



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS ENGINYERIA DE CAMINS,
CANALS I PORTS

TREBALL DE FI DE GRAU

DISSENY GEOTÈCNIC D'UN PAS INFERIOR FERROVIARI
a L'ESTACIÓ DE FERROCARRILS DE LA GENERALITAT VALENCIANA A PAIPORTA (VALÈNCIA)

Presentat per :

MARTÍ MORA, SERGI

Per a l'obtenció del

GRAU EN ENGINYERIA CIVIL

Curs: 2019 / 2020

Data: SETEMBRE 2020

Tutor: VÍCTOR MARTÍNEZ IBÁNEZ

Cotutor: CÉSAR CUESTA GARCÍA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS ENGINYERIA DE CAMINS,
CANALS I PORTS

INDEX :

DOCUMENT n.1: **MEMÒRIA I ANNEXES**

DOCUMENT n.2: **PLANOLS**

DOCUMENT n.3: **VALORACIÓ ECONÒMICA**

MARTÍ MORA, SERGI

DISSENY GEOTÈCNIC D'UN PAS INFERIOR FERROVIARI
a L'ESTACIÓ DE FERROCARRILS DE LA GENERALITAT VALENCIANA A PAIORTA (VALÈNCIA)



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



ETS ENGINYERIA DE CAMINS,
CANALS I PORTS

DOCUMENT n.1 : **MEMÒRIA I ANNEXES**

MARTÍ MORA, SERGI

DISSENY GEOTÈCNIC D'UN PAS INFERIOR FERROVIARI
a L'ESTACIÓ DE FERROCARRILS DE LA GENERALITAT VALENCIANA A PAIPORTA (VALÈNCIA)



ÍNDEX

MEMORIA

1. OBJECTE
2. SITUACIÓ
3. ANTECEDENTS I DOCUMENTACIÓ DE PARTIDA
4. ESTUDIS PREVIS
 - 4.1. Geologia i geotècnica
 - 4.2. Topografia i cartografia
5. ANÀLISI CRÍTICA DE L'ESTUDI GEOLÒGIC I GEOTÈCNIC
 - 5.1. Memòria
 - 5.2. Annexes
6. DISSENY GEOTÈCNIC DEL CALAIX
 - 6.1. Normativa
 - 6.2. Predimensionament
 - 6.3. Pressions transmiseses al terreny
 - 6.3.1. Seguretat front a enfonsament
 - 6.3.2. Assentaments
 - 6.4. Empentes sobre els murs
7. ALTRES RECOMANACIONS CONSTRUCTIVES
 - 7.1. Criteris funcionals
 - 7.2. Anàlisi d'alternatives
 - 7.2.1. Alternativa 1
 - 7.2.2. Alternativa 2
 - 7.2.3. Alternativa 3
 - 7.3. Alternativa "i" in situ o prefabricada
 - 7.4. Justificació de la solució adoptada
8. CONCLUSIONS
9. REFERÈNCIES



ANNEXES

1. DOCUMENTACIÓ FOTOGRÀFICA
2. ANTECEDENTS I DOCUMENTACIÓ DE PARTIDA
3. ESTUDI GEOLÒGIC I GEOTÈCNIC
4. DISSENY GEOTÈCNIC DE LA SOLUCIÓ ADOPTADA

1. OBJECTE

En el present document van a abordar-se tots els aspectes relatius al disseny del pas inferior entre andanes de ferrocarril a realitzar en l'estació de metro de FGV a Paiporta, València. La definició d'aquests aspectes estarà focalitzada en l'àmbit geotècnic, pel que van a analitzar-se amb més profunditat aquelles parts de la infraestructura que vagen a estar directament relacionades amb el terreny.

Un dels principals punts d'estudi del treball serà el càlcul geotècnic dels elements de contenció de terres, que en aquest cas, van a simplificar-se a un calaix de formigó armat. Així, les parets laterals d'aquest serviran de murs de contenció, la mateixa llosa servirà de cimentació, i el sostre suportarà el pes de les terres més els elements ferroviaris.

Així mateix, ja que el pla promotor d'aquesta actuació engloba una visió més general de l'obra, cal destacar que el principal objectiu que persegueix és el d'una millora en la comunicació entre ambdues andanes. Elements de vital importància per a la correcta permeabilització com, per exemple, escales i ascensors, instal·lació elèctrica, així com l'ampliació de les mateixes andanes seran tractats en dit projecte de manera pertinent. Tanmateix, en el següent document s'estudiarà principalment la definició dels elements de contenció així com lo relacionat amb l'estudi del terreny.

En els posteriors apartats quedaran descrites les parts més importants de la construcció, així com les particularitats que presenta. Així, la part més important és la involucrada en torn al calaix. La possibilitat d'executar-lo in situ, o fer-ne ús d'un prefabricat, serà estudi d'un dels punts d'aquest treball. Addicionalment, és d'una gran importància senyalar que per tal de minimitzar el trànsit ferroviari ha de definir-se una manera de gestionar-lo, punt que s'explicarà també en apartats posteriors, doncs s'han estudiat diverses alternatives.

2. SITUACIÓ

Les actuacions tindran lloc en l'estació de ferrocarrils de FGV en el municipi de Paiporta, situat a la província de València (Comunitat Valenciana, Espanya), en la comarca de l'Horta Sud.

Es tracta d'una estació de Metrovalència, situada en concret en l'encreuament de la traça de les vies amb el barranc de Xiva, al marge est del mateix. En aquest pas, les vies discorren paral·leles a la carretera CV-406, que és el principal camí que uneix les poblacions de Picanya i Paiporta.



Figura 1.- Ortofoto municipal de Paiporta. Localització estació (Font: Google Earth)

3. ANTECEDENTS I DOCUMENTACIÓ DE PARTIDA

A continuació van a exposar-se els antecedents del projecte i la documentació de partida amb la que s'ha comptat per a emprendre la seua redacció.

Existeixen dos tipus d'interseccions que afecten a la seguretat dels vianants en una xarxa ferroviària: els passos a nivell per a vianants i passos entre andanes. En el primer dels dos, l'ús del mateix és tant per a vehicles com per a persones, i poden comptar o no, amb mesures de seguretat. Les altres interseccions estan dissenyades expressament per al pas entre andanes de vianants, no obstant, en la gran majoria dels casos aquestes poden estar realitzades de forma que no es distinguen de les primeres, donada la seua integració urbanística.

Aleshores, donada la falta de seguretat i la possibilitat d'accident en punts com aquests, Administracions Públiques i Municipals en cooperació amb Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana mostraren especial interès en solucionar la perillositat d'aquests punts.

Així doncs, en l'any 2016 la Unitat d'Enginyeria d'I+D+i de FGV va redactar l'informe que va servir de base per a fer una proposta d'un pla d'execució que solucionara aquests problemes. En aquest s'analitzen de la manera més objectiva possible totes les interseccions amb una valoració multicriteri en funció de les variables més importants.

L'estudi que va a fer-se en el present treball, no és sinó una part del pla promogut finalment per la Conselleria amb competències en matèria de Transports, i per FGV, amb la finalitat de minimitzar el risc en les interseccions descrites abans. Aquest rep el nom de "Pla Global de Millora de les Condicions de Seguretat i Accessibilitat dels Passos a Nivell i dels Passos entre Andanes de la Xarxa de FGV en València", i té com a principal objectiu una millora en les condicions de comunicació, accessibilitat i seguretat dels passos entre andanes de la xarxa de metro de la província de València.

L'elaboració d'un projecte on s'englobe la supressió d'un pas entre andanes per la construcció d'un pas inferior amb escales i ascensor per al seu accés, és el propòsit més important del pla director exposat en el paràgraf anterior.

A continuació s'exposarà la documentació amb la que es comptava per iniciar el present projecte i per establir els requisits de disseny dels murs de contenció.

Aquest estudi pren com a referència diversos documents d'entre els quals s'ha pogut extraure la informació més essencial per a la seua redacció. Una descripció general del problema en qüestió, sintetitzat abans, i de les actuacions dutes a terme, així com les particularitats de les mateixes, explicant lo relatiu a les estructures i les fonamentacions. S'exposen els elements estructurals més importants (calaix, murs de contenció, lloses de fonamentació, escales i marquesines), el procediment constructiu a seguir, així com les dimensions dels elements esmentats. A més, s'inclou també informació relativa a la topografia de la zona.

Pel que respecta a la documentació relativa a la geologia i geotècnia del terreny, aquest estudi pren com a punt de partida la informació recollida en l'informe geotècnic que forma part, a l'igual que els citats documents anteriors, del projecte constructiu global del pas inferior estudiat. Així doncs, aquest informe geotècnic va ser redactat per l'empresa SEG Ingeniería al gener de 2019.

