

RECUPERAR EL PATRIMONI: L'AQÜEDUCTE DE FIGUERES



Alumne: César García Martínez
IES Narcís Monturiol
2n batxillerat A
Tutor: Fernando Aísa
16/1/2012

M'agradaria agrair aquest treball en primer lloc al meu tutor, Fernando Aísa, qui m'ha ajudat quan ho he necessitat. A l'arquitecte municipal de Figueres Joan Falgueras qui em va facilitar tots els plànols i em va orientar en aquest projecte. Molt especialment al que va ser professor d'aquest centre, Manel Niubó, qui m'ha ajudat amb els plànols. I per últim, a la meva família que ha tingut molta paciència.

Gràcies.

ÍNDEX

-
- PRÒLEG 4
- INTRODUCCIÓ 5
- FORTALESA DE SANT FERRAN 7
- PROJECTE ARQUITECTÒNIC: 9
 - Definició de l'abast, objectius i necessitats. 9
 - Situació del projecte. 11
 - Recerca. 14
 - Hipòtesi. 17
 - Solució..... 18
 - Sistemes constructius. 21
 - Materials. 23
 - Plànols. 25
 - Normatives de seguretat. 28
 - Estructura, resistència dels materials..... 31
- CONCLUSIÓ 42
- BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA 44
- ANNEXOS 47
 - Cisternes 47
 - Fitxa tècnica..... 49
 - Glossari..... 50
 - Fotografies..... 53

PRÒLEG

Aquest treball està realitzat per un alumne de segon batxillerat d'aquest centre. Consisteix en la reconstrucció d'una part de l'arcada que forma l'aqüeducte els Arcs que va ser enderrocada per la construcció de l'autopista AP-7.

Al començament tenia certs dubtes en relació a l'elecció del tema del treball de recerca. Tenia clar que el tema estaria relacionat amb l'àmbit tecnològic ja que és el batxillerat que he escollit, també, volia que estigués relacionat amb la meua ciutat, Figueres.

Em van parlar que anteriorment per part de la ciutat va haver un interès per rehabilitar el conjunt d'arcs mencionats anteriorment. Em va semblar interessant i com complia els meus requisits previs, el meu treball estaria basat en això: un projecte per la reconstrucció de l'aqüeducte.

A més, una de les sortides de l'àmbit que estic estudiant és l'arquitectura, la realització d'aquest treball m'introduiria en aquest món. D'aquesta manera, tindria l'oportunitat de parlar amb arquitectes, interpretar plànols i treballar en Autocad (un programa informàtic que vaig conèixer el passat curs i em va resultar interessant).

Abans de realitzar el treball de recerca, opinava que aquest ens limitaria temps d'estudiar un dels cursos més importants, segon de batxillerat, on et jugues part del teu futur (com a pas previ a la universitat) i d'aquesta manera pensava que era una pèrdua de temps. Un cop finalitzat aquest, m'he adonat que estava equivocat, m'ha aportat molts coneixements que d'una altra manera no hagués tingut la oportunitat d'assolir.

INTRODUCCIÓ

Les places fortes havien d'estar preparades per a una llarga resistència i disposar de tots els elements necessaris per subsistir. L'aigua, necessària per al proveïment dels homes i animals, és un dels més importants. Per això, per escollir el terreny més adient per a la construcció d'una fortalesa s'havia de tenir en compte si en el mateix indret o al seu entorn hi havia aigua potable. A més a més, era imprescindible assegurar l'emmagatzematge adient d'importantes quantitats d'aigua quan els pous o les fonts no es trobaven a l'interior del recinte fortificat.

Per aquest motiu, la fortalesa de Sant Ferran es troba a la muntanya dels Caputxins, situada al Nord de Figueres, on es disposava d'aigua suficient de pous i d'un conducte construït pels pares caputxins d'aigua de gran qualitat, amb el qual es podien omplir unes cisternes (que actualment es poden visitar). Aquest conducte però, presentava un seguit de defectes (com el poc pendent en alguns trams, passar per heretats privades) i per això, més d'un cop es proposà la realització d'obres.

Les aigües que venien de la font de Llers i de la mina passaven des de l'extrem sud d'aquesta fins a la fortalesa a través d'un aqüeducte format per 320 metres d'arcades anomenat "els Arcs".

L'any 1974, sense donar-li cap mena d'importància a l'aqüeducte, es va per permetre el pas de l'autopista AP-7 (tram Barcelona – La Jonquera). Per això es van suprimir una part de la seva arcada original, substituint-la per una passarel·la aèria recolzada sobre tres columnes de formigó, quedant els trams antics a banda i banda.

Al gener de 2010, amb motiu del començament de les obres per l'ampliació de dos a tres carrils de l'autopista AP-7, també anomenada Autopista del Mediterrani (carretera que comunica tota la costa mediterrània fins la frontera amb França), s'ha tornat a parlar de l'aqüeducte i de la possibilitat de rehabilitar-lo. En això consistirà el meu treball: en un projecte per tal de recuperar el Patrimoni que els caracteritza.

Un projecte consisteix en l'elaboració d'un conjunt de plànols i de documents explicatius, en els quals es mostren totes les dades i vistes dels elements necessàries per tal de construir un edifici, un pont, una instal·lació... Està format per els següents

apartats: definició de l'abast, necessitats i objectius; recerca; disseny; avantprojecte; projecte bàsic; projecte executiu.

Ja sigui per complexitat o per ser apartats propis de edificis, he descartat un seguit d'elements, per tant el meu projecte, tindrà els següents:

- Definició de l'abast, objectius i necessitats.

Explicació de la situació de l'aqüeducte, què és el que vull aconseguir i el motiu.

- Situació del projecte.

Petita descripció geogràfica de l'Empordà. A més de la hidrografia i orografia més destacada, parlaré de les comunicacions i de la població de l'època.

- Recerca.

Petit estudi de la història de l'aqüeducte i el seu estat actual.

- Hipòtesi.

Exposició dels possibles resultats del meu projecte.

- Solucions.

Explicació de cadascun dels tipus de pont, i elecció del més adequat pel meu projecte.

- Sistemes constructius.

Exposició de cadascun dels passos a seguir per la realització del projecte.

- Materials.

Explicació de cadascun dels materials a utilitzar.

- Plànols representatius.

Seguit de plànols de la zona i del projecte (alçats, planta i secció).

- Normatives de seguretat.

Exposició del conjunt de requisits que ha de complir la construcció del projecte, donant especial importància a la seguretat estructural.

- Estructura, resistència dels materials.

Breu explicació de cadascun dels esforços que poden actual al meu projecte i el seguit de fórmules que s'han de realitzar per calcular-los.

FORTALESA DE SANT FERRAN

Després de la batalla de Pavia (1525) i després de la Guerra dels Trenta Anys finalitzen les batalles campals i s'imposen les fortificacions, especialment amb baluards. El domini del territori suposava la possessió de ciutats i places fortes, per tant el poder i la força residien en les fortificacions.

Les places fortes havien d'estar preparades per una llarga resistència, disposar de tots els elements necessaris per subsistir i comptar amb edificis necessaris per emmagatzemar armament i provisions, on destaca l'aigua, necessària pel proveïment d'homes i animals.

A causa de les freqüents entrades de tropes franceses en el territori fronterer, durant la segona meitat del segle XVII i primers anys del XVIII, es mostra la necessitat de disposar una instal·lació militar per tal d'evitar contínues invasions per part del país veí.

L'any 1751, regnant a Espanya Ferran VI, es pren la decisió de construir a les proximitats de Figueres, la Reial Plaça de Guerra de Sant Ferran.

El 16 de maig de 1752, el capità general del Principat de Catalunya, marquès de la Mina (considerat un dels millors general dels seus temps, tant pels seus valors en el camp de batalla, com per les seves dots intel·lectuals) encarregà a Juan Martín Zermeno (comandant general del Cos d'Enginyers) que fes un reconeixement de la zona de l'Empordà per tal d'escollir el terreny idoni per a construir la plaça forta. Entre les diverses condicions que havia de tenir en compte el comandant, era



Vista aèria del Castell de Sant Ferran.
Font: Figueres.cat

l'assegurament del proveïment dels recursos hídrics imprescindibles. Zermeno el dia tres d'octubre de 1752, després de examinar molts terrenys, presentà un informe en el qual cita que la muntanya dels Caputxins de Figueres, on es trobava un convent dedicat

a Sant Roc, era el terreny adient, ja que es podia abastir d'aigua suficient i disposava de pous que, mitjançant un conjunt de conductes, es podien omplir.

El 4 de Setembre de 1753 es van iniciar les obres de la plaça forta o Castell, sota la direcció del general Zermeño, qui anomenà Magí Borràs com a mestre major i al seu germà, Pablo Borràs, aparellador de l'obra.

El 1766, tretze anys després iniciades les obres, es va inaugurar la fortalesa. En la construcció hi varen treballar uns 4.000 obrers i es van gastar 30 milions de reals, però la plaça no era acabada. Per posar-la en perfecte estat es necessitarien després molts anys i diners. El 1767 mor el principal impulsor d'aquesta fortalesa, el marquès de la Mina, fet que fa que les obres gairebé quedin aturades. El 1786, l'enginyer Zoyenshend, es fa càrrec de les obres, que foren continuades fins al 1792 (encara que tampoc foren acabades). De tots els enginyers que prengueren part en la construcció destaquen Antonio Saliquet, qui dissenyà l'arsenal, Tomàs Sedeño, qui projectà la fleca, Leamur, especialista en obres hidràuliques, que intervingué en el projecte de l'aqüeducte que porta l'aigua des de Llers, Jorge Sicre, López Sopena, Agustín Bueno, Narcís Codina...

La presència d'aquesta construcció va influir en el desenvolupament de Figueres tant en el punt de vista demogràfic i econòmic com pel que fa al planejament urbanístic. De fet, actualment el castell de Sant Ferran es considerat una de les fortaleses més grans del món i el monument arquitectònic més important de l'Empordà.

PROJECTE ARQUITECTÒNIC

DEFINICIÓ DE L'ABAST, OBJECTIUS I NECESSITATS

Antigament, el proveïment d'aigües a la fortalesa de Sant Ferran, que venia de la font de Llers i de la mina, arribaven a través d'un aqüeducte. El conjunt d'arcs que formen l'aqüeducte estan fet de maçoneria, amb una llum de cinc metres.

Actualment, es troba dividit en dues parts enllaçades mitjançant una plataforma que permet el pas de l'autopista AP-7 que uneix Figueres Sud amb La Jonquera.

Aquest tram alberga dos carrils i dos vorals: al sentit Sud (de 13.75 m) trobem un carril de 11.25 m d'ample i un voral de 2 m d'ample, al sentit Nord (de 11,00 m) en canvi, trobem un carril de 7.50 m i un voral de 3 m. Els dos marges de la plataforma presenten per una part, el torrent on s'origina l'aqüeducte i per



Plataforma que enllaça les dues parts de l'aqüeducte.
Font: propia

l'altra, la fortalesa de Sant Ferran, on desemboca i, una mica més allunyada d'aquesta, el nucli urbà figuerenc.

La principal finalitat d'aquest projecte és recuperar el Patrimoni de l'aqüeducte dels Arcs del Castell de Sant Ferran. L'any 1974 es produí l'enderroc parcial de l'aqüeducte com a conseqüència de la construcció del tram de l'autopista AP-7, que connecta Figueres Sud i La Jonquera i es van substituir els arcs per una passarel·la aèria recolzada sobre tres columnes de formigó i els extrems dels trams antics quedaren a banda i banda.

El meu objectiu és substituir la plataforma actual per un conjunt d'arcades per tal de recuperar la bellesa inicial. Per això és necessari la construcció d'un pont que ha de permetre principalment que els cotxes puguin continuar circulant pel tall de l'autopista que va causar l'enderroc i d'aquesta manera, reconstruir l'aqüeducte.

Tot i que no hi ha cap necessitat real per dur a terme aquest projecte ja que el proveïment actual de l'aigua arriba mitjançant un sistema més modern, considero que els arcs, al recuperar la seva bellesa tradicional, podrien arribar a ser una de les

principals atraccions turístiques a Figueres, fet que, a la llarga, resultaria beneficiós per a la ciutat.

