

ESTUDI I CONSTRUCCIÓ D'UN PONT PER A SANTA COLOMA DE GRAMENET

Treball de Recerca

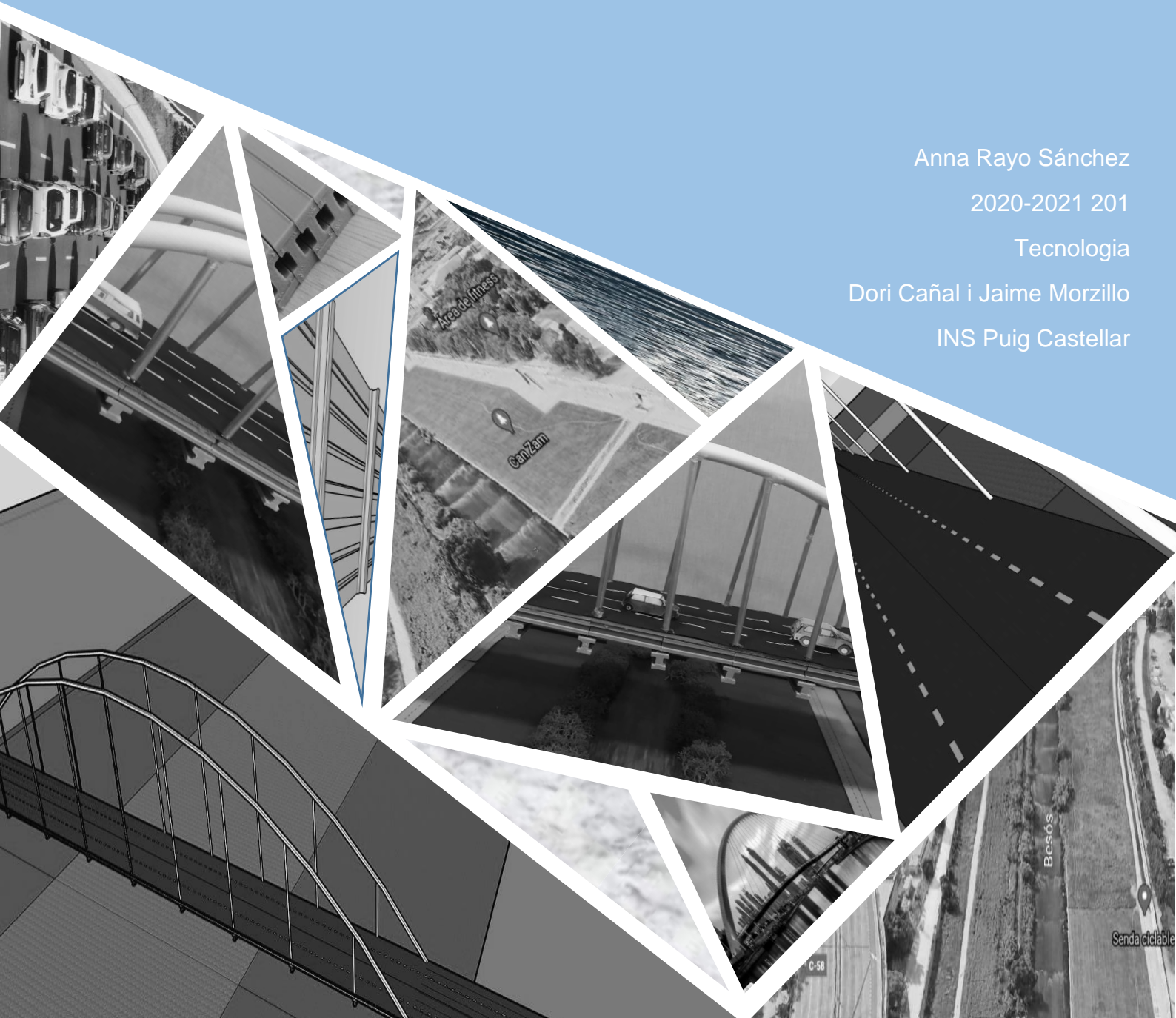
Anna Rayo Sánchez

2020-2021 201

Tecnologia

Dori Cañal i Jaime Morzillo

INS Puig Castellar



Resumen

Los puentes son elementos arquitectónicos de enorme importancia que nos permiten sortear diversos tipos de obstáculos físicos, como por ejemplo cruzar de un lado de un río a otro, facilitando el camino. Dadas las condiciones del puente y sus necesidades, el diseño varía.

El objetivo de este proyecto es estudiar si mi ciudad, Santa Coloma de Gramenet, tiene la necesidad de construir otro puente sobre el río y así mejorar el tráfico en los existentes. Por ello, se ha realizado un estudio urbanístico y con estos resultados y un estudio exhaustivo de los diferentes tipos de puentes y su historia se ha realizado un diseño adecuado para satisfacer todos los requisitos. Este diseño también depende de mi gusto personal, pero, por supuesto, teniendo en cuenta que estas necesidades hay que cubrirlas.

Una vez elegido el diseño, era necesario calcular si la estructura podía soportar todo el peso y esfuerzo que tendría que soportar si se construyera en la vida real y adaptar estas necesidades al diseño. Para ello fue necesario considerar los diferentes materiales que se utilizarán en la construcción del puente y el peso adicional que circulará por él. En este último caso se ha tenido en cuenta la peor situación y se ha tomado el peso máximo que podía circular por el puente al mismo tiempo para realizar todos los cálculos.

Finalmente, se hizo una maqueta de este puente para mostrar cómo se vería una vez construido.

Abstract

Bridges are architectural elements with a huge importance that allow us to sort various types of physical obstacles, as for example to cross from one side of a river to another, making the road easier. Given the conditions of the bridge and its needs, the design varies.