Amb totes les circumstàncies descrites, i donat el caràcter acadèmic del present document, s'ha limitat aquest Treball Fi de Grau al disseny i la definició geotècnica del pas inferior entre andanes de ferrocarril en l'estació de FGV en el municipi de Paiporta, València.

4. ESTUDIS PREVIS

4.1. Geologia i geotècnica

Per a l'obtenció de les dades geotècniques, Ardanuy Ingeniería va encarregar a la empresa SEG Ingeniería la realització d'una campanya geotècnica, duta a terme al desembre de 2018, amb l'objectiu de determinar totes aquelles dades relatives al terreny, i desenvolupar un informe en el que constaren les característiques més importants del sòl en el que s'emplaça l'obra.

En l'annex "Estudi Geològic i Geotècnic" es procedeix a fer una explicació més detallada de tot allò que va a exposar-se a continuació. S'ha estudiat el treball realitzat per l'empresa SEG Ingeniería i s'ha emmotllat a la tasca a realitzar en el present projecte, de manera que s'expliquen tots aquells elements per a caracteritzar el subsòl de la parcel·la estudiada.

Així doncs, es té constància de que s'ha realitzat un sondeig rotatiu i un assaig de penetració dinàmica. Ambdós plantejats en punts fora del tancament de l'estació per motius de seguretat, el sondeig en la zona de l'aparcament i la penetració dinàmica a l'altra part de les vies, el més proper al tancament possible. Tot i així, la separació dels punts de reconeixement, així com la profunditat assolida, compleixen les prescripcions establertes pel CTE.

Al terreny de la parcel·la que ens ocupa, poden distingir-se els següents nivells estratigràfics:

- Nivell 0: Reblert i sòls vegetals amb un espessor de 0,9 m.
- Nivell 1: Llims sorrencs amb presència de nòduls. Presenten una potència de 4,1 m.
- Nivell 2: Argiles llimoses i llims amb un espessor de 2,9 m.
- Nivell 3: Argiles llimoses amb nòduls de grava. S'estén fins la profunditat màxima arribada en el sondeig de 12 m.

La presència d'aigües freàtiques s'ha detectat a la profunditat de 9,5 metres, mitjançant els diferents sondejos que han aplegat fins els 12 metres de profunditat, no afectant en ningun cas a les obres. A més, no presenta variacions previsibles.

Es preveu que la profunditat de les fonamentacions siga de 5 metres respecte del carril, de forma que la base de les fonamentacions la constituirà el nivell 2, ja que rebrà pràcticament la totalitat de les càrregues. Així doncs, destacar que la fonamentació del calaix de formigó serà la pròpia llosa de de fons.

Convé ressaltar també que a mesura que avancen les etapes constructives de l'obra es fan necessaris diferents elements sense els quals no es podria avançar. Serà necessària l'execució d'una solera de formigó, sobre la que lliscarà el calaix fins la seua posició definitiva, la realització d'uns murets de guia, i un mur de reacció sobre la que es recolzen els gats que empenyen el calaix. Així mateix s'entén que es tenen tots els permisos per a l'ocupació dels sòls adjacents a l'obra ja que, per a l'execució i empenya del mateix calaix es necessita ocupar una certa àrea de

l'aparcament de l'estació. Aquest perímetre es veurà limitat per una pantalla de palplanxes metàl·liques recuperables que no tindran problemes d'encastament en el terreny, vista la posició del nivell freàtic.

En l'annex s'ha procedit a la determinació de tots els paràmetres necessaris per a caracteritzar el sòl, i amb aquests s'ha realitzat el càlcul dels diferents elements estructurals. D'entre ells s'ha obtingut la tensió admissible del terreny, el mòdul de balast, així com l'assentament màxim que pot sofrir el terreny.

La ripabilitat del terreny per a la realització dels buidatges és bona, podent-se dur a terme amb mitjans mecànics normals, ja que es tracta de terrenys que no presenten cimentacions. Així doncs, donada la posició de les aigües freàtiques no hi hauran problemes d'aigua en l'excavació, com puguen ser l'aixecament o la inestabilitat de fons, pel que, conseqüentment, l'encastament de les pantalles no serà un problema.

Finalment, en el relatiu a l'agressivitat que presenta el terreny, s'ha realitzat un assaig a una de les mostres extretes front a sulfats donant aquesta un valor molt per davall del límit que marca l'EHE a partir del qual un sòl es considera agressiu. Aquesta dada unida a la manca d'aigües freàtiques indica que poden utilitzar-se ciments normals per a la fabricació del formigó.

4.2. Topografia i cartografia

Per a la definició de la topografia de la zona s'ha adoptat el Sistema de Referència Geodèsic ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) com a sistema oficial en l'àmbit peninsular i balear. Com a Sistema de Projecció s'ha empleat la projecció UTM (Universal Transversa de Mercator), estant l'àrea de treball compresa dins del Fus 30 d'aquesta projecció cilíndrica. A més, destacar que totes les cotes estan referides al nivell mitja del mar, definit pel mareògraf fonamental del Port d'Alacant

Per a la descripció de la geometria de la infraestructura projectada s'ha utilitzat una cartografia proporcionada per Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana, en combinació amb la realitat física de l'entorn.

S'han utilitzat un total de quatre bases de replanteig: una en l'andana sentit Vilanova de Castelló i altra en sentit València, i les altres dos en l'aparcament adjunt a l'estació, una base en el centre de l'aparcament i l'altra en la part est. És important destacar la idoneïtat en la situació d'aquestes ja que s'ha pogut descriure substancialment bé la geometria de les vies, sense tenir que accedir a elles. Emprant aquest mètode s'ha aconseguit definir perfectament les alçades de tots els elements de l'andana i les vies.

5. ANÀLISI CRÍTICA DE L'ESTUDI GEOLÒGIC I GEOTÈCNIC

En el següent apartat i d'acord amb el punt 3.7. de la GFOC es descriuen aquells aspectes de l'estudi geològic i geotècnic que segueixen correctament les seues disposicions, així com aquells que són susceptibles de possibles millores. És important subratllar també que la següent anàlisi es du a terme baix un punt de vista acadèmic, considerant que l'estudi objecte d'avaluació és el més important de tots els documents amb els que s'ha comptat per a emprendre la redacció d'aquest Treball Fi de Grau.

5.1. Memòria

Primerament, l'informe compta amb una descripció dels antecedents de l'obra, la situació en la que es troba el projecte de millora dels passos entre andanes en la xarxa de FGV i una explicació dels objectius perseguits amb la resolució del projecte en qüestió. A més, es destaca la participació de l'empresa redactora de l'estudi (SEG, S.A.) així com la de la sol·licitant del mateix (Ardanuy Ingeniería, S.A.).

No es té constància d'informes geològics ni geotècnics existents ni de plans de reconeixement del terreny previs, fet pel que s'ha executat l'estudi zero.

Es té la certesa, en canvi, de la disposició d'una cartografia proporcionada per FGV i del marc geològic de la zona (dades recollides de l'IGME). Pel que respecta a aquest últim cal destacar que donada la xicoteta superfície de terreny que acapara l'actuació no es considera necessari redactar un annex geològic, sinó més bé fer una descripció d'aquelles formacions geològiques més comuns en els voltants de la zona de la construcció. Al ser aquesta àrea tan reduïda les característiques del terreny no varien d'un lloc a un altre, com pot passar en una obra lineal, pel que en termes generals l'amplitud del reconeixement geològic realitzat és suficient.

En relació als treballs de camp s'exposen, d'acord amb la guia, aquelles prospeccions realitzades (sondeig mecànic, penetració dinàmica), l'explicació de la campanya geotècnica, els equips emprats i la posició dels reconeixements definida mitjançant un plànol.

A mode de caracteritzar geotècnicament el terreny s'han analitzat a laboratori dites prospeccions, que passaran a comentar-se posteriorment amb més detall, amb l'objectiu de definir completament l'entorn de la fonamentació per a tenir coneixement de la tipologia de la zona, no només en planta, sinó també en profunditat. Addicionalment, es fa referència a les condicions de les aigües freàtiques les quals no actuen en ningun moment en la traça del projecte donada la seua profunditat, l'agressivitat del terreny i la sismicitat que presenta la zona.

Aleshores, convé dir que l'apartat de l'informe en el que s'exposa tota la informació relativa a la litologia s'aprecia correctament desenvolupat. Es sintetitzen aquells resultats obtinguts de les prospeccions i dels assajos de laboratori en quatre nivells on cadascun d'ells compta amb propietats homogènies clarament diferenciades. A partir d'aquests poden començar a traure's correlacions per a en última instància acabar obtenint valors relatius a pressions d'enfonsament o deformacions del terreny, entre altres.