SITUACIÓ DEL PROJECTE

- Descripció geogràfica de l'Alt Empordà

L'Empordà està situat en un dels extrems dels Pirineus. Es troba envoltada per la mar Mediterrània i per muntanyes. És una zona on les comunicacions resulten fàcils. Aquests aspectes fan que la comarca esdevingui una via tradicional de penetració. D'aquesta manera, per tal de tancar l'accessibilitat de la comarca sorgeix la necessitat d'un element defensiu, aquest és el motiu principal de la construcció del castell de Sant Ferran.

El castell empordanès va ser ubicat al seu lloc tenint en compte la importància de la topografia. Per això Figueres fou escollida en ser lloc de trànsit i de transició de plana a muntanya.

- Orografia

El pla empordanès es va constituir en el període quaternari per les inundacions de la Muga i del Fluvià, que configuraran l'actual orografia.

El sistema geogràfic de l'Alt Empordà correspon al sistema pirinenc, ja sigui la serralada mateixa o als seus contraforts. Els Pirineus són característics per la seva corpulència i per l'escassetat i poca viabilitat que presenten.

Les muntanyes empordaneses pertanyen a una part del Pirineu on les alçades són reduïdes i destaquen diverses esquerdes que permeten el pas d'un vessant a un altre. Des del Montnegre (punt més al nord-oest de la comarca) i cap a l'est, la serralada presenta tres sectors:

- El primer comença al Montnegre i arriba fins al coll del Portús. Penya de França (1.449 m) i el pic de les Salines (1.336 m) corresponen els punts més elevats d'aquesta part.
- El segon s'inicia amb una sobtada elevació, que ascendeix fins a assolir el pic de Llobregat. El pic del puig Neulós (1.257 m) és la cota màxima d'aquest sector.
- El tercer sector s'origina amb un fort descens fins a arribar al coll de Banyuls (356 m). Tot seguit, augmenta l'altura fins a assolir el puig de la Calma, el pic i coll de Torn i el pic d'en Jordana. Finalment, mor a la mar.

Del conjunt d'estreps que formen la serralada empordanesa, per la construcció del castell és important la que s'origina en el Pirineu, al pla de la Muga, formant la

separació entre els rius Muga i Fluvià. Un altre contrafort dels Pirineus segueix per l'Estela (645 m) i Santa Magdalena (345 m), passant entre Terrades i Llers i formant la muntanya on és situat el castell de Sant Ferran de Figueres.

- Hidrografia

Tots els corrents fluvials s'originen en el Pirineu i desemboquen a la mar. A l'Empordà, destaquen dos rius, el Fluvià i la Muga, aquest últim és l'única conca realment empordanesa.

La Muga neix a la Casa de la Palla (de 1.425 metres d'altitud). El riu empordanès passa per Albanyà, Sant Llorenç, Boadella, les Escaules, Pont de Molins i Cabanes. La longitud del seu curs és de 52 quilòmetres i la seva conca hidrogràfica és de 864 quilòmetres quadrats aproximadament. El seu caudal és torrencial i les seves aigües són aprofitades majoritàriament per al regadiu. Els seus principals afluents són tres, per una banda l'Arnera i el Llobregat i per l'altre, el Manol:

- L'Arnera, neix al Coll de la Creu i passa per Tàpis i Maçanet de Cabrenys.
- El Llobregat, neix en el pic del Llobregat i rep aigües del rierol Altó, el riu Ricardell i el riu Orlina.
- El Manol, neix al massís de la Mare de Déu del Mont i desemboca les seves aigües a Vilanova. Rep aigües de les rieres de Cistella, Rissac, Galligants i el riu Algama.

El Fluvià s'origina en el Grau d'Olot i no es considera un riu empordanès fins arribar a Besalú. Entra a la comarca tot travessant les serres de Llorona i Rocacorba, passa per Bàscara i finalment desemboca al golf de Roses. Els seus afluents són els següents:

- Per la dreta, rieres d'Esponellà, Ollers, Galliners, Sants i Valldevià.
- Per l'esquerra, les rieres de Gumanell, Queixans, Gomar i Cabanelles.

- Població

La població al segle XVII era dispersa, principalment agrícola i ramadera. Els nuclis més importants eren Castelló (capital del comtat d'Empúries), Peralada (capital del comtat de Peralada) i Figueres (vila reial). Roses era l'única plaça militar amb una fortalesa, però es trobava en males condicions.

- Comunicacions

Durant segles, l'Empordà va ser un lloc de pas. Al llarg del segle XVIII, es duqué a terme el Pla general de camins, ja que les vies de comunicació a principis d'aquest segle estaven en molt mal estat. L'eix principal era el que unia Girona amb França pel Portús passant per Bàscara, Pontós, Figueres, Pont de Molins i La Jonquera. D'aquest camí, en sorgien dos que també portaven al país veí.

RECERCA

- Història

El subministrament dels recursos hídrics imprescindibles durant les obres de la construcció de la Fortalesa de Sant Ferran provenia de la mina dels Frares¹. A mesura que el volum de les obres es va anar ampliant, aquest cabal va resultar insuficient. Per això es va demanar a l'ajuntament de la veïna població de Llers la cessió de la meitat del cabal de la font de Vilademont, localitzada al costat de la carretera de Llers, a Avinyonet de Puigventós, les quals es van unir a les de la mina.

La conducció de l'aigua des d'aquesta font fins a la mina tenia una longitud de 2.026m. L'enginyer Manuel Lemaur estimà que el conducte presentava una sèrie de defectes com ara el poc pendent en alguns trams, el fet de passar per heretats privades i que es trobava descoberta en alguns trams. Per això, considerà que no s'havia fet amb la intenció de proveir per sempre la fortalesa, sinó que només va proporcionar l'aigua necessària per a les obres, sense detenir-se a buscar la millor direcció ni calcular pendents. Tot això obligava a contínues reparacions i a les despeses consegüents.

Lemaur proposà unes obres, per tal de posar remei al deteriorament a què havia arribat el conducte, que consistien principalment a donar un pendent constant a la canalització. No hi ha constància de que s'arribessin a fer.

Diverses vegades, al llarg dels segles XIX i XX es va tornar a parlar de la necessitat d'atendre l'estat de la conducció. L'any 1927 es va aprovar un projecte de millora de proveïment i distribució d'aigua per a la fortalesa. Les obres van perfeccionar la conducció de l'aigua, fent-ho per mitjà d'una canonada de ferro que, sortit de la font de Vilademont, pujava per sifó a un dipòsit elevat des del qual partia la distribució a les dependències. L'aigua de la mina continuava circulant per la mateixa canalització d'abans, era conduïda a les cisternes del subsòl de la plaça d'armes per a ser utilitzada

¹ Mina dels Frares: anomenada així perquè assortia d'aigua potable el convent de Sant Roc, dels frares caputxins, situat al cim de la muntanyeta on actualment se situa el castell de Sant Ferran. S'inicia al marge dret del torrent dels Monjos. Amb una extensió de 800 metres i gairebé paral·lela a la carretera de Figueres a Llers, està excavada quasi tota en roca viva, i la secció de la galeria és variable, però es considera com a mida mitjana: 150 metres d'alt per 1 d'ample.

en cas d'escassetat de l'aigua de la font. Anys després, es van soterrar al pati d'armes uns motors per pujar l'aigua des de la cisterna principal fins al dipòsit.

Les aigües que venien de la font de Llers i de la mina passaven des de l'extrem sud d'aquesta fins a la fortalesa a través d'un aqüeducte. Tot i que aquest era una obra dels caputxins, el tram final que el connecta amb la fortalesa, fou dissenyat per enginyers militars especialment per Carlos Lemaur (pare de l'enginyer Manuel Lemaur) mestre d'enginyers del segle XVIII famós per haver dissenyat el canal de Guadarrama (que no va arribar a construir-se) que havia de permetre navegar en vaixell entre Sevilla i Madrid.

La part central d'aquest aqüeducte era sustentada per quaranta-dues arcades de mig punt sobre pilars de maçoneria, amb una llum de cinc metres. El conjunt d'arcades, conegut popularment com "els Arcs", dóna nom al indret. L'aqüeducte té una llargada de 560 metres, 320 dels quals corresponen als arcs. Té un pendent molt reduït i l'alçada màxima sobre el terreny que travessa és d'uns 10 metres.

La canalització entra a la fortalesa per sota d'un camí cobert situat a la cara oest de la contraguàrdia de Sant Pere. Per canalitzacions separades i mitjançant uns arcs, les aigües creuaven el desnivell que envolta la fortalesa, i travessant els glacis, arribaven al fossat. Des d'allà, una de les canonades havia d'emplenar les set cisternes ubicades al mateix fossat, mentre que l'altra, fent ús d'un sifó, aixecava l'aigua fins el nivell del pati d'armes; després i per mitjà d'uns registres de distribució, s'emplenaven de manera indistinta els quatre grans dipòsits situats sota el mateix.

Per la seva extensió, capacitat, complexitat de funcions i eficàcia en la conservació, el sistema d'aigües de Sant Ferran constitueix una meravella de l'enginyeria hidràulica del segle XVIII.

- Estat actual

L'any 1974, per tal de facilitar el pas de l'autopista AP-7, tram Barcelona - La Jonquera, es va modificar l'aqüeducte. Es van suprimir noranta-sis metres de l'aqüeducte original i es van substituir per una passarel·la aèria recolzada sobre tres columnes de formigó i els extrems dels trams antics que quedaren a banda i banda. Dues canonades, una per a les aigües de Llers i l'altra per a les de la mina, passen per dins d'una caixa feta de totxanes. Tant a l'entrada com a la sortida del nou tram hi ha dispositius per decantació, sobreexidors i aixetes de pas. Les obres es van iniciar el dia



Traçat de l'AP-7 al pas per Figueres
Font: Juli V. i Jaume F. (ICC)

2 de novembre de 1974 i van acabar el 26 de maig de 1975. El 18 de juny es va obrir el tram amb circulació gratuïta fins al dia 1 de juliol. Finalment, el 14 de juliol, els Prínceps d'Espanya inauguraren oficialment el nou tram d'autopista i el cinturó de ronda.

HIPÒTESI

Per a l'elaboració del projecte que consisteix en la reconstrucció dels arcs enderrocats de l'aqüeducte és necessari la construcció d'un pont que faci de suport pels arcs i a la vegada que permeti el trànsit a l'autopista.

Per a fer-ho cal respectar el conjunt de normes de construcció actuals com: respectar el gàlib (que a Espanya és de com a mínim 5.3 en zona interurbana i ha de suportar el pes de l'estructura que es vol reconstruir), l'amplada de la calçada, els seus vorals... I d'aquesta manera obtenir un pont estèticament acceptable respecte al seu entorn, aconseguint que els arcs siguin reproduïts de la manera més semblant als anteriors, a la fi de recuperar el Patrimoni devastat.

SOLUCIÓ

Per a escollir la solució adequada es realitza un petit estudi del diversos ponts que es podrien construir, valorant les seves característiques. Destaquen:

Ponts penjants: aquests tipus d'estructures consten d'un tauler (que sol ser una biga metàl·lica) suspès mitjançant nombrosos cables d'acer, de gran flexibilitat, recolzades per torres.



Exemple de pont penjant
Font: <http://www.absolutbilbao.com>

Encara que aquest tipus de pont presenti un seguit d'avantatges com la flexibilitat o que no necessiten suports centrals durant la seva construcció, aquesta estructura es descarta pels següents motius:

- Són ponts indicats per a grans llums, és a dir, estructures de gran envergadura i, en el cas del projecte que vull realitzar, el pont no ha de ser de grans dimensions.
- Manquen de prou rigidesa, motiu que fa que es pugui tornar intransitable en condicions de fortes ventades o turbulències i, per aquest motiu, caldria tancar-lo temporalment al trànsit en cas de tramuntanades fortes.
- Sota grans càrregues de vent, quan es treballa en sòls dèbils, es requereix una gran fonamentació, fet que produeix que resultin excessivament cars.

