

20829691:TFG_SalvadorOrdazGrande_openoffice_V5_FINAL.pdf

por Salvador Ordaz Grande

Fecha de entrega: 29-nov-2019 01:00p.m. (UTC+0100)

Identificador de la entrega: 1223575521

Nombre del archivo: f01-6db4479fe3e4_TFG_SalvadorOrdazGrande_openoffice_V5_FINAL.pdf (27.68M)

Total de palabras: 11504

Total de caracteres: 65948



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
GEODÈSICA, CARTOGRÀFICA I TOPOGRÀFICA

Desenvolupament d'un visor cartogràfic de la Ruta dels Monestirs (GR-236) amb programari lliure

TREBALL FINAL DE GRAU

AUTOR: Salvador Ordaz Grande

TUTOR: Àngel Marqués Mateu

València, Novembre de 2019



Resum

Tenir la possibilitat d'ajuntar dues passions com son la cartografia i gaudir dels espais naturals per a fer el TFG, per a mi, no és un treball, més bé una oportunitat. I fer-ho utilitzant programari lliure, a més, és una mentalitat de futur. En altres paraules, estic convençut que l'ús de recursos amb codi obert i possibilitar el seu compartiment és el camí per a créixer individualment i com a comunitat.

L'objectiu principal del treball és fer una eina que done l'oportunitat a l'usuari d'assabentar-se de l'amplitud i importància de la geomàtica, i, d'altra banda compartir-ho amb la comunitat.

Em propose d'exposar el desenvolupament d'un visor cartogràfic a una plataforma web. Aquest serà llençat amb la llibreria Openlayers dins d'un *framework* de desenvolupament web, *Django*, que ajuntarà la part visible de la web (client) amb la base de dades *PostGIS* (servidor). La cartografia prové de la comunitat *OpenStreetMap* i serà densificada amb els elements considerats de l'Institut Cartogràfic Valencià.

El visor està centrat al GR-236 "La ruta dels monestirs" que compren senders entre les ciutats de Gandia i d'Alzira, creuant les localitats d'Alfuir, Llutxent, Simat de la Valldigna i Carcaixent entre d'altres.

Paraules claus: visor cartogràfic, Openlayers, senderisme, Django, OpenStreetMap

2

Compromís

El present document ha sigut realitzat completament pel signant; no ha sigut entregat com un altre treball acadèmic previ i tot el material pres d'altres fonts ha sigut convenientment ficat entre cometes i citat el seu origen en el text, així com referenciat en la bibliografia.



Salvador Ordaz Grande

Índex de figures

Figura 1: Panell de control de XAMPP.....	19
Figura 2. Detall de la descarrega amb JOSM.....	22
Figura 3. Cartografia original descarregada de JOSM.....	22
Figura 4. Esquema del model de dades de OSM.....	23
Figura 5. Connexió a la base de dades amb QGIS.....	24
Figura 6. Detall de la cartografia de OSM amb QGIS.....	24
Figura 7. Detall xarxa vial ICV i OSM.....	25
Figura 8. Detall sender de muntanya.....	25
Figura 9. Detall diferències a les zones urbanes.....	26
Figura 10: Enllaç entre AP-7 i al N-332.....	27
Figura 11: Mostra de la taula d'atributs del ICV.....	27
Figura 12: Detall de la unió de ambdues taules.....	28
Figura 13: Elements amb pont no seleccionat al ICV.....	29
Figura 14: Mostra de la taula d'atributs de OSM.....	29
Figura 15: Detall funció st_simplifypreservetopology. Martínez J.C. (2013). PostGIS 2, Análisis espacial avanzado.....	31
Figura 16: Funcionament del servei WMS. Junta de Andalucía, ¿Qué es un servicio WMS? (2017).....	32
Figura 17: Concepte del conjunt de tesseles WMTS. Guía de usuario de QGIS. QGIS como cliente de datos OGC 29.....	33
Figura 18: Capes del projecte TileMill i configuració capa #roads_low.....	33
Figura 19: Configuració capa #roads_med.....	34
Figura 20: Configuració capa #roads_high.....	34

Figura 21: Elements resultants de la selecció de la capa #roads_high.....	35
Figura 22: Detall edificis zoom 14.....	37
Figura 23: Detall edificis zoom 16.....	38
Figura 24: Detall edificis zoom 18.....	38
Figura 25: Detall xarxa de comunicacions zoom 12.....	41
Figura 26: Detall xarxa de comunicacions zoom 14.....	41
Figura 27: Detall xarxa de comunicacions zoom 16.....	42
Figura 28: Configuració del projecte de tesseles.....	44
Figura 29: Topologia de nodes creada.....	46
Figura 30: Ruta calculada amb l'algorisme A-Star.....	47
Figura 31: Funció creada amb PgAdmin3.....	48
Figura 32: Resultat de ruta òptima amb la funció pgr_RutaOptima.....	49
Figura 33: Quadre de diàleg interpolació TIN.....	50
Figura 34: MDT creat mitjançant interpolació TIN de la zona de treball.....	50
Figura 35: Model 3D del MDT amb la capa de vials pujada a cota.....	51
Figura 36: Desnivells i distàncies emprades per al càlcul del cost en temps d'atravessar cada tram.....	52
Figura 37: Desnivell erroni.....	52
Figura 38: Comparació de rutes. En groc aplicant el cost per Tobler i en magenta amb el cost per defecte.....	54
Figura 39: Visor cartogràfic.....	56
Figura 40: Controls de zoom i escala gràfica.....	57
Figura 41: Gestor de capes.....	57

Figura 42: Capa de tesselles personalitzades, ortofoto del PNOA i composició d'ambdues.....	58
Figura 43: Botons de càlcul de ruta i esborrat de variables.....	60

Índex de taules

Taula 1: Tipus i característiques del senders homologats.....	16
Taula 2: Relació carreteres OSM-ICV.....	27
Taula 3: Codí cartoCSS estil xarxa de comunicació.....	40

Índex de continguts

1. Introducció.....	1
2. Objectius.....	2
3. Metodologia.....	3
4. Marc teòric.....	4
4.1. La Ruta dels Monestirs.....	4
4.1.1. L'itinerari.....	4
4.1.2. El senderisme.....	5
4.2. OpenStreetMap.....	6
4.3. Bases de dades espacials. PostGIS.....	6
4.3.1. PgRouting.....	7
4.4. Model anisotròpic. Funció de Tobler.....	8
4.5. Visors cartogràfics web. Openlayers.....	8
4.6. Interacció client-servidor. Framework XAMPP.....	9
5. Desenvolupament.....	11
5.1. Preparació de la cartografia.....	11
5.1.1. Creació de la base de dades.....	12
5.1.2. Densificació de la xarxa de comunicació.....	14
5.1.3. Tessel·les personalitzades.....	22
5.2. Cartografia rutejable.....	35
5.2.1. Calcular la topologia de la xarxa.....	35
5.2.2. Funció PostGIS pgr_RutaOptima.....	37
5.2.3. Obtenció de coordenada Z.....	39
5.2.4. Adaptació al model anisotròpic.....	41
5.3. Espai client-servidor.....	44
5.3.1. Accés a PostGIS des del servidor.....	44

5.3.2.Programació del visor Openlayers.....	46
6.Conclusions.....	51
7. Línies futures de desenvolupament.....	52
8.Pressupost de l'aplicació.....	53
9.Bibliografia.....	54

1. Introducció

En aquest document es presenta el Treball Final de Grau en Enginyeria Geomàtica i Topografia. Amb el present, pretenc juntar dues de les meues passions, la cartografia i l'estima a la natura. A més a més, i seguint al paradigma de l'*Open Source*, aquest projecte treballa amb programari i fonts d'informació lliure.

La Ruta dels Monestirs GR-236 recorre els paisatges de la Safor, la Vall d'Albaida i la Ribera Alta, per els quals un sender transcorre pels monestirs del Corpus Christi a Llutxent, el de Sant Jeroni de Cotalba a Alfauir, el de Santa Maria de la Valldigna a Simat, el de Santa Maria de la Murta a Alzira i el convent de Santa Maria d'Aigües vives a la Barraca d'Aigües Vives.

La creixent demanda d'activitats de muntanya, on es pot exercir activitat física envoltat de natura, és un fet latent a la societat actual, nexa d'unió entre l'esport i el turisme. Es per això que apropar a l'usuari un entorn on es mostre una activitat oci-esportiva és un fet possible mitjançant les noves tecnologies. Ara per ara, la possibilitat d'accedir a la xarxa d'Internet quasi en qualsevol lloc i moment, ens permet l'ús de diferents solucions per a llençar informació a l'usuari. Aquest conjunt em dona l'idea de desenvolupar un visor cartogràfic que facilite informació cartogràfica, mapes i ortofotografies, junt al sender de la Ruta dels Monestirs i, a més, informació d'ajuda al senderista.

L'entorn de treball ha sigut el sistema operatiu Ubuntu, i en conseqüència el software i les llibreries usades són aptes i compatibles per aquesta plataforma. Des de la vessant cartogràfica, s'ha optat per crear una cartografia prenent com a referència la informació de OpenStreetMap i, per abastir l'exigència de l'usuari, s'ha ampliat la xarxa de comunicacions amb la xarxa de transports de l'Institut Cartogràfic de València.

Tenim a l'abast una comunitat d'usuaris treballant darrere de programari i llibreries amb immens potencial, així doncs, fer-ne ús i mostrar-ho és l'objectiu d'aquest projecte.

2. Objectius

En aquest document es pretén demostrar la integració dels coneixements adquirits durant el període formatiu a un entorn professional real. Per aquest fet, he escollit una activitat oci-esportiva on l'usuari pugui fer servir d'eines cartogràfiques.

L'objectiu principal d'aquest TFG és desenvolupar un visor cartogràfic a una plataforma web, amb el contingut de la Ruta dels Monestirs.

De manera paral·lela, el projecte compta amb una sèrie d'objectius específics com els següents:

- Crear cartografia que complisca les característiques escaients que demanda l'activitat. En aquest cas, s'haurà d'ampliar la xarxa de comunicacions per a donar continuïtat i accessibilitat a la ruta.
- Carregar la cartografia a una base de dades
- Crear topologia a la xarxa de comunicacions per a fer-la "rutejable".
- Emprar dades, llibreries i programari lliures

3. Metodologia

La metodologia duta a terme per a realitzar i desenvolupar el present TFG ha posat el focus a la revisió i consulta de referències bibliogràfiques i espais de contingut obert: webs, repositoris i espais de consulta.

A més a més, he assistit a ponències teòric-pràctiques on s'ha recollit informació rellevant, en les quals he pogut compartir diferents visions i descobrir noves eines que em permeten oferir un producte diferenciat.

En relació a la cartografia s'ha fet una comparativa de les possibilitats de caràcter públic i gratuït. En concret, la revisió de les xarxes de comunicació ha sigut un punt clau, l'idea central és obtenir major densitat a la xarxa de camins resultant per a donar el millor servei al producte final.

Pel que fa a les llibreries per a tractar la informació cartogràfica, visors cartogràfics i l'estructura client-servidor he consultat tant referències bibliogràfiques com repositoris de comunitats participatives.

Pel que fa a la documentació extreta sobre la Ruta dels Monestirs, he revisat fonts oficials públiques com també he revisat bibliografia publicada per aquestes entitats.

4. Marc teòric

4.1. La Ruta dels Monestirs

Tenim al davant una ruta de pas dels nostres avantpassats, la qual presentava la possibilitat d'oferir una llar y almoina als més necessitats durant l'Edat Mitjana. Ara per ara, i amb la recuperació de l'antic Pas del Pobre, se'ns oferta l'oportunitat d'admirar els paisatges amb els ulls d'aquells que un dia els hi van trepitjar.

Durant el treball previ a la homologació amb el nom La Ruta del Monestirs – Pas del Pobre GR-236, es trobaren diferents dificultats per a seguir el camí original que havia desaparegut en molts trams. El treball d'investigació dels tècnics va treure a la llum camins reials del segle XVI, així com antics traçats ferroviaris, vies pecuàries, antics camins usats per al comerç de la neu i sendes oblidades per pastors i arriers.

Amb la recuperació de tot el camí, van descobrir ponts, assuts, aqüeductes, pous de neu, canals, forns de calç, etc., elements que aïlladament tenien sols valor local, però, com a conjunt donaven sentit a les relacions existents entre l'home i el seu entorn al llarg dels segles.

La ruta comunica tres comarques valencianes, la Safor, la Vall d'Albaida i la Ribera Alta, amb nombroses zones muntanyenques i marítimes, a més de creuar set valls. Amb eixida a Gandia i arribada a Alzira, podrem visitar de camí el Monestir de Sant Jeroni de Cotalba, el Convent del Corpus Christi, el Monestir de Sta. Maria de la Valldigna, el Convent d'Aigües Vives i el Monestir de la Murta.

4.1.1. L'itinerari

- Etapa 1. Gandia (RENFE) – Almiserà (20,3 km – 5h)

Recorregut per l'horta de Gandia, zona limitada entre la Falconera, el Mondúber i la Mediterrània, espai conegut com la Conca de la Safor on travessa el riu Serpis i el seu afluent el Vernissa. Durant diferents trams s'utilitza l'antic traçat ferroviari Alcoi-Gandia. En aquesta etapa es pot visitar el Monestir de Sant Jeroni de Cobalta.

- Etapa 2. Almiserà – Pinet (19 km 6h 45')

Deixem darrere la Conca de la Safor per endinsar-nos en un terreny més muntanyós, direcció a Llutxent on es troba el Convent del Corpus Christi.

- **1** Etapa 3. Pinet – La Barraca d’Aigües Vives (23 km – 6h 45’)

Després de travessar la serra del Buixcarró entrem a la Valldigna, on recorre el riu Vaca i trobem **9** el monestir de Santa Maria de la Valldigna. L’antic traçat ferroviari Carcaixent – Denia ens porta a la vall d’Aigües vives on trobarem **1** el convent de Santa Maria d’Aigües Vives.

- Etapa 4. La Barraca d’Aigües Vives - Alzira (RENFE) (16 km – 5h 45’)

Mitjançant el Pas del Pobre deixem la vall d’Aigües Vives per a creuar en primer lloc la vall de la Casella i més tard la vall de la Murta on es troba **1** el monestir de Santa Maria de la Murta. Una vegada fora de la vall de la Murta entrarem a la ribera del riu Xúquer, on finalitza la ruta a Alzira.

