

CAPÍTOL 3

OSPF-TE i Routing Controller

En aquest tema es parlarà sobre el protocol utilitzat per al descobriment i disseminació de la topologia de xarxa, i també utilitzat per a comunicar canvis en els recursos de la xarxa en cada node: OSPF (*Open Short Path First*), el qual es farà servir una extensió anomenada OSPF-TE (*OSPF – Traffic Engineering*) per a la seva utilització en l'enginyeria de tràfic que es fa servir a les xarxes òptiques. També es mirarà més a fons el component dels OCC's en el pla de control de l'arquitectura ASON, el mòdul RC (*Routing Controller*), com està implementat i les principals funcions que té. Llavors, es veurà quin paper té el protocol OSPF-TE en el RC, i com aquest l'utilitza per comunicar-se amb la resta de nodes de la xarxa òptica en produir-se una modificació o reserva de recursos.

3.1 Protocol OSPF

3.1.1 Jerarquia de xarxes

El protocol OSPF proporciona la funcionalitat de dividir un *domini* de xarxa (un sistema autònom) en subdominis, comunament coneguts com a àrees. Cada domini ha de tenir una àrea central, que és una *àrea backbone*. Aquesta àrea també s'identifica amb el nom de *Àrea 0*.

Generalment les àrees (totes les que no són backbone) són numerades seqüencialment com a *Àrea 1*, *Àrea 2*, etc. El protocol OSPF permet una configuració jeràrquica amb l'àrea backbone com a primer nivell, mentre que les altres àrees, connectades a l'àrea backbone, són àrees de nivells més baix [11] [12].

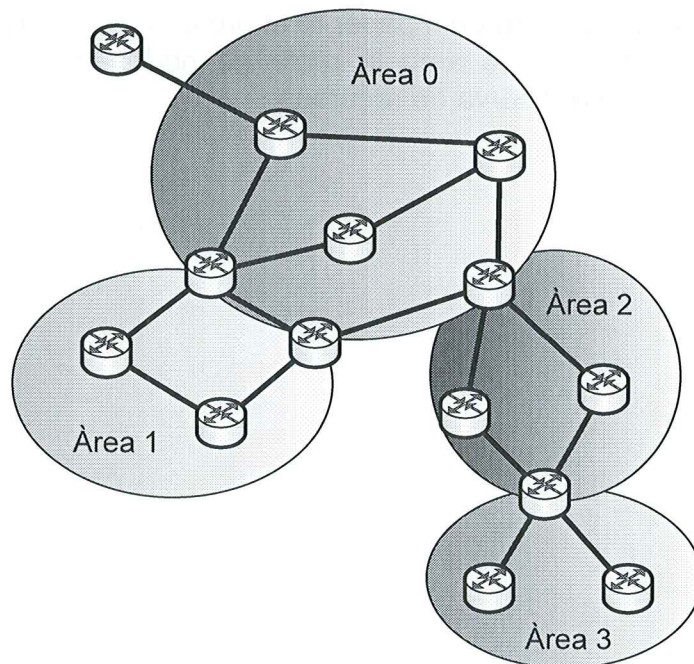


Figura 3.1: Divisió d'un *domini* en àrees.

3.1.2 Classificació de Routers

Amb la funcionalitat proporcionada de dividir una xarxa OSPF en àrees, els routers són classificats en quatre tipus diferents:

- **Routers delimitadors d'àrea:** Són els routers que estan al límit entre el backbone i les àrees de baix nivell. Cada router delimitador d'àrea ha de tenir com a mínim una interfície al backbone.
- **Routers interns:** Són els routers de cada àrea de baix nivell que tenen interfícies només cap a altres routers interns a la mateixa àrea.

- **Routers backbone:** Estan a l'Àrea 0 amb com a mínim una interfície a altres routers del backbone. Els routers delimitadors d'àrea també poden considerar-se routers backbone.
- **Routers limitadors de Sistema Autònom:** Aquests routers estan a l'Àrea 0 amb connexió a altres sistemes autònoms. Poden suportar més d'un protocol d'encaminament. Per exemple, per intercanviar informació amb un altre SA, aquest router és capaç de comunicar-se amb BGP (*Border Gateway Protocol*). Aquests routers també tenen interfícies internes per connectar-se amb altres routers backbone.

3.1.3 Tipus de xarxa

El protocol OSPF està dissenyat per tractar cinc tipus diferents de xarxes:

- **Xarxes punt a punt:** Es refereix a connectar parells de routers directament mitjançant una interfície o link. Un router hauria d'estar connectat amb diversos routers diferents amb diverses interfícies punt a punt. Els links punt a punt s'usen típicament quan un domini OSPF és separat en una regió geogràfica distribuïda.
- **Xarxes Broadcast:** Són xarxes tals com LAN's connectades amb una tecnologia com per exemple Ethernet. Les xarxes broadcast, per naturalesa, són multiaccessibles, on tots els routers d'aquesta xarxa poden rebre un únic paquet transmès. En aquestes xarxes hi ha un router elegit com a *Designated Router (DR)* i un altre com a *Backup Designated Router (BDR)*.
- **Xarxes no-broadcast multiaccés:** Fan servir tecnologies com ATM o *frame relay* on més de dos routers poden estar connectats sense capacitat de broadcast. D'aquesta manera, un paquet OSPF necessita ser transmès explícitament a cada router de la xarxa. Aquestes xarxes necessiten una configuració extra per emular una operació de OSPF a una xarxa broadcast. Tal com passa a les xarxes broadcast, també s'elegeix un DR i un BDR.
- **Xarxes punt a multipunt:** Aquestes xarxes també són xarxes no-broadcast. Malgrat tot, el mode d'operació OSPF és diferent i a la pràctica és similar als links punt a punt.
- **Links virtuals:** Es fan servir per connectar una àrea al backbone utilitzant una àrea no backbone (de trànsit). Els links virtuals estan configurats entre dos routers delimitadors d'àrea. Els links virtuals també poden fer-se servir si un backbone és particionat en dues parts a causa d'una fallada de link. En aquest cas, els links virtuals serveixen com a túnel a través d'una àrea no backbone.

Finalment, hi ha un punt important per entendre millor les xarxes OSPF, que és que una relació de veí no està basada en routers o xarxes connectades per links físics, sinó que està basada en les adjacències lògiques establertes.

3.1.4 Flooding

El protocol OSPF utilitza la funcionalitat de *flooding* aplicable a la pròpia xarxa per escampar informació d'encaminament com LSA's.

Primer cal destacar que poden estar combinats diversos LSA's dins un paquet d'actualització d'estat de link OSPF. En crear-se aquests paquets d'actualització és necessari aplicar el flooding per poder difondre'ls per la resta de la xarxa, així com pels paquets LSA.

Quan un router envia un LSA per *unicast* a diversos routers veïns adjacents, aquests també envien una còpia del LSA rebut als seus veïns adjacents per unicast, i així successivament fins que tots els membres de la xarxa queden actualitzats.

Sigui quin sigui el tipus de xarxa, el flooding OSPF ha de ser fiable. Des de que el protocol OSPF es va posar directament al capdavant del protocol IP a la pila TCP/IP, l'OSPF necessita proporcionar el seu propi mecanisme fiable, a diferència d'utilitzar un protocol de transport fiable com TCP. L'entrega fiable de les adreces OSPF de paquets fa servir un reconeixement qualsevol implícit o explícit. Un reconeixement implícit significa que es re-envia un duplicat del LSA com a actualització al router del qual s'ha rebut aquesta actualització. En canvi, un reconeixement explícit significa que el router que rep l'actualització envia un paquet LSA en rebre una actualització d'estat de link.