Ponts atirantats. Estructuralment és aquell pont on el seu tauler està suspès d'un o diversos pilons centrals mitjançant cables o tirants (rectes o inclinats) fixats a mastelers. S'utilitzen bàsicament per a salvar grans llums de manera pràctica, enginyosa, econòmica (com hi ha menys despesa d'acer resulten més barats que els ponts penjats) i fins i tot atractiva.



Exemple de pont atirantat.
Font: <http://i3.sinaimg.cn>

Tot i que és un tipus de pont que admet variacions (tant en estructura com en forma: poden tenir dues torres o una única, poden tenir molts tirants pròxims o pocs i molt separats ...), també es descarta pels següents motius:

- Igual que a l'anterior estructura, s'utilitza per a grans dimensions.

- Dificultats de càlcul pel desenvolupament d'aquesta tècnica, on el mínim error en l'etapa de construcció comporta grans esforços per sobre dels analitzats originalment i suposa problemes estructurals en els components.

Ponts arc, estructura de secció corbada (sol ser circular, però també parabòlica) cap amunt subjectada amb suports i que abasteix una llum. Aquests ponts treballen transferint el seu propi pes i les sobrecàrregues d'ús cap als suports mitjançant la compressió de l'arc, on es transforma en una empenta horitzontal i una càrrega vertical, fet que produeix que executin una bona resistència.

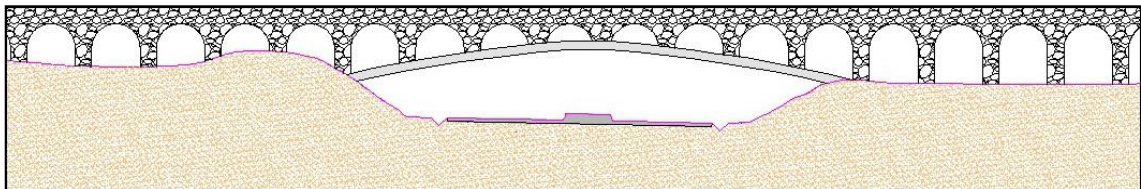


Exemple de pont arc.
Font: <http://2.bp.blogspot.com>

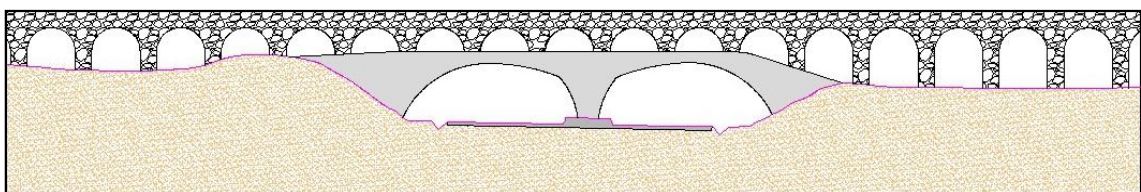
Destaquen per la utilització de materials simples en la seva construcció com pedra i similars (ciment, materials de farcit, formigó en massa, maons...) i inclús el ferro (que va començar a utilitzar-se a partir de la Revolució Industrial), tot i que actualment els més emprats són formigó armat i la gelosia d'acer.

Aquest tipus d'estructura podria tenir dues possibilitats:

La primera és la d'un pont d'un únic arc, però es descarta ja que el punt puja massa, tal com es pot apreciar:



La segona solució, la construcció d'un pont de dos arcs independents recolzats en la mitjana central, en el tres ronyons hi ha d'haver suficient gruix per plantacions². Per la seva complexitat també es descarta. A més, tenint en compte que sobre els tres carrils per banda més vorals cal respectar al gàlib de pas que a Espanya és de com a mínim 5,3m en zona interurbana, el pont no resultaria estètic.



² Els tres punts on es recolza el pes del pont han de tenir suficient espai per a fixar-los a la terra.

Finalment, la solució adoptada és la construcció del pont de biga.

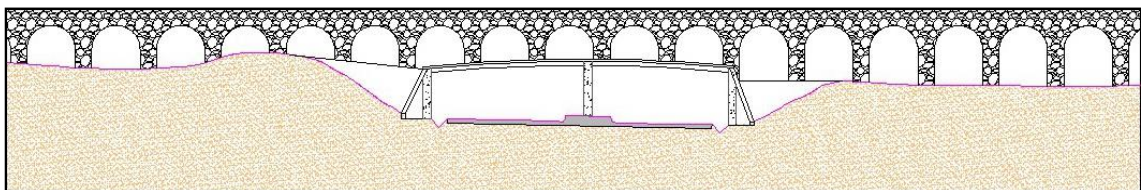
Ponts de biga, format fonamentalment per elements horitzontals (bigues en forma de I) recolzats pels seus extrems sobre suports o pilars. Aquestes estructures es construeixen amb fustes, acers, formigó armat o pretensat.



Exemple de pont biga.
Font: <http://upload.wikimedia.org>

Tot i que actualment el preu de l'acer ha augmentat, que la llum queda limitada a la llargada de les bigues metàl·liques i que és necessari realitzar un manteniment constant dels elements per evitar la seva corrosió, aquesta estructura és l'adequada pel meu treball ja que aquesta tipologia s'adapta correctament a diverses sol·licitacions i la seva construcció és senzilla i ràpida.

Per tant, el projecte consistiria en la creació de dos murs de contenció en els dos laterals de l'autopista (que aguantaran l'empenta de les terres sobreposades) i un altre situat entre els dos carrils. El pont servirà per suportar una base de formigó armat, recolzada també pels tres murs. Aquesta estructura subjectarà el conjunt d'arcs.



SISTEMA CONSTRUCTIU

Per tal de dur a terme aquest projecte, s'han de treballar els 96 metres que van ser suprimits per causa de l'enderroc. S'ha de respectar la llum de cada arc que ha de fer uns 5 metres i la secció transversal de la plataforma estreta, que alberga dos carrils i dos vorals.

Primer de tot, es realitza la creació en els dos laterals de l'autopista i entre els dos vials, d'uns murs de contenció que serviran per aguantar, en els cas dels dos laterals, l'empenta de les terres sobreposades.

Per realitzar els murs de contenció es realitzen un conjunt de fases:

- Primer de tot el replanteig, és a dir, marcar en el terreny la posició de punts d'un projecte, a partir dels quals es materialitzarà.
- Tot seguit, l'excavació i moviment de terres: la construcció d'aquests murs suposarà la modificació del terreny, aquest necessitarà un conjunt de canvis, per tal de suavitzar les pendents existents a les vores de l'autopista. Com a solució s'adopta pujar el nivell de les terres que es situen a banda i banda de l'autopista.
- Un cop finalitzada l'anterior fase, es dona lloc a l'execució del formigó de neteja (per mantenir neta la superfície a treballar, garantir la rigidesa de la superfície interior i provocar una superfície homogènia i anivellada).
- Després, s'aboca el formigó a la sabata. Seguidament, es realitza l'execució de l'encofrat i posteriorment, la col·locació de l'armadura del mur de contenció i l'encofrat de la cara exterior.
- Tot seguit, la posada en obra del formigó que comporta la col·locació d'armadures, l'encofrat, l'abocament del formigó i el procés d'enduriment per obtenir una massa compacta.
- Finalment, es duen a terme els desencofrats i acabats.

Pel que fa el pont, estarà construït a base d'unes jàsseres prefabricades (s'utilitzen prefabricades per tal de no tenir l'autopista tallada) col·locades mitjançant la utilització de grues. A sobre d'aquest es col·locarà, amb la mateixa grua, una base de formigó

armat que es recolzarà en els tres murs mencionats anteriorment. A més, a aquesta estructura se li donarà una mica de punt, que li aportarà més rigidesa³.

Finalment, es dóna pas a la construcció del conjunt d'arcs que van ser enderrocats, formant l'aqüeducte. Aquests arcs passaran per sobre d'aquesta base de formigó, però també ho faran per les terres sobreposades. Per aquest motiu, els arcs assentats sobre terres sobreposades han d'estar fonamentats. Suposant que no es fes prou amb aquest últim procediment es podria construir una base assentada sobre pilotatges.

³ Els arcs transfereixen el seu propi i les sobrecàrregues d'ús cap els suports mitjançant la seva compressió, on es transforma en una embranzida horitzontal y una càrrega vertical fet que proporciona més rigidesa.

MATERIALS

Bàsicament els materials emprats per a l'elaboració del projecte són el formigó armat i la maçoneria:

Formigó armat

El formigó és material de construcció constituït per la barreja de ciment, sorra, grava i aigua. Les seves propietats depenen en gran mesura de la qualitat i proporcions dels components en la mescla, però també de les condicions d'humitat i temperatura durant els processos de fabricació i d'enduriment.

L'acer, que es troba en les armadures, és una mescla de ferro i una petita quantitat de carboni.

El formigó armat consisteix en la introducció de formigó, material que resisteix esforços de compressió, a les armadures metàl·liques, destinades a resistir esforços de tracció o de flexió, que el formigó no suportaria bé. D'aquesta manera, l'adherència entre els dos materials produeix que l'acer resisteixi les compressions i l'altre material, les traccions. Actualment la adherència entre els dos materials es realitza amb barres corrugades (durant molts anys les barres eren llises). El formigó armat s'utilitzarà bàsicament en tots els components que formen el projecte: les jàsseres prefabricades, els murs de contenció, la estructura del pont i la base que subjecta. S'utilitza aquest material pel seguit d'avantatges que presenta:

- És un material molt barat, a causa de la seva gran abundància.
- Presenta unes propietats físiques que el fan molt apte per la construcció de grans edificis.
- Permet la combinació amb altres materials, que li proporcionen un augment de seguretat.
- Té una gran resistència, resisteix grans pressions d'aigua, altes i baixes temperatures, fregaments i xocs.
- Seguretat contra incendis, el formigó és mal conductor del calor i per aquest motiu, el foc no afecta la armadura metàl·lica.

- Presenta una estructura antisísmica. Com tots els elements que formen l'estructura de formigó armat, estan sòlidament units entre si, presenten una gran estabilitat contra vibracions i moviments sísmics.
- La facilitat de construcció i el fàcil transport del ferro per les armadures, unit amb que la preparació de l'armadura i la seva col·locació és simple, fan que la construcció s'executi amb rapidesa.
- La conservació no exigeix cap despesa (a diferència de les estructures purament metàl·liques, on és necessari pintar periòdicament, per evitar la seva oxidació i desgast). En les estructures de formigó armat, el ferro, protegit per la massa de formigó, es conserva intacte i en perfectes condicions.
- Executa estructures de formes variades i satisfà qualsevol exigència arquitectònica.
- Un cop retirat l'encofrat, l'estructura manté un aspecte sòlid i net.
- A més, és un material que exclou la formació de floridures, putrefaccions, desenvolupament de vegetacions criptogàmiques o la cria d'insectes.

Maçoneria

La maçoneria és un material de construcció, compost per peces d'origen petri com maons, pedres o blocs de formigó generalment lligats amb un material de cohesió com són la calç o el ciment.