4.1.2. El senderisme

6 Quan parlem de senderisme ens referim a una activitat no competitiva que consisteix en recórrer camins abalisats, en molts casos vies pecuàries, camins veïnals i senders situats al medi natural. Amb la combinació d’esport, cultura i medi ambient busca apropar als participants al medi natural i al coneixement de l’entorn mitjançant elements patrimonials i etnogràfics. La **20** Federació Espanyola d’Esports de Muntanya i Escalada FEDME és l’encarregada de les seues competències, delegant responsabilitats a les federacions autonòmiques.

En la Taula 1 es presenten els diferents tipus de senders homologats i les seues principals característiques:

Nom	Longitud	Marca	Determinació	Numeració	Variants	Desviacions
Sender de Gran Recorregut	2 o més jornades, < 50 km	Blanc i roig	GR XXX	FEDME	Sí	Sí
Sender de Petit Recorregut	Màxim dues jornades, < 50 km	Blanc i groc	PR-(província) XXX	Autonòmica Territorial	Sí	Sí
Sender Local	Fins a 10 km i dificultat mínima	Blanc i verd	SL-(província) XXX	Autonòmica Territorial	No	No
Variants	Màxim dues jornades, < 50 km	Blanc i roig o blanc i groc	GR XXX PR-(província) XXX	FEDME Autonòmica	No	Sí
Derivació	Una hora, 3 km	Blanc i roig o blanc i groc	Denominació toponímica	FEDME Autonòmica	No	No

Enllaç	Màxim dues jornades	Blanc i roig	GR XXX	FEDME	No	No
Europeu	Que discòrrega per 3 o més estats	Blanc i roig	E XXX	ERA	Si	Si

Taula 1: Tipus i característiques del senders homologats

4.2. OpenStreetMap

Quan ens referim a OpenStreetMap, d'ara endavant OSM, parlem d'un projecte col·laboratiu i d'accés lliure a mapes, on els usuaris son part de la creació, l'edició i supervisió de la cartografia. Però, no es pot ficar en dubte la qualitat de les dades oferides per OSM com diu Haklay (2008):

“La cobertura territorial de OSM és mundial i la seua qualitat contrastada, utilitzant paràmetres com el llinatge, l'exactitud posicional i de atributs, la consistència lògica i semàntica, la qualitat temporal, etc. amb altres serveix similars oferits per altres proveïdors oficials. Els resultats mostren que, en termes de qualitat general, ambdues bases són molt paregudes.”

El contribuent d'OSM obté les dades normalment de dispositius GPS d'ús civil, es pot pensar que la precisió no és suficient, no obstant això, obtindre cartografia amb precisió de 5 metres es més útil del que pensem.

La base de dades OSM genera setmanalment un arxiu anomenat planet.osm on es troba la totalitat de la cartografia a nivell mundial. L'usuari té la possibilitat de extraure parts d'aquest arxiu total, a més a més, hi ha arxius diferencials publicats en cicles de dies, hores i minuts que permeten mantenir la base de dades actualitzada. En aquest moment la comunitat d'OSM compta amb mes de 5 milions de contribuents, dels quals, un 10% col·labora constantment (Costa, 2011).

L'OSM és gratuït sota la llicència Creative Commons BY-SA (en procés d'adaptació a Open Database License-ODbL), a més, l'usuari té accés a les dades preprocessades i a les dades 'subjacents'. Açò permet als desenvolupadors crear aplicacions controlant l'estil i el tipus de renderitzat, variar els criteris per a generar rutes, etc.

4.3. Bases de dades espacials. PostGIS

PostgreSQL es el motor d'una base de dades relacional orientada a objectes. Les seues característiques la fan ser un sistema gestor de bases de dades de codi lliure més potent i

robusta del mercat. Es caracteritza per l'estabilitat, potència, ser fàcil de administrar i per la implantació d'estàndards. Les característiques més destacades son les següents:

- Base de dades completament **ACID** (*Atomicity, Consistency, Isolation and Durability*) y **CRUD** (*Create, Read, Update and Delete*).
- Suport per a multitud de tipus de dades.
- Herència entre taules (relacions entre objectes).
- Programari lliure i multiplataforma.
- Gran escalabilitat, capaç d'ajustar-se a l'equip de treball de manera òptima.
- Alta concurrència (*Multi-Version Concurrency Control*).
- Fàcil administració mitjançant pgAdmin.
- Utilitza l'estàndard SQL ISO/IEC 9075:2011
- Disponibilitat de gran varietat d'extensions.
- Comunitat extensa d'usuaris.

Aquesta eina tan potent no pagaria la pena a l'àmbit de la cartografia si no fos per una de les seues característiques darrerament anomenada, la gran varietat d'extensions. A PostgreSQL es pot afegir PostGIS que és un programari adaptat al Open Geospatial Consortium (OGC) per a gestionar dades espacials dintre d'una base de dades relacional. Les seues característiques són les següents:

- Programari lliure amb llicència GNU GPL.
- Compatibilitat amb els estàndards OGC.
- Inclou funcions i índex espacials i suporta tipus de dades espacials.
- Utilitzada per nombrosos clients SIG d'escriptori.
- Índex espacial R-Tree.
- Facilitat per a importar o exportar dades.
- Suporta dades vectorials i raster.

4.3.1. PgRouting

Seguint amb la filosofia de codi obert de PostgreSQL i PostGIS, trobem l'extensió pgRouting del mòdul geoespacial la qual proporciona la funcionalitat de calcular les rutes òptimes (Routing) i analitzar la topologia. Els avantatges principals són els següents:

- Programari lliure amb llicència GNU GPLv2.
- És suportat per molts clients.
- Compatibilitat amb els estàndards OGC.
- El paràmetre de cost pot ser calculat dinàmicament per SQL i el valor pot vindre de múltiples camps o taules.

4.4. Model anisotròpic. Funció de Tobler

Els models de càlcul de rutes utilitzen una variable de cost de desplaçament per a traçar la ruta escaient. Normalment, al càlcul de rutes per a vehicles, els algoritmes usen la distància dels arcs i la velocitat permesa a cada tram. En aquest cas, no comptem amb vehicles a motor, altrament, el cost del desplaçament a peu deu tenir un altre tractament.

Al desplaçar-se d'un punt a altre es presenta un cost, de manera que com més allunyats estiguen els punts, més cost i quantitat d'energia comportarà desplaçar-se. En conseqüència, podem definir el cost com la resistència que presenta el medi pel que ens desplaçem en un punt concret (Vallès, Bolla & Pérez, 2010).

La resistència al desplaçament es pot presentar mitjançant una superfície de fricció, s'anomena cost. Bons exemples de superfície de fricció podrien ser els usos del sol, ja que no es el mateix caminar per asfalt que una zona rocosa o frondosa; per altra banda, la pendent pot utilitzar-se per a aquests casos, el percentatge i el signe de la pendent influeix significativament sobre el cost del desplaçament. Si el cost que implica recórrer un arc no varia, s'anomena cost isotròpic. En canvi, si el cost de recórrer un arc varia en canviar el seu sentit, aquest cost s'anomena anisotròpic. Retornant als darrers exemples, una superfície de fricció com la d'usos del sol representaria un cost isotròpic, en canvi, una superfície de fricció amb les pendents del terreny seria un cost anisotròpic.

Amb motiu d'establir la velocitat de moviment d'una persona que practica senderisme, farem ús de la funció de Tobler (1). Aquesta funció relaciona la velocitat (W) de la persona amb la pendent (S):

$$W = 6e^{(-3.5 \cdot |S + 0.05|)} \quad (1)$$

4.5. Visors cartogràfics web. Openlayers

L'any 2006, i com alternativa de codi lliure al popular Google Maps, es crea la llibreria OpenLayers. Encara que no va ser fins el 2007 quan adquiriria més popularitat junt al creixement del projecte OpenStreetMap. Paral·lelament al creixement de la seua popularitat, ho han fet també les seues funcionalitats, consolidant un projecte madur i possiblement la llibreria de *web mapping* lliure més completa i potent. A més, treballa amb els estàndards OGC. Cal afegir que l'evolució de la tecnologia *front-end* i *back-end*, d'una banda la interacció i manipulació gràfica (jQuery, HTML5, ...) i, de l'altra la

comunicació amb serveis cartogràfics (WMS, WFS, WMTS, ...) i bases de dades (PostGIS, Spatialite, ...) han contribuït en la millora i popularitat del servei.

La versió actual es la OpenLayers 3 i es tracta d'una llibreria JavaScript per a mostrar mapes i treballar amb informació geogràfica al web. Les característiques principals son les següents:

- Visualitza dades vectorials i rasters.
- Obté dades de diferents fonts basades en els estàndards de la OGC.
- Escriu i/o llegeix en distints formats (GML, KML, GPX, GeoJSON...).
- Treballa en diferents projeccions geogràfiques.
- Nombroses possibilitats de interacció amb el mapa i les dades geogràfiques.
- Treballa amb els atributs de les dades.
- Pot treballar amb dades 2D i 3D, inclòs visualitzar les dades en 3D.

4.6. Interacció client-servidor. Framework XAMPP

Als anteriors punts s'ha descrit la informació que es vol mostrar (La ruta dels monestirs i la cartografia de OpenStreetMap), la plataforma que s'utilitzarà per interactuar amb la cartografia (OpenLayers) i la base de dades que emmagatzemarà aquesta (PostGIS). Tot açò necessita un sistema que accedisca a tota la informació i la tecnologia emprada, i, en conseqüència, ho faci accessible a l'usuari. Per aquest fet, s'ha buscat una aplicació que siga capaç de gestionar l'entorn web que vorà l'usuari (front-end) utilitzant llenguatge de programació HTML i JavaScript, i siga un enllaç amb la base de dades PostGIS mitjançant llenguatge de programació PHP (back-end).

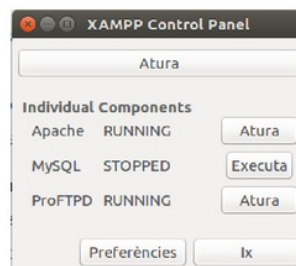


Figura 1: Panell de control de XAMPP

Quan es refereix a un entorn de treball, es parla d'un conjunt de components que ajuden a desenvolupar, en aquest cas llocs web, amb facilitat i rapidesa. Mòduls per a la creació de formularis, administració del lloc web, autenticació d'usuaris i connexió amb bases de dades són de gran utilitat en el procés de desenvolupament del web. Com descriuen els creadors al seu web, XAMPP és l'entorn més popular de desenvolupament amb PHP,

es tracta d'una distribució d'Apache de codí lliure. El paquet conté les tecnologies d'Apache, Mysql, PHP i Perl.

Les característiques principals son les següents:

- Codi obert amb actualitzacions constants.
- Fàcilment amb el procés d'instalació.
- Gratuït per a usos no comercials

5. Desenvolupament

En aquest apartat es deixa de banda la part teòrica del projecte, i es passa a la descripció del procés de creació. Es vol diferenciar els tres blocs de l'apartat:

- Elecció de la cartografia i preparació
- Preparació de la cartografia per a obtenir rutes òptimes
- Configuració de l'espai client-servidor

5.1. Preparació de la cartografia

La primera decisió presa per a dur a terme el projecte és saber que cartografia es va a utilitzar. Per aquest motiu s'ha de saber l'ús que ha de tenir i les avantatges i desavantatges que ofereix. Les alternatives en són moltes, ara bé, com s'ha exposat abans, OpenStreetMap ofereix el que es busca: cartografia lliure, actualitzada i permet la manipulació de les seues dades.

Els propòsits que ha de prestar la cartografia son els següents:

- Mostrar la informació geogràfica a l'usuari a través d'un visor cartogràfic web mitjançant un servei de tessell·les propi.
- Obtindre una xarxa de comunicació que abaste el territori de treball.

Primerament, s'han de descarregar les dades del servidor de OSM amb l'objectiu d'obtenir la cartografia base de tota la zona de treball. En segon lloc, després d'un estudi de l'abast de la xarxa de comunicació d'OSM, s'ha decidit ampliar-la utilitzant dades d'altres fonts, en aquest cas de l'Institut Cartogràfic Valencià. Amb açò s'aconseguirà una xarxa de comunicacions "rutejable" més àmplia i densa. En darrer lloc, les dades s'importaran a la base de dades PostGIS per a crear les tessell·les que es mostraran finalment al visor web (Figura 2).

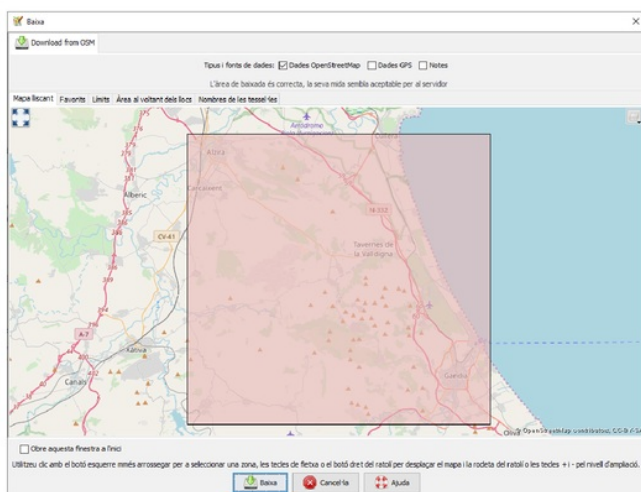


Figura 2. Detall de la descarrega amb JOSM

5.1.1. Creació de la base de dades

La cartografia es pren directament del web de [OSM](https://www.openstreetmap.org/). En aquest cas, al superar la mesura màxima, però, es farà amb l'aplicació JOSM on obtindrem el fitxer OSM original. Amb aquesta aplicació es pot editar la informació directa d'OSM (Figura 3).

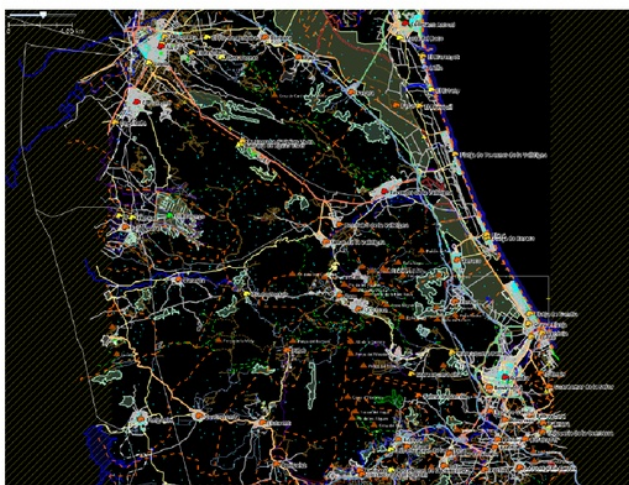


Figura 3. Cartografia original descarregada de JOSM

Les dades s'obtenen amb el format XML i amb extensió *.osm* i el sistema de coordenades és EPSG: 3857 WGS 84 / Pseudo-Mercator – Spherical emprat per serveis de cartografia com Google Maps, OpenStreetMap, Bing, i d'altres.