Una vegada s'han exposat totes les característiques dels diferents estrats s'està en disposició de definir una solució per a les condicions de fonamentació de l'estructura. Es considera que donades les dimensions i les característiques de l'element, el més convenient per resoldre el problema és que la pròpia llosa de fons del calaix actue com a llosa de fonamentació, la qual es recolzarà sobre una solera de formigó construïda prèviament a la disposició del calaix, la funció de la qual és donar-li una superfície de lliscament sobre la que desplaçar-se fins la seua posició definitiva.

Com recomana la guia, es resol per eixa banda el problema de les fonamentacions; i per altra, es descriuen els treballs realitzats per a dur a terme les excavacions i les contencions necessàries. Es proposa la definició d'un mur pantalla al llarg de tot el perímetre de l'obra (buit dels ascensors i de les escales d'accés al pas inferior) donada la profunditat i les característiques que presenta el terreny confrontant i una pantalla de palplanxes metàl·liques recuperables per al buit on va a disposar-se el calaix previ al seu desplaçament. A més, es desenvolupen una sèrie de valors (seguint la GFOC) de les resistències últimes per fust i punta del mur pantalla, així com els talussos d'atac de les excavacions.

A l'igual que s'aconsella a la guia, l'informe planteja un conjunt de propostes que determinen l'inici del procés constructiu les quals donen solució als problemes d'excavació, contenció de terres, fonamentacions de les estructures i emplaçament de l'obra; tanmateix, es troba a faltar alguna recomanació a possibles problemes que pogueren sorgir durant la construcció. És clar que l'escenari és idoni (baixa sismicitat, inexistència de nivell freàtic en les immediacions, sòls no agressius, etc.) però tot i així és recomanable afegir diverses pautes a seguir per a circumstàncies que pogueren aplegar a donar-se en situacions límit.

Finalment, cal destacar que en la conclusió de l'informe s'anomenen els objectius que es persegueixen de forma que el propi lector comprove que en efecte s'han assolit. S'han estimat les propietats del sòl per al càlcul de les fonamentacions i excavacions, s'ha recomanat la formulació pertinent per a dit càlcul, s'han definit els paràmetres per a calcular les empentes del sòl i s'han establert les condicions d'excavació.

5.2. Annexes

L'informe compta amb quatre annexes: el primer defineix una planta de les prospeccions realitzades; en el segon apareixen les gràfiques del sondeig rotatiu i la penetració dinàmica; en el tercer, els resultats dels assajos de laboratori i en l'últim es mostra la documentació fotogràfica.

Segons la guia el nombre d'annexes depèn de la informació que es dispose, però es menciona que com a mínim deuriem haver dos, un relatiu als treballs de camp i un altre relatiu als assajos de laboratori. Donat que es té coneixement sobre més matèries, és convenient esquematitzar-les en diferents annexes per tal de donar-li un cert ordre.

D'acord amb l'article 3.7.3.1. de la norma, l'informe deu comptar amb un annex amb informació detallada de la situació de l'obra i la posició més aproximada dels treballs de camp, documentació que apareix especificada en el primer dels annexes i en un dels plànols.

En el segon es mostra informació referent a tots els estrats trobats fins el final de les prospeccions. Dues gràfiques descriuen per un lloc l'estratigrafia existent en el subsòl de l'obra mitjançant un sondeig mecànic; i per altre, el resultat obtingut de l'assaig de penetració dinàmica. En la primera d'elles es mostra l'estratigrafia que presenta el subsòl de l'àrea a més de les cotes a les que es situa cada canvi de terreny i les característiques més importants que presenten cadascun d'ells, i de la segona de les gràfiques pot extraure's el resultat de la penetració dinàmica. Es descriu informació relacionada amb el mètode i la maquinària utilitzada per a l'extracció de les mostres en cada cas, així com la seua procedència. Així doncs, analitzant ambdues gràfiques es dedueix que no apareix ningun aflorament rocós en el subsòl ni hi ha rastre del nivell freàtic fins una profunditat de 9,5 m.

Seguidament, l'annex tercer consta d'aquelles dades relatives als resultats dels assajos de laboratori. Les actes de resultats compten amb identificació completa de totes les mostres assajades i una descripció mitjançant taules de tots els assajos que han sigut efectuats a cadascuna de les mostres. Es té constància de tres provetes les quals segons la primera de les gràfiques de l'annex 1 pot deduir-se que les dues primeres corresponen a un sòl Nivell 1 i que la tercera d'elles correspon al Nivell 2. Aleshores, malgrat que en tots tres assajos les provetes estan completament identificades (descripció de les provetes, procedència, tipus d'assaig segons norma, etc.) a la primera d'aquestes se l'ha executat un assaig addicional de tall directe en comparació amb les demés.

Finalment, l'annex quart exposa la documentació fotogràfica. En ell s'observen imatges que fan veure l'estat de les mostres en el moment de la seua obertura, des de la profunditat 0 m fins als 12 m de màxima. S'exposen també dues fotografies de l'emplaçament de les prospeccions les quals baix un punt de vista pràctic no són de molta utilitat ja que només ensenya la maquinària que s'ha empleat.

En definitiva, aquest document conté pràcticament tots els aspectes que recomana la guia de fonamentacions que tinga un informe geotècnic.

Per una banda, la memòria segueix les pautes marcades; d'altra banda, els annexes presenten aquells treballs de camp realitzats, així com aquells assajos de laboratori que s'han dut a terme per a caracteritzar el terreny. S'han afegit dos annexes, un per a mostrar la posició de les prospeccions i de les obres, i altre per a la documentació fotogràfica. Addicionalment, s'afegeixen dos plànols en els que es mostra amb més detall la planta de les obres i les prospeccions, així com el marc geològic de tota la zona de l'Horta Sud de València.

Considerant que s'han repassat punt per punt els aspectes de la GFOC mentre s'han avaluat els continguts de l'informe, aquest sembla emmotllar-se adequadament a les recomanacions.

S'expressen una sèrie de solucions al problema de les fonamentacions basades en les proporcions que presenten els elements i certificades mitjançant els càlculs necessaris. Tanmateix, a pesar que en el text es desenvolupa el càlcul de la tensió admissible del terreny, nombres com els de l'assentament màxim i el mòdul de balast es mostren sense justificació prèvia. Donat que s'està analitzant en profunditat l'estudi, un dels principals objectius és comprovar si, en efecte, els valors que donen en ell són fruits d'un càlcul o de l'experiència. En l'annex 3 d'aquest Treball Fi de Grau es mostren una sèrie de resultats de tensió admissible i assentaments que mantenen l'ordre de magnitud que es presenta en l'informe analitzat; no obstant, el valor del mòdul de balast roman el mateix perquè no s'ha pogut aplegar a cap conclusió en relació a ell. Així, es dedueix que tant el valor de la tensió com el de l'assentament provenen d'un càlcul, mentre que el del mòdul de balast està basat en l'experiència adquirida pel redactor en algun projecte on la geologia siga similar, no justificant suficientment el valor proporcionat.

Finalment, comentar que s'aprecia correcta la nomenclatura utilitzada. Tant per a la descripció del terreny com per a les prospeccions realitzades, no ha hagut cap malentès a l'hora de saber cada punt a què es refereix, ni ha hagut cap problema a l'hora de traure conclusions.

6. DISSENY GEOTÈCNIC DEL CALAIX

A continuació es descriuen els detalls més importants del que ha suposat el disseny geotècnic del pas inferior. Van a definir-se les pautes que s'han seguit per a aplegar a establir-li al calaix unes dimensions definitives i posteriorment analitzar tots els esforços als que està exposat, així com aquells que transmet. Totes les següents dades exposades estan totalment desenvolupades en l'annex 4 del present treball.

6.1. Normativa

La normativa que s'ha empleat en la definició geotècnica del calaix ha sigut la següent:

- Col·lecció de xicotetes obres de pas. Obres de pas de carreteres. Ministeri d'Obres Públiques i Transport.
- Instrucció d'accions a considerar en ponts de ferrocarril (IAPF, 2010). Ministeri de Foment, Secretaria de l'Estat d'Infraestructures del Transport. Direcció General de Ferrocarrils.
- Guia de fonamentacions en obres de carretera (GFOC, 2009). Ministeri de Foment, Secretaria d'Estat de Planificacions i Infraestructures. Direcció General de Carreteres.
- Codi Tècnic de l'Edificació, Seguretat Estructural, Fonaments (CTE SE-F, 2019). Secretaria d'Estat d'Infraestructures, Transport i Habitatge. Direcció General d'Arquitectura, Habitatge i Sòl.