The aim of this project is studying if my city, Santa Coloma de Gramenet, has the necessity to build another bridge on the river and by that, improve traffic in the existing ones. For this reason, an urban study has been done and with these results and an exhaustive study of the different types of bridges and their history, a proper design has been made to satisfy all the requirements. This design also depends on my personal taste, but, of course, taking into account these needs to be covered.

Once the design had been chosen, it was necessary to calculate if the structure could support all the weight and efforts that it would have to if it was built in real life and adapt these necessities to the design. For doing so it was necessary to consider the different materials that will be used in the construction of the bridge and the additional weight that will circulate over it. In this last case, the worst situation has been considered and the maximum weight that could circulate on the bridge at the same time has been taken to make all the calculations.

Finally, a mockup of this bridge has been made to show how it would look once built.

Índex

1.	Introducció	6
2.	Hipòtesi del treball	7
3.	Els ponts al llarg de la història	8
3.1.	Ponts de fusta	9
3.2.	Ponts de pedra o maó	10
3.3.	Ponts d'acer	11
3.4.	Ponts de formigó armat	12
4.	Tipus de ponts estàtics segons la forma en què suporten els esforços..	13
4.1.	Ponts de biga	13
4.2.	Ponts d'arc	14
4.3.	Ponts d'armadura	15
4.4.	Ponts penjants	16
4.4.1.	Ponts penjants en suspensió	17
4.4.2.	Ponts penjants en catenària	18
4.4.3.	Ponts penjants d'arc	18
4.5.	Ponts atirantats	19
4.6.	Ponts en mènsula	20
5.	Estudi urbanístic de la ciutat de Santa Coloma de Gramenet per poder situar un pont.....	21
5.1.	Santa Coloma de Gramenet i els seus ponts	21
5.2.	Necessitat d'un pont a Santa Coloma de Gramenet	23
5.3.	Situació d'un nou pont a Santa Coloma de Gramenet	26
6.	Disseny d'un pont per a la ciutat de Santa Coloma de Gramenet	28
6.1.	Tipus de pont escollit i justificació	28
6.2.	Càlcul dels esforços	29

6.2.1.	TRAM 1	30
6.2.2.	TRAM 2	41
6.2.3.	TRAM 3	49
6.3.	Plànols	55
7.	Construcció de la maqueta del pont	56
7.1.	Procés de construcció de la maqueta	56
7.1.1.	Materials i eines.....	56
7.1.2.	Procés d'execució pas a pas	57
7.2.	Il·luminació	61
7.2.1.	Programació Arduino	62
7.2.2.	Muntatge.....	62
7.3.	Pressupost	64
7.	Conclusions.....	65
8.	Agraïments	68
9.	Webgrafia	69
10.	Annex	74

1. Introducció

No va ser fàcil arribar a prendre la decisió de fer el meu treball de recerca sobre la construcció d'un pont. Al principi, quan se'm va plantejar fer el treball de recerca, no tenia gaire clar de què volia fer-ho. L'únic que vaig tenir clar des d'un començament va ser que l'enfocaria cap al món de la tecnologia, perquè sempre m'ha cridat l'atenció i m'agradaria continuar els meus estudis en aquest sector.

A partir d'aquí vaig començar una recerca sobre temes del meu interès i vaig pensar enfocar-los en l'arquitectura o en la informàtica, perquè dins dels camps de la tecnologia són els que des de sempre m'han semblat més interessants.

Primer vaig pensar de fer-ho sobre programació o intel·ligència artificial, però no m'acabava de convèncer, ja que trobava que era un camp molt extens i difícil de concretar per a mi. També vaig pensar fer-ho sobre una casa però tampoc no acabava de trobar una concreció clara. El meu objectiu era buscar un treball que tingués una aplicació pràctica i una possible repercussió real. Llavors, buscant inspiració per fer-ho d'algun altre tema, em vaig topar amb un vídeo de YouTube, on un arquitecte parlava d'un dels seus projectes. Era un pont extremadament fi però resistent, i em va cridar l'atenció. Per això vaig decidir fer-ne jo un.

Una vegada escollit el tema vaig pensar que seria bona idea poder ubicar aquest pont en algun lloc i què millor que la meua ciutat. Sempre m'ha cridat l'atenció que el pont de Santa Coloma i el de Montcada estiguin tan lluny i, en canvi, el de Santa Coloma i el de Potosí o el de Santa Coloma i el de la B-20 estiguin tant aprop.

Els meus objectius amb aquest treball son principalment aprendre més sobre l'arquitectura dels ponts, aprendre a fer un estudi urbanístic d'acord a les necessitats de la zona i ser capaç de dissenyar un pont que sigui possible de dur a terme.

2. Hipòtesi del treball

Per poder començar amb la recerca del treball, m'he plantejat la següent hipòtesi:

La ciutat de Santa Coloma de Gramenet té la necessitat d'un pont més que la comunicui amb la ciutat de Barcelona.

Per contrastar aquesta hipòtesi hauré de realitzar una recerca prèvia per tal de conèixer si Santa Coloma té necessitat de construir un nou pont, i també per saber com hauria de ser aquest, i on poder ubicar-lo.

Per tant, al llarg d'aquest treball de recerca estudiaré els ponts al llarg de la història, els diferents tipus de ponts estàtics segons els esforços que suporten per veure quin trobo que és el més adient per a la ciutat i quina podria ser la seva localització.

Tot seguit, calcularé si es possible que aguantí els esforços als quals estarà sotmès i en construiré una maqueta.

A partir d'aquí em sorgeixen unes qüestions, que són les següents:

- Com han anat evolucionant els ponts al llarg de la història fins als actuals?
- Quines són les necessitats de la ciutat per construir un pont nou?
- On es podria situar el meu pont en Santa Coloma?
- Per què és d'important tenir en compte els esforços que aquests suporten a l'hora de fer el seu disseny?
- Quin seria el material més adient per construir el pont?
- Com ha de ser el disseny d'aquesta estructura?

Durant aquest treball de recerca intentaré anar resolent aquestes qüestions plantejades anteriorment per tal de donar resposta a la hipòtesi inicial.