L'edició de la cartografia amb el programa JOSM és tediosa, per aquest motiu es treballarà amb el programa d'escriptori QGIS. Amb QGIS es pot connectar amb la base de dades PostGIS i manipular la seua geometria i informació alfanumèrica. Per a importar el fitxer .osm a la base de dades s'utilitza la llibreria *imposm*, que facilitarà la creació de les diferents taules.

Importar la cartografia

Com s'ha desenvolupat als punts anteriors, el sistema gestor de bases de dades per a treballar és PostgreSQL amb l'extensió espacial PostGIS. Seguidament es crea la base de dades des de el terminal d'Ubuntu amb,

```
createdb -U salva RDM_pg  
psql -U salva -d RDM_pg  
CREATE EXTENSION PostGIS;  
CREATE EXTENSION PostGIS_topology;
```

s'obté la base de dades amb l'extensió de PostGIS per a poder treballar amb geometries.

El següent pas és introduir la informació mitjançant la llibreria *imposm*,

```
imposm -database RDM_pg --host localhost --user salva --read --write --optimize RDM.osm
```

Amb l'anterior sentència s'ha creat una estructura de taules separades per àmbits que segueix una estructura específica (Figura 4).

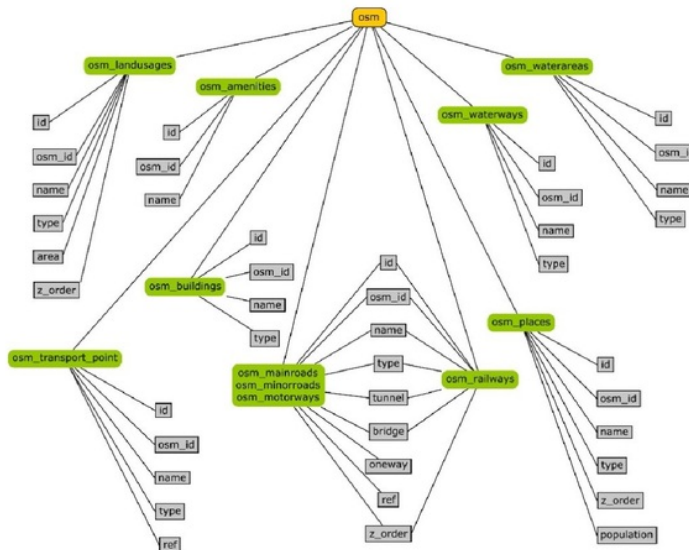


Figura 4. Esquema del model de dades de OSM

Seguidament, la base de dades està preparada per a connectar-se amb QGIS (Figuras 5 y 6). D'aquesta manera es podrà editar la geometria i els atributs per a preparar la cartografia abans de la creació de les tessel·les.

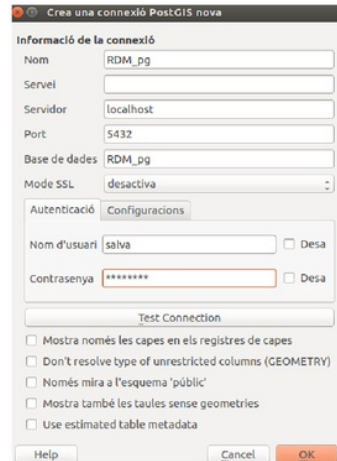


Figura 5. Connexió a la base de dades amb QGIS

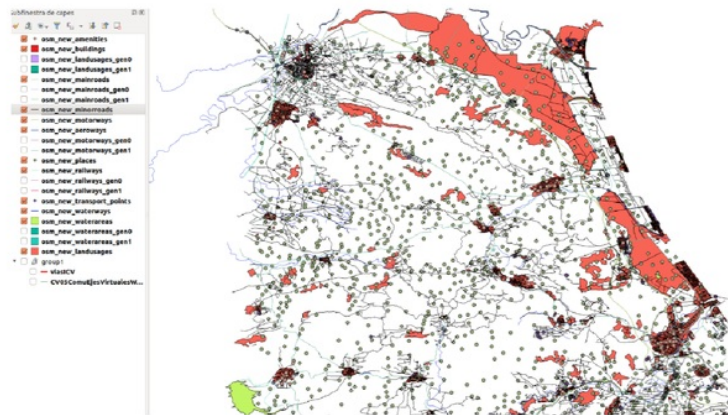


Figura 6. Detall de la cartografia de OSM amb QGIS

5.1.2. Densificació de la xarxa de comunicació

Amb motiu d'aconseguir una xarxa vial completa s'ha decidit utilitzar part de la cartografia de l'Institut Cartogràfic Valencià. La major diferència entre les dues

cartografies ²⁶son els camins rurals i senders, de gran importància en la pràctica del senderisme. A la Figura 7 es pot veure la cartografia del ICV amb color roig, i superposada, la cartografia de OSM amb color verd.



Figura 7. Detall xarxa vial ICV i OSM

Es pot comprovar que la xarxa de vials de l'ICV és molt més densa a les zones rurals que la de OSM. A la Figura 8 es pot identificar la problemàtica amb la unió d'un sender que baixa de la muntanya amb la via principal.



Figura 8. Detall sender de muntanya

A la imatge aèria s'identifica com un sender a la part superior, no té cap connexió amb la via principal a la cartografia de OSM, en canvi, està perfectament enllaçat a la de l'ICV. D'altra banda, aquestes diferències no són notòries a les zones urbanes.



Figura 9. Detall diferències a les zones urbanes

Justificada la densificació de la xarxa de vials, es realitza un procés d'adaptació del model de dades de l'ICV a OSM que es detallarà pas a pas.

Preparació de les dades

Les dades descarregades de l'ICV provenen de la cartografia de la sèrie CV05 amb sistema de referència ETRS89. Aquesta sèrie conté gran quantitat de informació que no és útil per aquesta feina. A aquesta escala, 1:5000, els vials estan representats pels seus extrems, quedant dins d'ells el polígon que forma el paviment. Com és evident, aquesta informació tampoc és útil, per aquest fet es seleccionen els eixos virtuals dels vials extrets de la capa *CV05ComuEjes Virtuales*.

D'entrada, s'ha decidit eliminar tots els vials d'OSM i usar els de l'ICV. El motiu és per la practicitat d'emprar una cartografia amb una topologia correcta. Aquesta decisió suposa modificar l'estructura de la taula d'atributs per a fer-la coincidir amb l'estructura que s'ha mostrat a la Figura 4, que conté l'esquema del model de dades d'OSM. Altrament, es podrien haver seleccionat els eixos no existents a OSM i seguidament realitzar les correccions pròpies per assegurar la consistència topològica.

En primer lloc, cal obtenir la relació entre el tipus de via de les dues cartografies per dotar els elements de la informació correcta. Segons la WikiOpenStreetMap, la classificació de les carreteres de l'estat espanyol és la següent:

Descripció	Ficha	Type	B ₁₇ e	Tunnel
EJE RED LOCAL GV	COM100	secondary	no	no
EJE RED LOCAL DIPUTACIÓN	COM101	secondary	no	no
EJE RED MUNICIPAL	COM103	tertiary	no	no
EJE AUXILIAR	COM104	???link	no	no
EJE RCE AUTOPISTA/AUTOVÍA OCULTO	COM106	motorway	no	yes
EJE AUTOPISTA/AUTOVÍA OCULTO	COM107	motorway	no	yes
EJE RCE OCULTO	COM108	trunk	no	yes
EJE RED BASICA GV OCULTO	COM109	primary	no	yes

			5	
EJE RED LOCAL GV OCULTO	COM110	secondary	no	yes
EJE RED LOCAL DIPUTACIÓN OCULTO	COM111	secondary	no	yes
EJE RED MUNICIPAL OCULTO	COM113	tertiary	no	yes
EJE AUXILIAR OCULTO	COM114	???link	no	yes
EJE VIALES EN URBANIZACIÓN	COM129	residential	no	no
EJE CARRETERA ASFALTADA CON BADÉN	COM130	track	no	no
EJE RED MUNICIPAL GV	COM132	tertiary	no	no
EJE RED MUNICIPAL DIPUTACIÓN	COM133	tertiary	no	no
EJE RED MUNICIPAL OTRAS ADMINISTRACIONES	COM134	tertiary	no	no
EJE RED MUNICIPAL DIPUTACIÓN OCULTO	COM138	tertiary	no	yes
EJE VIA DE SERVICIO	COM156	service	no	no
EJE VIA DE SERVICIO OCULTO	COM157	service	no	yes
EJE DE CARRETERA NO ASFALTADA CON BADÉN	COM161	track	no	no
EJE VIALES EN URBANIZACIÓN OCULTO	COM165	residential	no	yes
EJE DE CALLE	COM38	residential	no	no
EJE DE CARRETERA PRINCIPAL OBSOLETO	COM43	unclassified	no	no
2: DE CALLE OCULTO	COM46	residential	no	yes
EJE DE CARRETERA ASFALTADA SECUNDARIA	COM47	track	no	no
2: DE CARRETERA ASFALTADA SECUNDARIA OCULTO	COM48	track	no	yes
2: DE VÍA DE COMUNICACIÓN NO ASFALTADA	COM49	track	no	no
EJE DE VÍA DE COMUNICACIÓN NO ASFALTADA OCULTO	COM50	track	no	yes
EJE DE PUENTE DE CARRETERA	COM74	unclassified	yes	no
EJE RCE AUTOPISTA/AUTOVÍA	COM96	motorway	no	no
EJE AUTOPISTA/AUTOVÍA	COM97	motorway	no	no
EJE RCE	COM98	trunk	no	no
EJE RED BÁSICA GV	COM99	primary	no	no

Taula 2: Relació carreteres OSM-ICV

Es pot observar que els eixos auxiliars formen part de l'element 'link', en aquests casos, cal estudiar a quin tipus de via donen accés, perquè la correcta codificació es *trunk_link*, *primary_link*, *motorway_link*, ... Aquesta tasca es realitza mitjançant l'edició manual amb QGIS.

id	filcha	urbana	clave_top	texto	tunel	puente	baden	rotonda	sentido_c	fuerite	long	TYPE	BRIDGE	TUNNEL
1	COM104	0		Aux	0	0	0	0	1		510	???link		
2	COM96	0	30501	AP-7	0	0	0	0	2		777	motorway		
3	COM98	0	30502	N-332	0	0	0	0	2		405	trunk		

Figura 10: Enllaç entre AP-7 i al N-332

En la Figura 10 es pot veure un enllaç entre la autopista AP-7 i la nacional N-332 que tindrà com a resultat 'motorway_link'. L'enllaç sempre adopta el nivell del vial de major categoria.

id	filcha	urbana	clave_top	texto	tunel	puente	baden	rotonda	sentido_c	fuerite	long	TYPE	BRIDGE	TUNNEL
73	COM47	0	30507A	Carretera de Rafelguaraf	0	0	0	0	2		64			
74	COM47	0	30507A	Carretera de Rafelguaraf	0	0	0	0	2		5			
75	COM47	0			0	0	0	0	2		31			
76	COM47	0			0	0	0	0	2		104			
77	COM47	0			0	0	0	0	2		30			
78	COM47	0			0	0	0	0	2		9			
79	COM47	0			0	0	0	0	2		6			
80	COM47	0	30507A	la Vereda	0	0	0	0	2		7			
81	COM47	0	30507A	la Vereda	0	0	0	0	2		12			
82	COM47	0	30507A	la Vereda	0	0	0	0	2		75			

Figura 11: Mostra de la taula d'atributs del ICV

De la Figura 11 s'ha de tindre en compte els atributs:

- ‘ficha’: aquest atribut servirà per a relacionar el tipus de via de les dues cartografies.
- ‘texto’: formarà part de l’etiqueta de l’element.
- ‘tunnel’ i ‘puente’
- ‘sentido’: imprescindible per a crear les rutes òptimes.

La taula d’atributs a la que s’ha d’arribar, segons el model de dades de OSM, comparteix alguns atributs com ‘texto’, ‘tunnel’, ‘puente’ i ‘sentido’. A la fi d’unificar la informació de la Taula 2, que relaciona el camp ‘ficha’ (ICV) amb el camp ‘type’ (OSM), s’utilitza la ferramenta JOIN de QGIS que permet unificar dos taules (Figura 12).

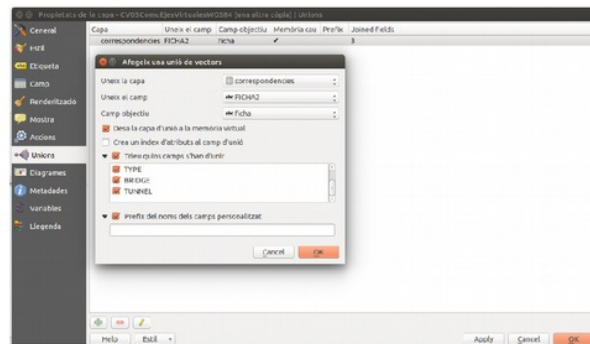


Figura 12: Detall de la unió de ambdues taules

A continuació, trobem que s’ha relacionat la taula amb informació alfanumèrica i geomètrica (vies procedents del’ICV), i la taula amb informació alfanumèrica (Taula 2). La relació entre ambdues taules és de ‘molts a un N:1’, per exemple, moltes vies amb el camp ‘ficha=COM132’ poden relacionar-se com a ‘type=tertiary’. Tota unió necessita d’una clau que relacione ambdues taules, en aquest cas es el camp ‘ficha’.

	ficha	urbana	clave_top	texto	tunel	puente	baden	rotonda	sentido_c	fuente	long	TYPE	BRIDGE	TUNNEL
148	COM74	0			0	0	0	0	0	0	14	unclassified	yes	
149	COM74	0			0	0	0	0	0	0	9	unclassified	yes	
150	COM74	0			0	0	0	0	0	0	26	unclassified	yes	
151	COM74	0			0	0	0	0	0	0	14	unclassified	yes	
152	COM74	0	30509	Pont de la Bega	0	0	0	0	0	0	59	unclassified	yes	
153	COM74	0			0	0	0	0	0	0	31	unclassified	yes	
154	COM74	0	30509	Pont de l'ase	0	0	0	0	0	0	8	unclassified	yes	
155	COM74	0			0	0	0	0	0	0	6	unclassified	yes	
156	COM74	0			0	0	0	0	0	0	6	unclassified	yes	
157	COM74	0			0	0	0	0	0	0	14	unclassified	yes	

Figura 13: Elements amb pont no seleccionat al ICV

Com es pot observar s'han inclòs a la unió els camps 'BRIDGE' i 'TUNNEL'. Recordem que els vials del ICV ja comptaven amb dos camps 'puente' i 'tunel'. Per una banda, s'han trobat casos en els quals elements codificats com a 'ficha=COM74, EJE DE PUENTE EN CARRETERA' no tenen el camp pont actiu. D'altra banda es troben casos on l'element ocult no correspon a tunnel (Figura 13). Per als dos casos s'ha decidit emprar els camps 'bridge' i 'tunnel', i desestimar els camps 'tunel' i 'puente'.