6.2. Predimensionament

Aquest apartat s'ha redactat amb l'ajuda de la "Col·lecció de xicotetes obres de pas. Obres de pas de carreteres" com a document referent. La idea principal del predimensionament és obtenir una sèrie de calaixos tipus, les mesures de les quals són donades en la guia, amb les que establir un rang de proporcions d'entre les quals escollir-ne unes definitives.

En primer lloc, s'ha emprat l'estudi geològic i geotècnic del terreny per a caracteritzar a grans trets el terreny i poder definir-lo mitjançant uns paràmetres semblants els quals són requerits per la guia. Donat que aquesta dona forma al calaix a partir d'una sèrie de paràmetres inicials, en aquest cas del terreny, és necessari fer diverses suposicions per a que les dades de partida s'ajusten al que demana la norma. Així, una vegada fetes aquestes hipòtesis s'escull d'entre tots els marcs els tipus 4, 5 i 6, que són els que més s'emmotllen a les necessitats de què són requerides per al pas inferior. Aquests tenen les següents dimensions:

	LLUM (m)	GÀLIB (m)	ESPESSOR (m)		
			LLOSA FONS	MURS	LLOSA COBERTA
MARC 4	3	2,5	0,3	0,25	0,35
MARC 5	4	2,5	0,35	0,25	0,4
MARC 6	4	3,5	0,4	0,3	0,45

Taula 1.- Característiques marc tipus (Font: Col·lecció de xicotetes obres de pas)

Cal destacar que aquest procés de predimensionament s'ha realitzat en secció, les mesures de l'element en la dimensió longitudinals es mantenen en 9,48 m i 7,15 m la llosa de coberta i de fons respectivament, i 8,31 la longitud mitja dels murs.

Per últim, fent una lleugera distinció entre els marcs escollits és d'important menció que per comoditat dels vianants convé deixar un gàlib vertical d'uns 3 a 3,5 m i una llum lliure de més de 3 m també. A més, considerant els espessors dels elements és convenient que el mínim siga de 0,3 m; d'entre aquests, el considerat com a més propici és el 6. S'ha optat per adoptar aquestes mesures canviant l'altura lliure per 3 m per a que el pes del mateix no augmentara excessivament. Addicionalment, es mostra en el següent apartat la pressió que transmeten cadascun d'ells.

Aleshores, en relació al calaix real cal fer una lleugera comparació pel que respecta a les mesures:

	LLUM (m)	GÀLIB (m)	ESPESSOR (m)		
			LLOSA FONTS	MURS	LLOSA COBERTA
REAL	3	3	0,45	0,4	0,4
PREDISENYAT	4	3	0,4	0,3	0,45

Taula 2.- Característiques arc real front al predissenyat

S'observa que la diferència més gran resideix en la dimensió lliure horitzontal mentre que els espessors mantenen una certa similitud. S'han intentat mantenir aquelles mesures que són donades per la guia; tanmateix, s'han realitzat aquests canvis per a que el pas s'acoble més a les necessitats dels vianants. Amb un ample de 4 m i una altura lliure de 3 m el calaix és suficientment espaiós per a que no resulte incòmode.

6.3. Pressions transmeses al terreny

En el present apartat es descriuen aquells aspectes més importants en relació a les pressions que són transmeses al subsòl. D'entre ells van a definir-se quins són els esforços transmesos per cada tipus de calaix, així com el factor de seguretat que presenta l'estructura front a enfonsament i els assentaments que pot produir la mateixa.

Cal destacar en primera instància que per a caracteritzar la superestructura ferroviària s'ha utilitzat la IAPF i per a reproduir el pas dels trens el seu tren de càrregues UIC71 (on les 4 càrregues de 250 kN quedaran reduïdes a una càrrega q_1 i les de 80 kN/m a una q_2):

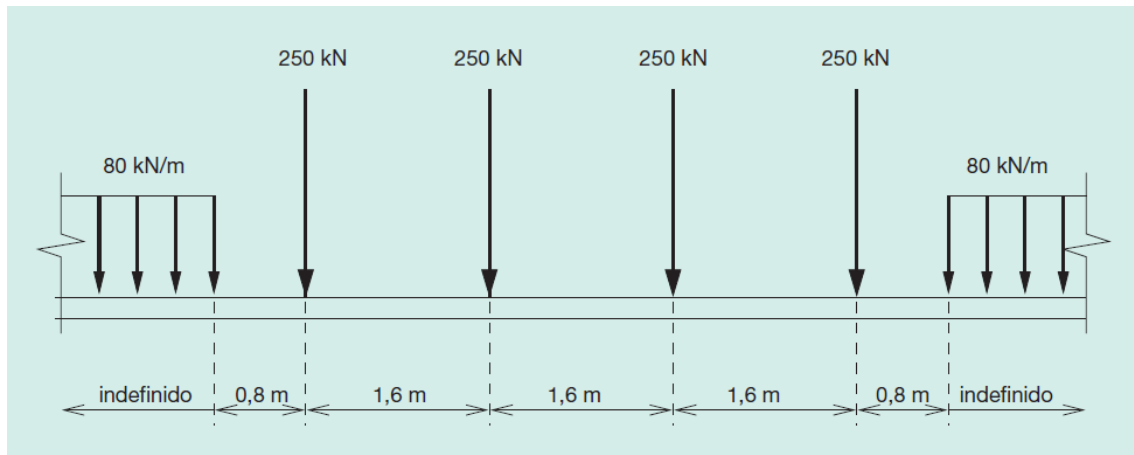


Figura 2.- Tren de càrregues verticals UIC71 (Font: IAPF)

A més, el propi calaix es considera que actua com a fonamentació compensada ja que les càrregues transmeses pel calaix es propagaran de manera més directa que per la columna de terreny anterior a ell, aplegant en major magnitud al terreny de fonamentació de l'estructura.

Així doncs, una vegada descompostes totes les càrregues i sumades entre sí (pes del calaix, balast, travesses, carrils, tren de càrregues, sobrecàrregues) s'aplega al resultat següent:

	MARC 4	MARC 5	MARC 6	REAL	DISSENYAT
q_t	184,6	183,04	199,91	203,27	194,87

Taula 3.- Pressions transmeses al terreny de fonamentació (kN/m²)

Com pot observar-se els marcs 4 i 5 responen a pressions baixes en comparació als demés donades les seues menors dimensions; en contrast el marc tipus 6 transmet aproximadament 200 kN/m², valor que seria incrementat en cas de que la llum horitzontal fora de 3 m com els dos anteriors. A l'hora de realitzar els càlculs entren en joc una sèrie de coeficients proposats per la norma que amplifiquen el valor de la càrrega, en especial el coeficient d'impacte. Aquest correspon als valors de 2,82, 2,77, 2,95, 2,92 i 2,89 respectivament als marcs exposats en la taula. El seu ús aplega fins i tot a triplicar el valor de la càrrega transmesa pel tren de càrregues, fet pel que els valors de les pressions augmenten en tots els casos. Pot advertir-se que aquest coeficient no afecta de forma tan intensa al marc 4 i 5 com al 6, creant una diferència d'uns 17 kN/m².

D'altra banda, pot observar-se també la lleugera disparitat existent entre el marc 6 i el finalment dissenyat. No pot dir-se que es distribuïska més la càrrega ja que l'ample s'ha mantés, però a l'haver reduït l'altura ha disminuït també el pes del mateix, estalviant al terreny 5 kN/m². I addicionalment, en comparació al marc dissenyat, aquell que s'ha projectat realment al ser més estret la capacitat de repartiment és menor, augmentant així el valor de la càrrega transmesa.

D'aquesta forma, el marc dissenyat quedaria definitivament dimensionat com segueix:

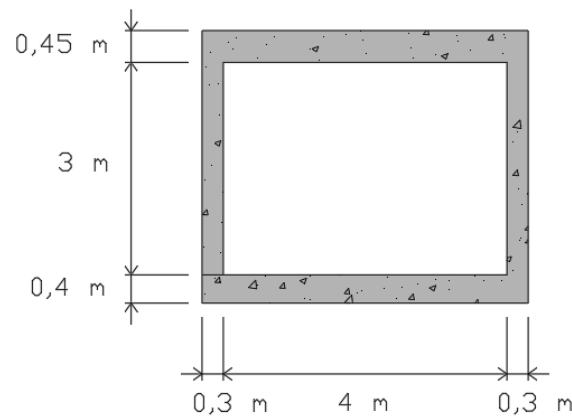


Figura 3.- Dimensions del calaix (Secció)

6.3.1. Seguretat front a enfonsament

Un cop descrites les càrregues que transmet al terreny el calaix dissenyat s'han realitzat els càlculs de la càrrega d'enfonsament (q_h), del factor de seguretat de l'estructura, així com la màxima càrrega que pot suportar el terreny abans de trencar. Aquestes operacions s'han dut a terme seguint l'article 4.5.5. de la GFOC mitjançant la formulació de Brinch-Hansen a curt i llarg termini. Cal destacar que l'escenari més desfavorable ha resultat ser en una combinació a curt termini i que al no existir nivell freàtic en les immediacions de l'obra s'ha treballat en tensions totals durant tots els càlculs.