Cal dir que en el cas d'aquest projecte, pel fet d'utilitzar l'extensió OSPF-TE del protocol OSPF, no s'utilitzen paquets LSA, sinó paquets OLSA (*Opaque Link-State Advertisements*), que és una nova classe de paquets LSA per permetre les diferents extensions que ha adoptat el protocol OSPF.

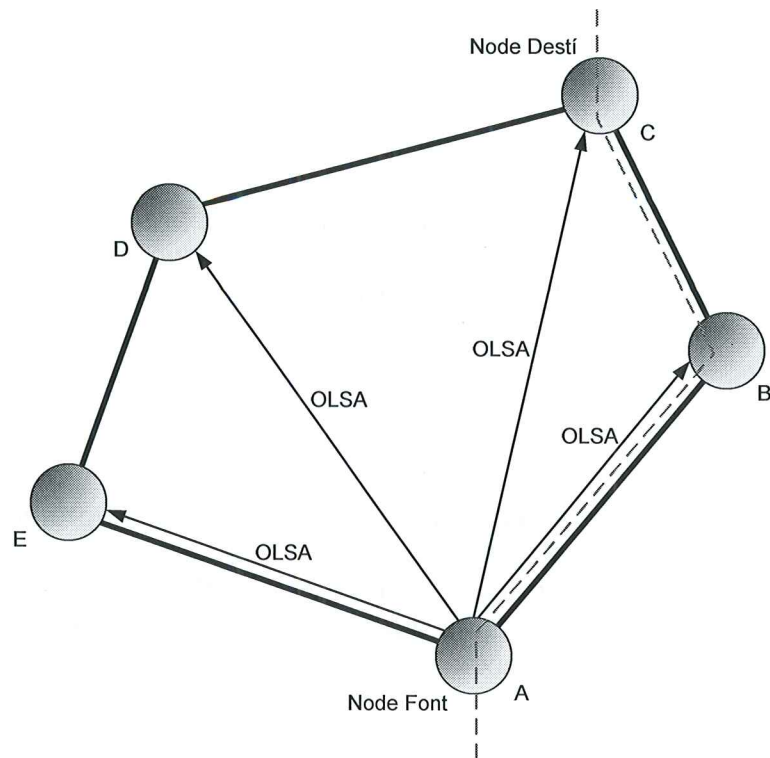


Figura 3.2: Utilització del protocol OSPF-TE per a fer el *flooding* en establir-se una connexió nova.

3.1.5 Tipus de *Link-State Advertisement (LSA)*

Degut a les diferents àrees vistes en la jerarquia de xarxes, i els diferents tipus de xarxa també vistos anteriorment, és lògic pensar que una xarxa OSPF necessitarà disposar de diferents tipus de LSA's. Els cinc tipus de LSA més comunament coneguts són els següents:

- **Router LSA:** És el paquet LSA més bàsic o fonamental, el qual és generat per cada interfície. Aquests LSA's són generats per links punt a punt. Els router LSA's són registrats a la base de dades de l'estat de link i els fa servir el mòdul de computació d'encaminament. El flooding de router LSA's esta restringit a l'àrea de on són originaris.
- **Network LSA:** Són aplicables a les xarxes de multiaccés on són generats per el DR. En un network LSA hi són llistats tots els routers, inclòs el DR. El flooding d'aquest tipus de LSA també esta restringit a l'àrea de on són originaris.
- **Network Summary LSA:** Aquests LSA's són generats per els routers delimitadors d'àrea, i es fan servir per a destinacions fora de l'àrea.
- **AS External LSA:** Són generats per els routers delimitadors de sistema autònom. Es fan servir per a destinacions externes al sistema autònom OSPF.

3.1.6 Subprotocols

Per a les operacions de protocol d'estat de link s'utilitzen mecanismes de subprotocol addicionals a la funcionalitat principal del LSA per a flooding. Els dos subprotocols clau són el *hello protocol* i el *database synchronization protocol*. Per poder utilitzar aquests protocols han set definits varis tipus de paquet tals com el *hello packet*, *database description packet*, *link state request packet*, i el *link state update packet* com a part del protocol OSPF. D'aquests tipus de paquets se'n parlarà més endavant.

HELLO PROTOCOL

Encara que el seu nom dóna la sensació de que el hello protocol sigui només per a la inicialització, actualment és molt més útil que això. Durant la inicialització/activació, el hello protocol es fa servir per al descobriment de veïns així com confirmar molts paràmetres abans que dos routers siguin veïns. Això significa que usant el hello protocol s'estableixen les adjacències lògiques.

Per a xarxes broadcast i xarxes no-broadcast multiaccés, no tots els routers són lògicament adjacents. Aquí, el hello protocol es fa servir per elegir el DR i BDR. Després de la inicialització, a tots els tipus de xarxa, el hello protocol es fa servir per mantenir viva la connectivitat, el qual s'assegura que funciona bé la comunicació bidireccional entre veïns. Això significa que si els missatges de manteniment de connexió d'aquest protocol no es reben durant un interval de temps concret que ha estat acordat durant la inicialització, voldrà dir que el link o la connectivitat entre els routers s'assumeix que no funciona o no està disponible.

DATABASE SYNCHRONIZATION PROCESS

A part de la inicialització bàsica per descobrir veïns, dos routers adjacents necessiten construir les adjacències en sí. Això és molt important quan es recupera un link fallit entre dos routers veïns. Quan dos routers adjacents queden incomunicats degut a una fallada, la base de dades de l'estat de link que es manté entre aquest dos routers durant el temps que dura la fallada comença a quedar des-sincronitzada entre ells, i en ser restaurada necessiten ser sincronitzats altre vegada. Durant aquesta sincronització és quan entra en joc aquest procés, el qual optimitza l'enviament d'informació de nou per no haver d'enviar-la totalment tota quan potser la diferència entre els paquets rebuts d'un router i l'altre és poca. D'aquesta manera, aquest procés per exemple, enlloc d'enviar de nou els paquets sencers, primer envia les capçaleres d'aquests, i seguidament envia la resta de LSA dels paquets que els falten a cada router.

CAPÍTOL 3

OSPF-TE i Routing Controller

En aquest tema es parlarà sobre el protocol utilitzat per al descobriment i disseminació de la topologia de xarxa, i també utilitzat per a comunicar canvis en els recursos de la xarxa en cada node: OSPF (*Open Short Path First*), el qual es farà servir una extensió anomenada OSPF-TE (*OSPF – Traffic Engineering*) per a la seva utilització en l'enginyeria de tràfic que es fa servir a les xarxes òptiques. També es mirarà més a fons el component dels OCC's en el pla de control de l'arquitectura ASON, el mòdul RC (*Routing Controller*), com està implementat i les principals funcions que té. Llavors, es veurà quin paper té el protocol OSPF-TE en el RC, i com aquest l'utilitza per comunicar-se amb la resta de nodes de la xarxa òptica en produir-se una modificació o reserva de recursos.