Amb açò s'aconsegueix no perdre cap pont i, amb els casos dels elements ocults permetre que quan es creen les tessel·les, donar-los característiques d'elements ocults.

	id	name	type	tunnel	bridge	oneway	ref	layer	z_order	acces
S5615	-602341		trunk_link			1			3	
S5616	-602257	AP-7	motorway			1	AP-7		9	
S5617	-602067		motorway...			1			3	
S5618	-601797		motorway		1	1	1		29	
S5619	-601563		primary_link			1			3	
S5620	-601319		secondary...			1			3	
S5621	-601313		trunk_link			1			3	
S5622	-601301	CV-60	motorway			1	CV-60		9	
S5623	-601195		secondary...			1			3	
S5624	-601147		motorway		1	1	1		29	
S5625	-601049		motorway...			1			3	
S5626	-600673		tertiary_link			1			3	
S5627	-600081		motorway...			1			3	
S5628	-599761	CV-50	motorway		1	1	CV-50	-1	-11	
S5629	-599527		motorway			1	1		29	
S5630	-598955		trunk link			1			3	

Figura 14: Mostra de la taula d'atributs de OSM

A la Figura 14 es mostra el resultat final de la taula d'atributs necessària per a poder importar el format shape a la base de dades PostGIS.

Importar vies a la base de dades PostGIS

Tot seguit, es necessita importar la capa de vials densificada i correctament codificada. S'ha de tindre cura que tots els camps de la taula d'atributs siguin del tipus corresponent, ja que la llibreria que s'utilitzarà és molt sensible en aquests casos.

El primer pas és buidar d'elements les taules de la base de dades on s'importaran els nous vials. A continuació s'usa la llibreria *shp2pgsql* per a inserir els elements nous en unes taules pont, per a més tard moure'ls a les taules definitives. Aquest pas és necessari perquè *shp2pgsql* és molt sensible quan hi ha que inserir dades en una taula existent. Els següents passos es realitzen per a les taules *motorway*, *mainroads* i *minorroads*.

```
shp2pgsql -s 3857 -g geometry -S ./motorways.shp osm_motorways2 | psql RDM_pg
```

```
INSERT INTO osm_motorways (osm_id, name, type, tunnel, bridge, oneway, ref, z_order, geometry, access, layer) SELECT CAST (osm_id AS bigint), name, type, tunnel, bridge, oneway, ref, z_order, st_geomfromewkb(geometry), acces, layer FROM osm_motorways2
```

La primera sentència obre la capa en format shape, i crea una nova taula dins de la base de dades *RDM_pg* indicant que el sistema de referència es EPSG:3857 i que el camp que conté la geometria és el 'geometry'. Aquest sistema de referència s'anomena Google Maps Global Mercator. És emprat per projectes com Google Maps o OpenStreetMap i per la llibreria OpenLayers. No està considerat com a sistema oficial i equival al sistema de coordenades EPSG:3857, WGS84 /Pseudo-Mercator. Al mateix temps, està generant geometries simples en el cas de trobar algun cas de geometria múltiple.

crearen la creació de les tesselles, el programa Tilemill necessita tres taules en diferent nivell de precisió per a gestionar el sistema de zoom i la informació que hi haurà en cada imatge.. Així és que és necessari aplicar un procés de generalització a les taules que hem inserit per separat.

```
INSERT INTO osm_motorways_gen0 (osm_id, name, type, tunnel, bridge, oneway, ref, z_order, geometry, access, layer) SELECT osm_id, name, type, tunnel, bridge, oneway, ref, z_order, st_simplifypreservetopology (st_geomfromewkb(geometry), 40), access, layer FROM osm_motorways;
```

```
INSERT INTO osm_motorways_gen1 (osm_id, name, type, tunnel, bridge, oneway, ref, z_order, geometry, access, layer) SELECT osm_id, name, type, tunnel, bridge, oneway, ref, z_order, st_simplifypreservetopology (st_geomfromewkb(geometry), 10), access, layer FROM osm_motorways;
```

Cal donar-li importància a dos funcions que s'utilitzen en la darrera sentència i que van concatenades. L'operació selecciona els elements de la taula inicial i els insereix en la final i, a més, afegeix la funció *st_simplifypreservetopology* sobre el camp de geometria de la primera taula. La funció usa el algoritme Douglas-Peucker per a desestimar vèrtexs redundants assegurant-se que la topologia de la geometria es conserva (Figura 15). El procés es repeteix dues vegades per a obtenir dos taules aplicant el algoritme

amb unes toleràncies de 10 i 40 metres respectivament. La funció `st_geomfromwkb` gestiona el format WKB per a que la funció de simplificat treballes i, en acabar escriu en format BLOB.

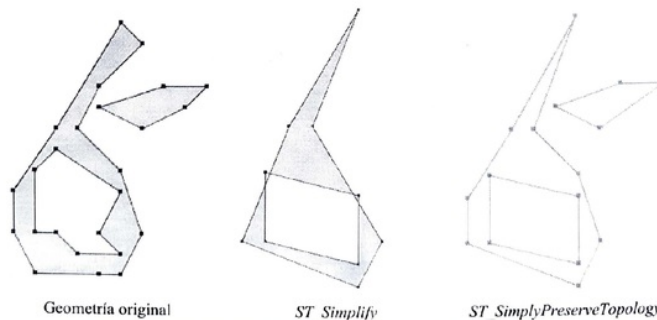


Figura 15: Detall funció `st_simplifypreservetopology`. Martínez J.C. (2013). *PostGIS 2, Anàlisi espacial avançat*.

Cal recordar que les darreres sentències s'apliquen per a les taules *motorway*, *mainroads*. En aquest cas la taula *minorroads* no s'ha de simplificar, ja que TileMill no mostra la taula quan el zoom es petit.

Per últim, s'han creat tres vistes a la base de dades amb la unió de les taules que componen la xarxa de comunicacions (*osm_motorways*, *osm_mainroads*, *osm_minorroads* i *osm_railways*). Les vistes es diferencien segons la quantitat de dades que necessiten per a cada escala i s'utilitzaran en el següent punt per a renderitzar les tesselles. Ací hi ha un fragment de la creació de les vistes.

```
CREATE OR REPLACE VIEW public.osm_roads AS
SELECT  osm_motorways.id,osm_motorways.osm_id,osm_motorways.geometry,osm_motorways.name,
osm_motorways.bridge,osm_motorways.ref,osm_motorways.tunnel,osm_motorways.oneway,osm_motorways.z_order,osm_motorways.layer,osm_motorways.access,osm_motorways.type,'motorways'::text AS class
FROM osm_motorways
UNION ALL
SELECT  osm_mainroads.id,osm_mainroads.osm_id,osm_mainroads.geometry,
osm_mainroads.name,osm_mainroads.bridge,osm_mainroads.ref,osm_mainroads.tunnel,osm_mainroads.oneway,osm_mainroads.z_order,osm_mainroads.layer,osm_mainroads.access,osm_mainroads.type,
'mainroads'::text AS class
FROM osm_mainroads
UNION ALL
```


5.1.3. Tessel·les personalitzades

Als visors cartogràfics és habitual trobar-se amb peticions a serveis WMS per a obtenir les dades cartogràfiques. Açò no és més que un servidor que envia imatges ràster amb la seua cartografia ja siga de l'IGN, ICV, Google Maps, OpenStreetMaps, etc. (Figura 16). Quan es connecta amb un servidor WMS es sol·liciten imatges de mapes georeferenciades d'una o varies bases de dades cartogràfiques. El servidor rep una petició de la capa i l'àrea d'interès, i respon amb una imatge amb format ràster (PNG, JPEG, ...).

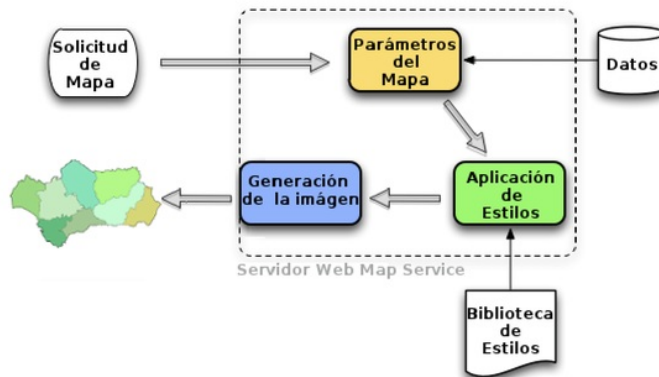


Figura 16: Funcionament del servei WMS. Junta de Andalucía, ¿Qué es un servicio WMS? (2017).

D'altra banda, existeix el servei de mapes per tessel·les (WMTS), en el qual el client emmagatzema les dades sol·licitades a la memòria per agilitzar el procés en el cas d'haver altres peticions. A diferència del WMS que necessita renderitzar les imatges a cada petició, el servei WMTS usa un model de tessel·les parametritzades. Aquesta característica permet sol·licitar un conjunt discret de tessel·les prèviament prerenderitzables. Es tracta d'una estructura piramidal de escales (conjunt de matriu de tessel·les), en la qual cada escala o zoom (matriu de tessel·les) és una rasterització i fragmentació regular de les dades cartogràfiques (Figura 17).

Un dels propòsits del TFG és compilar informació cartogràfica per a donar servei als clients. Al llarg dels darrers punts s'ha preparat la base de dades que farem servir per a mostrar la cartografia al client i més avant preparar-la per al càlcul de rutes. En aquest punt s'utilitzara l'eina TileMill que permetrà dissenyar l'estil cartogràfic mitjançant el llenguatge CartoCSS, semblant al llenguatge CSS emprat al disseny web. Per a renderitzar la cartografia s'utilitza la biblioteca Mapnik, també de codi lliure. Tenint en

compte que Mapnik treballa directament amb fitxers XML, cosa que dificulta el treball per la seua complexitat, CartoCSS farà d'eix comunicador entre TileMill i Mapnik.

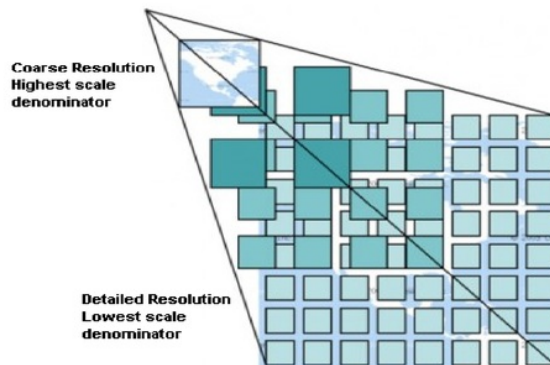


Figura 17: Concepte del conjunt de tessel·les WMTS. Guia de usuari de QGIS. QGIS como cliente de datos OGC 29

En primer lloc es crea un projecte de TileMill amb l'estil predefinit OSM-Bright, que importa una plantilla amb llenguatge CartoCSS per a representar les dades. Es va a desglossar en 3 passos el procés per a obtenir finalment les tessel·les. El desenvolupament d'aquest apartat es centrarà en els vials per a no sobrecarregar l'explicació. La seqüència és descriu a continuació.

- Carregar les taules de la base de dades

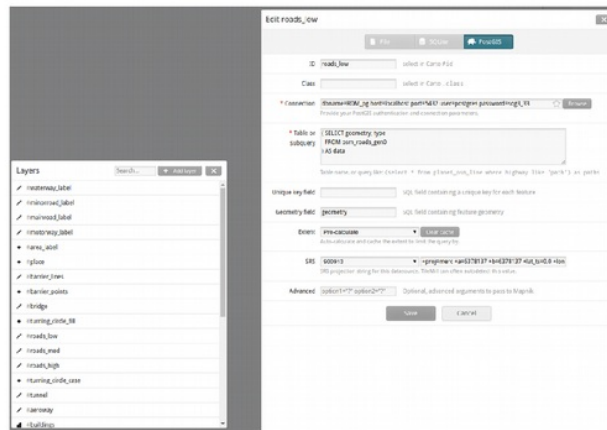


Figura 18: Capes del projecte TileMill i configuració capa #roads_low

A l'esquerra de la Figura 18 es poden veure les capes que ha creat la plantilla, que no es corresponen a les taules de la base de dades perquè cada capa pot dur informació d'una o varies taules de la base de dades. En el següent pas (Figura 19) es poden veure els

components que configuren la capa #roads_low la connexió amb la vista osm_roads_gen0 de la base de dades, la consulta SQL on es seleccionen tots els elements de la taula esmentada, s'especifica quin es el camp que suporta la geometria i el sistema de referència.



Figura 19: Configuració capa #roads_med



Figura 20: Configuració capa #roads_high

Les Figures 19 i 20 mostren la configuració de les capes #roads_med i #roads_high. La primera capa realitza una consulta sobre la vista osm_roads_gen1 on selecciona sols els elements 'motorway', 'trunk', 'primary', 'secondary', 'motorway_link' i 'trunk_link'.