Recollint allò més important, es destaca el valor de la càrrega d'enfonsament en una combinació a curt termini en $909,2 \text{ kN/m}^2$ i a llarg termini en $3060,8 \text{ kN/m}^2$. Com s'ha dit, la primera és més limitant en quant a la màxima pressió que pot aplicar-se-li al terreny de fonamentació, pel que és aquesta la que s'emprarà junt amb el valor de q_t del marc dissenyat ($194,87 \text{ kN/m}^2$) i el valor de la càrrega que transmet el terreny anterior al calaix més la superestructura ($q_0 = 88,25 \text{ kN/m}^2$) els esforços que s'utilitzaran per a calcular el factor de seguretat, que com s'observa en la fórmula següent compleix amb marge suficient.

$$F = \frac{q_{hn}}{q_{tn}} = \frac{q_h - q_0}{q_t - q_0} = \frac{909,2 - 88,25}{194,87 - 88,25} = 7,70 > 3$$

I finalment, aïllant el terme q_t i utilitzant el factor de seguretat 3 pot aplegar-se al valor de la càrrega màxima admissible abans de que el terreny trenque per enfonsament.

$$3 = \frac{909,2 - 88,25}{q_t - 88,25} \rightarrow q_t = 361,89 \text{ kN/m}^2$$

Sent com s'observa en la fórmula una càrrega admissible per enfonsament de 361,89 kN/m².

6.3.2. Assentaments

Finalment, destacar que els assentaments han sigut calculats conforme a l'apartat 4.8.1. de la GFOC en el que es desenvolupa el mètode de càlcul amb el model elàstic. S'ha fet una assimilació dels Nivells 2 i 3 a un únic sòl amb característiques equivalents de manera que s'ha pogut assemblar el terreny de fonamentació al semiespai homogeni i isòtrop de Boussinesq.

Per a calcular els paràmetres elàstics equivalents es necessita d'incrementos de tensió en el subsòl a cada canvi d'estrat; tanmateix, a mode de donar més pes al terreny immediatament inferior a la llosa de fonamentació i caracteritzar-lo amb major precisió s'ha considerat més convenient discretitzar-lo en rodanxes d'1 m d'espessor i calcular així el terreny equivalent de 10 rodanxes d'1 m, ja que s'ha decidit definir dit semiespai fins una profunditat de 10 m a comptar des de la part inferior de la llosa de fons del calaix.

Una vegada calculats els paràmetres elàstics equivalents $E = 28,1 \text{ MPa}$ i $\nu = 0,30$ s'ha passat a calcular mitjançant la fórmula de la figura 4.11 de la GFOC per a fonamentacions rígides de superfície rectangular el valor de l'assentament que produirà l'estructura.

$$S = \frac{V \cdot (1 - \nu^2)}{1,25 \cdot E \cdot \sqrt{B \cdot L}} \quad \text{per a} \quad \frac{L}{B} \leq 5$$

On B i L són les dimensions menor i major de la llosa de fons i V és el valor puntualitzat de la càrrega transmesa al terreny calculada en l'apartat anterior $q_t = 194,87 \text{ kN/m}^2$ resultant en 6409,3 kN.

Pel que finalment s'obtenen 2,9 cm d'assentament el qual és un valor admissible ja que segons la norma per a lloses de fonamentació és de 5 cm.

Per últim, substituint aquests 5 cm i aïllant el valor de V pot obtenir-se la màxima tensió admissible per fallada de l'estructura front a una deformació excessiva. Així doncs, s'obté una càrrega de 11050,6 kN que dividit per la superfície de la sabata resulta en 336 kN/m².

En conseqüència, al ser aquesta tensió menor que l'obtinguda mitjançant un factor de seguretat front a enfonsament de 3, és més limitant front a possibles càrregues sobre el calaix. Pel que la

màxima tensió que pot admetre el terreny front a qualsevol tipus de càrrega vertical és de 336 kN/m², limitada per assentament.

6.4. Empentes sobre els murs

A continuació va a passar-se a analitzar les empentes que reben els murs del calaix a causa de les càrregues que suposen el terreny Nivell 1 confrontant als murs, la superestructura i les càrregues ferroviàries, així com la sobrecàrrega que proposa la IAPF en el punt 2.3.5.

Cal destacar que per a la resolució d'aquest apartat s'ha usat el procediment proposat per l'article 6 del CTE DB SE-F. Aquest mètode de càlcul descriu la teoria de Rankine per a murs de contenció utilitzant tres tipus de coeficients en funció de la classe d'empenta que estiga analitzant-se: passiva (K_p), activa (K_a) o al repòs (K_0). En el cas que ocupa donat que el calaix pot considerar-se encastat per totes les seues superfícies exteriors el paràmetre al repòs és el que millor el defineix. El terreny que envolta un pas inferior sol mantenir un estat tensional similar al que tenia abans de la construcció del mateix, l'estructura no sofreix cap deformació pronunciada, pel que l'estructura no es desplaça, és a dir, es manté al repòs. Addicionalment, si les terres actuaren de forma activa al ser el Nivell 1 un sòl amb certa cohesió s'afavoriria la disminució de les empentes pel que convé quedar-se del costat de la seguretat i negligir el seu efecte anul·lant dit terme c' i quedant-se amb les empentes al repòs.

S'han analitzat tres casos de càrrega diferents: empentes sense tren de càrregues, suposant que actuen dos trens de càrrega alhora en la mateixa via (q_1) i suposant que actua un tren de càrregues solament (q_1 per un costat del calaix i q_2 per l'altre):

		σ_v (kN/m ²)	u_w (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)	σ'_h (kN/m ²)
Sense TC	A	42.4	0.0	42.4	18.1
	B	115.5	0.0	115.5	49.3
Amb q_1	A	280.3	0.0	280.3	119.5
	B	353.4	0.0	353.4	150.7
Amb q_2	A	142.5	0.0	142.5	60.8
	B	215.6	0.0	215.6	91.9

Taula 4.- Valors característics empentes horitzontals al repòs

On els punts A i B són respectivament el punt superior i inferior dels murs del calaix. Donat que el terreny que confronta amb els murs és enterament el Nivell 1 i no hi ha nivell freàtic la distribució que segueixen les empentes és lineal des del punt A fins al B.