3.1 Protocol OSPF

3.1.1 Jerarquia de xarxes

El protocol OSPF proporciona la funcionalitat de dividir un *domini* de xarxa (un sistema autònom) en subdominis, comunament coneguts com a *àrees*. Cada domini ha de tenir una àrea central, que és una *àrea backbone*. Aquesta àrea també s'identifica amb el nom de *Àrea 0*.

Generalment les àrees (totes les que no són backbone) són numerades seqüencialment com a *Àrea 1*, *Àrea 2*, etc. El protocol OSPF permet una configuració jeràrquica amb l'àrea backbone com a primer nivell, mentre que les altres àrees, connectades a l'àrea backbone, són àrees de nivells més baix [11] [12].

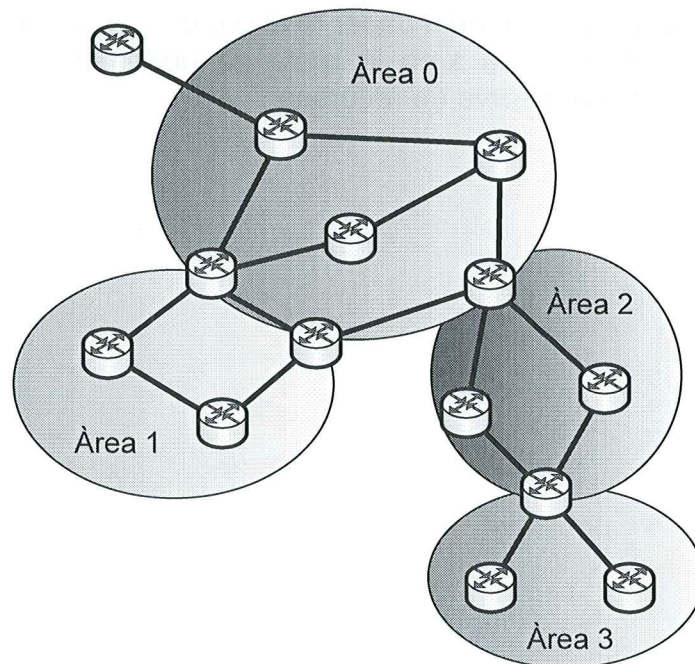


Figura 3.1: Divisió d'un *domini* en àrees.

3.1.2 Classificació de Routers

Amb la funcionalitat proporcionada de dividir una xarxa OSPF en àrees, els routers són classificats en quatre tipus diferents:

- **Routers delimitadors d'àrea:** Són els routers que estan al límit entre el backbone i les àrees de baix nivell. Cada router delimitador d'àrea ha de tenir com a mínim una interfície al backbone.
- **Routers interns:** Són els routers de cada àrea de baix nivell que tenen interfícies només cap a altres routers interns a la mateixa àrea.

- **Routers backbone:** Estan a l'Àrea 0 amb com a mínim una interfície a altres routers del backbone. Els routers delimitadors d'àrea també poden considerar-se routers backbone.
- **Routers limitadors de Sistema Autònom:** Aquests routers estan a l'Àrea 0 amb connexió a altres sistemes autònoms. Poden suportar més d'un protocol d'encaminament. Per exemple, per intercanviar informació amb un altre SA, aquest router és capaç de comunicar-se amb BGP (*Border Gateway Protocol*). Aquests routers també tenen interfícies internes per connectar-se amb altres routers backbone.

3.1.3 Tipus de xarxa

El protocol OSPF està dissenyat per tractar cinc tipus diferents de xarxes:

- **Xarxes punt a punt:** Es refereix a connectar parells de routers directament mitjançant una interfície o link. Un router hauria d'estar connectat amb diversos routers diferents amb diverses interfícies punt a punt. Els links punt a punt s'usen típicament quan un domini OSPF és separat en una regió geogràfica distribuïda.
- **Xarxes Broadcast:** Són xarxes tals com LAN's connectades amb una tecnologia com per exemple Ethernet. Les xarxes broadcast, per naturalesa, són multiaccessibles, on tots els routers d'aquesta xarxa poden rebre un únic paquet transmès. En aquestes xarxes hi ha un router elegit com a *Designated Router (DR)* i un altre com a *Backup Designated Router (BDR)*.
- **Xarxes no-broadcast multiaccés:** Fan servir tecnologies com ATM o *frame relay* on més de dos routers poden estar connectats sense capacitat de broadcast. D'aquesta manera, un paquet OSPF necessita ser transmès explícitament a cada router de la xarxa. Aquestes xarxes necessiten una configuració extra per emular una operació de OSPF a una xarxa broadcast. Tal com passa a les xarxes broadcast, també s'elegeix un DR i un BDR.
- **Xarxes punt a multipunt:** Aquestes xarxes també són xarxes no-broadcast. Malgrat tot, el mode d'operació OSPF és diferent i a la pràctica és similar als links punt a punt.
- **Links virtuals:** Es fan servir per connectar una àrea al backbone utilitzant una àrea no backbone (de trànsit). Els links virtuals estan configurats entre dos routers delimitadors d'àrea. Els links virtuals també poden fer-se servir si un backbone és particionat en dues parts a causa d'una fallada de link. En aquest cas, els links virtuals serveixen com a túnel a través d'una àrea no backbone.

Finalment, hi ha un punt important per entendre millor les xarxes OSPF, que és que una relació de veí no està basada en routers o xarxes connectades per links físics, sinó que està basada en les adjacències lògiques establertes.

3.1.4 Flooding

El protocol OSPF utilitza la funcionalitat de *flooding* aplicable a la pròpia xarxa per escampar informació d'encaminament com LSA's.

Primer cal destacar que poden estar combinats diversos LSA's dins un paquet d'actualització d'estat de link OSPF. En crear-se aquests paquets d'actualització és necessari aplicar el flooding per poder difondre'ls per la resta de la xarxa, així com pels paquets LSA.

Quan un router envia un LSA per *unicast* a diversos routers veïns adjacents, aquests també envien una còpia del LSA rebut als seus veïns adjacents per unicast, i així successivament fins que tots els membres de la xarxa queden actualitzats.

Sigui quin sigui el tipus de xarxa, el flooding OSPF ha de ser fiable. Des de que el protocol OSPF es va posar directament al capdavant del protocol IP a la pila TCP/IP, l'OSPF necessita proporcionar el seu propi mecanisme fiable, a diferència d'utilitzar un protocol de transport fiable com TCP. L'entrega fiable de les adreces OSPF de paquets fa servir un reconeixement qualsevol implícit o explícit. Un reconeixement implícit significa que es re-envia un duplicat del LSA com a actualització al router del qual s'ha rebut aquesta actualització. En canvi, un reconeixement explícit significa que el router que rep l'actualització envia un paquet LSA en rebre una actualització d'estat de link.

Cal dir que en el cas d'aquest projecte, pel fet d'utilitzar l'extensió OSPF-TE del protocol OSPF, no s'utilitzen paquets LSA, sinó paquets OLSA (*Opaque Link-State Advertisements*), que és una nova classe de paquets LSA per permetre les diferents extensions que ha adoptat el protocol OSPF.