(SELECT geometry, type

```

FROM osm_roads_gen1
  WHERE type IN ('motorway', 'trunk', 'primary', 'secondary', 'motorway_link',
'trunk_link')
) AS data

```

D'altra banda, la capa #roads_high realitza una consulta més complexa en la que es seleccionen els elements de la vista osm_roads i els classifica com 'motorway', 'mainroad', 'minorroad', 'service', 'noauto', 'railway' o 'other' dins d'un grup d'estils (stylegroup), sempre que el camp pont i túnel siguen zero (Figura 21). El motiu de la darrera condició es deu a que els elements pont i túnel pertanyen a altres capes (#tunnel i #bridge).

```

( SELECT geometry, type, tunnel, bridge, access, 'fill' AS render,
CASE
  WHEN type IN ('motorway', 'trunk') THEN 'motorway'
  WHEN type IN ('primary', 'secondary') THEN 'mainroad'
  WHEN type IN ('motorway_link', 'trunk_link', 'primary_link', 'secondary_link',
'tertiary', 'tertiary_link', 'residential', 'unclassified', 'road', 'living_street')
THEN 'minorroad'
  WHEN type IN ('service', 'track') THEN 'service'
  WHEN type IN ('path', 'cycleway', 'footway', 'pedestrian', 'steps', 'bridleway')
THEN 'noauto'
  WHEN type IN ('light_rail', 'subway', 'narrow_gauge', 'rail', 'tram') THEN 'railway'
ELSE 'other' END AS stylegroup
FROM osm_roads
WHERE bridge = 0
  AND tunnel = 0
ORDER BY z_order
) AS data

```

type	tunnel	bridge	access	stylegroup
living_street	0	0	private	minorroad
primary	0	0	public	mainroad
secondary	0	0	public	mainroad
tertiary	0	0	public	minorroad
tertiary_link	0	0	public	minorroad
residential	0	0	public	minorroad
unclassified	0	0	public	minorroad
road	0	0	public	minorroad
living_street	0	0	public	minorroad
motorway	0	0	public	motorway
trunk	0	0	public	motorway
trunk_link	0	0	public	motorway
primary	0	0	public	mainroad
primary_link	0	0	public	mainroad
secondary	0	0	public	mainroad
secondary_link	0	0	public	mainroad
tertiary	0	0	public	minorroad
tertiary_link	0	0	public	minorroad
residential	0	0	public	minorroad
unclassified	0	0	public	minorroad
road	0	0	public	minorroad
living_street	0	0	public	minorroad
service	0	0	public	service
track	0	0	public	service
path	0	0	public	noauto
cycleway	0	0	public	noauto
footway	0	0	public	noauto
pedestrian	0	0	public	noauto
steps	0	0	public	noauto
bridleway	0	0	public	noauto
light_rail	0	0	public	railway
subway	0	0	public	railway
narrow_gauge	0	0	public	railway
rail	0	0	public	railway
tram	0	0	public	railway
other	0	0	public	other

Figura 21: Elements resultants de la selecció de la capa #roads_high

- Gestió dels estils amb llenguatge CartoCSS

Els fitxers que configuren l'estil del renderitzat es divideixen en quatre, tot seguit es mostren cadascun d'ells:

- La paleta de fonts i colors (palette.mss):

Es guarden les fonts, allotjades en el projecte de TileMill, en variables per a el seu posterior ús.

```
@sans_lt: "Open Sans Regular", "DejaVu Sans Book", "unifont Medium";
@sans_lt_italic: "Open Sans Italic", "DejaVu Sans Italic", "unifont Medium";
@sans: "Open Sans Semibold", "DejaVu Sans Book", "unifont Medium";
@sans_italic: "Open Sans Semibold Italic", "DejaVu Sans Italic", "unifont Medium";
@sans_bold: "Open Sans Bold", "DejaVu Sans Bold", "unifont Medium";
@sans_bold_italic: "Open Sans Bold Italic", "DejaVu Sans Bold Italic", "unifont Medium";
```

Per a cada variable hi ha tres possibilitats de font, en aquest cas s'empren les fonts DejaVu, propietat de Bitstream i de lliure ús.

Tot seguit es configura el color de cada element del mapa com ho són els usos del sol, (terra, aigua, ...), les cobertes (edificacions), etiquetes i la xarxa de comunicacions.

```
@motorway_line: #E65C5C;
@motorway_fill: lighten(@motorway_line,10%);
@motorway_case: @motorway_line * 0.9;

@primary_line: #FFC859;
@primary_fill: lighten(@primary_line,10%);
@primary_case: @primary_line * 0.9;
```

La variable 'line' s'utilitza per a representar com una línia els vials en els nivells d'escala més petits; les variables 'fill' i 'case' són l'interior i l'exterior del polígon que representen els vials en els nivells d'escala més grans.

- Representació dels usos del sol, cobertes i superfícies amb aigua (base.mss):

En aquest fitxer s'indica en quins nivells de zoom i en quines característiques es representen el elements del grup. Com en el següent fitxer es configura la xarxa de comunicació que és lineal, en aquest apartat es pot veure com es representen els edificis que són elements poligonals (Figures 22, 23 i 24). La resta es pot consultar als annexes.

```

#buildings[zoom>=12][zoom<=16] {
  polygon-fill:@building;
  [zoom>=14] {
    line-color:darken(@building,5%);
    line-width:0.2;
  }
  [zoom>=16] {
    line-color:darken(@building,10%);
    line-width:0.4;
  }
}

#buildings[zoom>=17][type != 'hedge'] {
  building-fill:@building;
  building-height:1.25;
}

#buildings[zoom>=17][type = 'hedge'] {
  building-fill:@wooded;
  building-height:1.25;
}

```

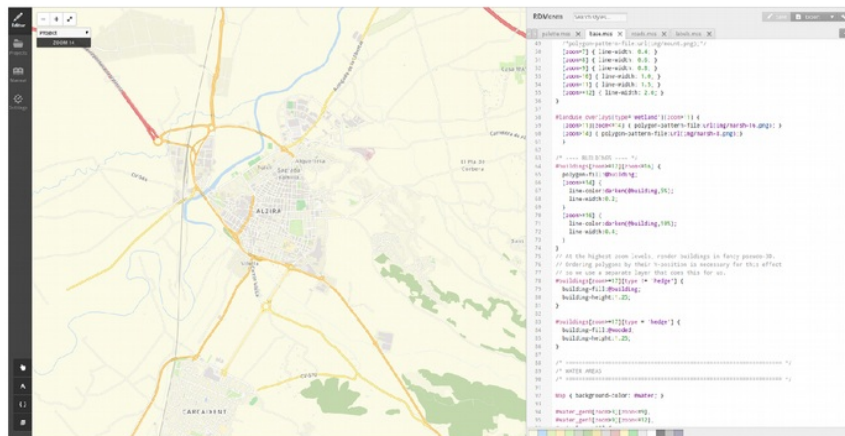


Figura 22: Detall edificis zoom 14

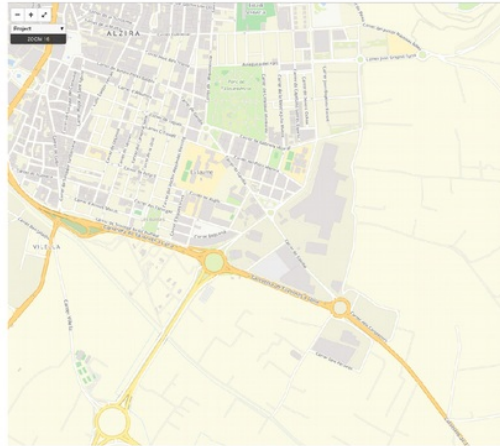


Figura 23: Detall edificis zoom 16

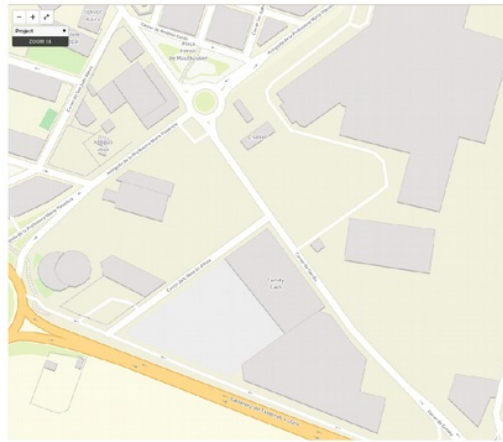


Figura 24: Detall edificis zoom 18

La primera part de codi s'indica que la capa #buildings del nivell de zoom 12 al 16 els polígons es pinten de color @building (establert al fitxer palette.mss), a més, del zoom 14 al 15, del 16 en avant el color i l'ample del contorn canvien. Finalment, quan el zoom es 17 o més s'afegeix un efecte de 3D amb l'etiqueta building-height.

- Representació de la xarxa de comunicació (roads.mss):

Donada la complexitat de la configuració del renderitzat d'aquest apartat, s'intenta explicar de manera més neta seleccionant tan sols dos tipus de carretera per a tindre dos exemples diferents, nacionals i carreteres menors. Tan mateix, es mostra tan sols la capa #roads_high al ser la més representativa (Figures 25, 26 i 27).

Element	Variables d'amplada	@rdz11_maj: 1.6; @rdz11_med: 0.8; @rdz11_min: 0.4;
---------	---------------------	--

		<pre>@rdz12_maj: 2.5; @rdz12_med: 1.2; @rdz12_min: 0.8; @rdz13_maj: 3; @rdz13_med: 1.5; @rdz13_min: 1; @rdz14_maj: 4; @rdz14_med: 2.5; @rdz14_min: 1.6; @rdz15_maj: 6; @rdz15_med: 4; @rdz15_min: 2; @rdz16_maj: 8; @rdz16_med: 6; @rdz16_min: 4; @rdz17_maj: 14; @rdz17_med: 12; @rdz17_min: 10; @rdz18_maj: 20; @rdz18_med: 17; @rdz18_min: 14;</pre>
Exterior	Estil de final i unió de línia	<pre>#roads_high::outline[zoom>=11][zoom<=20], #tunnel[render='1_outline'][zoom>=11][zoom<=20], #bridge[render='1_outline'][zoom>=11][zoom<=20]{ /* -- colors i estils -- */ line-cap: round; [bridge=1], [tunnel=1] { line-cap: butt; } line-join: round;</pre>
	Color	<pre>line-color: @standard_case; [bridge=1] { line-color: @standard_case * 0.8; } [type='motorway'], [type='motorway_link'] { line-color: @motorway_case; [bridge=1] { line-color: @motorway_case * 0.8; } } [type='secondary'], [type='secondary_link'] { line-color: @secondary_case; [bridge=1] { line-color: @secondary_case * 0.8; } } [stylegroup='railway'] { line-color: fadeout(@land,50%); [bridge=1] { line-color: @secondary_case * 0.8; } } [tunnel=1] { line-dasharray: 3,3; }</pre>
	Amplada	<pre>[zoom=11] { [stylegroup='motorway'] { line-width: @rdz11_maj + 2; } [stylegroup='minorroad'] { line-width: @rdz11_min; } [stylegroup='railway'] { line-width: 0; } } [zoom>=17] {</pre>

		<pre>[stylegroup='motorway'] { line-width: @rdz17_maj + 3; } [stylegroup='minorroad']{ line-width: @rdz17_min + 2; } [stylegroup='railway'] { line-width: 3 + 4; } // 3 + 4 }</pre>
Interior	Color	<pre>#roads_high[zoom=>=11][zoom<=20], #tunnel[render='3_inline'][zoom=>=11][zoom<=20], #bridge[render='3_inline'][zoom=>=11][zoom<=20]{ /* -- colors i estils -- */ line-color: @standard_fill; [type='motorway'], [type='motorway_link'] { line-color: @motorway_fill; [tunnel=1] { line-color: lighten(@motorway_fill, 10%); } } [type='secondary'], [type='secondary_link'] { line-color: @secondary_fill; [tunnel=1] { line-color: lighten(@secondary_fill, 10%); } } [stylegroup='railway'] { line-color: @rail_line; line-dasharray: 1,1; [type='subway'] { line-opacity: 0.67; } [zoom>15] { line-dasharray: 1,2; } }</pre>
	Amplada	<pre>[zoom=11] { [stylegroup='motorway'] { line-width: @rdz11_maj; } [stylegroup='minorroad']{ line-width: 0; } [stylegroup='railway'] { line-width: 0.2; } } [zoom=17] { [stylegroup='motorway'] { line-width: @rdz17_maj; } [stylegroup='minorroad']{ line-width: @rdz17_min; } [stylegroup='railway'] { line-width: 3; } }</pre>

Taula 3: Codi cartoCSS estil xarxa de comunicació

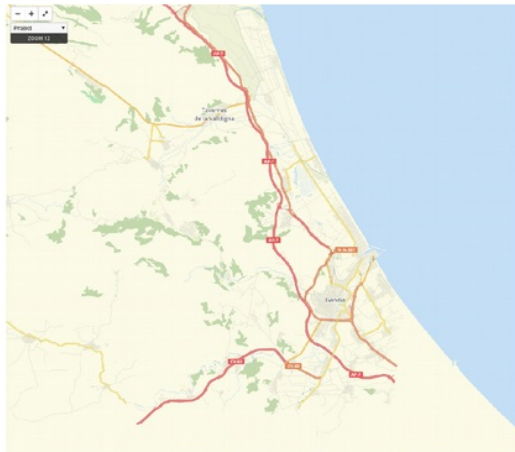


Figura 25: Detall xarxa de comunicacions zoom 12

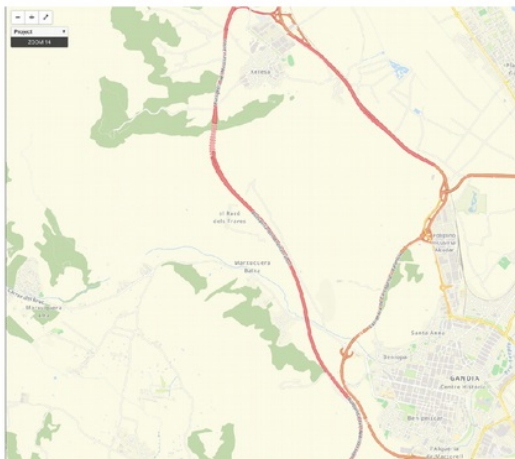


Figura 26: Detall xarxa de comunicacions zoom 14

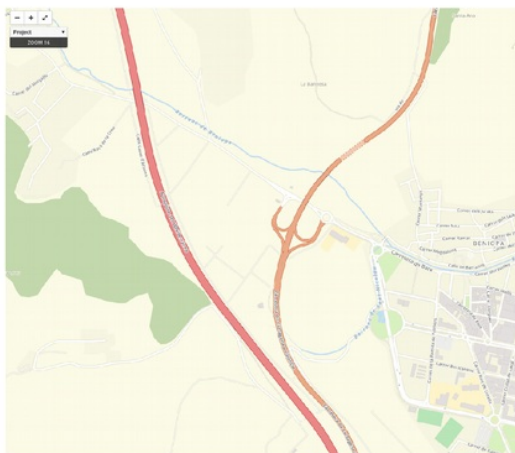


Figura 27: Detall xarxa de comunicacions zoom 16

- Etiquetes dels elements cartogràfics (labels.mss):