3. Els ponts al llarg de la història

Un pont és una construcció que permet salvar un accident geogràfic, és a dir, qualsevol obstacle físic, tant natural com artificial, amb la intenció de facilitar-nos el comerç de mercaderies, permetre la circulació i traslladar substàncies.

A l'hora de dissenyar un pont s'ha de tenir molt clara la seva estructura, que consisteix bàsicament en una superfície horitzontal, el tauler, i els suports. Normalment a més d'aquestes dues parts també porten una armadura. Respecte al disseny de cada pont, aquest varia depenent de la seva funció i de la naturalesa del terreny sobre el qual es construeix.

Al llarg de la història trobem nombrosos tipus de dissenys que han anat evolucionant segons els materials disponibles, les tècniques desenvolupades i les consideracions econòmiques, entre d'altres factors.

L'origen del ponts es remunta a la prehistòria, on possiblement ja utilitzaven algun arbre per connectar les dues ribes d'un riu, creant així el primer pont. També es creu que es podrien haver utilitzat lloses de pedra per rierols petits quan no hi havia arbres a prop. Els següents ponts ja van començar a ser més complexos, però seguien sent construïts molt pobrament i rarament suportaven càrregues molt pesades. Va ser aquesta insuficiència la que va portar al desenvolupament de millors ponts.



Imatge 1. Pont a la prehistòria.

Imatge extreta de:

http://4.bp.blogspot.com/_FJZh1gy3MuM/TK9VrS7oFRI/AAAAAAAAAEw/j592vUmpiEA/w1200-h630-p-k-no-nu/puente1.JPG

Al llarg de la història trobem molts tipus diferents de ponts, depenent dels materials disponibles a l'època. Els classifiquem per ordre cronològic, segons els materials emprats de la següent manera:

3.1. Ponts de fusta

Com ja he anomenat anteriorment, els ponts tenen el seu inici a la prehistòria, on es va començar empenyent arbres per creuar rius o barrancs, i gradualment els troncs van començar a utilitzar-se de manera més sistemàtica. Amb el temps, els mètodes de construcció es van tornar cada vegada més sofisticats, i la naturalesa dels ponts va canviar d'objectes purament funcionals a estructures completament dissenyades.

El primer material emprat per a la construcció d'aquests ponts va ser la fusta, ja que estava disponible gairebé a tot arreu i arran d'això, va adquirir gran importància com a material de construcció versàtil. Gràcies a les seves excel·lents propietats de resistència, al baix cost del material i la facilitat de treballar-lo, la fusta ha estat un dels materials de construcció més utilitzats per a la construcció de ponts durant els segles.

Tot i aquests avantatges, aquest material té l'inconvenient de que és poc durador i resistent als agents atmosfèrics, ja que és molt sensible a la pluja i al vent, pel que aquests tipus de ponts requereixen un manteniment continuat i costós.

En termes generals, es pot dir que hi ha dues classes de ponts segons la seva composició:

1. **Ponts de plaques de fusta:** l'estructura del pont està formada per una disposició de plaques de fusta, com el seu nom indica.
2. **Ponts de barres de fusta:** l'estructura del pont es constitueix per un seguit de peces lineals o barres. Segons l'estructura d'aquestes barres, els ponts poden ser:
 - Ponts amb bigues de fusta massissa o laminada
 - Ponts amb bigues reticulades
 - Ponts amb bigues planes disposades per barres, creant un format triangular
 - Pont en fusta laminada formant un arc triarticulat
 - Ponts penjants
 - Ponts d'obertura

Aquests ponts acostumen a treballar a compressió i tracció, ja que la fusta és un material lleuger, però que pot suportar tensions considerables d'aquests tipus d'esforços. La **compressió** és l'esforç al què està sotmès un cos per l'aplicació de dues forces que tendeixen a encongir-lo i deformar-lo, i la **tracció** és l'esforç intern a què està sotmès un cos per l'aplicació de dues forces que actuen en sentit oposat, i tendeixen a estirar-lo.

En els últims anys s'ha vist el desenvolupament de nous mètodes per construir ponts de fusta. Amb la creixent consciència de les propietats del material, la tendència és que la fusta es faci servir en combinació amb altres materials i amb connexions més apropiades perquè així la resistència sigui major. A la imatge es pot veure un exemple de pont que combina fusta amb altres materials.



Imatge 2. Pont de fusta. Imatge extreta de: <https://www.swedishwood.com/wood-magazine/2018-3/s-shaped-bridge/colgante-de-madera.jpg>

3.2. Ponts de pedra o maó

En veure que els ponts de fusta no eren gaire resistents a les condicions atmosfèriques, sorgeixen els ponts de pedra i maó. Aquests ponts van ser molt comuns segles enrere degut a que són molt compactes i a la seva gran resistència als agents atmosfèrics, que representa un menor cost de manteniment.

Aquests ponts, al ser tan compactes, treballen a compressió, ja que la pedra i el maó són materials molt resistents a aquest esforç. Gràcies a aquesta gran resistència de la pedra i el maó als esforços de compressió, els ponts van poder evolucionar notablement, ja que aquests podien suportar molta més força que els de fusta.

Per la construcció d'aquest ponts s'introdueixen arcs que, d'acord a la gran resistència de compressió dels materials emprats, aconsegueixen suportar unes condicions que temps enrere haurien destruït a qualsevol pont.



Imatge 3. Pont d'Alcántara. Imatge extreta de:

http://www.spainisculture.com/fr/monuments/caceres/puente_de_alcantara.html

L'arc va ser usat per primera vegada per l'Imperi romà per ponts i aqüeductes, alguns dels quals encara es mantenen en peu. Un exemple d'això és el Pont d'Alcántara, construït sobre el riu Tajo, prop de Portugal.

Des de que l'home va aconseguir dominar aquesta tècnica, aquest tipus de pont va perdurar durant segles. Només la revolució industrial, amb les naixents tècniques de construcció amb ferro i altres metalls, va poder esmorteir aquest domini.