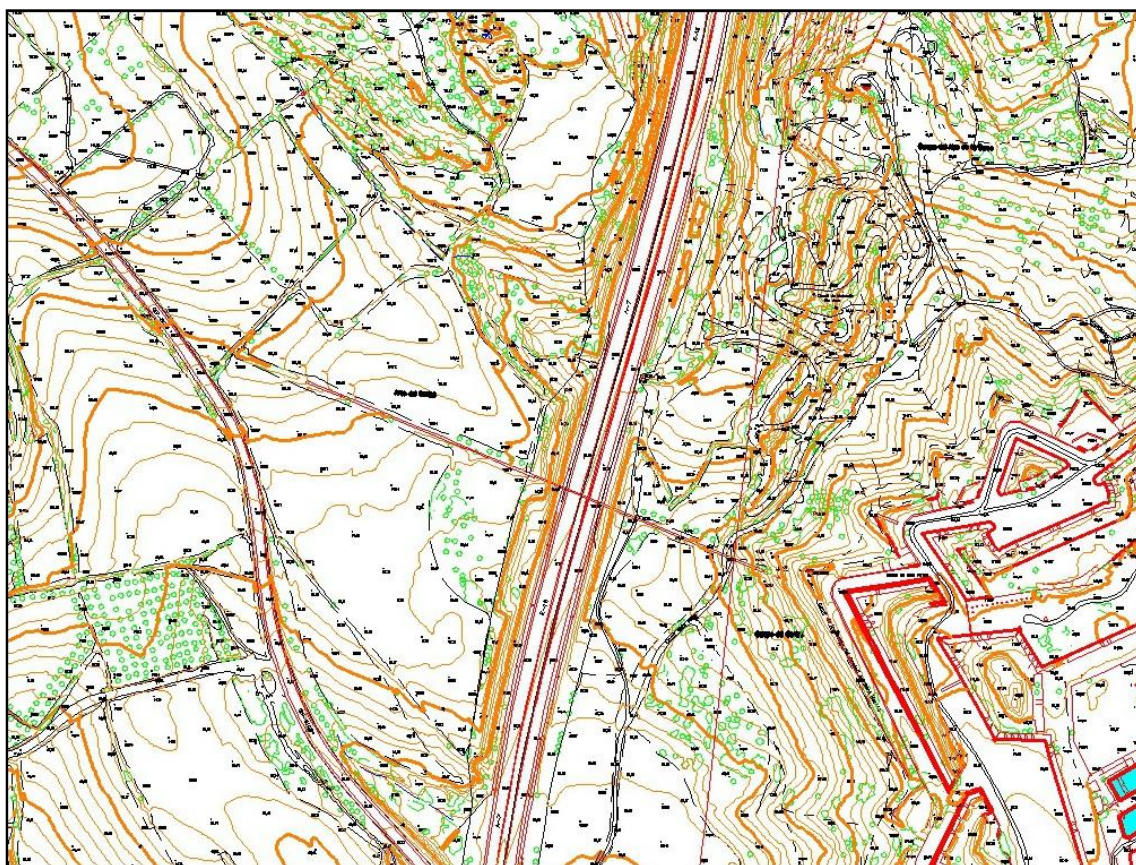
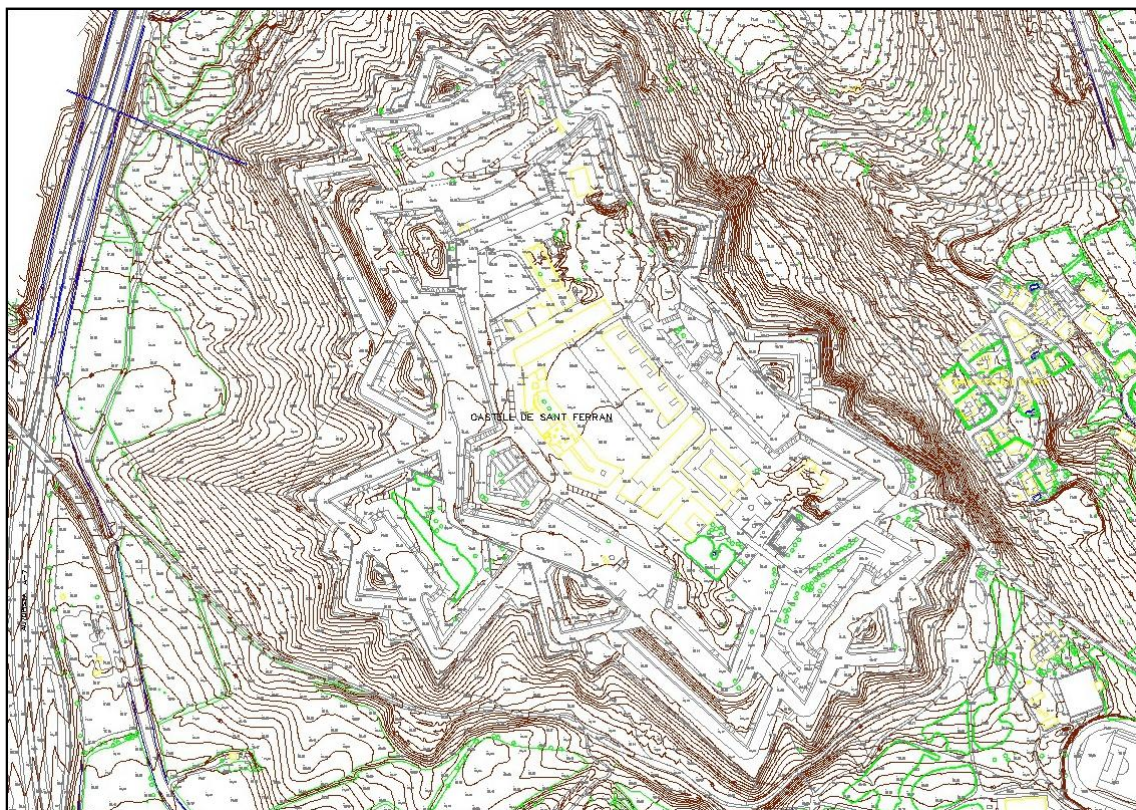
S'utilitza aquest material, per a la construcció dels arcs ja que és el que es va utilitzar originàriament i d'aquesta manera, es mantindrà la mateixa harmonia estètica. A més, aquest tipus presenta unes característiques de durabilitat i resistència.



Arc on s'aprecia la maçoneria.
Font: propia.

PLANÒLS

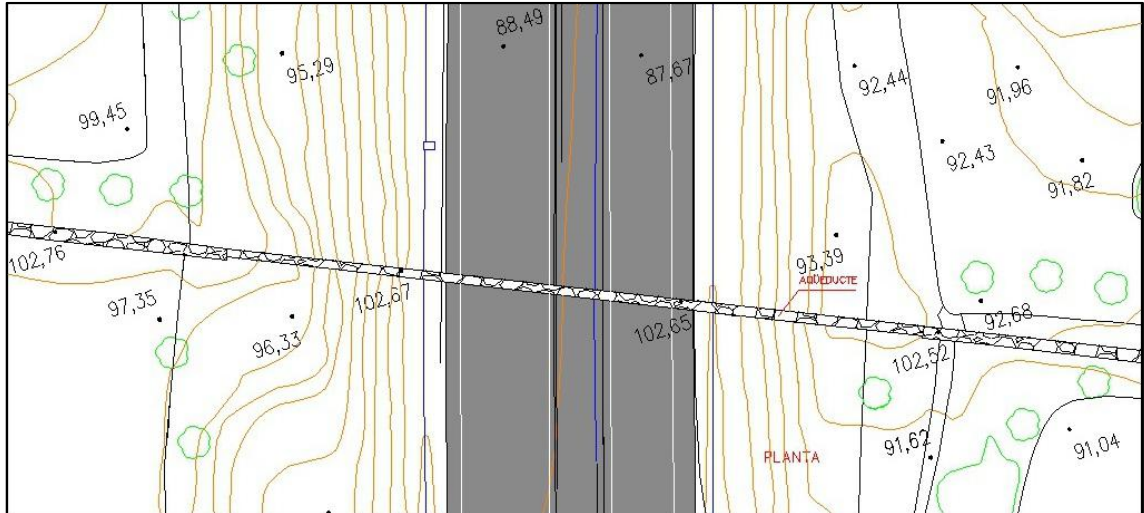
- Plànols topogràfics:



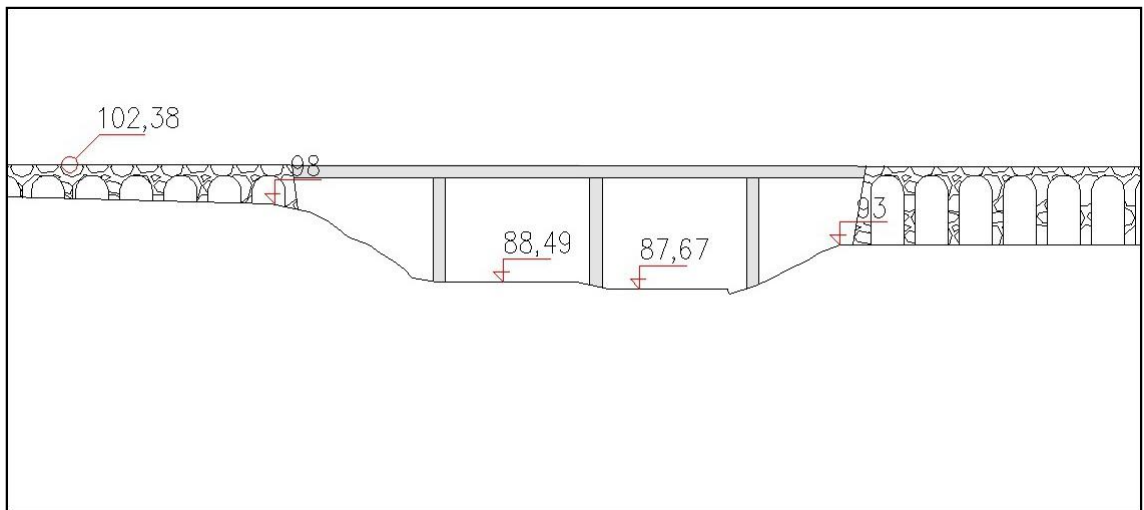
- Plànols del projecte:

Actual

Planta:

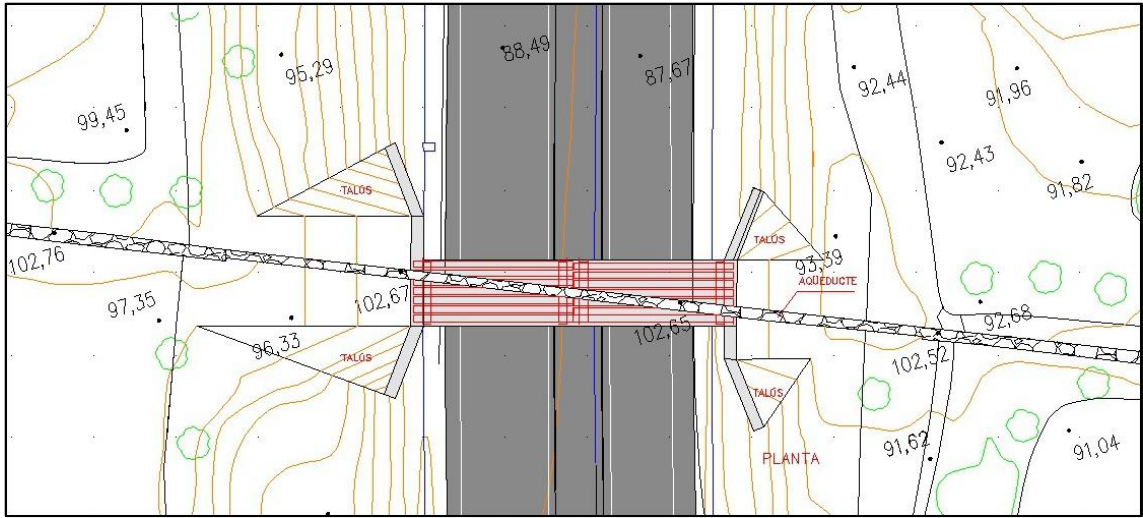


Alçat:

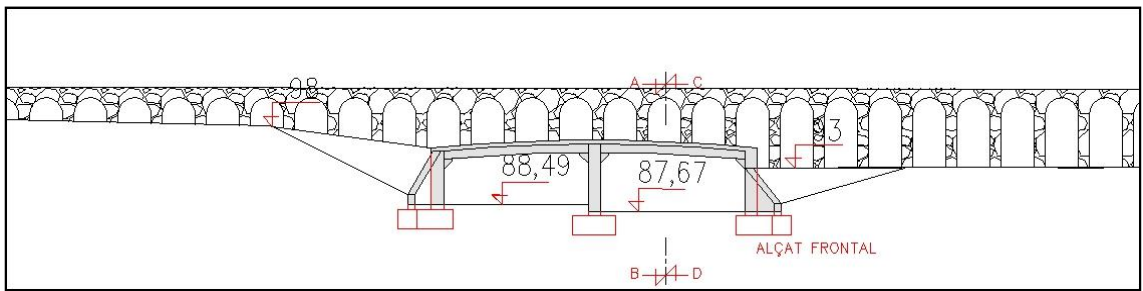


Projecte

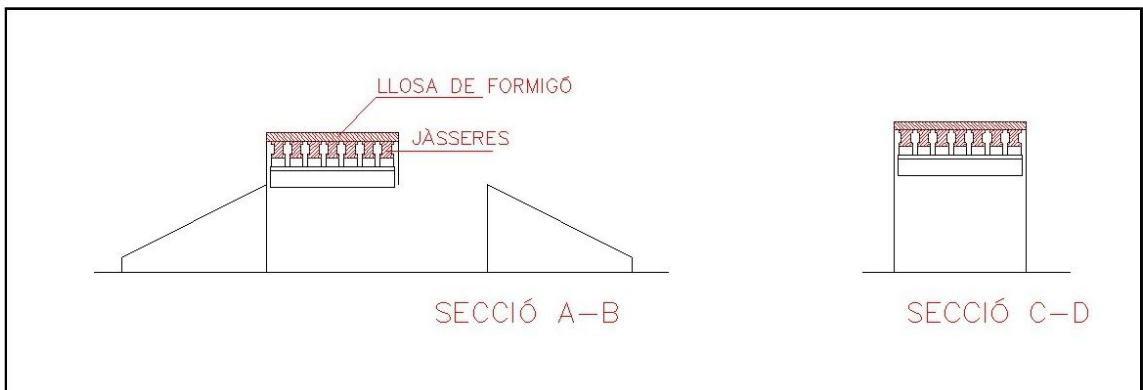
Planta:



Alçat:



Seccions A-B i C-D indicades en l'alçat:



NORMATIVES DE SEGURETAT

Les exigències bàsiques de caràcter qualitatiu que el projecte ha de complir són:

- **De seguretat estructural:** resistència i estabilitat; aptitud al servei.
- **De seguretat en cas d'incendi:** propagació interior, propagació exterior, evacuació d'ocupants, instal·lacions de protecció, intervenció de bombers i resistència estructural a l'incendi.
- **De seguretat d'utilització.** Seguretat davant de riscos com: caigudes, impactes, empresonament, il·luminació inadequada, situacions amb alta ocupació, ofegament, vehicles en moviment i acció del raig.
- **De salubritat** "Higiene, salut i protecció del medi ambient": protecció davant la humitat; recollida i evacuació de residus; qualitat de l'aire interior; subministrament d'aigua; evacuació d'aigües.
- **De protecció davant el soroll.**
- **D'estalvi d'energia:** limitació de demanda energètica, rendiment de les instal·lacions tèrmiques, eficiència energètica d'instal·lacions d'il·luminació, contribució solar mínima d'aigua calenta sanitària i contribució fotovoltaica mínima d'energia elèctrica.

Seguretat estructural:

S'anomena seguretat estructural a una sèrie de condicions que han de complir les edificacions per considerar que les activitats per a les quals van ser dissenyades poden realitzar-se de forma segura. És a dir, assegurar que la construcció tingui un comportament estructural adequat davant d'accions i influències previsibles a les quals pugui estar sotmès durant la seva construcció i ús previst.

La seguretat estructural contempla dos aspectes:

○ **Resistència i estabilitat.**

La resistència i la estabilitat són els encarregats de que no es generin riscos indeguts, de forma que aquests dos aspectes es mantinguin davant d'accions i influències previsibles durant les fases de construcció, quan sigui utilitzat, garantint el seu manteniment.

○ **Condicions de servei.**

L'aptitud al servei serà conforme amb l'ús previst de l'edifici, de forma que no es produeixin factors inadmissibles com: deformacions, degradacions o anomalies. És a dir, que es pugui utilitzar amb normalitat.

A Espanya la seguretat estructural està regulada mitjançant el Codi Tècnic de la Edificació (CTE), concretament en el Document Bàsic de Seguretat Estructural (DB SE), destaquen els següents apartats:

- **DB-SE-AE: “Accions en l'edificació”**, determina les càrregues i esforços mínims que ha de suportar un edifici segons el seu ús i situació.
- **DB-SE-C: “Fonaments”**, determina les condicions que han de complir els fonaments.
- **DB-SE-A: “Acer”**, per a les estructures metàl·liques.
- **DB-SE-F: “Fàbrica”**, per a les estructures de maons o blocs.

En referència a les accions en l'edificació (DB-SE-AE), s'han de tenir en compte els aspectes següents:

- **Accions permanents** com el propi pes, el pretensat i accions del terreny.
- **Accions variables** com sobrecàrrega d'ús, accions sobre baranes i elements divisoris, vent, accions tèrmiques i neu.
- **Accions accidentals** com sismes, incendis, impactes o altres accidents.

En referència als fonaments (DB-SE-C), s'han de tenir en compte:

- **Estudi geotècnic**, que implica: el reconeixement del terreny.
- **Fonamentacions directes**, que impliquen: anàlisis i dimensionat; pressió admissible i de enfonsament; condicions constructives i control.
- **Fonamentacions profundes**, que impliquen: accions a considerar; anàlisis i dimensionat; condicions constructives i de control.
- **Elements de contenció**, que impliquen: accions a considerar i dades geomètriques; anàlisi i dimensionat; condicions constructives i de control.
- **Condicionament del terreny** que implica: excavacions, farciments i gestió de l'aigua.

- **Millora o reforç del terreny** que implica: estudi de les condicions inicials del terreny, elecció del procediment de millora o reforç del terreny i les condicions constructives i de control.
- **Ancoratges al terreny** que impliquen: les accions a considerar i dades geomètriques; anàlisis i dimensionat; condicions constructives i de control.

En referència a l'acer (DB-SE-A), s'ha de tenir en compte:

- **La durabilitat.**
- **Els materials** com: acers en xapes i perfils, cargols, rosques, volanderes i materials d'aportació.
- **Anàlisi estructural:** comportament estructural, estabilitat lateral global, imperfeccions inicials i anàlisi plàstic.
- **Estats límit:** resistència de les seccions; resistència de les barres; càlcul de deformacions i reducció del valor de les fletxes; vibracions; lliscament d'unions.
- **Unions,** que implica: criteris de comprovació; rigidesa; resistència; resistència dels medis d'unió; unions cargolades i soldades; capacitat de rotació.
- **Fatiga.**
- **Toleràncies** de fabricació i d'execució.
- **Control de qualitat.**
- **Inspecció i manteniment.**

En referència a fàbrica (DB-SE-F), s'ha de tenir en compte:

- **Durabilitat:** classe d'exposició, adequació dels materials i armadures.
- **Materials** com: peces, morters, formigó, armadures i components auxiliars (com per exemple barreres antihumitat).
- **Comportament estructural:** murs sotmesos a carga vertical, murs sotmesos a tallant i murs amb accions laterals; fàbrica armada o pretensada sotmesa a flexió.
- **Solucions constructives:** tipus de murs.
- **Execució i control:** execució de murs, llindes, enllaços, regates i rebaixos, morters, formigons de farcit i armadures.
- **Manteniment.**

ESTRUCTURA, RESISTÈNCIA DELS MATERIALS

Aquesta resistència mesura les propietats de cadascun dels materials a utilitzar, per tal d'evitar que aquests es deformin massa o inclús es trenquin. Els materials es trenquen per la contraposició entre forces internes i externes:

- Les forces exteriors aplicades sobre els cossos provoquen en aquests unes forces interiors que s'oposen a les anteriors. Aquest rebuig sorgeix perquè les forces exteriors alteren les posicions de repòs que conservaven les partícules elementals de l'interior del cos, fet que produeix que s'originin forces internes que tracten de recuperar les seves posicions inicials. En augmentar el valor de les forces exteriors també ho faran les interiors i això succeirà així fins que aquestes arribin al seu valor límit, de tal manera que no puguin créixer més, i el sòlid es trencarà.
- La resistència mecànica són el conjunt de forces internes màximes que un cos és capaç de desenvolupar. La rigidesa, és la resistència que presenta un cos a deixar-se deformar.

La resistència dels materials permetrà calcular:

- Forces internes o tensions: gràcies a aquestes es controlarà que els cossos no es trenquin.
- Les deformacions: gràcies a aquestes es controlarà que els cossos no es deformin massa.

Els principis generals en els quals es basa la resistència de materials són els següents:

Principi dels petits desplaçaments.

Segons aquest principi a l'aplicar forces exteriors sobre els cossos, els desplaçaments que es produeixen són petits en relació amb les seves pròpies dimensions. Aquest principi permet aplicar les equacions d'equilibri de l'estàtica sobre el cos en la seva posició inicial, sense estar deformat. Generalment es treballa amb petites deformacions.

Principi de la superposició dels efectes.

Aquest principi expressa que els efectes produïts per diverses càrregues que actuen sobre un cos (forces internes i deformacions), s'obtenen a partir de la suma d'aquests efectes produïts per cadascuna de les càrregues que actuen separatament. Aquest

principi és molt útil i s'aplica en molts problemes de resistència de materials, ja que permet dividir un cas de càrregues molt complex, en casos senzills fent actuar per separat aquestes càrregues. Si les deformacions fossin grans aquest principi no es podria utilitzar.

Principi de Saint Venant.

Aquest principi diu que si es substitueix el sistema de forces que actua sobre un cos per un altre d'equivalent, els efectes produïts per tots dos són similars en tots els punts del cos excepte en les zones pròximes a on s'apliquen les forces.

Els principals esforços als que el pont es trobarà sotmès són:

TENSIONS

Tensió: resultant de les forces elàstiques d'un cos que equilibren els esforços externs que tendeixen a allargar-lo.

Considerant un sòlid sotmès a un sistema de forces que es troba en equilibri estàtic (no es mou) i en equilibri elàstic (un cop deformat). Degut a les forces exteriors apareixen a l'interior del sòlid les forces interiors, que s'oposen a l'acció de les exteriors i tracten de portar al sòlid a la posició que tenia inicialment en repòs.

Cada superfície que passa per un punt d'un sòlid, li correspon una tensió, aquesta té dos components: per una part, les **tensions normals** component de la tensió sobre la direcció normal a aquesta superfície. I per l'altra banda, les **tensions tallants**, component de la tensió $\vec{\rho}$ sobre la pròpia superfície. El conjunt de totes aquestes tensions que poden haver en un punt s'anomenen: estat de tensions en un punt.

Tensions Principals:

Reben el nom de tensions principals, aquelles que tenen els valors màxims i mínims, entre les infinites tensions que poden haver en un punt d'un sòlid (relatives a les infinites superfícies que passen per aquest punt). Les superfícies corresponents, reben el nom de superfícies principals i a les direccions dels vectors normals d'aquestes superfícies, direccions principals.

Pel càlcul de les tensions principals s'ha de resoldre el següent determinant (obtingut a partir d'un conjunt d'equacions):

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \rho & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y - \rho & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z - \rho \end{vmatrix} = 0$$

Resolent-lo dóna lloc a una equació de tercer grau, un cop resolta s'obtenen les tensions ρ_1, ρ_2, ρ_3 . Es complirà que: $\rho_1 = \sigma_1, \rho_2 = \sigma_2, \rho_3 = \sigma_3$.

Les direccions principals s'obtenen de la següent expressió:

$$\text{Per a } \rho_i = \rho_1 \rightarrow \cos \alpha_1, \cos \beta_1, \cos \gamma_1$$

$$\text{Per a } \rho_i = \rho_2 \rightarrow \cos \alpha_2, \cos \beta_2, \cos \gamma_2$$

$$\text{Per a } \rho_i = \rho_3 \rightarrow \cos \alpha_3, \cos \beta_3, \cos \gamma_3$$

DEFORMACIONS

Deformació: conjunt d'accions que alteren la forma d'alguna cosa, fent que perdi la seva forma regular o natural.

Els cossos es deformen a causa de l'acció de les forces aplicades. Per conèixer la deformació d'un cos cal conèixer primer la deformació d'un qualsevol dels paral·lelepípedes elementals que el formen.