El darrer fitxer conté l'estil de les etiquetes dels lloc d'interès, poblacions, xarxa de comunicació, ... A les Figures 25, 26 i 27 es pot veure com respon l'etiquetatge al zoom. Ací hi ha un exemple la fulla d'estils de les etiquetes dels pobles:

```
#place::town[type='town'][zoom>=9][zoom<=17] {
  4 text-name:'[name]';
  text-face-name:@sans;
  text-placement:point;
  text-fill:@town_text;
  text-size:9;
  text-halo-fill:@town_halo;
  text-halo-radius:1;
  text-wrap-width: 50;
  [zoom>=10] {
    text-halo-radius:2;
    22 text-size: 10;
  }
  [zoom>=13]{
    text-transform: uppercase;
    text-character-spacing: 1;
    text-line-spacing: 2;
  }
  [zoom>=17]{
    text-size:16;
    text-character-spacing: 5;
    text-line-spacing: 6;
  }
}
```

Per altra banda, a la xarxa de comunicacions li correspon la següent configuració:

```
#motorway_label[zoom>=11][zoom<=14][reflen<=8] {
  shield-name: "[ref]";
  shield-size: 9;
  shield-face-name: @sans_bold;
  shield-fill: #fff;
  shield-file: url(img/shield-motorway-1.png);
  [type='trunk'] {
    [reflen=1] { shield-file: url(img/shield-trunk-1.png); }
    [reflen=2] { shield-file: url(img/shield-trunk-2.png); }
    [reflen=3] { shield-file: url(img/shield-trunk-3.png); }
  }
}
```

```

    [reflen=4] { shield-file: url(img/shield-trunk-4.png); }
    [reflen=5] { shield-file: url(img/shield-trunk-5.png); }
    [reflen=6] { shield-file: url(img/shield-trunk-6.png); }
    [reflen=7] { shield-file: url(img/shield-trunk-7.png); }
    [reflen=8] { shield-file: url(img/shield-trunk-8.png); }
}
[zoom=11] { shield-min-distance: 60; } //50
[zoom=12] { shield-min-distance: 80; } //60
[zoom=13] { shield-min-distance: 120; } //120
[zoom=14] { shield-min-distance: 180; }
}
#motorway_label[type='motorway'][zoom>9],
#motorway_label[type='trunk'][zoom>9] {
    text-name:"[name]";
    text-face-name:@sans_bold;
    text-placement:line;
    text-fill:@road_text;
    text-halo-fill:@road_halo;
    text-halo-radius:1;
    text-min-distance:60;
    text-size:10;
    [zoom=11] { text-min-distance:70; }
    [zoom=12] { text-min-distance:80; }
    [zoom=13] { text-min-distance:100; }
}
/* DIRECCIONS
#motorway_label[oneway!=0][zoom>=16],
#mainroad_label[oneway!=0][zoom>=16],
#minorroad_label[oneway!=0][zoom>=16] {
    marker-placement:line;
    marker-max-error: 0.5;
    marker-spacing: 200;
    marker-file: url(img/icon/oneway.svg);
    [oneway=-1] { marker-file: url(img/icon/oneway-reverse.svg); }
    [zoom=16] { marker-transform: "scale(0.5)"; }
    [zoom=17] { marker-transform: "scale(0.75)"; }
}

```

- Creació del conjunt de matrius de tesseles

Es configura el projecte on s'estableix el nivells de zoom de les matrius de tessel·les, quina serà l'extensió de treballa i el centre del mapa (Figura 28).

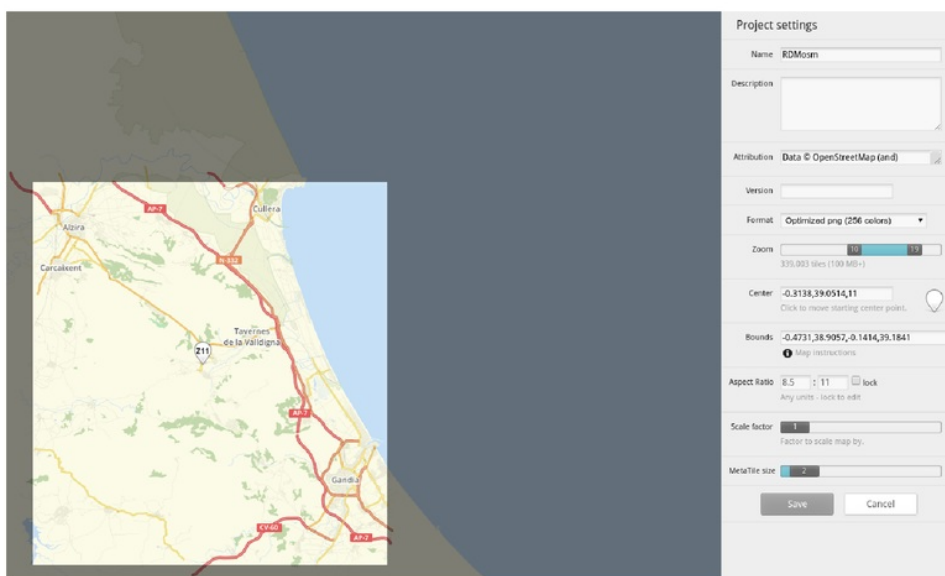


Figura 28: Configuració del projecte de tesseles

Tot seguit el projecte s'exporta a un fitxer MBTiles amb el qual es podria treballar en Mapbox per generar un mapa i servir-lo. En aquest cas, utilitzarem el fitxer resultant RDMosm.mbtiles per a crear un sistema d'arrels de carpetes similar a l'estructura piramidal d'escalles (conjunt de matriu de tesselles) per a que OpenLayers pugui llegir

```
mb-util RDMosm2.mbtiles /home/salva/WWW/htdocs/RDM/RDMosm
```

5.2. Cartografia rutejable

En aquest punt es finalitza el treball en la cartografia i quan arribem a la fi del mateix el resultat serà (a més de la col·lecció de tesselles) una xarxa de comunicacions preparada per a realitzar consultes i trobar la ruta òptima entre dos punts.

Amb motiu d'estructurar el flux del punt, s'indiquen els apartats que es tractaran més endavant:

- Validació de la geometria de la xarxa de comunicacions
- Operacions per a traure la coordenada Z
- Ús del model anisotròpic per al càlcul de les rutes

5.2.1. Calcular la topologia de la xarxa

En primer lloc s'unificarà tota la xarxa de comunicacions en una nova taula anomenada `osm_rut`, en la qual s'inseriran els elements de les taules `osm_motorways`, `osm_mainroads` i `osm_minorroads`. S'han creat dos camps nous per als nodes inicials i finals, i també s'ha creat un índex espacial per a agilitzar les consultes a la taula.

```
CREATE TABLE osm_rut
(
  id serial NOT NULL,
  geometry geometry(LineString,900913),
  CONSTRAINT osm_rut_pkey PRIMARY KEY (id)
);
INSERT INTO osm_rut (geometry)
SELECT st_geomfromewkb(geometry)
FROM osm_motorways; /* Fer el mateix procés amb osm_mainroads i osm_minorroads
alter table osm_rut add column source integer;
alter table osm_rut add column target integer;
CREATE INDEX osm_rut_geom
ON osm_rut USING gist (geometry);
```

La taula `osm_rut` està preparada per a crear una topologia de xarxa vàlida, així que no queda més que executar la funció `pgr_createTopology`. Les dades d'entrada són la taula de `osm_rut`, la tolerància entre nodes pròxims, el camp que conté la geometria i el camp que identifica cada element.

```
select pgr_createTopology ('osm_rut', 0.001, 'geometry', 'id');
```

El resultat és la actualització de la taula `osm_rut` amb els nodes origen (`source`) i destí (`target`) per a cada segment, i una nova taula puntual (`osm_rut_vertices_pgr`) que conté els nodes de la xarxa (Figura 29). Aquesta taula es utilitzada en les consultes del mòdul `pgrouting`.

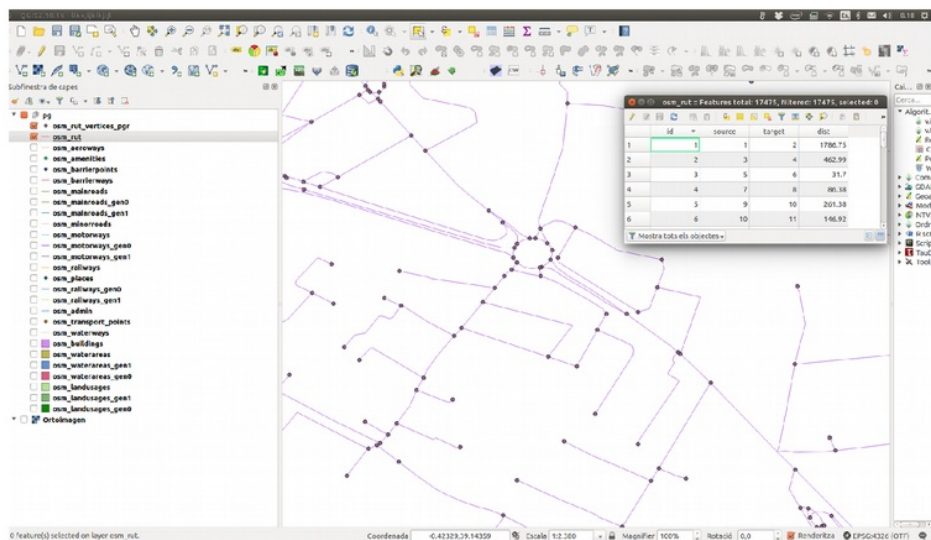


Figura 29: Topologia de nodes creada

Per al càlcul de les rutes òptimes es necessita una camp de cost, de moment es crea un nou camp per a la distància que obtenim amb l'ajuda de la calculadora de camp de QGIS.

```
round($length,2)
```

D'alta banda l'algoritme A-Star utilitza les coordenades dels nodes per a optimitzar la cerca de la ruta. Així que es creen els nous camps a la taula `osm_rut`.

```
ALTER TABLE osm_rut ADD COLUMN x1 double precision;
ALTER TABLE osm_rut ADD COLUMN y1 double precision;
ALTER TABLE osm_rut ADD COLUMN x2 double precision;
ALTER TABLE osm_rut ADD COLUMN y2 double precision;

UPDATE osm_rut SET
  x1 = ST_X(ST_PointN (geometry,1)),
  y1 = ST_Y(ST_PointN (geometry,1)),
  x2 = ST_X(ST_PointN (geometry,ST_NumPoints(geometry))),
  y2 = ST_Y(ST_PointN (geometry,ST_NumPoints(geometry)));
```

Tot seguit es mostra una consulta que llança una vista amb la ruta òptima i la representació amb QGIS (Figura 30).

```
CREATE OR REPLACE VIEW public.osm_via AS
SELECT seq, id1, id2, a.cost, b.geometry as geometry
FROM pgr_astar('
select id::integer, source::integer, target::integer, cost, x1, y1, x2, y2
```

```

from osm_rut'::text, 254, 78, 7, false, false)
a JOIN osm_rut b ON a.id2 = b.id
ORDER BY a.id1;

```



Figura 30: Ruta calculada amb l'algorisme A-Star

5.2.2. Funció PostGIS pgr_RutaOptima

A l'anterior apartat es calcula la ruta òptima entre dos nodes establerts. Aquesta metodologia no s'ajusta a la realitat del projecte, ja que es necessita obtenir la ruta entre dos punts determinats per coordenades. Amb aquest motiu es prepara la funció `pgr_RutaOptima` per a PostGIS on es resol aquest problema.

6 Les variables d'entrada i sortida de la funció són les següents:

```

IN x1 double precision,
IN y1 double precision,
IN x2 double precision,
IN y2 double precision,
OUT seq integer,
OUT id integer,
OUT cost double precision,
OUT geometry geometry

```

Es pot observar que les dades són equivalents a les de la funció `pgr_Astar` on es canvia els valors dels nodes d'eixida i sortida per les coordenades. El primer pas és obtenir les

coordenades dels punts amb les quals s'obtidran els identificadors dels nodes de sortida i d'arribada. L'obtenció de les coordenades quedarà explicada als següents punts.

```

7 EXECUTE 'SELECT id::integer FROM osm_rut_vertices_pgr
ORDER BY geometry <-> ST_GeometryFromText('POINT('
|| x1 || ' ' || y1 || ')',3857) LIMIT 1' INTO rec;
source := rec.id;

```

Amb aquestes dades es pot utilitzar l'estructura creada per a la vista de la Figura 30, selecció que mostra els trams que componen el traçat esperat. Per acabar, es recorre un bucle per a registrar totes les entrades en una variable.

```

7 FOR rec IN EXECUTE sql
LOOP
seq := seq +1 ;
id := rec.id;
cost := rec.cost;
geometry := rec.geometry;
RETURN NEXT;
END LOOP;

```

```

-- Function: public.pgr_rutaoptima(double precision, double precision, double precision, double precision)
-- DROP FUNCTION public.pgr_rutaoptima(double precision, double precision, double precision, double precision);
CREATE OR REPLACE FUNCTION public.pgr_rutaoptima(
IN x1 double precision,
IN y1 double precision,
IN x2 double precision,
IN y2 double precision,
OUT seq integer,
OUT id integer,
OUT cost double precision,
OUT geometry geometry)
RETURNS SETOF record AS
$BODY$
DECLARE
sql text;
rec record;
source integer;
target integer;
point integer;
BEGIN
-- Seleccionar el node pròxim com a source y target
EXECUTE 'SELECT id::integer FROM osm_rut_vertices_pgr
ORDER BY geometry <-> ST_GeometryFromText('POINT('
|| x1 || ' ' || y1 || ')',3857) LIMIT 1' INTO rec;
source := rec.id;

EXECUTE 'SELECT id::integer FROM osm_rut_vertices_pgr
ORDER BY geometry <-> ST_GeometryFromText('POINT('
|| x2 || ' ' || y2 || ')',3857) LIMIT 1' INTO rec;
target := rec.id;

--Cridar al algorisme A-Star
seq := 0;
sql := 'SELECT id, cost, source, target, geometry

```

Figura 31: Funció creada amb PgAdmin3

A la Figura 32 es troba un exemple del funcionament de la funció creada.