3.3. Ponts d'acer

Amb la Revolució industrial al segle XIX, els sistemes de gelosia de ferro forjat van ser desenvolupats per construir ponts més grans, però el ferro no tenia la força elàstica necessària per suportar grans càrregues. Amb l'arribada de l'acer, el qual té un alt límit elàstic, va arribar una nova era per a la història dels ponts, on aquests van començar a treballar a **flexió**, que és el tipus de deformació que presenta un element estructural allargat en una direcció perpendicular al seu eix longitudinal. Aquesta resistència a aquests esforços va permetre que els ponts fossin molt més llargs.

Un altre avantatge de l'acer és que és un material fàcil de reciclar i és per això que va triomfar tant, fins al punt de desbancar els mítics ponts de pedra. Gràcies a aquesta característica, els ponts d'acer es van tornar una opció idònia per la gestió sostenible dels recursos, ja que era molt fàcil de tallar les bigues per facilitar la seva demolició i portar-les de nou a l'acereria.

Tot i així, aquests ponts tenen un cost econòmic considerablement alt i, a més, estan sotmesos a l'acció corrosiva, tant dels agents atmosfèrics com dels gasos i fums de les fàbriques i ciutats, fet que suposa un manteniment car.



Imatge 4. Coalbrookdale. Imatge extreta de:

<https://www.britainexpress.com/ze/n/albums/potd/Ironbridge-0742.jpg>

El primer pont metàl·lic va ser construït en ferro a Coalbrookdale, Anglaterra, i el podem veure a la imatge.

3.4. Ponts de formigó armat

Més endavant van sorgir els ponts de formigó armat, que són aquells que estan formats de formigó i acer. Són estructures d'alta resistència que poden fer-se de gran extensió. El formigó aguanta molt bé esforços de compressió, però malament els de tracció i flexió, és per això que s'introdueixen unes varetes d'acer en el seu interior per formar el formigó armat, i així també poder aguantar aquest tipus d'esforços. Tot això és gràcies a les qualitats de l'acer, que és molt resistent als esforços de tracció i flexió.



Imatge 5. Pont de Decize. Imatge extreta de:

<https://www.istockphoto.com/es/foto/jacques-gabriel-puente-sobre-el-río-loira-en-blois-francia-gm878119502-244926716>

Actualment predominen els ponts en els que s'utilitza aquest material, gràcies a les seves característiques de resistència al vent, als tremolors, al clima i a majors esforços. Són de muntatge ràpid, ja que moltes vegades admeten elements prefabricats, són molt resistents, encara que menys que els de metall, i tenen unes

despeses de manteniment molt escasses.

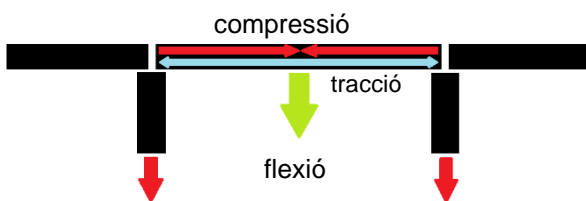
S'utilitzen per a diversos usos, com unir distàncies separades per rius, llacs i fins i tot el mar; per a alguns trams de carreteres, així com per unir muntanyes i congostos. Un dels més importants és el pont de Decize sobre el riu Loira, que es veu a la imatge 5.

4. Tipus de ponts estàtics segons la forma en què suporten els esforços

Com ja hem vist anteriorment, els ponts es poden classificar segons múltiples criteris. Atenent al seu fonament arquitectònic i a la forma en què suporten els esforços els podem classificar en:

4.1. Ponts de biga

Els ponts de biga són els ponts més senzills de construir i acostumen a utilitzar-se en vans curts i intermedis, com ara les passarel·les de vianants sobre autopistes. Com el seu nom indica, estan constituïts per bigues; és a dir, per barres rectes horitzontals o inclinades, recolzades en dos o més punts, que suporten les càrregues que actuen sobre elles mitjançant la capacitat de resistir flexions.



Imatge 6. Forces en un pont de bigues.
Imatge extreta de: Font pròpia

Les bigues que contenen aquests ponts es recolzen en els seus extrems sobre suports o pilars. Mentre que la força que es transmet a través dels pilars és vertical i cap

avall i, per tant, aquests es veuen sotmesos a esforços de compressió, les bigues tendeixen a flexionar-se com a conseqüència de les càrregues que suporten. Aquest esforç de flexió suposa una compressió a la zona superior de les bigues i una tracció en la inferior.

Fins a conèixer el formigó armat, els ponts eren poc útils per salvar grans obstacles, ja que els materials emprats no treballaven bé a flexió. Actualment els ponts de formigó armat poden salvar trams de 20 a 25 m. Per a distàncies superiors s'utilitza el formigó pretensat.



Imatge 7. Lake Pontchartrain Causeway. Imatge extreta de: <https://sobreturismo.es/wp-content/uploads/puente-del-lago-pontchartrain.jpg>

Un exemple és el pont Lake Pontchartrain Causeway, al sud de Louisiana.

4.2. Ponts d'arc

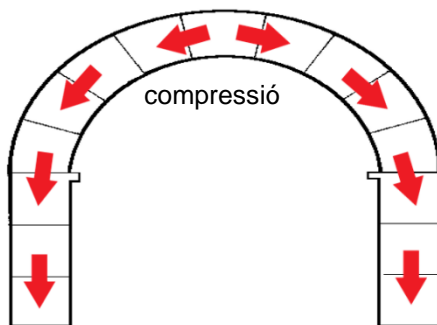
Un pont d'arc és un pont amb suports als extrems de l'obertura, entre els quals es troba una estructura amb forma d'arc per on es transmeten les càrregues. El tauler pot estar recolzat o penjat d'aquesta estructura principal, donant origen a diferents tipus de ponts en funció de la posició relativa del tauler respecte a l'arc (arc amb tauler superior, amb tauler intermedi o amb tauler inferior). D'aquesta manera aconseguen major distància entre els pilars.