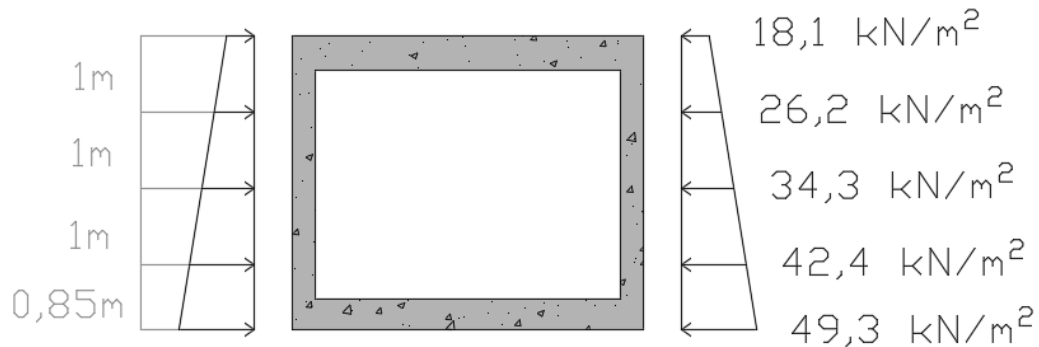


Figura 4.- Distribució d'empentes al repòs sense tren de càrregues

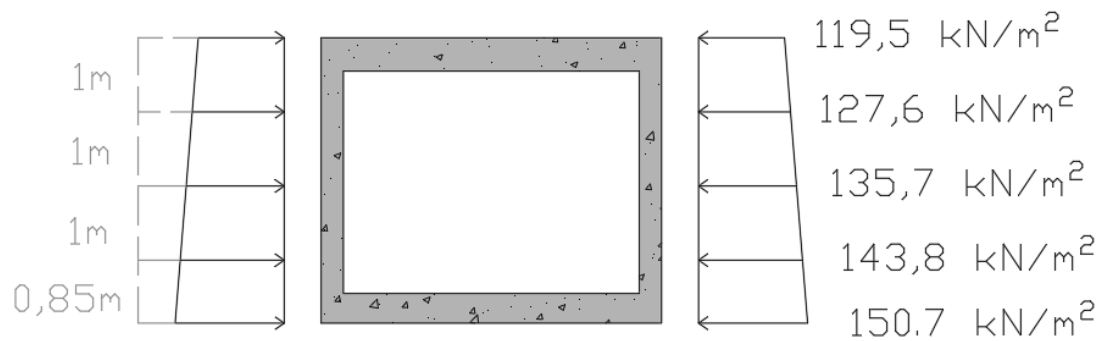


Figura 5.- Distribució d'empentes al repòs amb q_1

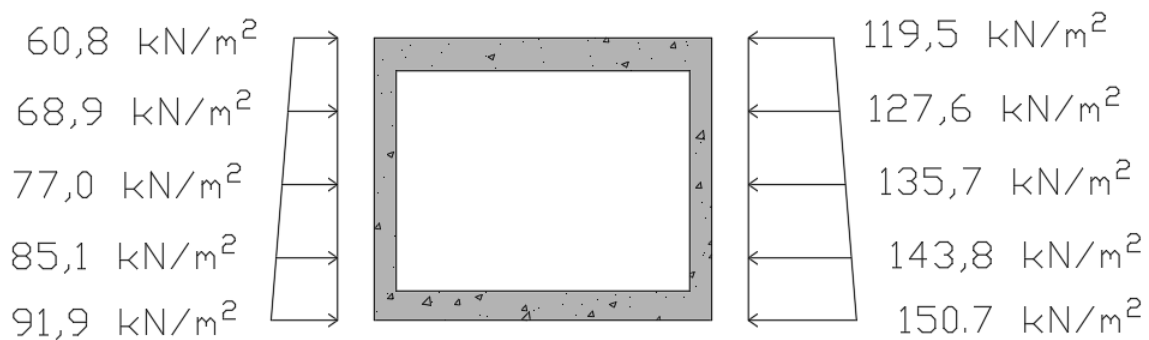


Figura 6.- Distribució d'empentes al repòs amb q_1 - q_2

Finalment, degut a que la infraestructura està envoltada completament per terres no existeix la necessitat de fer ninguna comprovació geotècnica en aquest apartat ja que tant la seguretat front a bolcada com front a lliscament estan garantides com a conseqüència de la compensació de pressions que existeix. Qualsevol tipus de moment desestabilitzador o força horitzontal que poguera aparèixer seria immediatament contrarestada per totes les terres actuant en la seua contra. Aquestes comprovacions solen donar-se en murs de contenció convencionals o en estreps de ponts; no obstant, en passos inferiors com el del present treball no és l'habitual.

7. ALTRES RECOMANACIONS CONSTRUCTIVES

Explicats els objectius que persegueix el present treball, aquest apartat servirà d'explicació dels diferents camins pels quals es podria haver resolt el problema. Distintes alternatives constructives que van a quedar exposades a continuació s'han tingut en compte per tal d'escollir el mètode a seguir per a l'execució del pas inferior.

S'explicaran els detalls més importants de totes i cadascuna d'elles de manera que es mostren els avantatges i inconvenients que puguen tenir. Així doncs, aquestes alternatives van a descriure els diferents mètodes d'execució del calaix així com els sistemes de coordinació al tràfic de trens. A més, s'afegirà una valoració respecte la possibilitat d'executar el calaix de formigó in situ o prefabricat.

7.1. Criteris funcionals

A continuació es mostren els criteris fonamentals que s'han utilitzat per a discernir entre les diferents alternatives:

- Es buscarà una solució que minimitze els terminis d'execució dels treballs, afectant així el mínim possible al tràfic ferroviari, i en conseqüència, a la despesa econòmica que sofriria la companyia operadora de la línia.
- El disseny proposat deurà garantir la seguretat de tots els treballadors així com la dels vianants que vagen a utilitzar el ferrocarril.
- Es tractarà d'optimitzar la magnitud dels treballs realitzats, limitant el preu final de la construcció el màxim possible.

7.2. Anàlisi de les alternatives

7.2.1. Alternativa 1

Aquesta solució planteja la possibilitat de disposar el calaix en la seua posició definitiva mitjançant talls parcials de via amb la finalitat de fer confluïr el tràfic ferroviari primer per una i després per l'altra. A continuació van a sintetitzar-se els passos més importants del procés constructiu per a que es tinga una visió més explicativa d'allò que es proposa.

En primer lloc es realitza el tall de la via en direcció a València en un tram de 18 metres (9 metres a cada costat de l'eix longitudinal del calaix). Es desmunten els carrils, travesses, es desguarneix la banquetta de balast i s'excava fins la cota on es recolzarà la llosa de fons del calaix. Seguidament es col·loca una capa de formigó de neteja per a anivellar l'element i per últim es deposita el mateix sobre dita capa amb una grua. Una vegada dutes a terme aquestes activitats es restitueix aquesta part de la via col·locant el balast, les travesses i soldant de nou els carrils, de forma que els trens puguen tornar a passar per aquesta via. Més tard es procedeix a actuar de manera simètrica amb l'altra via. Per tant, el que es proposa és la col·locació d'un calaix dividit en dues parts les quals conflueixen sota el centre d'ambdues vies.

Aleshores, un dels principals punts a considerar radica en que per a executar aquests talls hauran d'utilitzar-se els elements ferroviaris ja existents, pel que l'ús de les bifurcacions ja construïdes és essencial.

Per al desviament de tot el tràfic en direcció a València per la via en sentit a Vilanova de Castelló, es farà ús de la bifurcació situada en l'estació de Picanya, i per a tornar a instaurar el tràfic amb via doble, la bifurcació situada abans de l'estació València Sud podria ser utilitzada. Així doncs, es farà ús habitual de la doble via a excepció del tram Picanya – València Sud, d'aproximadament 2,4 km.

D'altra banda, per al desviament del tràfic en direcció a Vilanova de Castelló per la via en sentit a València, es farà ús de la bifurcació situada al costat de l'aparcament de l'estació de València Sud, i per a tornar a instaurar el tràfic amb via doble, de la bifurcació situada prop de l'estació de Paiporta. D'igual forma, es farà ús habitual de la doble via en tota la línia a excepció del tram marcat en roig en la figura següent, d'aproximadament 0,8 km.

Com pot observar-se en les figures anteriors, aquests talls impliquen paraitzar la línia en una longitud bastant extensa, pel que la coordinació dels trens és un factor clau. Hauran d'establir-se nous horaris en les línies de metro afectades per les obres i afegir dispositius per a controlar el tràfic en les zones descrites per les figures.

Podria estudiar-se també la possibilitat de construir una sèrie de bifurcacions en les immediacions de l'estació de Paiporta; tanmateix, analitzar en detall aquest tipus d'actuacions escapa de l'abast del present Treball Fi de Grau.

En quant a terminis d'execució totes les alternatives presenten l'inconvenient de que han d'executar-se en el menor temps possible. El cas que ocupa no és una excepció, doncs el fet de desviar un determinat nombre de trens per una via i retenir els demés fins que s'òbriga de nou, provoca una sèrie de despeses econòmiques difícilment justificables en cas d'haver formes més òptimes de dur a terme les actuacions. Una vegada instaurada aquesta mesura de desviament, el tràfic de trens en la zona es veuria minvat, i conseqüentment el de passatgers, pel que el benefici de l'empresa seria menor. No obstant, hi ha que considerar que a mesura que els trens circulen, les actuacions segueixen duent-se a terme en el menor temps possible per tal de restaurar el tràfic ferroviari.

Aleshores, pel que respecta al mètode d'execució del calaix es proposa la possibilitat de que aquest siga de formigó prefabricat (justificació en apartat 7.3) de manera que puguen estalviar-se les tasques de construcció del mateix en l'emplaçament de l'obra.

D'una banda, basant aquesta alternativa en la seguretat dels operaris en l'execució, resulta ser una opció bastant efectiva, doncs mentre el tràfic es desvia per una banda de la superestructura, per l'altra es realitzen les tasques de clavament. D'altra banda, pel que respecta a la seguretat dels vianants cal mantenir totes les mesures de protecció necessàries per tal d'evitar qualsevol accident.

Per últim, tenint en compte que només es necessiten una sèrie de dispositius de regulació de tràfic i una remodelació dels horaris de tren, la despesa econòmica directa addicional ocasionada per al clavament del calaix seria mínima, considerant com a despesa directa el cost en sí de les operacions i mitjans auxiliars per a cooperar en la gestió del tràfic, i indirecta, la despesa ocasionada a l'empresa operadora de la xarxa ferroviària per possibles pèrdues de passatges.