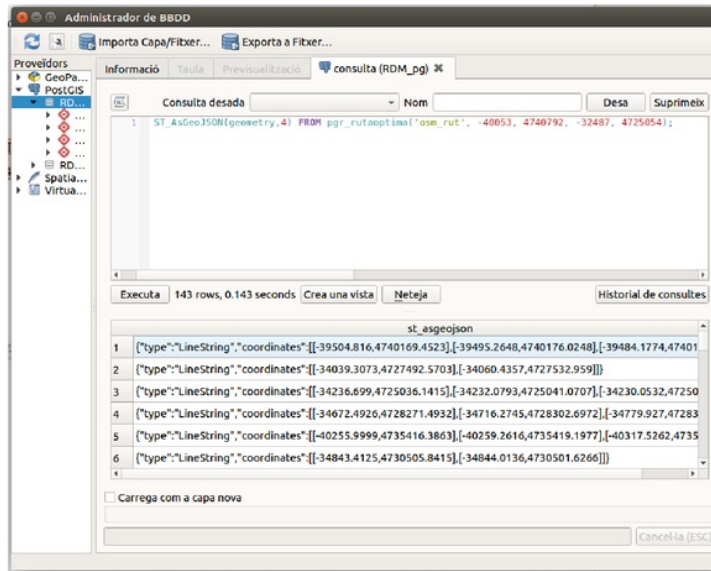


Figura 32: Resultat de ruta òptima amb la funció pgr_RutaOptima

5.2.3. Obtenció de coordenada Z

El algorismes de cerca de rutes òptimes empen un camp de cost per a obtenir el millor traçat. En poden obtenir el més curt, o el més ràpid, açò depèn de si el camp de cost és la distància o el temps. Durant aquest treball s'ha parlat d'incloure un model d'esforç on el desnivell actua de manera activa en el cost de travessar un tram. Així és que en aquest punt es donarà valor a la coordenada Z de la taula osm_rut per a calcular els desnivells entre els trams. A continuació es detalla el procediment.

Model Digital del Terreny de la zona de treball

Aprofitant la cartografia del ICV s'obté un model d'elevacions amb les capes d'elements orogràfics com són les corbes de nivell, els punts de cota i el vèrtex de 4t ordre. S'utilitza l'aplicació *Interpolació* de QGIS, la qual crea un model digital del terreny ràster mitjançant una xarxa irregular de triangles TIN (Figures 33 i 34).

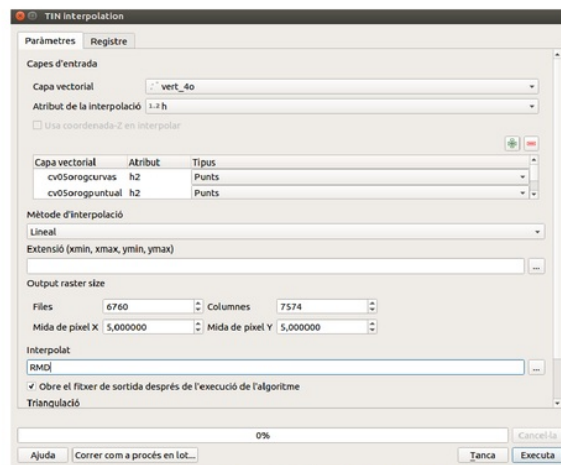


Figura 33: Quadre de diàleg interpolació TIN

Amb el resultat següent:

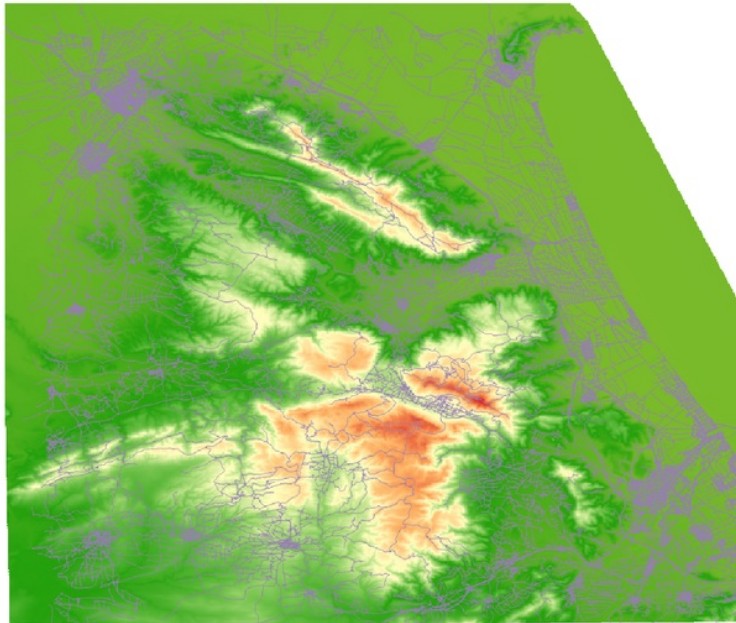


Figura 34: MDT creat mitjançant interpolació TIN de la zona de treball

Generar coordinada Z a xarxa de comunicació

També amb l'ajuda de QGIS, s'exporta la taula `osm_rut` a format shapefile per a extraure la coordenada Z. Es farà ús de l'eina de processament *drape (set z-value from raster)* de la llibreria GRASS inclosa en QGIS (Figura 35). El procés afegeix la

coordenada Z al vèrtex corresponent a les coordenades XY sobreposat sobre el MDT.
En altres paraules, la capa de vials s'ajega a la capa raster que conté el MDT.

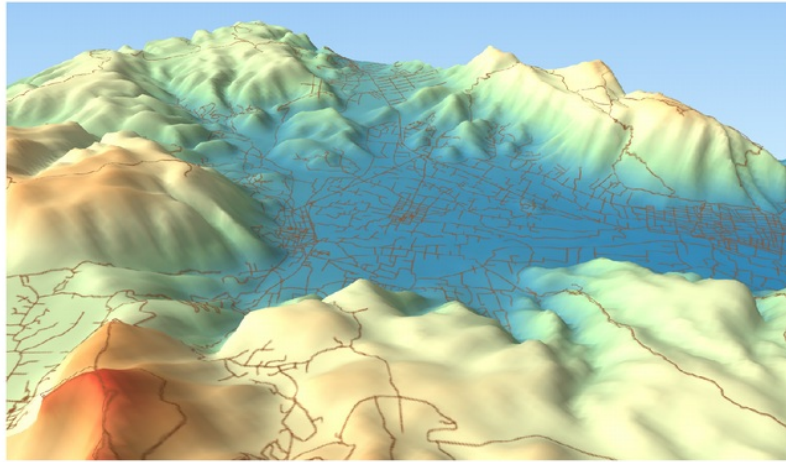


Figura 35: Model 3D del MDT amb la capa de vials pujada a cota

5.2.4. Adaptació al model anisotròpic

Amb motiu de crear un model anisotròpic a la xarxa de comunicacions que s'ha creat cal resoldre els següents dos aspectes:

1. La velocitat de moviment a peu varia segons la pendent. Per aquest motiu s'utilitza la funció de Tobler que contemple aquest aspecte.

$$W = 6e^{(-3.5 \cdot |S + 0.05|)} \quad (1)$$

2. El cost en travessar un tram és diferent segons els sentit que es prenga. No és el mateix cost anar de A a B si el desnivell és d (positiu), que anar de B a A si el desnivell és -d (negatiu).

En primer lloc, s'ha escrit un script en python que selecciona un tram i calcula el desnivell i la distància entre cadascun dels seus vèrtex. Com a resultat afegim a la taula d'atributs 4 columnes: desnivell positiu, desnivell negatiu, distància del desnivell positiu i distància del desnivell negatiu. A continuació s'explica el motiu d'aquest pas.

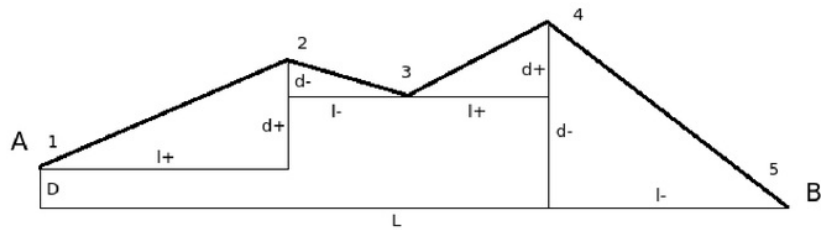


Figura 36: Desnivells i distàncies emprades per al càlcul del cost en temps d'atravessar cada tram

Es suposa que AB es una polínia de 5 vèrtexs, 1-2-3-4-5. Per a la funció de Tobler es necessita obtenir el desnivell entre dos punts, S , si es calcula el desnivell entre els punts A i B s'obté D i la distància L. Cosa que no contempla la realitat del tram (Figura 36). Si s'analitza la geometria, per a obtenir el desnivell amb els extrems en realitat s'està calculant la Figura 37.



Figura 37: Desnivell erroni

A raó de resoldre aquest inconvenient l'script divideix la polilínia en trams de vèrtex a vèrtex. Per a cadascun dels trams calcula el desnivell i la distància, amb açò i la funció de Tobler (2) s'aïlla la variable temporal obtenint el temps en segons que costa travessar el tram. Aquesta operació es fa per a la totalitat de trams d'un objecte i s'obté el sumatori del cost de tots els trams. Tot seguit continua amb la següent polilínia. La fórmula de la funció de Tobler és:

$$T = \frac{9}{15} \cdot \frac{L}{e^{-3,5|S+0,05|}} \quad (2)$$

En segon lloc, per donar-li sentit al cost segons la direcció que prenga la ruta es calcula el cost invers de B a A. Per aquesta operació tan sols cal canviar el signe del pendent quan es calcula el cost i guardar-ho al sumatori de cost invers.

`xo = geom.GetX(v)`

```

yo = geom.GetY(v)
zo = geom.GetZ(v)
xi = geom.GetX(v+1)
yi = geom.GetY(v+1)
zi = geom.GetZ(v+1)
lp = math.sqrt((xi - xo)**2 + (yi - yo)**2)
dp = zi - zo
p = math.atan(dp/lp)
td = ((lp/1000)/(6*math.exp(-3.5*math.fabs(math.tan(p)+0.05))))*3600
tdt = tdt + td
ti = ((lp/1000)/(6*math.exp(-3.5*math.fabs(math.tan(-p)+0.05))))*3600
tit = tit + ti
if dp > 0:
    lpos = lpos + lp
    dpos = dpos + dp
if dp < 0:
    lneg = lneg + lp
    dneg = dneg + dp

```

Finalment, la xarxa de comunicacions està preparada per al seu ús. A continuació es mostra un exemple de càlcul de rutes entre dos punts aplicant el cost que per defecte aplica **pgrouting** i aplicant el cost depenent la funció de Tobler (Figura 38).

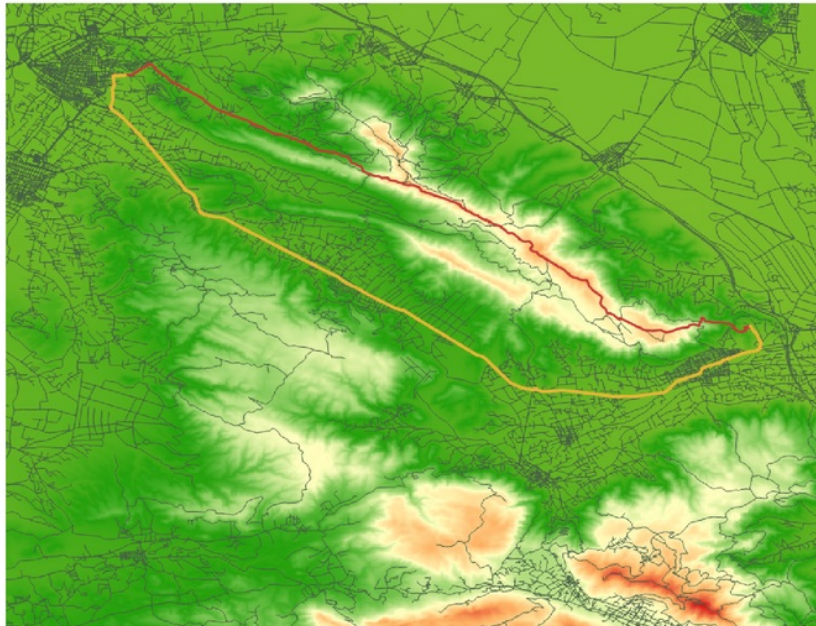


Figura 38: Comparació de rutes. En groc aplicant el cost per Tobler i en magenta amb el cost per defecte

Cal remarcar que a la funció **A-Star** s'introdueixen dos variables més, graf directe i el cost a l'invers.

```
19 FROM pgr_astar('
    select id::integer,
    source::integer,
    target::integer,
    cost_s_d as cost,
    cost_s_r as reverse_cost,
    x1, y1, x2, y2
    from osm_rut'::text, 24220, 23785, true, true)
```

5.3. Espai client-servidor

Per acabar el punt de metodologia s'ha de adaptar l'entorn de treball per a mostrar als usuaris el treball fet. Als següent apartats es configura els fluxes d'informació base de dades - servidor - visor cartogràfic.