Els ponts d'arc es coneixen des de la més remota antiguitat i apareixen restes arqueològiques d'arcs de pedres des dels sumeris a Mesopotàmia, 2.000 A.C. El pont d'arc existent més vell és possiblement el Mycenaean Pont de Arkadiko a Grècia, construït prop de 1300 A.C.



Imatge 7. Mycenaean Pont de Arkadiko. Imatge extreta de: http://photos.wikimapia.org/p/00/03/72/64/11_big.jpg

Els principals avantatges que proporcionen aquests ponts és que permeten utilitzar materials simples, com pedra i similars; són adequats en llocs capaços de proporcionar una bona resistència a l'empenta horitzontal i es poden utilitzar per salvar grans distàncies construint amb una sèrie d'arcs successius.



Imatge 8. Forces en un arc.
Imatge extreta de: Font pròpia

També hem de tenir en compte que el materials que s'acostumaven a utilitzar com la pedra, entre d'altres materials similars, són forts en esforços de compressió, però poc resistents a esforços de tracció, de manera que la majoria de ponts en arc estan dissenyats per treballar a compressió. Aquest esforç es reparteix sobre els pilars de suport,

els arcs contigus i els suports en terra ferma. A la imatge podem veure com es reparteixen aquests esforços de compressió dins dels arcs que contenen aquests tipus de ponts.

Els ponts d'arc passen per diferents etapes: Els ponts romans (pont romà de Mèrida), els ponts medievals (pont de Capella) i els ponts moderns dels segles XVI al XIX (pont Don Lluís, 1880).



Imatge 9. Pont romà de Mèrida. Imatge extreta de: https://c2.staticflickr.com/6/5106/5860292131_3ac67a1200_b.jpg



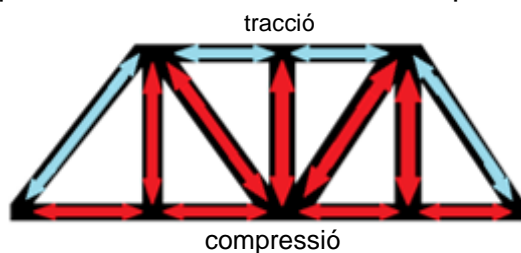
Imatge 10. Pont de Capella. Imatge extreta de: [https://ca.wikipedia.org/wiki/Pont_de_Capella#/media/Fitxer:Capella_\(Huesca\)_Puente_rom%C3%A1nico_4881.JPG](https://ca.wikipedia.org/wiki/Pont_de_Capella#/media/Fitxer:Capella_(Huesca)_Puente_rom%C3%A1nico_4881.JPG)



Imatge 11. Pont Don Lluís I. Imatge extreta de: <https://www.oporto.es/que-ver/puente-don-luis-i/>

4.3. Ponts d'armadura

Els ponts d'armadura, també coneguts com a *ponts braguers*, es caracteritzen per una estructura composta per barres rectes unides entre sí en els seus extrems, per constituir una armadura rígida de forma triangular, capaç de suportar càrregues en el seu pla, particularment aplicades sobre les unions. L'objectiu de la carcassa és repartir les càrregues al llarg de tot el pont, a l'hora que s'aconsegueix absorbir les diferents forces que poden danyar la pròpia estructura del pont. Totes les forces són de tracció o compressió, sense la presència de flexió i tall, i es reparteixen com es pot veure a la imatge. Veiem



Imatge 12. Forces en un pont d'armadura Pratt. Imatge extreta de: Font pròpia

com tota la carcassa és l'encarregada de repartir totes les forces, ubicades les de tracció en la part superior i a les bigues del extrems, i els esforços de compressió a la base i a totes les altres bigues que conformen l'armadura de tipus Pratt, en aquest exemple en

concret.

Aquest sistema permet realitzar, a un cost raonable i amb una despesa mínima de material, estructures de metall que salven distàncies des de trenta fins a més de cent metres, distàncies que resulten econòmicament impossibles per estructures que funcionin a flexió, com les bigues simples.



Imatge 13. Pont d'armadura Pratt.

Imatge extreta de:

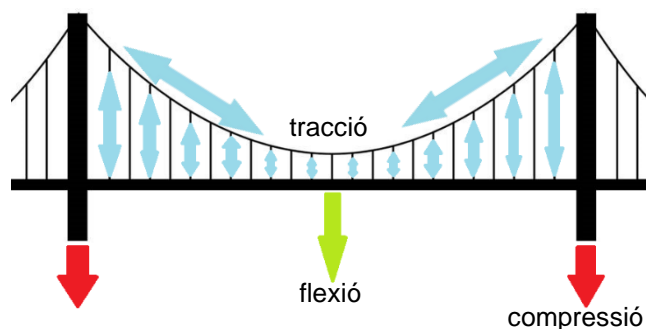
<http://3.bp.blogspot.com/-vxcRFADhiF0/VNygIhT1iRI/AAAAAAAAAQkl/mmdXaqXayDE/s1600/Puente%2Bde%2Bcelosía%2C%2Btipo%2BPratt.jp>

Les armadures dels ponts moderns adopten moltes formes variades, com les armadures Pratt i Warren, de pas superior o inferior, que són les més utilitzades en ponts d'acer de trams curts. També podem trobar els ponts d'armadura Howe i els d'armadura Parker, utilitzats per trams més llargs.

4.4. Ponts penjants

Un pont penjant és un tipus de pont en el qual la plataforma es penja per sota dels cables de suspensió mitjançant tirants verticals. Aquest tipus de pont té cables suspesos entre els pilars o torres, més cables de suspensió vertical ancorats en ells que suporten el pes del tauler, sobre el que creua el trànsit.