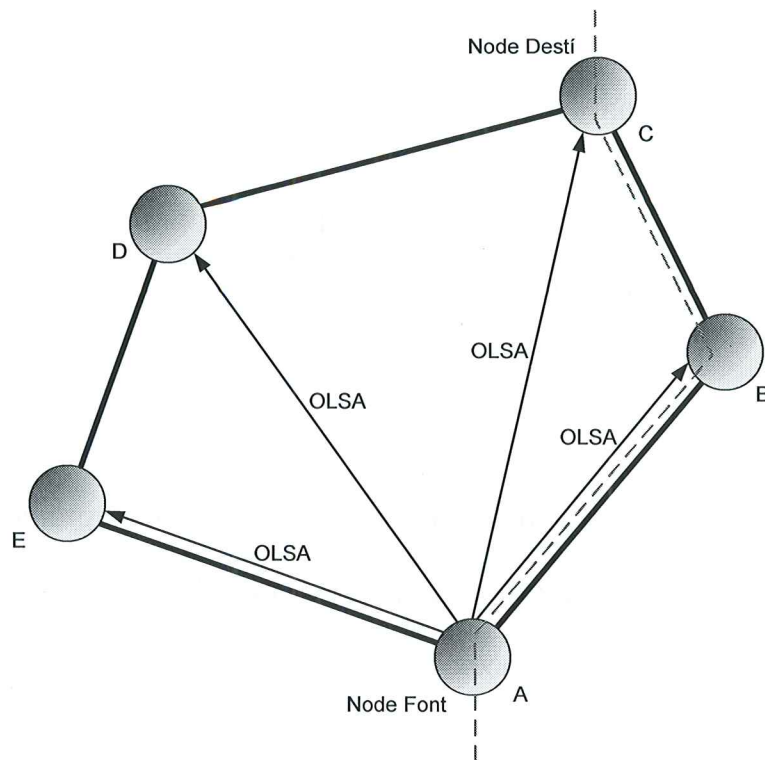


Figura 3.2: Utilització del protocol OSPF-TE per a fer el *flooding* en establir-se una connexió nova.

3.1.5 Tipus de *Link-State Advertisement (LSA)*

Degut a les diferents àrees vistes en la jerarquia de xarxes, i els diferents tipus de xarxa també vistos anteriorment, és lògic pensar que una xarxa OSPF necessitarà disposar de diferents tipus de LSA's. Els cinc tipus de LSA més comunament coneguts són els següents:

- **Router LSA:** És el paquet LSA més bàsic o fonamental, el qual és generat per cada interfície. Aquests LSA's són generats per links punt a punt. Els router LSA's són registrats a la base de dades de l'estat de link i els fa servir el mòdul de computació d'encaminament. El flooding de router LSA's esta restringit a l'àrea de on són originaris.
- **Network LSA:** Són aplicables a les xarxes de multiaccés on són generats per el DR. En un network LSA hi són llistats tots els routers, inclòs el DR. El flooding d'aquest tipus de LSA també esta restringit a l'àrea de on són originaris.
- **Network Summary LSA:** Aquests LSA's són generats per els routers delimitadors d'àrea, i es fan servir per a destinacions fora de l'àrea.
- **AS External LSA:** Són generats per els routers delimitadors de sistema autònom. Es fan servir per a destinacions externes al sistema autònom OSPF.

3.1.6 Subprotocols

Per a les operacions de protocol d'estat de link s'utilitzen mecanismes de subprotocol addicionals a la funcionalitat principal del LSA per a flooding. Els dos subprotocols clau són el *hello protocol* i el *database synchronization protocol*. Per poder utilitzar aquests protocols han set definits varis tipus de paquet tals com el *hello packet*, *database description packet*, *link state request packet*, i el *link state update packet* com a part del protocol OSPF. D'aquests tipus de paquets se'n parlarà més endavant.

HELLO PROTOCOL

Encara que el seu nom dóna la sensació de que el hello protocol sigui només per a la inicialització, actualment és molt més útil que això. Durant la inicialització/activació, el hello protocol es fa servir per al descobriment de veïns així com confirmar molts paràmetres abans que dos routers siguin veïns. Això significa que usant el hello protocol s'estableixen les adjacències lògiques.

Per a xarxes broadcast i xarxes no-broadcast multiaccés, no tots els routers són lògicament adjacents. Aquí, el hello protocol es fa servir per elegir el DR i BDR. Després de la inicialització, a tots els tipus de xarxa, el hello protocol es fa servir per mantenir viva la connectivitat, el qual s'assegura que funciona bé la comunicació bidireccional entre veïns. Això significa que si els missatges de manteniment de connexió d'aquest protocol no es reben durant un interval de temps concret que ha estat acordat durant la inicialització, voldrà dir que el link o la connectivitat entre els routers s'assumeix que no funciona o no està disponible.

DATABASE SYNCHRONIZATION PROCESS

A part de la inicialització bàsica per descobrir veïns, dos routers adjacents necessiten construir les adjacències en sí. Això és molt important quan es recupera un link fallit entre dos routers veïns. Quan dos routers adjacents queden incomunicats degut a una fallada, la base de dades de l'estat de link que es manté entre aquest dos routers durant el temps que dura la fallada comença a quedar des-sincronitzada entre ells, i en ser restaurada necessiten ser sincronitzats altre vegada. Durant aquesta sincronització és quan entra en joc aquest procés, el qual optimitza l'enviament d'informació de nou per no haver d'enviar-la totalment tota quan potser la diferència entre els paquets rebuts d'un router i l'altre és poca. D'aquesta manera, aquest procés per exemple, enlloc d'enviar de nou els paquets sencers, primer envia les capçaleres d'aquests, i seguidament envia la resta de LSA dels paquets que els falten a cada router.

3.1.7 Format de paquets OSPF

COMMON HEADER

El *common header*, tal com el seu nom indica, conté la informació de capçalera del paquet. Conté els següents camps:

- *Version*: Aquest camp representa el numero de versio OSPF. La versió actual és la 2.
- *Type*: Especifica el tipus de paquet. OSPF té cinc tipus de paquets: hello (1), database description (2), link state request (3), link state update (4) i LSA (5).
- *Packet Length*: Indica el tamany del paquet OSPF.
- *Router ID*: Aquest camp indica la ID del router originari del paquet.
- *Area ID*: És la ID de l'àrea on ha estat originat el paquet OSPF. El valor 0.0.0.0 esta reservat per la àrea backbone.
- *Checksum*: És la suma de comprovació IP del paquet OSPF sencer.
- *Authentication Type i Authentication*: El camp Authentication Type indica el tipus d'autenticació, i va relacionat amb els camps Authentication.

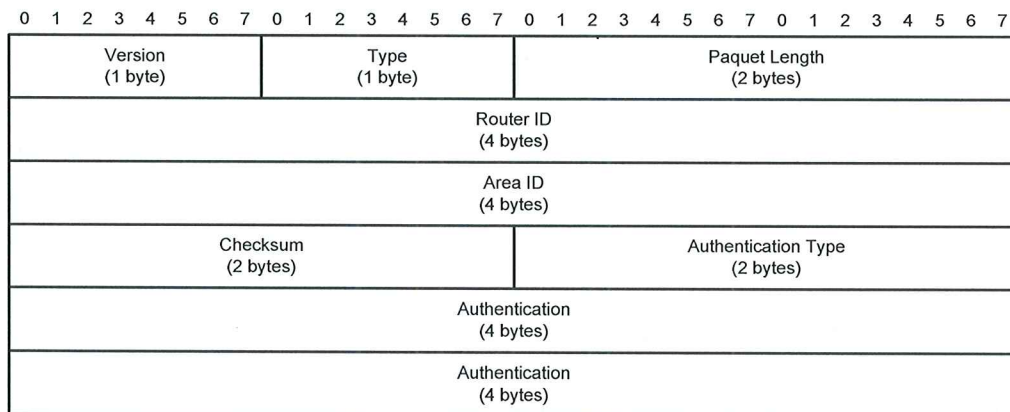


Figura 3.3: Paquet *Common Header* OSPF.