5.3.1. Accés a PostGIS des del servidor

La metodologia que es segueix per a enviar i sol·licitar informació a la base de dades es la següent:

- Petició des de javascript amb l'enviament de dades a la plataforma php.

```
var getDadesRuta = function(){
    return $.getJSON( "pont.php", {
        "inicicoorXExterna" : finalcoorXExterna.toString(),
        "inicicoorYExterna" : inicicoorYExterna.toString(),
        "finalcoorXExterna" : finalcoorXExterna.toString(),
        "finalcoorYExterna" : finalcoorYExterna.toString()
    });
}
```

- El pont entre la web i la base de dades és php que rep les dades de treball, connecta i realitza una consulta directament a la base de dades. Cal destacar la consulta directa a la funció creada al punt anterior, on es requereix la informació de la geometria de la ruta en format GeoJSON per a la posterior renderització en OpenLayers.

```
$inicioXCoor = $_GET['inicicoorXExterna'];
$inicioYCoor = $_GET['inicicoorYExterna'];
$finalXCoor = $_GET['finalcoorXExterna'];
$finalYCoor = $_GET['finalcoorYExterna'];
```

```

31 $cadena="host=localhost port=5432 dbname=RDM_pg user=postgres password=XXXXX";
$conexion=pg_connect($cadena) or die("Error de conexion.");
$params = array(floatval($inicioXCoor), floatval($inicioYCoor), floatval($finalXCoor),
floatval($finalYCoor));
$sql = "SELECT ST_AsGeoJSON(geometry,4) FROM pgr_rutaoptima($1, $2, $3, $4)";
rs = pg_query_params($conexion, $sql, $params) or die ('Error query.'. pg_error());

```

- Tot seguit, les dades son emmagatzemades i rebudes per la banda del javascript. Per a posteriorment afegir una capa de vector amb format GeoJSON des del script de OpenLayers.

```

getDadesRuta()
12 .done( function( response ) {
//done() es ejecutada cuándo se recibe la respuesta del servidor. response
es el objeto JSON recibido
//if( response.success ) {
var rutaGeoJson = response;

```

5.3.2. Programació del visor Openlayers

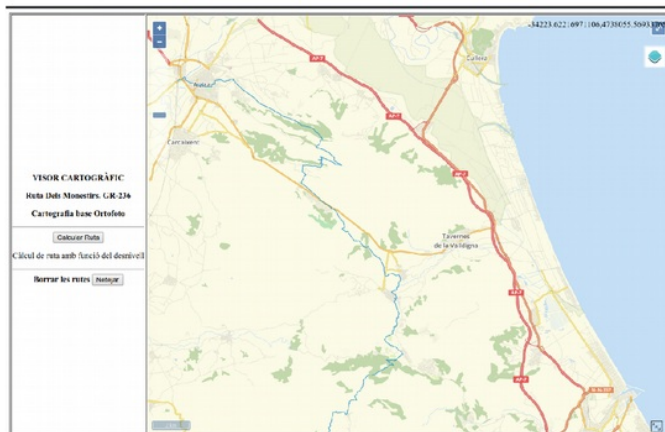


Figura 39: Visor cartogràfic

Ací finalitza el procés del projecte final de grau, a la part més visual, la part en la que l'usuari pot interactuar i fer ús de les eines que s'han desenvolupat (Figura 39). La programació del visor cartogràfic en Openlayers es divideix en 3 blocs:

- Creació del mapa amb les seues propietats i controls:

```

14 map = new ol.Map({
target: map,
logo: "./images/favicon.ico",
renderer: 'canvas',

```



```

30 view: new ol.View({
    center: [-33765, 4729036],
    zoom: 11,
    maxzoom: 18,
    minzoom: 10
  }
  14 projection: 'EPSG:4326',
  controls: ol.control.defaults().extend([
    new ol.control.FullScreen(),
    new ol.control.ZoomSlider(),
    24 new ol.control.ScaleLine(),
    new ol.control.MousePosition(),
    new ol.control.Zoom(),
    new ol.control.LayerSwitcher({
      tipLabel: 'Leyenda'
    })
  ]
  });

```

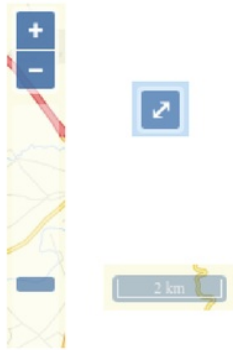


Figura 40: Controls de zoom i escala gràfica

El camp target és el que relaciona el script amb el codi html: `<div style="width: 1000px; height: 800px" id="map"></div>`, que és on s'insereix el visor. Seguidament s'especifiquen paràmetres com el centre del mapa, la projecció i els nivells de zoom (Figura 40). Finalment s'afegeixen els següents elements addicionals.

- Les capes que componen el mapa (Figura 41):

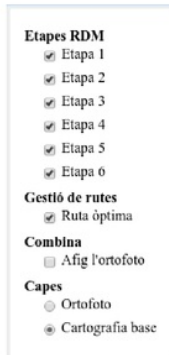


Figura 41: Gestor de capes

```

8
new ol.Layer.Tile({
  title: 'Cartografia base',
  type: 'base',
  visible: true,
  source: new ol.source.XYZ({
    url: './RDMosm/{z}/{x}/{y}.png',
  })
},
8
new ol.Layer.Tile({
  title: 'Ortofoto',
  type: 'base',
  visible: false,
  source: new ol.source.TileWMS({
    url: "http://www.idee.es/wms/PNOA/PNOA",
    params: {
      layers: 'pnoa',
      projection: 'EPSG 3857'
    }
  })
})
})

```



Figura 42: Capa de tessellat personalitzades, ortofoto del PNOA i composició d'ambdues

Aquestes dues són la cartografia base del mapa, la primera és un servei de tesselles creades, després de densificar la xarxa de comunicacions, amb l'eina Tilemill. La segona capa es una connexió al servei WMS del Institut Geogràfic Nacional (Figura 41).

```
21 new ol.layer.Vector({
    title: 'Etapa 6',
    source: new ol.source.Vector({
    visible: true,
    url: './kml/6MURTA.gpx',
    style: {strokeColor: "#FF0000", strokeWidth: 4,
    strokeOpacity: 0.8},
    format: new ol.format.GPX()
    })
}),
8 new ol.layer.Group({
    title: 'Gestió de rutes',
    layers: [
    new ol.layer.Vector({
    title: "Ruta òptima",
    visible: true,
    url: 'rutaGeoJson',
    format: new ol.format.GeoJSON()
    })
    ]
}),
```

Finalment, es superposen les capes vectorial corresponents a les etapes de la Ruta del Monestirs en format GPX (arxius directes del receptor GPS) i la capa amb la geometria de la ruta òptima trobada. Aquesta geometria amb format GeoJSON obtingut mitjançant la connexió a la base de dades PostGIS amb php.

- Mòdul de càlcul de la ruta òptima:

La funció que dibuixa els punts inicial i final de la ruta, l'extracció de les coordenades per als càlculs posteriors, eliminar i esborrar les variables dels punts i el botó de calcular ruta (Figura 43).

```
var puntinici = new ol.Feature();
var puntfinal = new ol.Feature();
var capapunts = new ol.layer.Vector({
```

```

23 source: new ol.source.Vector({
    features: [puntinici,puntfinal]
  })
});
map.addLayer(capapunts);
map.on('click', function(event){
  if (puntinici.getGeometry()==null){
    puntinici.setGeometry(new ol.geom.Point(event.coordinate));
  } else if (puntfinal.getGeometry()==null){
    puntfinal.setGeometry(new ol.geom.Point(event.coordinate));

    var inicicoor = puntinici.getGeometry().getCoordinates();
    var finalcoor = puntfinal.getGeometry().getCoordinates();
    var inicicoorX = inicicoor[0];
    var inicicoorY = inicicoor[1];
    var finalcoorX = finalcoor[0];
    var finalcoorY = finalcoor[1];

    var botoEliminar = document.getElementById('delete_rut');
    botoEliminar.addEventListener('click', function(event){
      puntinici.setGeometry(null);
      puntfinal.setGeometry(null);
      inicicoorX = null;
      inicicoorY = null;
      finalcoorX = null;
      finalcoorY = null;
    });
  }
});

```

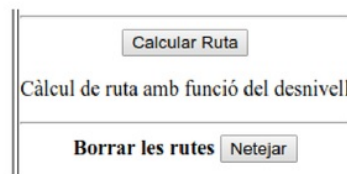


Figura 43: Botons de càlcul de ruta i esborrat de variables

6. Conclusions

Aquest projecte ha contribuït de manera important per a considerar ¹⁸ els punts que cal cobrir i considerar per a ¹³ dur a terme, amb garanties, la implementació d'un sistema d'informació geogràfica. Malgrat ¹³ que deixa molts aspectes interessants que cobrir.

¹³ Es pot afirmar que s'han cobert els objectius marcats a l'inici del projecte. Des de l'ampliació de la cartografia per a aconseguir un xarxa de comunicacions suficientment àmplia, a realitzar un servei d'enrutament eficaç. A més, s'ha adaptat a les circumstàncies que envolta al vianant o senderista.

Al llarg del treball s'han utilitzat coneixements adquirits durant aquests any d'estudi de retitolació. En primer lloc, el domini dels sistemes d'informació geogràfica, edició de dades alfanumèriques i geomètriques, sistemes de referència i diferents tipus d'extensions d'arxius.

En segon lloc, s'han fet servir fins a quatre llenguatges de programació diferents, aprofitant les característiques de cadascun. En alguns casos, es podria haver obviat el canvi de llenguatge, però sempre s'ha optat per la eficiència i rapidesa en el moment d'executar.

Així mateix, seguint amb els objectius, la totalitat de les tasques durant aquest projecte s'han realitzat amb programari lliure. És una bona mostra del potencial que tenim a l'abast, tot gracies a la comunitat d'usuaris de programari de codi obert. Paga la pena dir que la grandesa d'aquestes eines recau en la solidaritat de la comunitat que hi ha al darrere. Seguint amb aquesta línia, convé ressaltar l'augment d'informació que hi ha any darrere any a la cartografia d'OpenStreetMap, tanmateix, està comprovat que emprant cartografia diferents fonts es poden cobrir quasi totes les necessitats a l'hora de realitzar un treball.

7. Línies futures de desenvolupament

Per acabar, s'enumeraran un quants punts com a futurs treballs per a donar millor servei a l'usuari.

- Afegir informació d'interès per al senderista. Com puga ser llocs d'atenció mèdica, punts d'interès relacionats amb el turisme, llocs d'oci i restauració. D'aquesta manera aprofitar el càlcul de rutes per arribar als llocs que més interesse.
- Optimitzar la programació front-end per a que l'usuari tinga una millor experiència.
- Crear una xarxa d'usuaris que puguen registrar-se a la comunitat i amb la possibilitat de incloure avisos, com senders o senyals en mal estat, a una base de dades per al seu posterior manteniment.
- Migrar la plataforma a un framework de programació més robust.
- Incloure la vista 3D al visor.

8. Pressupost de l'aplicació

Hem de recordar que la totalitat d'aquest treball s'ha realitzat amb programari lliure i amb dades de lliure accés, així és que no han hagut despeses per la compra de llicències o l'obtenció de dades de tercers.

Per aquest fet l'única despesa material és la de l'ordinador personal que s'ha emprat per a realitzar les tasques. Es tracta de un ordinador portàtil de la marca MOUNTAIN model StudioMX 174G, valorat en 1300€. Aquest és l'única ferramenta de treball, per tant ha de ser potent per a moure gran quantitat de dades.

D'altra banda, la quota mensual del treballador per compte propi és de 283,3€. Sense més despeses tan sols queda calcular el beneficis a obtenir. S'estipula que els honoraris son de 30€ l'hora.

Resum de la planificació econòmica del projecte:

Beneficis	Temps Previst (h)	Temps dedicat (h)	Ajustament temporal
Planificació del treball	24	21	14,29%
Selecció de les dades	16	15	6,67%
Adaptació de la cartografia	40	43	-6,98%
Creació de la cartografia pròpia	32	30	6,67%
Programar el visor cartogràfic	80	76	5,26%
Total (h)	192	185	3,78%
	5760	5550	3,78%
	Benefici per rendiment	210	

Despeses	Temps dedicat (mesos)	Cota d'autònom (€)	Altres (portàtil)
	1,05	297,79	1300
		Total	1598

Beneficis del projecte (€)	4162
----------------------------	------

9. Bibliografía

- Costa, J. (2011). OpenStreetMap: el mapa libre del mundo. *Revista Bits de Ciencia*, 6, 46–51.
- Haklay, M. (2008). *How good is Volunteered Geographical Information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets Abstract*.
- Ruiz, E. (2010). Consideraciones acerca de la explosión geográfica: geografía colaborativa e información geográfica voluntaria acreditada. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, 280–298.
- Vallès, R. V., Bolas, A. M., & Pérez, A. (2010). *Modelo anisotrópico de cálculo de rutas de coste mínimo con gvSIG y SEXTANTE*. (1).
- Benavent, C. (2018). pgRouting: presente, futuro y casos de uso reales. Jornadas de SIG libre.
- Vilanou, R., Muñoz A., Pérez A. (2009). Modelo anisotrópico de cálculo de rutas de coste mínimo con gvSIG y SEXTANTE.
- Santiago, A. (2014). The book of OpenLayers 3
- Martínez, J.C., (2012). PostGIS 2. Análisis Espacial Avanzado.
- QGIS Project (2015). PyQGIS developer cookbook. Release testing.

Webgrafía

- WikiOpenStreetMap. Normalización vías de comunicación. https://wiki.openstreetmap.org/wiki/ES:Espa%C3%B1a/Normalizaci%C3%B3n#V.C3.ADas_de_circulaci.C3.B3n
- Taller de JOSM, Imposm y Tilemill https://taller-de-josm-imposm-tilemill.readthedocs.io/es/latest/tilemill/tilemill_intro.html

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %

INDICE DE SIMILITUD

5 %

FUENTES DE INTERNET

1 %

PUBLICACIONES

4 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	en.guiaradcliffe.com Fuente de Internet	1 %
2	Submitted to Universitat Politècnica de València Trabajo del estudiante	1 %
3	gisconf.ru Fuente de Internet	1 %
4	geographiccm.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
5	www.paramounthealthcare.com Fuente de Internet	<1 %
6	Submitted to Infile Trabajo del estudiante	<1 %
7	workshop.pgrouting.org Fuente de Internet	<1 %
8	tully.ups-tlse.fr Fuente de Internet	<1 %
9	collectiuullaldesollana.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %

10	Submitted to University of Leicester Trabajo del estudiante	<1%
11	www.davidgis.fr Fuente de Internet	<1%
12	wizardblack19.blogspot.com Fuente de Internet	<1%
13	Submitted to Universidad de las Islas Baleares Trabajo del estudiante	<1%
14	Submitted to University of Leeds Trabajo del estudiante	<1%
15	docs.pgrouting.org Fuente de Internet	<1%
16	www.fermizg.com Fuente de Internet	<1%
17	www.coining.com Fuente de Internet	<1%
18	openaccess.uoc.edu Fuente de Internet	<1%
19	Alexander Smirnov, Nikolay Teslya, Alexey Kashevnik. "Chapter 18 Context-Aware Routing Service for an Intelligent Mobile-Tourist Guide", Springer Nature, 2018 Publicación	<1%

20	desenvolupamentrural.cat Fuente de Internet	<1%
21	matsup.blogspot.com Fuente de Internet	<1%
22	ikee.lib.auth.gr Fuente de Internet	<1%
23	mygeoconcept.com Fuente de Internet	<1%
24	Submitted to Hellenic Open University Trabajo del estudiante	<1%
25	www.hypefortype.com Fuente de Internet	<1%
26	Submitted to TecnoCampus Trabajo del estudiante	<1%
27	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
28	mon.uvic.cat Fuente de Internet	<1%
29	www.sharpiro.com Fuente de Internet	<1%
30	Submitted to University of Glamorgan Trabajo del estudiante	<1%
31	Submitted to Cranfield University Trabajo del estudiante	<1%

<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo