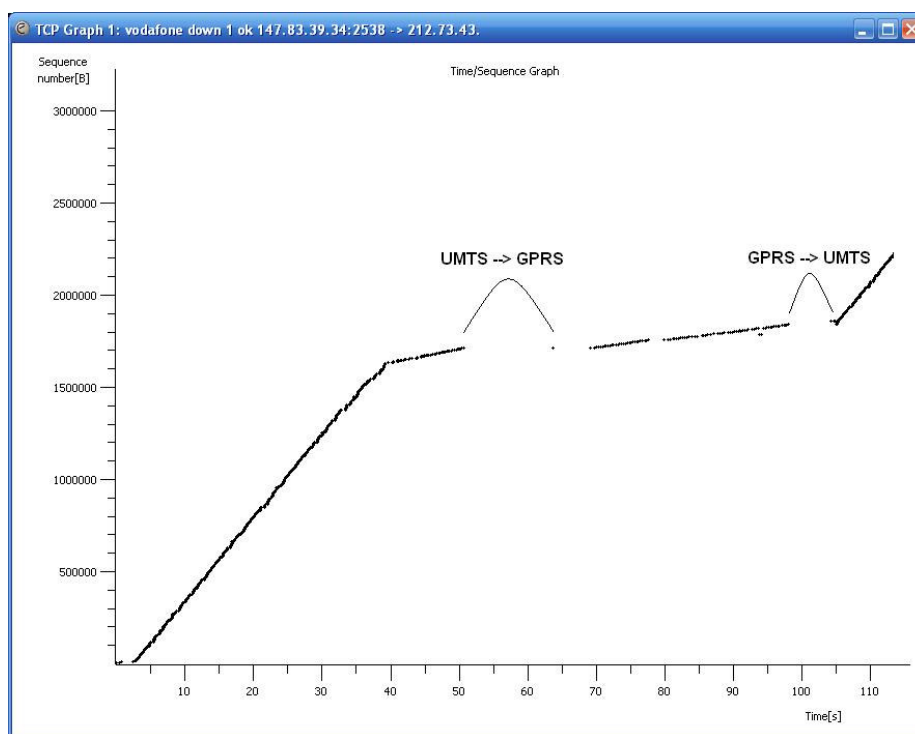


Fig. G.8. Gràfica dels paquets rebuts pel servidor

Pel que fa al traspàs de GPRS a UMTS succeeix el mateix que en els casos anteriors on l'arribada del ACK retardat provoca que s'hagin de tornar a enviar els paquets.

En l'enllaç de baixada els temps de traspàs obtinguts són els més petits, però succeeix el mateix que en els casos anteriors. El que succeeix en l'enllaç de baixada en el traspàs de UMTS a GPRS es que durant el traspàs de 13,118 segons, expira el temporitzador de retransmissió d'un paquet que no s'ha pogut confirmar perquè s'ha produït el traspàs, i el servidor torna a enviar aquest paquet després de que hagi acabat el traspàs, es a dir quan ha expirat el seu temporitzador. El primer paquet que es rep un cop finalitzat el traspàs es un paquet no s'estava esperant, per aquesta raó i com ja s'havia fet la retransmissió de l'altre paquet que havia expirat, a partir d'aquell moment, el que es realitza és la retransmissió de tots els paquets a partir del paquet retransmès per expiració. En canvi en el traspàs de GPRS a UMTS, succeeix el que hem comentant en casos anteriors, que es el retard del ACK, que provoca que un cop arribi aquest s'hagin de retransmetre els paquets tots un altre cop. A la figura G.9 podem veure els dos traspassos de l'enllaç de baixada.



**Fig. G.9.** Gràfica dels paquets rebuts pel client

#### G.4. Anàlisis a fons del resultat amb TCP a l'escenari exterior.

Tal com s'ha realitzat en la caracterització IP, en aquest apartat es tractaran els casos més representatius del resultat obtinguts amb les proves de TCP, així com també s'analitzaran els que presenten uns resultats prou diferenciats de la resta.

##### G.4.1. Resultats més pròxims a la mitjana en Movistar

El cas escollit de les proves realitzades que més s'aproxima a la mitjana en Movistar, per l'enllaç de pujada és la prova numero 1.