HELLO PACKET

El principal propòsit del paquet *hello* és establir i mantenir les adjacències. Això significa que manté un link amb un veí que estigui operatiu. El paquet hello també es fa servir al procés d'elecció del DR i BDR a les xarxes broadcast, i per negociar capacitats opcionals de connexió.

- *Network Mask*: Aquest camp és la màscara d'adreça de la interfície del router d'on s'ha enviat el paquet.
- *Hello interval*: Aquest camp designa la diferència de temps en segons entre qualssevol dos paquets hello. Els routers que envien i reben necessiten mantenir el mateix valor, perquè sinó no s'establiria la relació de veí entre aquest dos routers.
- *Options*: Permet comprovar la compatibilitat amb un node veí.
- *Priority*: Es fa servir quan s'elegeix el DR i BDR.

- *Router Dead Interval*: És l'interval de temps en què un router podrà declarar un veí com a *mort* si no rep un paquet hello. Aquest interval necessita ser més gran que l'interval de hello.
- *Designated Router (DR) (Backup Designated Router (BDR))*: Aquest camp llista l'adreça IP de la interfície del DR (BDR) a la xarxa, però no el seu router ID.
- *Neighbor*: Aquest camp esta repetit per cada router del qual el router original ha rebut un paquet hello vàlid recentment.

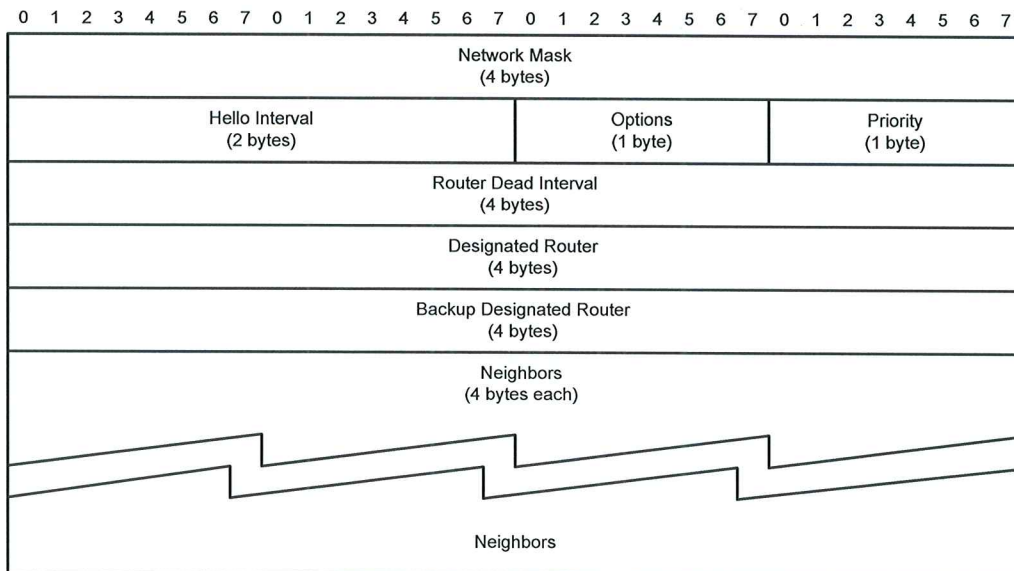


Figura 3.4: Paquet *hello* OSPF.

DATABASE DESCRIPTION PACKET

Aquest paquet conté els següents camps:

- *Interface Maximum Transmission Unit (MTU)*: Indica el tamany de la unitat de transmissió més gran que la interfície pot suportar sense fragmentació.
- *Options*: Aquest camp consisteix en diversos camps de nivell de bit.
- *I / M / MS bits*: El bit *I* (*initial-bit*) s'inicialitza a 1 per al paquet inicial que comença una sessió de descripció de la base de dades; per als altres paquets de la mateixa sessió aquest camp val 0. El bit *M* (*more-bit*) es fa servir per indicar que el paquet no és l'últim paquet per a la sessió de descripció de la base de dades posant-lo a 1; l'últim paquet de la sessió es posa a 0. Finalment, el bit *MS* (*master-slave-bit*) es fa servir per indicar que l'originari del paquet és el *master* posant el camp a 1, i que és el *slave* posant el camp a 0.
- *DD Sequence number*: Aquest camp es fa servir per incrementar els números de seqüència dels paquets que venen del cantó del master durant una sessió de descripció de la base de dades. El master posa el valor inicial del número de seqüència.
- *LSA Header*: Aquest camp llista les capçaleres dels LSA's a la base de dades original de l'estat de link.

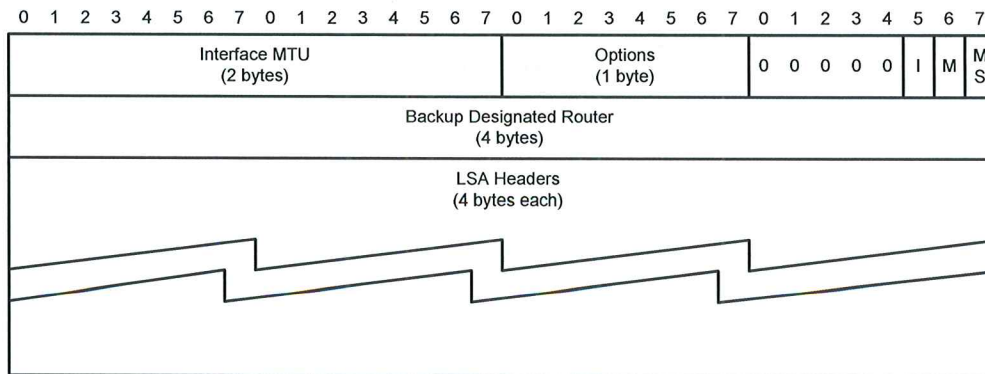


Figura 3.5: Paquet *database description* OSPF.

LINK STATE REQUEST PACKET

Aquest paquet es fa servir per a demanar informació. Per exemple, tenint una descripció de base de dades rebuda d'un veí, un router voldria saber la informació d'estat de link d'ell a aquest veí. El paquet de petició d'estat de link té els següents camps, els quals es repeteixen per cada entrada única:

- *Link State Type*: Aquest camp identifica el tipus d'estat de link, tals com un router o una xarxa.
- *Link State ID*: Aquest camp el dicta el *link state type*.
- *Advertising Router*: És l'adreça del router que ha generat aquest LSA.