7.2.2. Alternativa 2

Una vegada descrita la primera alternativa, s'exposa a continuació una solució que centra el seu propòsit en la reducció dels terminis d'execució, doncs cal matisar que aquest criteri és de vital importància.

La resolució que es proposa consta de dos aspectes fonamentals per a la gestió del tràfic ferroviari: el tall total de la línia i la contractació d'autobusos que suplementen les funcions del tren per un breu període de temps. Aquesta alternativa consisteix en tallar la part afectada de la línia de metro de manera que es connecten les estacions afectades amb una sèrie d'autobusos.

La finalitat de realitzar un tall total de la via és la de disposar el calaix, en aquest cas de formigó prefabricat, directament en la seua posició definitiva, de manera que s'estalvien les operacions de clavament. Tot i així, malgrat que s'estalvien aquestes tasques, la construcció d'una solera de lliscament, els murets guia i els murs de reacció, s'afegeixen les hores de mà d'obra necessàries per a realitzar la correcta col·locació del calaix i la contractació de maquinària necessària amb la finalitat de disposar el calaix en la seua posició definitiva.

El gran avantatge d'aquesta alternativa és el reduït temps d'execució que s'aconsegueix doncs s'estudiarà la possibilitat d'intensificar els treballs per a resoldre el problema en un cap de setmana, ja que no és convenient prolongar el tall total de la via. Així, l'obertura d'aquesta finestra temporal per a que els operaris puguen tenir accés a la construcció podria agilitzar enormement els processos constructius.

Aleshores, tenint en compte que el termini d'execució es veu summament reduït, l'afecció econòmica indirecta a l'empresa operadora de la xarxa ferroviària no és ni tan prolongada ni tan quantiosa com ho era en el cas anterior, doncs els passatgers seguiran abonant la tassa demandada pels bitllets.

D'altra banda, en referència a la seguretat dels vianants i dels operaris de l'obra, aquesta construcció seria la idònia. Hi hauria seguretat per als vianants ja que no estaria permès el pas dins l'àrea circumdant. I respecte a la seguretat dels operaris, no hi hauria perill ja que el tràfic ferroviari seria nul.

Com a conseqüència de la contractació dels autobusos suplents, el preu final sofrirà un augment considerable. Si es necessita un servei íntegre que equivalga al que proveïen els trens, el preu serà major que si, per contra, es proporciona un servei reduït. Tanmateix, l'estudi d'aquesta qüestió també escapa de l'abast d'aquest treball. En definitiva, la magnitud del cost serà d'un calibre major per causa de la contractació d'aquest nou servei, però es recuperaran els ingressos indirectes de manera més ràpida.

Amb una garantia total de que en el període descrit es restablirien les funcions del tren amb total normalitat, aquest mètode satisfaria tots els criteris funcionals.

7.2.3. Alternativa 3

Per últim, es planteja la possibilitat de clavament d'un calaix de formigó in situ amb previ apuntament de via. Aquesta és una solució caracteritzada únicament per a minorar les velocitats de circulació en les immediacions de l'obra, en comparació amb un ús normal de la línia.

La principal característica que defineix aquesta alternativa és l'apuntament de les vies. Al fixar-les i mantenir l'habitual circulació de trens amb dites restriccions de velocitat, l'inconvenient es troba en els lleugers retards que sofrirà la línia. No obstant, es retocarien els horaris de forma que es disminuïra l'alteració que açò poguera produir.

Així doncs, el procés d'apuntament consisteix en reforçar les vies per a permetre el pas dels trens amb tota seguretat pel tram en obres mentre baix la via no hi ha terreny o estructura que suporti directament les seues càrregues. L'apuntament està compost per un conjunt de travesses metàl·liques que s'intercalen entre les existents i dos grups d'apuntament de bigues laterals reforçades. Aleshores, mentre les vies es mantenen apuntalades, els trens circulen amb certa normalitat i les operacions de clavament del calaix es duen a terme.

El principal benefici que presenta aquesta solució és la xicoteta pertorbació de tràfic que es provoca en la línia. Així, els temps d'execució passen a un segon pla ja que al mantenir amb normalitat la circulació de trens al llarg d'aquesta, respectant en la mesura del possible els horaris, l'afecció és mínima, i conseqüentment les despeses indirectes també.

Amb tot plantejat, considerant que per a un calaix de dimensions 8,2 x 5,3 m en secció i una longitud aproximada de 20,3 m es necessiten 6 dies per a traslladar-lo una distància de 25 m fins la seua posició definitiva (Escribano Méndez & López Palomar, 1989), pot considerar-se a instàncies pràctiques que per al calaix objecte d'estudi amb dimensions 4,6 x 3,85 m en secció i longitud mitjana de 8,31 m es necessitarien aproximadament 2 o 3 dies per a realitzar els 11,7 m de clavament.

Aquest disseny, en comparació als anterior, manca en certa part de seguretat en l'execució. Es planteja la possibilitat de mantenir la normal circulació de trens, pel que perfectament pot donar-se el cas que es trobaren dos alhora en la mateixa estació. Així, en contrast a l'alternativa 1 i la 2, aquesta té més probabilitat d'accidentalitat doncs pot donar-se el cas de confluència de dos trens passant sobre el calaix. En referència a la perillositat a la que estan exposats els vianants, aquesta alternativa es manté similar a la 1.

Per últim, cal destacar que la magnitud dels costos és la més desfavorable. A diferència de les anteriors, aquesta solució és l'única que ha de servir-se d'elements addicionals econòmicament considerables, com ho són el sistema d'empenta oleodinàmica i les bigues de reforç per a les vies, per a poder mantenir el tràfic ferroviari.

7.3. Alternativa "i" in situ o prefabricada

El present apartat de la memòria tracta d'avaluar aquells aspectes pels quals les alternatives anteriors han sigut proposades amb calaixos realitzats amb formigó in situ o prefabricat.

Pel que respecta a la primera de les alternatives s'ha comentat que el més convenient és transportar a obra les dues parts del calaix prefabricades. Per a aquesta suposaria un gran avantatge ja que per a reduir el temps d'execució poden realitzar-se els treballs d'excavació i col·locació del formigó de neteja mentre es transporta el calaix. Així doncs, el principal inconvenient és la necessitat de maquinària per a disposar-lo en la seua posició definitiva. D'altra banda si s'executara in situ seria favorable per a la junta de formigonat que quedaria al mig d'ambdues parts, però s'abastaria un ample període de temps.

En referència a l'alternativa segona, podria estudiar-se també la possibilitat de realitzar un calaix in situ directament en la seua posició definitiva; tanmateix, aquesta construcció requeriria tallar el tràfic ferroviari durant un període de temps massa prolongat ja que han de realitzar-se les tasques de moviment de terres, encofrats, esperar fins que el formigó adquirisca la resistència necessària, etc. Mentre que si, per contra, es realitzen totes aquestes operacions amb un marc de formigó prefabricat, els processos s'agilitzen ja que no ha d'esperar-se fins que el material adquirisca dita resistència característica. De nou l'inconvenient seria la necessitat de maquinària que disposara el calaix posició.

En relació a la tercera, cal destacar que a l'haver-se escollit com a mètode de posada en obra la clava del calaix mitjançant cilindres hidràulics, es dificulta per eixa banda l'ús d'un marc de formigó prefabricat.

Per al mètode de clavament, hi ha una sèrie d'elements estructurals executats abans que el propi calaix que són essencials per al procés de translació: una solera de lliscament, uns murets guia i un mur de reacció al que transmetre els esforços. Al seu torn, aquests dos primers elements serveixen d'encofrat per al propi calaix. En un marc de formigó prefabricat seria una tasca complicada la de disposar el calaix de manera que quadre dins d'aquesta estructura secundària i es dispose en posició de clavament.

Per últim, es necessari considerar que les activitats de transport d'un marc de formigó prefabricat des de planta a obra, i la seua posterior col·locació, precisen de maquinària pesada molt específica, fet pel que s'ha descartat en aquesta alternativa l'ús d'aquest tipus de marc.

En contrast a les primeres dues, en la tercera alternativa la gestió del tràfic ferroviari permet aquesta espera fins que el formigó assolisca la resistència per a la que ha sigut dissenyat ja que mentre el calaix estiga en procés de construcció no hi ha perquè tallar el tràfic. En canvi, en un tall de via el tràfic es deté des del primer moment fins l'últim; per això, és més convenient agilitzar els processos amb un marc de formigó prefabricat.

7.4. Justificació de la solució adoptada

Per a la comparació de les diferents alternatives s'ha optat per un anàlisi multicriteri en el qual s'avaluaran una sèrie d'indicadors basats en els criteris exposats en l'apartat 7.1.