Els cables de suspensió han d'estar ancorats en cada extrem del pont, ja que qualsevol càrrega aplicada al pont es transforma en tensió en aquests. Les forces que actuen en aquests ponts són la de tracció, la de compressió en els pilars i la de flexió. Aquesta



Imatge 14. Forces en un pont penjant de catenària. Imatge extreta de: Font pròpia.

última és dona gràcies a la força gravitatòria que ha de suportar el pont a causa del seu propi pes i del trànsit que el recorre. La trobem entre els pilars del pont, com es pot apreciar a la imatge. Cal afegir que aquests ponts fan més ús de la flexió que no pas de la compressió, com s'acostuma a pensar; a causa de les càrregues verticals produïdes pels transports terrestres sobre el tauler.

Aquests ponts presenten múltiples avantatges com que l'obertura central pot ser molt llarga en relació a la quantitat de material emprat, poden tenir la plataforma a gran alçada (fet que permet el pas de vaixells molt alts) i no es necessiten

suports centrals durant la seva construcció. Aquests últim fet és molt útil a l'hora de la seva construcció sobre profunds canons o masses d'aigua amb molt trànsit marítim.

Tot i així, ens trobem amb un gran inconvenient que fa que aquest tipus de ponts no siguin massa aptes per a condicions extremes. Ja que quan es troben amb forts vents o turbulències, es tornen intransitables per falta de rigidesa. Cal tenir en compte que sota grans càrregues de vent, les torres exerceixen un gran moment flector a terra, i per aquest motiu requereixen d'una gran fonamentació quan es treballa en sòls febles, fet que resulta bastant car.

A continuació veurem els diferents tipus de ponts penjants.

4.4.1. Ponts penjants en suspensió

Un pont penjant en suspensió és un tipus de pont primitiu on la coberta del pont es suportada per dos cables paral·lels que es recolzen als extrems. Aquests tipus de ponts són molt simples i no tenen torres ni pilars. Els cables segueixen un arc catenari baix que varia depenent de les càrregues verticals a la que el pont és sotmès quan hi circula trànsit. L'arc de la coberta i aquest gran moviment sota les càrregues, els fan inadequats per al trànsit de vehicles o ferrocarrils, i estan restringits en l'ús només del trànsit de persones. Per a major seguretat, es construeixen amb cables que fan de passamans forts, recolzats en pilars curts a cada extrem i que funcionen paral·lelament als cables.



Imatge 15. Pont penjant de Capilano. Imatge extreta de: https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_colgante_de_Capilano

En aquests ponts principalment actuen forces de tracció i flexió en els cables que formen l'estructura del pont.

Els ponts penjants en suspensió es consideren el disseny més eficient i sostenible, a les regions rurals, especialment per als creuaments de rius que es troben en llocs de selva profunda.

Un dels ponts penjants més coneguts és el pont penjant de Capilano, anomenat així per creuar el riu amb el mateix nom situat a Vancouver.

4.4.2. Ponts penjants en catenària



Imatge 16. *Golden Gate Bridge.* Imatge extreta de: <https://foundtheworld.com/wp-content/uploads/2015/12/Golden-Gate-Bridge-8.jpg>

Els ponts penjants de catenària són ponts sostinguts per un arc invertit format per nombrosos cables d'acer, de qual es suspèn el tauler del pont mitjançant tirants verticals.

A l'igual que el pont d'arc, és un pont que resisteix gràcies a la seva forma i és per això que el pont rep aquest nom. Una catenària és una corba ideal que representa físicament la corba generada naturalment per una cadena, corda o cable sense rigidesa flexional, suspesa dels seus dos extrems i sotmesa a un camp gravitatori uniforme.

Les forces principals en aquest tipus de ponts són de tracció en els cables principals, de compressió en els pilars i flexió suportant càrregues verticals.

El pont d'aquest estil més conegut és el famós Golden Gate Bridge, a San Francisco.

4.4.3. Ponts penjants d'arc

Els ponts penjants d'arc s'assemblen als ponts penjants de catenària, però tenen una gran diferència que és que l'arc no es troba invertit. Aquest tipus de pont penjant es sosté gràcies a aquest arc del qual cauen



Imatge 17. *Pont de Dubai.* Imatge extreta de: <http://construcciondepuentesarco.blogspot.com/2012/08/puente-colgante-en-arco-dubai.html>

nombrosos cables d'acer que sostenen el seu tauler. Aquests cables d'acer, el que fan és resistir els esforços de tracció al quals estan sotmesos a causa de resistir la major part de la força gravitatòria del pont i del transit que circula sobre ell.

Llavors, les forces que actuen en aquest tipus de pont són principalment la de tracció en els tirants, compressió en els arcs i flexió suportant les carregues verticals.

Un clar exemple de ponts penjants d'arc és el 6è pont que creua el canal de Dubai, que veiem a la imatge.

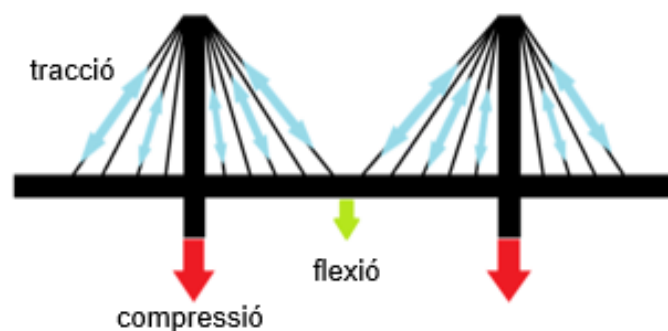
4.5. Ponts atirantats

Els ponts atirantats, o *ponts de tirants*, són similars als ponts penjants, encara que solen utilitzar-se per salvar distàncies menors, de l'ordre fins als 800 metres de longitud. La forma de suportar les càrregues és totalment diferent als ponts penjants. En els penjants, els cables comuniquen una columna amb l'altra, i disposen de cables secundaris verticals que sostenen el tauler, creant forces de tracció, però en el cas dels ponts atirantats, combinen algunes parts a tracció i altres a compressió. Els cables s'ancoren directament a la columna en lloc de recolzar-se en ella. Quan s'ancoren a diferents altures, formen una estructura denominada de "arpa", o disseny paral·lel. Si convergeixen tots en un mateix punt, es denomina disseny radial. Un exemple és el Pont de tirants Jesús Izcoa Moure, a Puerto Rico.