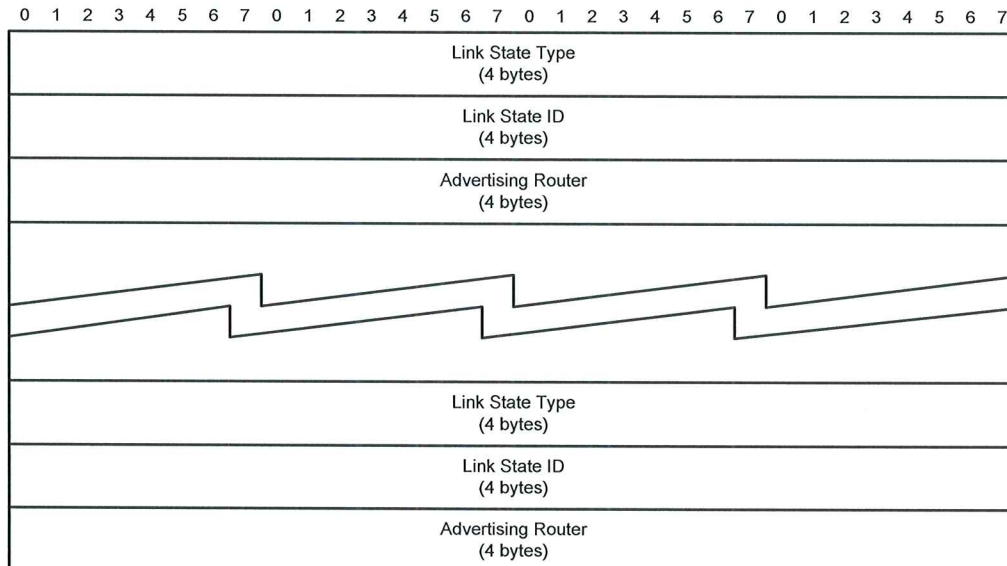


Figura 3.6: Paquet *link state request* OSPF.

LINK STATE UPDATE PACKET

Aquest paquet a el primer camp hi conté el número de LSA's que transporta, i seguidament porta els propis paquets de format LSA.

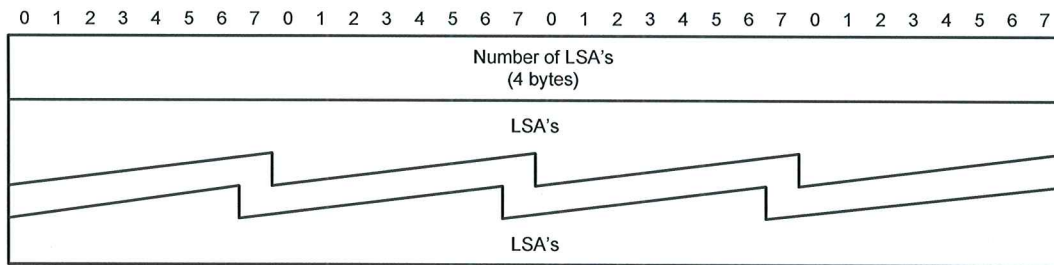


Figura 3.7: Paquet *link state update* OSPF.

LINK STATE ACKNOWLEDGMENT PACKET

El paquet LSA es fa servir per reconèixer cada advertiment d'estat de link rebut d'un router veí. Això inclou les capçaleres LSA que segueixen la capçalera del paquet OSPF on el tipus de camp es posa a 5.

3.2 Tràffic Engineering (OSPF-TE)

L'enginyeria de tràfic (*Tràffic Engineering*) tracta sobre l'optimització del funcionament de les xarxes operacionals. En general, engloba l'ús de l'aplicació de tecnologia i principis científics a la mesura, modelat, caracterització i control del tràfic d'Internet, i l'aplicació d'aquest coneixement i tècniques per arribar a objectius de funcionament específics [13]. Els aspectes de l'enginyeria de tràfic que són d'interès al tractar amb GMPLS són mesurament i control.

Un objectiu important de l'enginyeria de tràfic d'Internet és facilitar les operacions eficients i fiables de les xarxes i alhora optimitzar la utilització dels recursos i el funcionament del tràfic de la xarxa. L'enginyeria de tràfic s'ha convertit en una funció indispensable en molts grans sistemes autònoms degut al gran cost dels actius de la xarxa i de la naturalesa comercial i competitiva d'Internet. Aquests factors emfatitzen la necessitat d'una màxima eficiència operacional.

3.2.1 Objectius de funcionament de l'Enginyeria de Tràfic

La clau dels objectius de funcionament associats amb l'enginyeria de tràfic poden classificar-se de la següent manera:

- 1.- Tràfic orientat
- 2.- Recurs orientat

Els objectius de funcionament del tràfic orientat inclouen els aspectes que realcen la qualitat de servei (QoS) dels fluxos de tràfic. La clau dels objectius de funcionament del tràfic orientat inclou: minimització de pèrdua de paquets, minimització de retard, maximització de la taxa de transferència, i enfortiment dels acords de nivell de servei. La minimització de la pèrdua de paquets és un dels objectius més importants del tràfic orientat.

Els objectius de funcionament del recurs orientat inclouen els aspectes pertanyents a la optimització de la utilització dels recursos. L'administració eficient dels recursos de la xarxa és el medi per a l'assoliment dels objectius de funcionament del recurs orientat. En particular, generalment és desitjable que els subconjunts de recursos de la xarxa no siguin sobreutilitzats i congestionats mentre altres subconjunts al llarg d'altres trajectòries factibles de la ruta no s'utilitzin. L'ample de banda és un recurs crucial en les xarxes actuals. Per tant, una funció central de l'enginyeria de tràfic és administrar eficientment els recursos d'ample de banda.

La mínima congestió és el principal objectiu de funcionament del recurs i tràfic orientat. L'interès està en els problemes de congestió que són prolongats en les congestions transitòries resultat de grans fluxos de tràfic instantanis. Típicament la congestió es manifesta sota dos escenaris:

- 1.- Quan els recursos de la xarxa són insuficients o inadequats per a suportar la càrrega oferta.

2.- Quan els fluxos de tràfic són encaminats ineficientment a recursos disponibles. Això causa subconjunts als recursos de la xarxa per començar a ser sobreutilitzats mentre que altres es queden sense utilitzar.

El primer tipus de problema de congestió pot ser tractat per l'expansió de la capacitat, l'aplicació de tècniques de control de congestió clàssiques, o per les dues coses. Les tècniques de control de congestió clàssiques tempten a regular la demanda de manera que el tràfic s'ajusta als recursos disponibles. Aquestes tècniques inclouen: limitació de tarifa, control de flux, administració de cua dels routers, control basat en horari, etc.

El segon tipus de problemes de congestió és resultat de la ineficaç assignació de recursos, i generalment poden ser tractats a través de l'enginyeria de tràfic. En general, la congestió resultant de la ineficaç assignació de recursos pot ser reduïda adoptant polítiques de balanceig de càrrega. L'objectiu d'aquestes estratègies és minimitzar la màxima congestió o alternativament minimitzar la utilització màxima de recursos, a través d'una eficient assignació de recursos. Quan la congestió és minimitzada a través d'una eficient assignació de recursos, disminueix la pèrdua de paquets i els retards del trànsit, i el rendiment de la taxa de transferència s'incrementa. D'aquesta manera, la percepció de la qualitat de servei dels usuaris finals comença a pujar significativament.

Clarament, el balanceig de càrrega és una política d'optimització del funcionament de la xarxa important. Malgrat tot, les capacitats proporcionades per l'enginyeria de tràfic haurien de ser bastant flexibles de manera que els administradors de xarxa puguin implementar altres polítiques amb les quals prevalgui el cost de l'estructura i la utilitat del model.