**Taula G.8** Casos més pròxims a la mitjana amb Movistar

<b>Operador</b>	<b>Enllaç</b>	<b>Traspàs</b>	<b>Gaps (s)</b>
<b>Movistar</b>	Pujada	UMTS -> GPRS	16,507
		GPRS -> UMTS	3,144

A l'enllaç de pujada els resultats que obtenim són bastant bons, tenint en compte que és el traspàs de UMTS a GPRS que s'aproxima més a la mitjana i que millora els resultats obtinguts en la caracterització UDP, tot i que aquest fet es dona degut a unes condicions canviants de l'escenari que no són les mateixes que en UDP. Ja que el traspàs en TCP haurà de ser sempre més gran o igual que l'obtingut en UDP.

Pel que fa als efectes del traspàs durant la transmissió, en aquest cas, abans del traspàs el client rep un ACK, del paquet que s'esperava. Durant el traspàs el client continua enviant paquets que seran emmagatzemats per la xarxa i servits posteriorment amb retard. Aquest fet fa cada paquet que s'entregui amb retard al servidor, faci que s'enviïn ACK's duplicats del paquet que s'estava esperant, però com hi ha aquests retards s'envien molts ACK's duplicats fins que finalment arriba el paquet retardat que es quan es finalitza l'enviament d'ACK's duplicats. El paquet arriba, però ho fa amb un retard considerable, justament després del quaranta-cinquè ACK duplicat, degut al retard de la xarxa

A la figura G.10 es pot veure com tot i l'arribada de 3 ACK's duplicats no es retransmet el paquet sol·licitat, sinó que es continuen enviant ACK's duplicats.

No. -	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1241	2291.392499	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=448209 win=65535 Len=0
1242	2292.052293	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
1243	2292.052465	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669 win=65535 Len=0
1247	2308.353223	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	[TCP Previous segment lost] FTP Data: 1476 bytes
1248	2308.353597	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 1243#1] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669
1249	2309.215198	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
1250	2309.215274	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 1243#2] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669
1251	2309.755011	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
1252	2309.755088	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 1243#3] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669
1254	2311.774808	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
1255	2311.774880	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 1243#4] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669
1256	2312.354999	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	[TCP Previous segment lost] FTP Data: 1460 bytes
1257	2312.355083	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 1243#5] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669
1258	2312.953991	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
1259	2312.954072	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 1243#6] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669
1260	2313.594213	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
1261	2313.594290	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 1243#7] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669
1262	2314.153334	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
1263	2314.153410	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 1243#8] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669
1264	2314.693150	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
1265	2314.693225	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 1243#9] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669
1266	2315.293896	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
1267	2315.293969	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 1243#10] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669
1268	2315.835426	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
1269	2315.835500	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 1243#11] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669
1270	2315.965015	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 324 bytes
1271	2315.965083	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 1243#12] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669
1272	2316.516415	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
1273	2316.516491	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 1243#13] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669
1274	2317.057088	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
1275	2317.057160	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 1243#14] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669
1276	2317.676715	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
1277	2317.676788	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 1243#15] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=449669
1278	2318.235838	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes

Fig. G.10. Captura de paquets rebuts pel servidor

Pel que fa al traspàs de GPRS a UMTS també els paquets també presenten grans retards degut als paquets retardats per la xarxa.

#### G.4.2. Resultats extrems amb Movistar

Tal com ja em realitzat en la caracterització IP, en aquest apartat analitzarem els casos que destaquen sobre totes les proves realitzades. En aquest cas hem triat els dos valors més grans en ambdós enllaços, ja que en general els resultats del escenari exterior sempre són molt més baixos.

A la taula següent es poden veure els resultats dels casos que presenten una major diferència respecte la mitjana de les proves realitzades amb Movistar. Les proves que hem escollit en ambdós enllaços són la numero 10.