Imatge 18. Pont de tirants Jesús de Izcoa Moure. Imatge extreta de:

https://farm4.staticflickr.com/3829/14076016387_54bbc53c9a_c.jpg

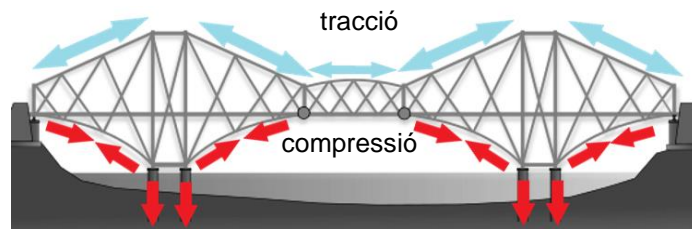


Imatge 19. Forces en un pont atirantat. Imatge extreta de: Font pròpia

4.6. Ponts en mènscula

Un pont en mènscula, o *voladiu*, és un pont en el qual una o més bigues principals treballen com mènscula o voladís. Les mènscules són estructures horitzontals que es projecten en l'espai i només estan suportades en un extrem.

Normalment, les grans estructures es construeixen per la tècnica de volats successius, mitjançant mènscules consecutives que es projecten en l'espai a partir de la mènscula prèvia.



Imatge 20. Forces en un pont en mènscula. Imatge extreta de: Font pròpia

En aquests ponts la part de l'estructura treballa a tracció, mentre la inferior ho fa a compressió.

Amb els materials adequats, un pont voladís d'armadura d'acer pot abastar més de 460 m. Aquest tipus de pont s'ha utilitzat per als vianants, trens i vehicles de motor. Els voladissos són especialment útils perquè abasta un curs d'aigua sense dividir amb molles fluvials.

L'enginyer Heinrich Gerber va construir el primer pont voladís en 1867. Amb



Imatge 21. Pont de Forth. Imatge extreta de:
<https://megaconstrucciones.net/images/puentes/foto/forth-bridge.jpg>

aquest nou invent, Gerber va ser capaç d'allargar els voladissos i construir un pont tan llarg capaç de creuar un riu.

Un dels ponts de mènscula més coneguts actualment, és el pont de Forth, que podem veure a la imatge.

5. Estudi urbanístic de la ciutat de Santa Coloma de Gramenet per poder situar un pont

Gràcies a l'estudi urbanístic que realitzaré a continuació, podré situar el meu pont sobre el riu Besòs. Un estudi urbanístic, com bé indica el seu nom, tracta de l'estudi, planificació i ordenament de les ciutats; utilitzant a la geografia urbana com a instrument fonamental, procurant una major comprensió dels procediments urbans, amb l'objectiu, en aquest cas, de veure on hi ha major necessitat d'un pont que comuniqui la ciutat de Santa Coloma de Gramenet amb Barcelona.

Abans de començar amb aquest estudi, m'informaré dels ponts que hi ha en funcionament a la ciutat per veure com són i a quines necessitats responen, ja que em serà útil a l'hora de dissenyar i situar el meu pont. Després faré aquest estudi com tal, per veure si hi ha necessitat d'un altre pont a la ciutat i si és així on seria el lloc més adient per a aquest nou pont.

5.1. Santa Coloma de Gramenet i els seus ponts

El pont més vell de la ciutat que encara continua en peu és el pont de Santa Coloma, que és crucial per a la comunicació amb Barcelona per Sant Andreu. Es va començar a construir



Imatge 22. Pont de Santa Coloma de Gramenet. Imatge extreta de: Font pròpia.

en el 1944 i es va inaugurar l'any 1953. Com podem apreciar a la imatge, aquest està construït amb formigó armat, com la majoria de ponts en l'actualitat, fet que permet suportar grans càrregues.

Atenent a la seva estructura, el classifiquem dintre dels ponts d'arc. Aquest pont té com a estructura principal una successió d'arcs que sostenen la plataforma i es recolzen al sòl en uns grans suports. Al llarg del temps s'ha sotmès a diverses

obres de manteniment, sobretot a nivell de calçada, i conservant així les seves diverses arcades i suports d'origen.

A causa del gran augment de població durant la primera meitat de segle XX van aparèixer nous barris repartits per tot el municipi, fet que va provocar la necessitat d'un nou pont que creui el Besòs. És així com, al 1992, s'inaugura el Pont de Can Peixauet, dins el pla de millora de la ciutat per als Jocs Olímpics. Aquest també és conegut com el Pont de Potosí per perllongar el carrer amb el mateix nom.



Imatge 23. Pont de Potosí. Imatge extreta de: Font pròpia.

Aquest pont és de tipus atirantat, amb longitud total de 138 metres i 35 d'amplada. Està construït amb formigó armat i amb tirants d'acer, per fer front als esforços interns de flexió transversal. En disposar d'un únic pla

de suspensió en l'eix del tauler, la flexió transversal d'aquest pont va plantejar més dificultats que els esforços longitudinals. El tauler està compost per una biga central flanquejada per dues bandes de cossos buits piramidals, perllongats cap a fora per sengles franges de lloses nervades per als passejos de vianants. També compta amb tirants que suporten la totalitat del pes propi, la càrrega de superestructura i una part de la sobrecàrrega d'ús corresponent a aquest ancoratge.

El disseny modern i espectacular del pont de Can Peixauet forma part de el patrimoni artístic de Santa Coloma de Gramenet, acabant per definir el paisatge urbanístic del Besòs.