La deformació d'un paral·lelepípede elemental es descompon en:

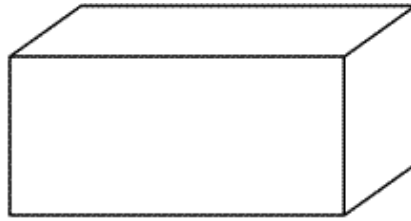
1: **Translació**, el paral·lelepípede es desplaça des d'un punt (O) cap a un altre punt (O').

2: **Rotació**, el paral·lelepípede gira al voltant d'un eix que passa per O'.

3: **Deformacions lineals** de les arestes del paral·lelepípede.

4: **Deformacions angulars "simètriques"** dels angles que formen les arestes del paral·lelepípede.

En les dues primeres parts, s'origina el moviment del sòlid però sense arribar a deformar-se. És en les dues darreres on s'origina la deformació del paral·lelepípede.



Paral·lelepípede: sòlid limitat per sis paral·lelograms, les seves cares oposades són iguals i paral·leles.

Concepte de deformació:

Com a conseqüència de la deformació pròpiament dita del paral·lelepípede (les deformacions lineals y les deformacions angulars simètriques) un dels vèrtexs del paral·lelepípede experimentarà un desplaçament (DD'), amb el qual l'element lineal (OD) modificarà la seva longitud i girarà un angle.

S'anomena deformació unitària (δ) de l'element lineal OD , el quocient entre el desplaçament sofert pel seu extrem: DD' i la longitud de l'element lineal, OD :

$$\vec{\delta} = \frac{\overline{DD'}}{OD}$$

El vector δ es descompon en dos components: un sobre la pròpia direcció de l'element lineal, la qual rep el nom de deformació longitudinal unitària (ϵ) i un altre en direcció perpendicular a l'element lineal, deformació angular unitària ($\gamma/2$).

Deformacions principals:

De totes les deformacions que tenen lloc en un punt d'un sòlid, hi hauran unes que tinguin els valor màxims i mínims, aquestes s'anomenaran: deformacions principals. Les corresponents direccions en la qual aquesta acció es produeix, se les anomenen: direccions principals.

Per calcular aquestes deformacions s'ha de resoldre la següent equació:

$$\begin{vmatrix} \epsilon_x - \delta & \frac{\gamma_{yx}}{2} & \frac{\gamma_{zx}}{2} \\ \frac{\gamma_{xy}}{2} & \epsilon_y - \delta & \frac{\gamma_{zy}}{2} \\ \frac{\gamma_{xz}}{2} & \frac{\gamma_{yz}}{2} & \epsilon_z - \delta \end{vmatrix} = 0$$

Resolent aquest determinant, dona lloc a una equació de tercer grau, un cop resolta s'aconsegueixen els valors de les deformacions principals: $\delta_1, \delta_2, \delta_3$. Es complirà que:

$$\delta_1 = \varepsilon_1, \delta_2 = \varepsilon_2 \text{ i } \delta_3 = \varepsilon_3.$$

Les direccions principals corresponents a les deformacions principals s'obtenen a partir de les següents equacions:

$$(\varepsilon_x - \delta) \cdot \cos \alpha + \frac{\gamma_{yx}}{2} \cdot \cos \beta + \frac{\gamma_{zx}}{2} \cdot \cos \gamma = 0$$

$$\frac{\gamma_{xy}}{2} \cdot \cos \alpha + (\varepsilon_y - \delta) \cos \beta + \frac{\gamma_{zy}}{2} \cdot \cos \gamma = 0$$

$$\frac{\gamma_{xz}}{2} \cdot \cos \alpha + \frac{\gamma_{yz}}{2} \cdot \cos \beta + (\varepsilon_z - \delta) \cdot \cos \gamma = 0$$

$$\cos^2 \alpha_i \cdot \cos^2 \beta_i + \cos^2 \gamma_i = 1$$

COS ELÀSTIC

Elasticitat: propietat que posseeixen tots els cossos en major o menor grau, es caracteritza per la desaparició, en deixar de realitzar sobre els materials forces exteriors, de les deformacions produïdes per aquestes.

Tot cos sota l'acció de forces aplicades es deforma i en suprimir aquestes, el cos tendeix a recuperar la seva forma inicial. Uns cossos es comportaran més elàstics que uns altres depenent del material del que estiguin fets i de la magnitud de les forces aplicades, es comportaran totalment elàstic (en retirar la força a la qual està sotmesa, el cos recupera totalment la seva forma inicial) o parcialment elàstic (en retirar la força no recupera totalment la forma inicial, deixant en ell una deformació permanent).

A cada punt d'un cos sotmès a forces exteriors li corresponen un "estat de tensions" i un altre de "deformacions". Com unes són conseqüències de les altres, és evident que ha d'existir una relació entre ambdós estats. Va ser Hooke ⁴ qui va deduir aquestes relacions i va establir una llei per demostrar-ho, l'anomenada Llei de Hooke.

⁴ Robert Hooke (Freshwater, 18 de juliol de 1635 – Londres, 3 de març de 1703) científic anglès conegut per crear la Llei d'Elasticitat i pel descobriment de la cèl·lula, aspectes que fan que sigui un dels científics experimentals més importants de la història de la ciència. Hooke va estudiar aspectes molt diversos de la ciència com la biologia, la medicina, la física planetària, la mecànica de sòlids deformables, la nàutica, la microscòpia, la cronometria o l'arquitectura.

Aquesta diu que: “Existeix proporcionalitat entre els components de l'estat de tensions i l'estat de deformacions”. A més, també diu que les deformacions longitudinals són proporcionals a les tensions normals que produeixen:

$$\varepsilon_{1x} = \frac{\Delta L_x}{L_x} = \frac{AB - AB}{AB} = \frac{1}{E} \cdot \sigma_x$$

TRACCIÓ-COMPRESSIÓ

Tracció: nom que rep l'esforç en el qual es troba sotmès un cos per l'acció de dues forces que tendeixen a allargar-lo.

Compressió: esforç en el qual es troba sotmès un cos per l'acció de dues forces oposades de sentit contrari que tendeixen a ajuntar les seves partícules i d'aquesta manera, disminuir el seu volum.

Un exemple de sòlids que treballin a tracció-compressió són les barres que componen les bigues en gelosia. Prenc com a model d'aquest exemple el cas que millor s'adaptaria a una possible solució per millorar els esforços de tracció del meu projecte: la barra pretensada de formigó armat.

Barra pretensada de formigó armat:

El formigó és un material que resisteix molt malament els esforços de tracció, podem millorar la seva resistència a la tracció si introduïm en aquest rodons d'acer prèviament sotmesos a tracció.

El procediment consta de dues fases:

Primera fase: s'estiren els rodons d'acer sotmetent-los a una força de tracció de X kg.

La tensió en la qual els rodons es trobaran sotmesos serà de:

$$\sigma = \frac{X}{A_{AC}}$$

Segona fase: sense destensar els rodons d'acer, s'afegeix el formigó i esperem que aquest es forgi, un cop forjat, el rodó d'acer es queda totalment adherit al formigó. En aquest instant es destesen els rodons d'acer, alliberant-los de la força X als quals es trobaven sotmesos. Com a conseqüència, el rodó d'acer tendirà a reduir-se, arrossegant al formigó, que provocarà en ell una compressió. Aquesta barra, en estar prèviament

treballant a compressió, com a conseqüència del pretensat, millorarà la seva capacitat per suportar majors esforços a tracció.

Altres exemples d'estructures que treballen a aquests esforços són els cables que subjecten barres o els dipòsits o recipients a pressió.

FLEXIÓ-TENSIONS

Flexió: encorbament que experimenta un cos elàstic per efecte de càrregues externes o del propi pes que el deformen

Destaquen quatre tipus de flexions:

- **Flexió pura**, una barra requereix aquest tipus de flexió quan en les seves seccions rectes transversals només actuen els moments flectors: M_z i/o M_y
- **Flexió simple**, quan els moments flectors M_z i/o M_y actuen també amb les forces tallants V_y i/o V_z .
- **Flexió simètrica**, si només actués un dels moviments flectors M_z o M_y
- **Flexió asimètrica**, si el vector moment té els dos components M_z i M_y

Aquestes forces tallants (V_y i V_z) estan relacionades amb els moments flectors (M_z i M_y), per tant, no són independents.

Càlcul de tensions normals en flexió pura i simple:

- Tensions normals: flexió pura

Pel càlcul d'aquest tipus de flexió es requereixen unes hipòtesis comprovades experimentalment. L'hipòtesis de Bernoulli-Navier diu que: "En la flexió pura cada secció transversal de la biga gira al voltant d'un eix, inclòs a la secció, anomenat eix neutre, mantenint les seccions planes i normals a les fibres deformades". A més, tal com diu la Llei de Hooke les tensions que s'originen han de ser proporcionals a les deformacions produïdes.

A partir d'un conjunt d'equacions basant-se en aquestes hipòtesis s'arriba a la expressió final que permet calcular la tensió normal en un punt qualsevol de coordenades (y,z):

$$\sigma_x = \frac{(M_z \cdot I_y - M_y \cdot I_{zy}) \cdot y + (M_y \cdot I_z - M_z \cdot I_{zy}) \cdot z}{I_z \cdot I_y - I_{zy}^2}$$

D'aquesta manera, els components de l'estat de tensions en un punt de l'interior de la biga sotmesa a flexió pura són:

$$\sigma_x = \frac{(M_z \cdot I_y - M_y \cdot I_{zy}) \cdot y + (M_y \cdot I_z - M_z \cdot I_{zy}) \cdot z}{I_z \cdot I_y - I_{zy}^2} \quad \tau_{xy} = 0$$

$$\sigma_y = 0 \quad \tau_{yz} = 0$$

$$\sigma_z = 0 \quad \tau_{zx} = 0$$

- Tensions normals: flexió simple

En aquest tipus de tensions, juntament amb els moments flectors actuen també les forces tallants, que eren zero en la flexió pura, aquestes produeixen deformacions angular, que s'afegeixen a les deformacions pròpies de flexió pura.

En aquest cas no es compleix la hipòtesis de Bernoulli-Navier, aplicada en les flexions pures, ja que les tensions tallants, igual que les deformacions angulars, no es distribueixen uniformement en la secció, i produeixen que aquesta es corbi i no romangui plana. Però, com que aquesta corba que experimenten les seccions amb prou feines influeix en el valor de les tensions normals, s'aplica la mateixa equació obtinguda en la flexió pura:

$$\sigma_x = \frac{(M_z \cdot I_y - M_y \cdot I_{zy}) \cdot y + (M_y \cdot I_z - M_z \cdot I_{zy}) \cdot z}{I_z \cdot I_y - I_{zy}^2}$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\sigma_z = 0$$

FLEXIÓ-DEFORMACIONS

Cal limitar les deformacions igual que les tensions per raons de seguretat, de manteniment o d'estètica. En nombrosos casos els elements estructurals es dimensionaran a partir de la resistència, limitant les seves tensions màximes, la rigidesa

i cal fer que les deformacions màximes no sobrepassin uns determinats valors admissibles. En diferents normatives es fixen els valors admissibles de les deformacions per a diferents elements estructurals.

Per a calcular les deformacions existeixen diversos mètodes com el “Mètodes de l’equació diferencial de la línia elàstica” o el “Mètode de l’equació universal de la línia elàstica”. Però, el més destacat és:

•**Mètode dels teoremes de Mohr⁵.**

El primer teorema de Mohr permet calcular l’angle θ_{AB} que formen entre si dues seccions A i B d’una biga flexionada.