Taula G.9 Casos extrems amb Movistar

Operador	Enllaç	Traspàs	Gaps (s)
Movistar	Pujada	UMTS -> GPRS	44,864
		GPRS -> UMTS	6,076
	Baixada	UMTS -> GPRS	50,512
		GPRS -> UMTS	5,738

En el cas de l'enllaç de pujada ens trobem un dels temps de traspàs de UMTS a GPRS més elevats que podem trobar a l'escenari exterior, on en general s'han obtingut molt bones mitjanes. En aquest cas es dona el fet que, durant el traspàs molts paquets, podem considerar que es perden, tot i que estan a la xarxa emmagatzemats. Abans que s'iniciï el traspàs el servidor envia al client



un ACK esperant el pròxim paquet, però com que s'inicia el traspàs, aquest paquet queda es queda retardat a la xarxa durant el traspàs, en el qual el client continua enviant paquets de dades. Un cop finalitza el traspàs, el primer paquet en arribar és dels últims que s'han enviat i que per tant com encara no s'han rebut els anterior, el servidor envia la primera duplicació del paquet que s'espera. A continuació van arribant els paquets que havien quedat a la xarxa emmagatzemats i en la recepció de cadascun d'ells, el servidor continua enviant ACK's duplicats, fins que arriba el paquet desitjat, aquest fet passa en l'ACK duplicat numero 14, tot i que quan es rep el tercer ACK s'envia el paquet un altre cop, però al haver-hi un temps de anada i tornada major ja que estem en GPRS, primer van arribant tots els emmagatzemats de la xarxa que són més nous, que el que s'espera. Un cop arriba el paquet que estàvem esperant, pocs segons després arriba la seva retransmissió deguda als tres ACK's duplicats. A la figura G.13 que pertany al servidor es poden veure l'enviament dels múltiples ACK's duplicats.

No. -	Time	Source	Destination	Protocol	Info
9781	3928.6414	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	1726 > 1062 [ACK] seq=1 Ack=6131257 win=65535 Len=0
9783	3929.1009	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
9784	3929.1010	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6132717 win=65535 Len=0
9786	3929.5018	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
9787	3929.5018	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6134177 win=65535 Len=0
9794	3974.3663	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	[TCP Previous segment lost] FTP Data: 1460 bytes
9797	3974.3779	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 9787#1] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6134177
9798	3975.4729	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
9799	3975.4730	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 9787#2] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6134177
9800	3976.5534	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
9801	3976.5535	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 9787#3] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6134177
9802	3977.7128	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
9803	3977.7129	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 9787#4] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6134177
9804	3978.8101	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
9805	3978.8101	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 9787#5] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6134177
9806	3979.8914	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	[TCP Previous segment lost] FTP Data: 1460 bytes
9807	3979.8915	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 9787#6] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6134177
9808	3980.9732	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
9809	3980.9733	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 9787#7] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6134177
9810	3982.0713	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
9811	3982.0713	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 9787#8] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6134177
9812	3983.1505	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
9813	3983.1505	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 9787#9] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6134177
9814	3984.2331	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
9815	3984.2332	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 9787#10] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6134177
9816	3985.3337	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
9817	3985.3338	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 9787#11] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6134177
9818	3986.4147	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
9819	3986.4147	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 9787#12] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6134177
9820	3987.5908	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
9821	3987.5909	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 9787#13] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6134177
9822	3987.9788	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 459 bytes
9823	3987.9788	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	[TCP Dup ACK 9787#14] 1726 > 1062 [ACK] Seq=1 Ack=6134177
9826	3989.0768	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	FTP Data: 1460 bytes
9827	3989.0770	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	1726 > 1062 [ACK] seq=1 Ack=6135637 win=65535 Len=0 SLE=6
9829	3990.1698	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	[TCP Retransmission] FTP Data: 1460 bytes
9830	3990.1699	212.78.137.87	213.4.171.199	TCP	1726 > 1062 [ACK] seq=1 Ack=6137097 win=65535 Len=0 SLE=6
9831	3991.2511	213.4.171.199	212.78.137.87	FTP-DA	[TCP Retransmission] FTP Data: 1460 bytes

Fig. G.11. Captura de paquets rebuts pel servidor

En el traspàs de GPRS a UMTS, ens passa un fet semblant al del traspàs anterior. Alguns paquets són enviats, però a causa del traspàs es perden. Un cop finalitza el traspàs de GPRS a UMTS, el primer paquet en arribar no és el que s'estava esperant sinó un dels que estava emmagatzemats a la xarxa, aquest fet suposa que s'envia un ACK duplicat, i posteriorment torna a arribar un paquet nou, i el servidor torna a enviar un ACK duplicat, però instants més tard arriba el paquet que s'havia quedat en els buffers de la xarxa i que encara no havia estat servit.