Dits indicadors estan fonamentats en principis econòmics, socials i temporals, i són els següents:

- Procediment constructiu (PC): donat que és un factor que ve determinat per la magnitud dels costos de la construcció del calaix, aquest indicador vindrà estimat en una escala de 0 a 10, considerant com a 10 una alternativa les previsions de la qual no són de costos desmesurats, i com a 0 tot el contrari.
- Costos indirectes a l'empresa operadora (CI): aquest indicador s'avaluarà en un rang de valors del 0 al 5. Es donarà un valor de 5 a aquella alternativa que no provoque unes pèrdues econòmiques desproporcionades a l'empresa operadora, i un valor de 0 a aquella que a causa dels treballs ocasione una despesa pronunciada.
- Problemes en la circulació ferroviària (CF): considerant que l'anterior factor és una conseqüència d'aquest, s'estimarà el present indicador en una escala del 0 al 15. Es donarà un valor de 15 a l'alternativa que pertorbe mínimament el tràfic de trens, i un valor de 0 a aquella que el pertorbe de manera excessiva.
- Acceptació dels passatgers (AP): indicador que es valorarà en una franja del 0 al 5, en la que 5 correspon a aquella alternativa que vaja a estar socialment acceptada entre els passatgers i que, com a conseqüència dels treballs en la línia, no van a deixar d'utilitzar el tren en el seu dia a dia. Per contra, s'avaluarà amb un valor 0 a aquella alternativa que pugui produir una greu afecció en l'ús habitual del tren entre els passatgers.
- Termini d'execució (TE): donat que aquest és un dels criteris més importants del present projecte, s'avaluarà en una escala de valors del 0 al 20. Amb una puntuació de 20 es valorarà l'alternativa els treballs de la qual s'estimen en un breu període de temps, i amb una puntuació de 0 aquella en la que es preveja un termini d'execució massa llarg.

Es mostra en la següent pàgina una taula amb la puntuació de cadascuna de les alternatives en funció dels indicadors exposats:

Criteri	Indicador	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Econòmic	PC	7,5	5	0
	CI	2,5	5	5
Social	CF	5	0	15
	AP	2,5	0	5
Temporal	TE	15	20	10
Σ		32,5	30	35

Taula 5.- Puntuació de les alternatives

Així doncs, a la vista dels resultats queda constància de que segons l'anàlisi realitzat l'alternativa 3 és en quasi tots els aspectes la més favorable. Pel que a mode de justificació poden destacar-se les següents observacions en referència als indicadors exposats:

- PC: Es tracta d'una opció que demanda d'uns costos bastant elevats en comparació amb les altres dues alternatives. Malgrat que aquestes dues necessiten d'un marc prefabricat més la seua col·locació en la posició definitiva, a banda d'un gran volum de moviment de terres, la tercera necessita d'un sistema d'empenta oleodinàmic el qual engrandeix molt el pressupost, pràcticament doblant el pressupost d'ambdues primeres alternatives, fet pel que s'ha avaluat tan baix aquest indicador.
- CI: En relació als costos indirectes cal destacar que, per una banda, l'alternativa 2 i 3 poden mantenir més o menys estables els guanys degut a la venda de bitllets, doncs el tràfic d'autobusos en la 2 serà continu, i el de trens en la 3. D'altra banda, en l'alternativa 1, al veure's minvat el tràfic es veuran minvats al seu torn els guanys.
- CF: En quant a la circulació ferroviària queden representades perfectament les puntuacions, doncs en l'alternativa 1 el tràfic de trens es veurà reduït, en la 2 completament tallat, i en la 3 es mantindrà igual.
- AP: L'acceptació dels passatger és un indicador subjectiu, doncs depèn en certa forma de cada persona, per això s'ha avaluat en una escala tan reduïda. S'ha suposat com respondria la gent a unes actuacions com les explicades amb un criteri semblant a l'anterior, descrivint com correspondrien els passatgers a situacions de tràfic totalment tallat, minvat i al mateix tipus de tràfic que l'habitual; per això, s'ha valorat tan positivament l'alternativa 3, doncs es suposa que no hi hauria massa afecció en una situació com l'exposada.
- TE: Per últim, cal destacar que en relació als temps d'execució s'ha suposat un temps mitjà d'execució per a la tercera alternativa considerant que el procés de clavament no és excessivament llarg. En relació a la segona, s'ha suposat que els procediments constructius es realitzaran amb un temps molt reduït, ja que és una de les condicions a les que està compromesa aquesta alternativa. I per últim, en referència a la primera ha

de tenir-se en compte que donat que el calaix ve prefabricat el temps que ocupa l'excavació i col·locació del mateix és més reduït que haver de d'executar-lo in situ i desplaçar-lo més tard.

Per tant, l'elecció de l'Alternativa 3 com a procediment definitiu queda justificada. Aquesta serà la que s'utilitze com a base per a realitzar el present Treball Fi de Grau i la que s'utilitze per a resoldre el problema que es presenta, el disseny geotècnic del pas inferior.

8. CONCLUSIONS

En el present Treball Fi de Grau s'han estudiat les condicions geològiques i geotècniques del calaix que conformarà el pas entre andanes de l'estació de Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana de Paiporta.

Per al seu desenvolupament s'ha extret la informació geològica i geotècnica dels treballs de camp realitzats en les immediacions de l'obra, un sondeig rotatiu i un assaig de penetració dinàmica, a partir dels quals s'han realitzat diferents assajos de laboratori per obtenir les característiques que presenta el terreny.

Un cop avaluades totes les propietats geotècniques s'ha pogut predimensionar el calaix conforme a la norma marcant una sèrie de directrius per a escollir quin és el més indicat per a conformar el pas. Aquest ha sigut l'element principal de tot el treball, doncs la idea que es persegueix és la de donar-li les mesures que es consideren més convenientes en funció d'aquells esforços que li són transmesos, i al seu torn, que ell transmeta.

Així, amb l'ajuda de les dades extretes dels assajos de laboratori s'ha particularitzat el tipus de terreny sobre el que va a estar recolzada l'estructura amb l'objectiu de comprovar quines són les condicions de fonamentació de l'element estudiat. A més, donat que no s'han detectat riscos geològics ni geotècnics no s'han previst tampoc ningun tipus de problemes a l'hora de realitzar les excavacions o de fonamentar l'estructura.

De forma complementària s'ha realitzat un estudi sobre les diverses possibilitats constructives que existeixen en funció de la gestió del tràfic ferroviari i del tipus de calaix (in situ o prefabricat), a més d'una valoració econòmica del que suposa la construcció del pas.

Per tant, s'aprecia que aquest Treball Fi de Grau estudia amb suficient detall les actuacions previstes considerant que s'ha cobert el disseny geotècnic del calaix front a aquelles situacions límit a les quals va a estar exposat. S'han estudiat amb suficient profunditat les actuacions de naturalesa geotècnica que han de dur-se a terme per a assolir l'objectiu de millorar la permeabilització entre ambdues andanes.

9. REFERÈNCIES

Escribano Méndez, R., & López Palomar, R. (1989). *La construcción prefabricada de pasos inferiores al ferrocarril y su puesta en obra mediante la técnica de empuje o del cajón hincado*. Recuperat de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

Normativa d'aplicació al projecte:

- Col·lecció de xicotetes obres de pas. Obres de pas de carreteres. Ministeri d'Obres Públiques i Transport.
- Instrucció d'accions a considerar en ponts de ferrocarril (IAPF, 2010). Ministeri de Foment, Secretaria de l'Estat d'Infraestructures del Transport. Direcció General de Ferrocarrils.
- Guia de fonamentacions en obres de carretera (GFOC, 2009). Ministeri de Foment, Secretaria d'Estat de Planificacions i Infraestructures. Direcció General de Carreteres.
- Codi Tècnic de l'Edificació, Seguretat Estructural, Fonaments (CTE SE-F, 2019). Secretaria d'Estat d'Infraestructures, Transport i Habitatge. Direcció General d'Arquitectura, Habitatge i Sòl.
- Norma de construcció sismorresistent: Part general i edificació. (NCSE, 2002). Ministeri de Foment, Secretaria General de Relacions Institucionals i Coordinació. Direcció General de l'Institut Geogràfic Nacional.
- Instrucció de Formigó Estructural. Capítol VII. Durabilitat. (EHE, 2008). Ministeri de Transport, Mobilitat i Agenda Urbana.
- Instruccions generals per als projectes de plataforma (IGP, 2011). Instruccions i recomanacions sobre estructures (IGP-5). Administrador d'Estructures Ferroviàries.