La equació diferencial de la elàstica és:

$$\frac{d\vartheta_z}{dx} = -\frac{M_z}{E \cdot I_z} \rightarrow d\vartheta_z = -\frac{M_z \cdot dx}{E \cdot I_z}$$

Incorporant aquesta equació entre els punts A i B:

$$\vartheta_z(A, B) = \vartheta_z(A) - \vartheta_z(B) = \int_A^B \frac{M_z \cdot dx}{E \cdot I_z}$$

El segon teorema, ens dóna la distància vertical δ_{BA} , que hi ha des d’un punt B de l’elàstica a la tangent en un altre punt A de l’elàstica:

$$\delta_{BA} = \int_A^B \frac{M_z \cdot (x_B - x) \cdot dx}{E \cdot I_z}$$

FLEXIÓ-HIPERESTATICITAT

Hiperestaticitat: Una biga o una estructura és hiperestàtica quan el nombre d’equacions és inferior al nombre d’incògnites de les reaccions.

Aquests casos es presenten quan aquesta estructura té suports de més. El grau d’hiperestaticitat és la diferència entre el número d’incògnites de les reaccions i el nombre d’equacions d’equilibri de la estàtica.

⁵ Els teoremes de Mohr, presentats pel matemàtic Green en 1873, descriuen la relació entre el moment flector i les deformacions que aquest produeix sobre una estructura. D’aquesta manera, aquests teoremes permeten calcular deformacions a partir del moment flector i a l’inrevés. Són mètodes vàlids per estructures isostàtiques i hiperestàtiques en les quals els seus materials tenen un comportament elàstic.

Exemples principals de estructures que treballen a flexió-hiperestaticitat són:

- Bigues d'un sol tram. Biga hiperestàtica d'un únic suport.
- Bigues contínues. Biga hiperestàtica que té més de dos suports. Normalment s'utilitzen quan les obertures a cobrir són grans.

Resolució de casos sotmesos a flexió-hiperestaticitat:

Per resoldre aquests casos s'afegeixen les "equacions de deformació" i es compleix que la suma entre el nombre d'aquestes equacions entre el nombre d'equacions d'equilibri donin com a resultat el nombre d'incògnites.

El mètode de resolució consisteix en transformar la biga hiperestàtica en una biga isostàtica equivalent, alliberant-la de les lligadures sobrants i substituint les seves accions per forces o moments de manera que la biga conservi les coaccions que les lligadures realitzaven sobre la biga hiperestàtica.

Per tal d'obtenir les reaccions dels suports, s'ha de resoldre el sistema format per les equacions d'equilibri i l'equació de deformació. En el cas de les bigues contínues, a més d'utilitzar aquest procediment general, es pot utilitzar l'anomenada "Equació dels 3 moments" que pren com incògnites hiperestàtiques els moments flectors que actuen en les seccions transversals corresponents.

VINCLAMENT

Vinclament: deformació d'una peça llarga (biga), corbant-se en la seva part central per efecte d'una excessiva compressió lateral.

Els diferents elements que formen una estructura poden fallar per diversos motius, depenent dels materials utilitzats, dels tipus de càrregues, de les lligadures i dels suports. Les fallades per inestabilitat o vinclament, es poden presentar en elements estructurals esvelts sotmesos a compressió. En aquests casos, hi pot aparèixer una flexió lateral a l'element que pot arribar a ser gran i fer fallar l'element. L'aparició d'aquesta flexió lateral, el seu ràpid creixement i la pèrdua total d'estabilitat de l'element i el consegüent col·lapse de l'estructura, constitueixen l'estudi d'aquest fenomen.

El vinclament pot aparèixer en elements estructurals com:

- Vinclament en els pilars dels edificis.

- Vinclament en les barres de les Estructures Articulades.

Totes les tensions i deformacions estudiades en els apartats de Tracció-Compressió i Flexió simple es poden calcular de forma aïllada però, també, quan actuen a l'hora més d'una d'aquestes accions.

CONCLUSIÓ

L'any 1766 a la muntanya dels Caputxins de Figueres, es va inaugurar la fortalesa de Sant Ferran. Una de les raons fonamentals per a l'elecció d'aquest terreny era la garantia del subministrament d'aigua. Els pares caputxins, disposaven de pous que gràcies a un conjunt de conductes es podien omplir.

L'aqüeducte en el que es basa el meu projecte és l'encarregat de portar les aigües que venien de la font de Llers i arribaven a la fortalesa des de la mina dels Frares. Va ser construïda pels caputxins, tot i que el tram que el connecta amb la fortalesa el van dissenyar uns enginyers militars.

Una de les coses que més em va sorprendre en l'elaboració d'aquest treball va ser el fet que el tall que van enderrocar va ser per la construcció de l'autopista, sense tenir present el valor arquitectònic que presentava. Em vaig plantejar la idea de reconstruir la part enderrocada per la construcció de l'autopista. Més aviat era un repte personal: aprendre a interpretar plànols i fer servir Autocad, sense tenir grans coneixements.

Primer de tot, per tal de que m'orientés en l'elaboració del projecte, vaig voler contactar amb un arquitecte i em vaig topar amb els primers problemes: vaig visitar el Col·legi d'Arquitectes de Figueres i vaig contactar amb el de Girona, ambdós sense aconseguir resultat. Va ser enviant un correu a la pàgina web del Col·legi d'Arquitectes de Catalunya, on setmanes després, em van posar en contacte amb l'arquitecte municipal de Figueres, qui em va facilitar un conjunt plànols.

Un cop amb els plànols en el meu poder, poc a poc em vaig assabentar del conjunt de dificultats que suposa la elaboració d'un projecte: ja sigui per la interpretació de plànols o per la complexitat dels seus apartats (sobretot el d'estructura i resistència dels materials, que vaig basar en un document de la Universitat de Salamanca que conté unes equacions de gran dificultat). Però, per sort he pogut contactar amb persones expertes que m'han resolt els meus dubtes.

Però tot i això, considero que he après coses que d'una altra manera mai hagués après, com per exemple: ampliar els meus coneixements sobre arquitectura i a investigar (aconseguir informació més enllà d'Internet).

Per finalitzar, he de dir que aquest treball ha complert les meves expectatives i, alhora, m'ha proporcionat uns coneixements, que em seran útils en un futur molt pròxim.

BIBLIOGRAFIA

Llibres consultats:

Díaz Capmany, Carlos. *El Castell de Sant Ferran de Figueres, la seva historia.* (1982)

Díaz Capmany, Carlos. *La fortalesa de Sant Ferran de Figueres i l'aigua.* Volum: 37. (2004)

Santo Domingo Santillana, Jaime. Universitat de Salamanca, E.P.S.-Zamora. Enginyeria Tècnica en Obres Públiques. Assignatura: *Resistència de Materials.*(2008).

Bernils i Mach, Josep M.. *Figueres 100 anys de ciutat.* Annals de l'Institut d'Estudis Empordanesos.Volum 10. (1974)

Bernils i Mach, Josep M.. *Les fonts i les aigües de Figueres.* Annals de l'Institut d'Estudis Empordanesos. Volum 24. (1991)

Alfaro Guixot, Juan Manuel. *Dues hores a... el Castell de Sant Ferran de Figueres.* Editorial: Fundació de les Fortaleses Catalanes.(2008)

Alfaro Gil, Juan Manuel, Pablo de la Fuente. *Quan l'Empordà esdevingué frontera: La Reial Plaça de Guerra de Sant Ferran de Figueres.* Editorial: Fundació de les Fortaleses Catalanes.(2004)

Buxeda, Pere. *El castell de Sant Ferran de Figueres.* Edició bilingüe català/castellà. Editorial: Associació Amics del Castell.

Pagès i Jordà, Vicenç. *Els jugadors de whist.* Editorial: JP Libros.(2010)

Conjunt de pàgines web consultades:

Codi tècnic d'edificació, normatives de seguretat:

<http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/dbse/se3/010.html>

Definicions del glossari:

www.diccionari.cat

www.enciclopedia.cat

www.rae.es

www.wikipedia.com

Definició de jàsseres:

<http://www.construmatica.com/construpedia/J%C3%A1cenas>

Definició de sabata:

http://www.construmatica.com/construpedia/Cimentaciones_por_Zapatatas

Fitxa tècnica:

<http://xdata.es/portal/iregua.pdf>

Formigó armat:

<http://www.allstudies.com/construccion/curado-del-hormigon.html>

[http://www.calter.es/upload/File/notas_tecnicas/NT-1-](http://www.calter.es/upload/File/notas_tecnicas/NT-1-Hormig%C3%B3n%20de%20limpieza.pdf)

[Hormig%C3%B3n%20de%20limpieza.pdf](http://www.calter.es/upload/File/notas_tecnicas/NT-1-Hormig%C3%B3n%20de%20limpieza.pdf)

http://www.halinco.de/html/proy-es/tec_const/Horm-Armado/Hn-Ao-01.html

http://www.ing-hormigon.com.ar/que_es_el_hormigon_armado.html

Història Castell de Sant Ferran:

<http://www.castillosanfernando.org/CAS/castillo.php>

Murs de contenció:

[http://www.construmatica.com/construpedia/Muros_de_Contenci%C3%B3n_\(estructura\)](http://www.construmatica.com/construpedia/Muros_de_Contenci%C3%B3n_(estructura))

http://www.construmatica.com/construpedia/Construcci%C3%B3n_de_un_Muro_de_Contenci%C3%B3n

Ponts:

<http://www.arquba.com/monografias-de-arquitectura/puentes-2/>

http://issuu.com/rdsantos28/docs/caracteristicas_de_los_puentes_atirantados

http://www.construmatica.com/construpedia/Puentes_de_Vigas_de_Acero_y_de_Madera_en_la_Construcci%C3%B3n_para_el_Desarrollo#Ventajas_e_Inconvenientes

<http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Puentes/TiposPuentes.asp>

http://www.taringa.net/posts/info/1119156/Arco-_construccion_-_arquitectura.html

http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0053-02/contenido/9_clasificacion_puentes.htm

http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0053-02/contenido/9_clasificacion_puentes.htm#colgante

<http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/5D1F8117-9DEF-42C8-9330-3B8120C9AA68/146998/Puentes.pdf>

Projecte d'ampliació de l'AP-7:

[http://www.abertis.com/dyndata/PRESENTACION_AMPLIACION_AP-7_GIRONA_\(2\).pdf](http://www.abertis.com/dyndata/PRESENTACION_AMPLIACION_AP-7_GIRONA_(2).pdf)

Projecte arquitectònic:

<http://elproyectoarquitectonico.blogspot.com/2008/07/prologo.html>

Replanteig:

<http://www.topocat.com/UIB/UIB08-TT06-Replanteo.pdf>

*La fotografia de la portada i les 1,2,3,4,5 i 6 de l'annex corresponen a l'Arxiu Buxeda.
La 7 de l'autor.*

ANNEXOS

CISTERNES

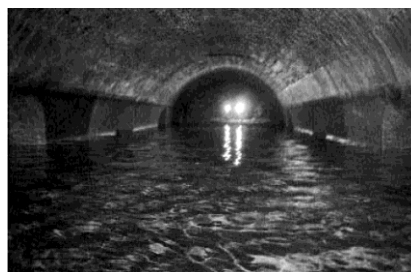
La importància de l'aigua va fer que resultés imprescindible assegurar l'emmagatzematge de grans quantitats d'aigua quan fonts o pous no es trobaven a l'interior de la fortificació. Per això calien dipòsits subterranis on es recollia i conservava l'aigua de la pluja o la que es portava des d'algun riu, pou o font.

A Sant Ferran hi havia tretze cisternes repartides en recinte interior i obres exteriors, actualment se n'han perdut algunes.

En el recinte interior n'hi trobem sis:

- La principal, situada al subsòl de la plaça d'armes central i es manté actualment en perfectes condicions. Excavada al mig de la fortalesa té una gran dimensió ja que és la suma de quatre parts. La seva estructura, formada per voltes de canó fetes de maons de quasi un metre de gruix, suportades per murs i pilars de pedra, li proporciona protecció a prova de bombes. A més, disposa de galeries per a la seva neteja i control.

L'aigua d'aquestes cisternes provenia de la mina dels Frares i d'una font situada a la veïna localitat de Llers (la font de Vilademont) per mitjà del Aqüeducte dels Arcs. Per canalitzacions separades i mitjançant uns arcs, les aigües tot travessant el glacis, arribaven al fossat, mentre que l'altra, fent ús d'un sifó, aixecava l'aigua fins el nivell del pati d'armes. Posteriorment, per mitjà d'uns registres de distribució, s'emplenaven quatre grans dipòsits situats sota el pati d'armes.