Pel que fa a l'enllaç de baixada no ens passa el mateix que en l'enllaç de pujada, sinó que simplement, en el moment en que s'inicia el traspàs de UMTS a GPRS, el portàtil deixa de rebre les dades que estava descarregant i espera fins que al cap de 50,512 segons finalitza i torna a rebre els paquets amb

normalitat. Durant el traspàs, en el servidor, expira tres cops el temporitzador de retransmissió del primer paquet enviat i que no ha estat confirmat, ja que no s'ha pogut rebre el ACK durant el traspàs, i en torna a enviar tres cops el paquet. Justament la última retransmissió es rep quan ja s'havia acabat el traspàs i no suposa cap més retransmissió. Els altres paquets enviats i no confirmats, en rebre el ACK del primer paquet, es tornen a retransmetre a mida que el servidor els va demanat amb el ACK.

En el traspàs de GPRS a UMTS, en passa el mateix que en molts altres casos, on alguns paquets es perden deguts al traspàs, mentre que un d'ells arriba al destí ja que ha estat emmagatzemat a la xarxa. Aquest fet provoca que es tornin a enviar els paquets perduts ja que es reben tres ACK's duplicats del primer paquet perdut, que caldrà retransmetre, així com els paquets consecutius a aquest.

## H. Glossari

<b>3GPP</b>	3 <sup>rd</sup> Generation partnership project (produces WCDMA standard)
<b>ACK</b>	Acknowledgement
<b>AMR</b>	Adaptive multirate (speech codec)
<b>AMR-NB</b>	Narrowband AMR
<b>AMR-WB</b>	Wideband AMR
<b>BER</b>	Bit error rate
<b>BS</b>	Base station
<b>BSS</b>	Base station subsystem
<b>BSC</b>	Base station controller
<b>CN</b>	Core network
<b>CRNC</b>	Controlling RNC
<b>CS</b>	Circuit Switched
<b>DRNC</b>	Drift RNC
<b>FDD</b>	Frequency division duplex
<b>FEC</b>	Forward Error Correction
<b>FER</b>	Frame Error Rate
<b>FP</b>	Frame protocol
<b>FTP</b>	File transfer protocol
<b>GGSN</b>	Gateway GPRS support node
<b>GMSC</b>	Gateway MSC
<b>GPRS</b>	General packet radio system
<b>GSM</b>	Global system for mobile communications
<b>HLR</b>	Home location register
<b>IP</b>	Internet protocol
<b>ME</b>	Mobile equipment
<b>MS</b>	Mobile station
<b>MSC/VLR</b>	Mobile services switching centre/visitor location register
<b>MT</b>	Mobile termination
<b>PDP</b>	Packet data protocol
<b>PDU</b>	Protocol data unit
<b>PLMN</b>	Public land mobile network
<b>PS</b>	Packet switched
<b>QoS</b>	Quality of service
<b>RAN</b>	Radio access network
<b>RLC</b>	Radio link control
<b>RNC</b>	Radio network controller
<b>RNS</b>	Radio network sub-system
<b>RNSAP</b>	RNS application part
<b>SCH</b>	Synchronisation channel
<b>SGSN</b>	Serving GPRS support node
<b>SIR</b>	Signal to interference ratio
<b>SNR</b>	Signal to noise ratio
<b>SRNC</b>	Serving RNC
<b>SRNS</b>	Serving RNS
<b>TCP</b>	Transport control protocol
<b>TD/CDMA</b>	Time division CDMA, combined TDMA and CDMA
<b>TDD</b>	Time division multiple access
<b>TE</b>	Terminal equipment
<b>TPC</b>	Trasmission Power Control

---

<b>TS</b>	Technical specification
<b>UDP</b>	User datagram protocol
<b>UE</b>	User equipment
<b>UMTS</b>	Universal mobile telecommunication services
<b>USIM</b>	UMTS subscriber identity module
<b>UTRA</b>	UMTS Terrestrial radio access (ETSI)
<b>UTRA</b>	Universal Terrestrial radio access (3GPP)
<b>UTRAN</b>	UMTS Terrestrial radio access network
<b>WCDMA</b>	Wideband CDMA, Code division multiple access
<b>WWW</b>	World wide web