3.2.2 Control de tràfic i recursos

L'optimització del funcionament de les xarxes operatives és fonamentalment un problema de control. En el model de procés de l'enginyeria de tràfic, l'enginyer de tràfic, o un autòmat convenient, actua com a controlador en un sistema de control autoalimentat i adaptable. Aquest sistema inclou un conjunt d'elements de xarxa interconnectats, un sistema de monitorització del funcionament de la xarxa, i un conjunt d'eines d'administració de configuració de la xarxa. L'enginyer de tràfic aplica una política de control, observa l'estat de la xarxa a través del sistema de monitorització, caracteritza el tràfic, i aplica accions de control per conduir la xarxa a un estat desitjat, d'acord amb la política de control. Això pot ser realitzat activament aplicant l'acció en resposta a l'estat actual de la xarxa, o pro-activament fent servir tècniques de pronòstic per anticipar-se a les tendències futures i aplicant les accions pertinents per evitar els estats no desitjats previstos.

Idealment, les accions de control haurien d'implicar:

- Modificació dels paràmetres d'administració del tràfic.
- Modificació dels paràmetres associats amb l'encaminament.
- Modificació dels atributs i constants associats amb els recursos.

El nivell d'intervenció manual implicada en el procés de l'enginyeria de tràfic hauria de ser minimitzat si és possible. Això pot fer-se automatitzant aspectes de les accions de control descrites abans.

3.3 Routing Controller

Tal com s'ha dit anteriorment, el present PFC es centra en la implementació dels algorismes d'encaminament disjunt del *Routing Controller* (RC) per al càlcul de camins mínims i disjunts entre els nodes.

3.3.1 Arquitectura

Aquest mòdul, en rebre una petició de connexió entre dos nodes, calcula el parell de camins disjunts. Un cop creat el parell de rutes disjunts, el RC del node que les ha calculat comença un procés de *flooding* per a comunicar a la resta de nodes de la xarxa de la creació d'aquestes rutes. En altres paraules, els hi comunica que ja no tenen disponibles els recursos utilitzats per a les rutes calculades.

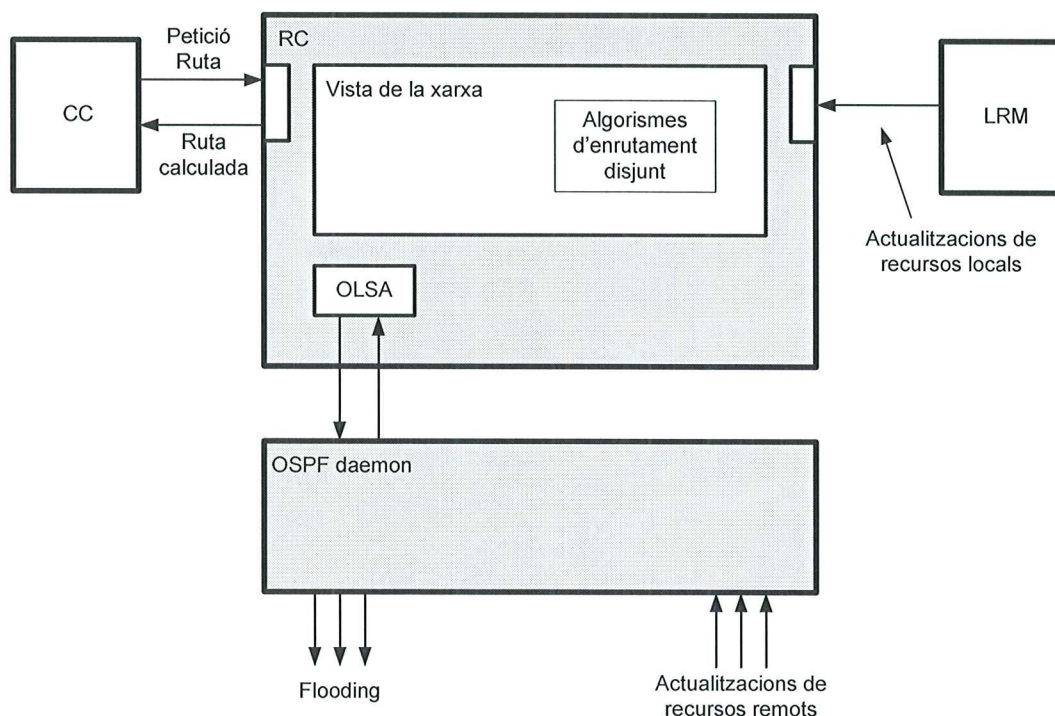


Figura 3.8: Esquema del mòdul Routing Controller (RC).

A la vegada que el RC calcula rutes, també rep informació de les modificacions dels altres nodes dels recursos de la xarxa, que igualment ha d'actualitzar al seu *mapa* de la xarxa.

Aquesta comunicació entre tots els nodes de la xarxa es realitza mitjançant missatges de tipus OLSA (*Opaque Link State Advertisement*). Per tant, el mòdul RC implementa un *sub-mòdul* que s'encarrega de transformar a OLSA's la informació de modificació de recursos a enviar, i desempaquetar els rebuts remotament per la resta de nodes de la xarxa. Aquest *sub-mòdul* en transformar la informació a OLSA's, les passa al *daemon* OSPF, el qual s'encarregarà de fer el *flooding* per tota la xarxa. Per la informació remota passa al contrari, el *daemon* OSPF la rep i passa les OLSA's al sub-mòdul del qual s'ha parlat abans que les desempaqueta.

3.3.2 Vista de la xarxa

El RC de cada node conté una vista actualitzada de la totalitat de la xarxa, i d'aquesta manera, en rebre una petició de connexió podrà decidir realment quins recursos utilitzar per tornar la ruta menys costosa sabent els recursos dels quals disposa. Aquesta vista de la xarxa esta dividida en tantes vistes com longituds d'ona tenen les fibres òptiques que arriben al node, i una altra vista (Vista 0) que conté totes les connexions encara que els recursos estiguin ocupats.

Aquestes vistes es creen en el moment de carregar la configuració de la xarxa, on es van inserint arestes (links) al RC, el qual les va llegint, creant els dos nodes extrems en cas de no tenir-los, creant les vistes dels nodes extrems segons les longituds d'ona que tingui l'aresta inserida, i fent un seguit d'altres operacions per a lligar els nous elements dins la xarxa actual. Si per exemple un node té una aresta adjacent que conté 20 longituds d'ona, i s'insereix una nova aresta adjacent que conté 40 longituds d'ona, el node haurà d'augmentar el seu nombre de vistes fins a 40, ja que en un principi en tenia 20, però ara se li ha inserit una nova aresta de 40 longituds d'ona.

A la *Figura 9* es pot observar el nombre de vistes que hi hauria en un exemple on apareixen tres nodes amb fibres òptiques connectades de diferent nombre de longituds d'ona:

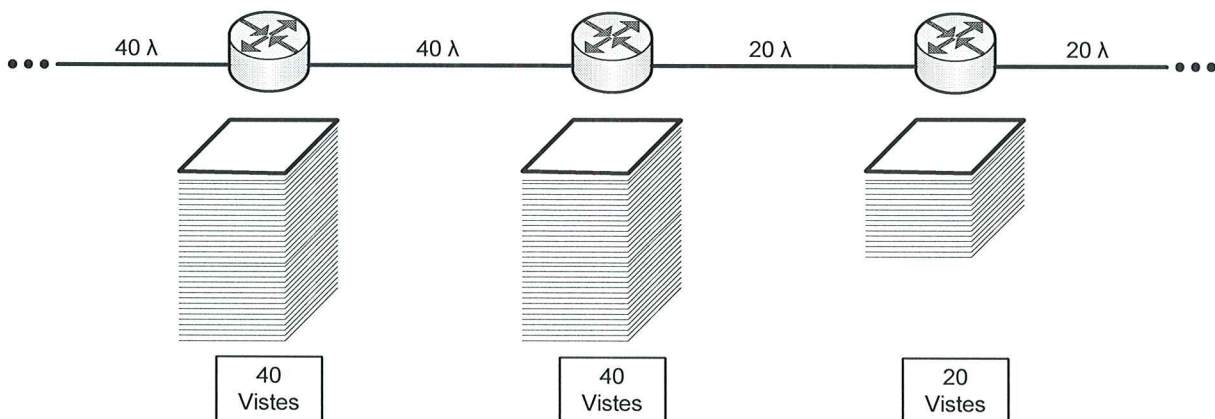


Figura 3.9: Nombre de vistes de la xarxa del RC de cada node.

Cal insistir en que cada vista únicament contindrà un mapa de la xarxa per a la seva longitud d'ona representativa, mostrant solament les connexions amb recursos disponibles entre nodes per a aquesta longitud d'ona. D'aquesta manera s'aconsegueix gestionar de manera clara tots els recursos de la xarxa disponibles per a cada longitud d'ona.

Finalment, cal recordar que l'esquema de xarxa que tindran els RC no té perquè ser l'esquema físic d'aquesta, sinó que serà l'esquema de connexions entre nodes a nivell lògic en el pla de control. Per tant, la topologia del nivell de transport pot ser diferent de la topologia del nivell de control, i connexions directes en aquest últim en realitat pot ser una connexió que recorri més d'un node físicament.

3.3.3 Establiment d'una connexió

En rebre una petició de connexió, el RC amb l'ajuda dels algorismes d'encaminament calcularà la ruta en la seva Vista 0, representatiu del Nivell 0 de la xarxa, que per tant serà la més curta possible, ja que recordem que aquesta vista conté totes les connexions possibles de la xarxa. Com que la ruta demanada s'ha d'establir per a una longitud d'ona concreta, el RC anirà cercant per a totes les vistes de cada longitud d'ona, la que tingui disponibles els seus recursos per a assolir la ruta calculada prèviament, i en cas contrari, la vista que contingui la ruta auxiliar més curta possible. Un cop escollida la vista, es construirà la connexió demanada (seguint els passos adequats) i finalment es reservaran els recursos utilitzats, eliminant-los de la vista utilitzada, ja que en ser reservats no estaran disponibles per a futures connexions. De la mateixa manera, en ser destruïda una connexió, s'afegiran els recursos pertinents a la vista de la longitud d'ona que utilitzava.

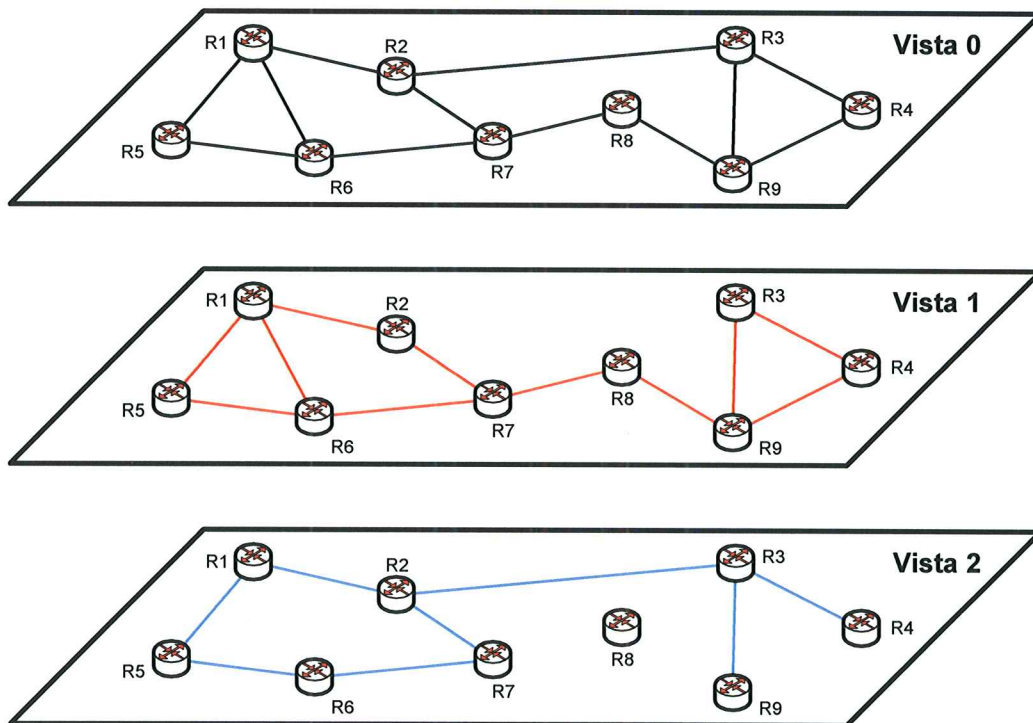


Figura 3.10: Vistes amb recursos disponibles d'una longitud d'ona concreta.

A la Figura 10 es pot veure un exemple simbòlic per a una xarxa amb links de dues longituds d'ona. Tal com hem dit, la Vista 0 conté totes les connexions existents entre els nodes, tant si els recursos estan disponibles o reservats. A la Vista 1 i Vista 2 hi ha representat les diferents connexions disponibles per a les longituds d'ona 1 i 2 respectivament, on hi apareixen solament els recursos disponibles d'aquestes. En aquest cas, si es rebés una petició de connexió, per exemple del node R5 al node R4, es calcularia la ruta mínima (se suposa que el cost de totes les arestes és 1) en la Vista 0 i donaria que és la ruta R5-R1-R2-R3-R4. A continuació s'haurà de buscar una Vista de la xarxa que tingui els recursos necessaris disponibles per establir la connexió. Tal com es pot veure, en la Vista 1 el RC veurà que la ruta mínima que es pot establir és més costosa que la ruta mínima calculada en la Vista 0, i per tant continuarà explorant. En explorar la Vista 2 veu que

sí que hi ha recursos disponibles en aquesta longitud d'ona per establir la ruta, i per tant l'estableix en aquesta longitud d'ona i reserva els recursos (eliminant les connexions de la Vista utilitzada).

Un cop establerta la connexió demanada i reservats els recursos pertinents, mitjançant el flooding de OSPF-TE (comentat anteriorment) es comunicarà a la resta de nodes de la xarxa d'aquesta nova connexió. Aquesta resta de nodes, en rebre els missatges d'actualització, també eliminaran de la seva vista respectiva de la longitud d'ona utilitzada, els recursos utilitzats. D'aquesta manera s'aconseguirà que tots els nodes de la xarxa tinguin les mateixes vistes actualitzades, i així en calcular una ruta sobre elles no es trobi que els recursos no estan disponibles a l'hora de reservar-los.