Interior d'una de les voltes de la cisterna principal.
Font: Arxiu de la Fundació de les Fortaleses Catalanes.

Per treure l'aigua d'aquestes cisternes, la fortalesa disposava de quatre pous (un per cada cisterna) situats a l'entorn dels angles de la plaça d'armes.

- Una altra, localitzada al cavaller baluard de Santa Bàrbara. Situada sota el nivell mitjà de la plaça, la seva coberta no és a prova de bomba ja que havia de quedar protegida per la massa que suposava l'obra en la qual estava inclosa. Actualment, com a conseqüència que el cavaller no es va acabar de construir, es presenta abandonada amb una escassetat d'aigua.

- De les quatre restants, una és troba a la gola del baluard de Sant Dalmau i les altres estan col·locades a cada un dels patis interiors dels edificis destinats a arsenal, hospital i forns. Les tres últimes, com a conseqüència de la Voladura del 1939⁶, van quedar afectades i actualment es troben desaparegudes (en la recuperació i consolidació d'aquestes peces no es van poder recuperar).

Les del recinte exterior són voltes de planta rectangular, es troben sota el terraplè de l'obra respectiva. Als murs interiors de les cisternes, al nivell del fossat, hi ha una fila de mènsules en pedra destinades a sostenir un passadís en fusta des d'on es realitzen les operacions per extreure l'aigua. En total són set cisternes:

- Quatre situades a les goles dels revellins de Sant Antoni, Sant Josep, del Rosari i de les Ànimes.

- Un altra ubicada a l'arc de gola de la contraguàrdia de Sant Joan (la més petita).

- Finalment, dues més sota el camí cobert al davant de les cares de l'est dels baluards de Sant Narcís i Sant Jaume (les més grans).

A més, a la gola de la tenalla de Sant Zenó es troba un pou d'aigua viva, anomenat pou dels Aragonesos.

Totes les cisternes (tant interiors com exteriors) van ser finalitzades abans d'acabar el segle XVIII.

⁶ Davant la pressió nacionalista, és dugué a terme la retirada republicana. Per aquest motiu, els caps militars republicans van donar l'ordre de destruir tot el material dipositat al Castell mitjançant explosius.

FITXA TÈCNICA

Dades generals	Carretera	Tram de l'autopista AP-7, que connecta Figueres Sud i la Jonquera
	Província	Girona
	Any posada a servei	1975
	Tipus d'obra	Pont
	Tipus d'estructura	Base de formigó armat situat a sobre d'un pont i recolzat per tres murs de contenció.
	Materials	Formigó armat. Maçoneria.
	Obstacle salvat	Autopista AP-7.
Dades estructurals	Tauler	Base de formigó armat amb punt d'una longitud aproximada de 36 m.
	Encarregats de suportar el pes del tauler	Tres murs de contenció de formigó armat, dos als laterals i un al centre, que fan la funció de contenció de les terres i alhora el tauler es recolza en aquests. Pont de formigó armat que subjecta el tauler.

Procés constructiu	<ul style="list-style-type: none"> - Creació de murs de contenció als dos laterals de l'autopista i entre els dos vials. - Modificació del terreny, pujar el nivell dels talussos. - Col·locació del pont a base d'unes jàsseres prefabricades. - Col·locar una base de formigó (amb una mica de punt) armat a sobre del pont, que es recolzarà en el tres murs. - Construcció dels nous arcs i reconstrucció dels existents, per això cal que els arcs estiguin fonamentats.
---------------------------	--

GLOSSARI

Anàlisi plàstic: Estudi basat en el comportament plàstic dels materials.

Ancoratges al terreny: Dispositius capaços de transmetre les forces de tracció que li són aplicades a un jaç (element d'obra disposat perquè hi descansi un altre element a sobre) de terreny.

Armadura: conjunt de barres o malles d'acer que formen l'esquelet d'una peça de formigó armat i que resten submergides dins la massa de formigó.

Baluard: edifici de defensa.

Barra corrugada: barra d'armadura d'acer estirat en fred que presenta relleus en la superfície amb la finalitat d'augmentar l'adherència amb el formigó.

Contraguardia: obra exterior en angle, construïda davant dels baluards.

Dades geomètriques: informacions basades en la intuïció de l'espai.

Estructura isostàtica: cos sotmès a un sistema de forces estàticament determinat, és a dir, la supressió de qualsevol de les seves lligadures porta al col·lapse (reducció del volum de la matèria).

Estudi geotècnic: Anàlisi del terreny en el qual es vol construir per tal de conèixer les característiques necessàries per calcular la construcció. Previ a l'inici dels dissenys.

Fàbrica: Conjunt de les parets d'un edifici.

Fàbrica armada: conjunt de les parets d'un edifici reforçades amb ferro.

Fàbrica pretesada: conjunt de les parets d'un edifici armades amb barres corrugades, cables antitorsió o bé filferros tensat prèviament o durant la construcció.

Fatiga: pèrdua de la resistència mecànica d'un material, al ser llargament sotmès a esforços. Aquest material, inclús pot arribar a trencar-se sense depassar el límit d'elasticitat, és a dir, sense deformar-se.

Fletxa: Distància entre el punt de màxima deformació d'una biga sotmesa a flexió i el lloc que ocuparia teòricament el mateix punt si no hi hagués deformació.

Fonaments: parts de l'edifici que resten enterrades i transmeten al terreny el pes de la construcció.

Fonamentacions directes: fonamentacions que es recolzen en les capes poc profundes o superficials del sòl.

Fossat: excavació que envolta la fortalesa.

Glacis: en una fortificació, terreny en pendent que baixa des del camí cobert fins al camp.

Jàssera : anomenada també biga mestra, biga de formigó armat que serveix de suport a d'altres bigues. Es troben sotmeses a deformació, adquirint el seu valor màxim en el centre i amb deformació nul·la en els suports.

Llinda: element estructural horitzontal superior que salva un espai lliure entre dos suports. Permet obrir buits en els murs per tal de formar portes, finestres o pòrtics.

Llum: distància, en projecció horitzontal, existent entre els suports d'una biga.

Masteler: cadascun dels pals drets que serveixen per sostenir quelcom.

Materials d'aportació: materials que s'utilitza per a la realització de soldadura.

Maó: Peça d'argila assecada i cuita, emprada per a fer parets, pilars, voltes, xemeneies, etc.

Mènsula: element arquitectònic que sobresurt d'un pla vertical i serveix per a sostenir quelcom.

Morters: material aglomerat fet amb una mescla d'un conglomerat (calç, ciment o barreja d'ambdós), sorra i aigua, que s'endureix en un cert temps.

Murs de contenció: elements constructius que realitzen la funció de tancament, suportant els esforços horitzontals produïts per l'empenta de les terres (evitant l'enfonsament i sostenint el talús) i també, la de rebre els esforços verticals transmesos a pilars, parets de càrrega i forjats que es recolzen sobre ells.

Paral·lelepípede: sòlid limitat per sis paral·lelograms, les seves cares oposades són iguals i paral·leles.

Període quaternari: període geològic de fa uns 2.000 milions d'anys.

Piló: element constructiu vertical, cilíndric o prismàtic, introduït o preformat en el sòl.

Rebaixos: enfonsaments que es practiquen en el mur simultàniament a la seva execució.

Revellí: obra de fortificació separada de la principal que defensa les muralles, els baluards...

Rodó: barra metàl·lica de ferro o d'acer de secció circular o aproximadament circular.

Sabata: una sabata és un element estructural que serveix de fonamentació a un pilar, mur o altres elements superficials.

Sobreeixidors: conducte per on surt el líquid d'un recipient, dipòsit, etc, quan n'hi ha en abundància i que es vessaria.

Talús: inclinació de cadascuna de les cares d'un mur o d'un terraplè.

Tenalla: en una fortificació, obra exterior que forma un o dos angles obtusos entre dos baluards.

Regates: esquerdes o canals fetes amb posteritat a l'execució del mur.

Vegetació criptogàmica: planta que no fa flors ni llavors, òrgans sexuals de les quals són poc aparents.

FOTOGRAFIES

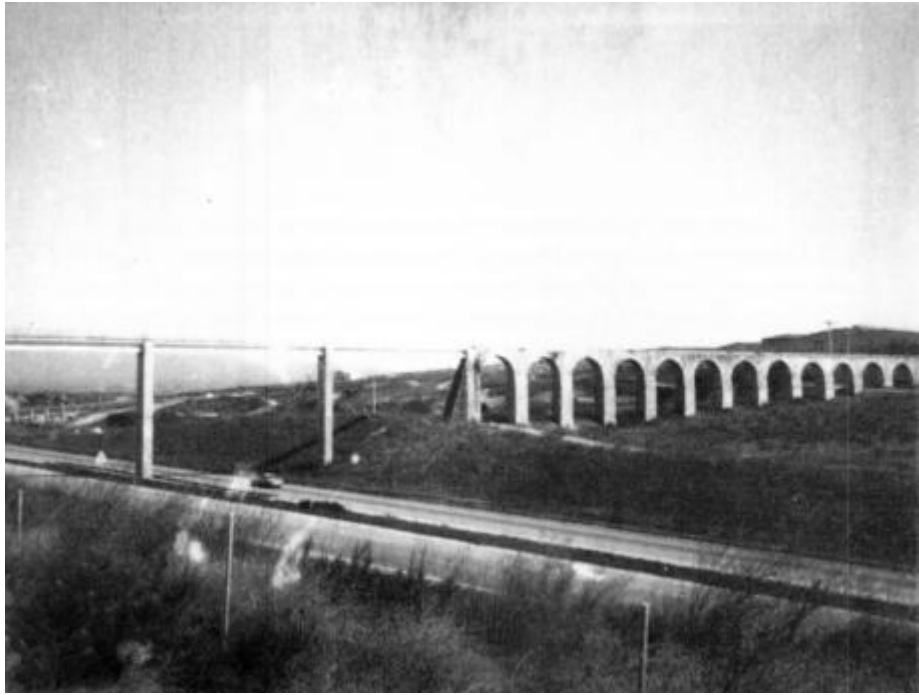




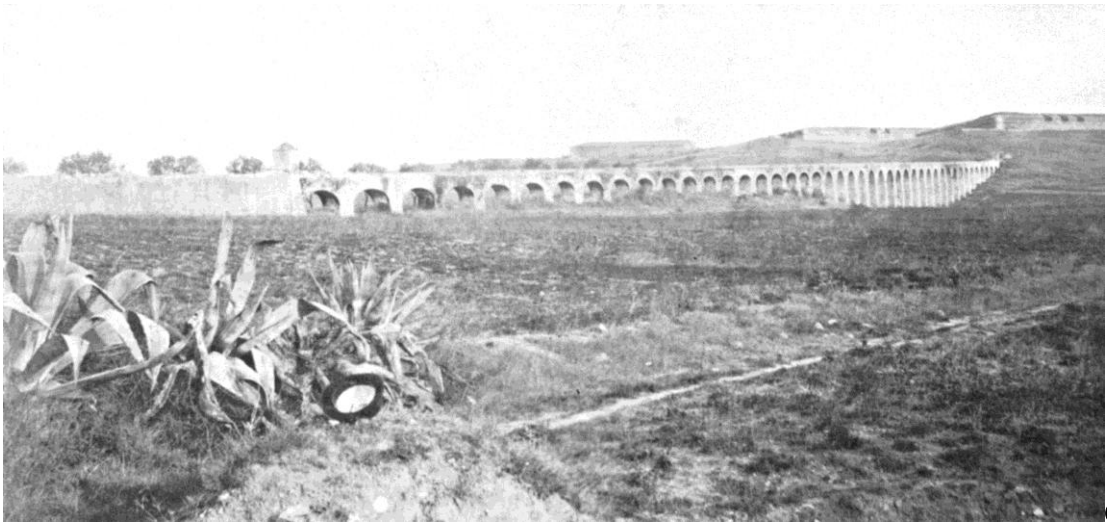
3



4



5



6



7