Seguint amb el pla de millores de la ciutat per als Jocs Olímpics de Barcelona ens trobem amb el pont de la B-20, que forma part de l'entramat de xarxes interurbanes que creuen Barcelona i els seus voltants. Aquest va ser construït, junt a tot l'anell de circumval·lació format pels nous cinturons (la Ronda de Dalt i

la Ronda Litoral) que creuen aquest pont, en el 1992 dins d'aquest pla de millores per a les Olimpíades.



Imatge 24. Pont de la B-20. Imatge extreta de: Font pròpia.

Aquest pont el podem classificar dintre dels ponts de bigues.

Comparteix el mateix material de construcció com tots els ponts de la ciutat, el formigó armat, que és l'idoni gràcies a la seva alta resistència a grans esforços i als agents atmosfèrics.

És un dels ponts més utilitzats a la ciutat per comunicacions no tant immediates amb Barcelona i per aquest motiu acostuma a haver-hi bastant tràfic. Cal afegir que a diferència dels dos ponts anteriors, aquest no es transitable per vianants.



Imatge 25. Pont del Molinet. Imatge extreta de: Font pròpia.

A la ciutat de Santa Coloma també trobem el pont de Molinet, que es troba a prop de la frontera amb Sant Adrià i just enfront de l'hospital Esperit Sant. El pont va ser construït en el 1978. És un pont de bigues i està construït amb formigó armat, bastant similar al ja

mencionat pont de la B-20.

Aquest pont comunica la ciutat de Barcelona a través del Carrer Santander i Badalona, Santa Coloma i Sant Adrià de Besòs i consta de quatre carrils, dos en cada sentit.

5.2. Necessitat d'un pont a Santa Coloma de Gramenet

Per veure si la ciutat de Santa Coloma de Gramenet necessita un nou pont que la comuniqui amb Barcelona he passat per tots ponts de la ciutat i també per el de Montcada, que es troba a un extrem, per comptar els vehicles que circulen a

la vegada en cadascun d'aquests ponts. El pont de l'altre extrem no l'he tingut en compte perquè el del Molinet es troba pràcticament entre la frontera de Santa Coloma de Gramenet i Sant Adrià, encara que pertany a Santa Coloma. Llavors, si volgués posar un pont més a baix del de Molinet, o bé seria paral·lel al del Molinet o bé no pertanyeria ja a la ciutat. A més, en aquest pont és en el que menys vehicles he comptat, per tant fer un altre pont paral·lel a aquest no seria gaire útil.

Amb aquest recompte de vehicles podrem veure quins ponts són els més transitats i, per tant, entre aquests col·locaré el meu pont ja que serà en aquesta zona on hi haurà més necessitat d'un nou pont. El temps en el que he comptat la quantitat de vehicles que passen és el temps que dura un semàfor en verd, que són quaranta-cinc segons.

He passat per els ponts en diferents franges horàries i els resultats són els següents:

<i>Trànsit a les 8 a.m.</i>	Intent 1	Intent 2	Intent 3	Mitjana
<i>Pont de Montcada</i>	9	13	11	11
<i>Pont de la B-20</i>	99	92	100	97
<i>Pont de Santa Coloma</i>	19	16	23	19,33
<i>Pont de Potosí</i>	39	37	41	39
<i>Pont de Molinet</i>	10	7	12	9,66

<i>Trànsit a les 2 p.m.</i>	Intent 1	Intent 2	Intent 3	Mitjana
<i>Pont de Montcada</i>	11	14	12	12,33
<i>Pont de la B-20</i>	146	153	158	152,33
<i>Pont de Santa Coloma</i>	17	10	16	14,33
<i>Pont de Potosí</i>	45	41	48	44,66
<i>Pont de Molinet</i>	11	10	18	13

Trànsit a les 8 p.m.	Intent 1	Intent 2	Intent 3	Mitjana
<i>Pont de Montcada</i>	12	13	11	12
<i>Pont de la B-20</i>	94	102	97	97,66
<i>Pont de Santa Coloma</i>	22	24	24	23,33
<i>Pont de Potosí</i>	41	40	45	42
<i>Pont de Molinet</i>	6	11	8	8,33

Ara he realitzat la mitjana de les mitjanes a les diferents franges horàries per veure més clarament per on hi circulen més vehicles al llarg del dia.

Trànsit	8 a.m.	2 p.m.	8 p.m.	Mitjana
<i>Pont de Montcada</i>	11	12,33	12	11,78
<i>Pont de la B-20</i>	97	152,33	97,66	115,67
<i>Pont de Santa Coloma</i>	19,33	14,33	23,33	19
<i>Pont de Potosí</i>	39	44,66	42	41,89
<i>Pont de Molinet</i>	9,66	13	8,33	10,33

Per veure on hi ha més retenció, he dividit la mitjana de vehicles que hi circulen a la vegada en cada pont durant tot el dia pel número de carrils que aquest té el respectiu pont. Ja que, òbviament circularan menys cotxes per un pont que te dos carrils que per un que te sis, però això no vol dir que hi hagi més embussaments en aquest últim.

Ponts	Mitjana de vehicles	N de carrils	Mitjana de vehicles per carril
<i>Pont de Montcada</i>	11,78	2	5,89
<i>Pont de la B-20</i>	115,66	6	19,28
<i>Pont de Santa Coloma</i>	19	2	9,5
<i>Pont de Potosí</i>	41,89	6	6,98
<i>Pont de Molinet</i>	10,33	4	2,58

Cal afegir que aquestes dades s'han vist afectades per la situació en la que ens trobem quan s'ha realitzat aquest estudi, dies 6, 7 i 8 de juliol. El flux de vehicles

s'ha vist reduït degut al començament de vacances d'estiu i a l'estat de pandèmia en el que ens trobem, on molta gent treballa telemàticament per aquesta circumstància i la circulació s'ha vist afectada perquè en molts cassos no s'assisteix als llocs de treball i, per tant, no hi ha tant de trànsit a les carreteres.

També aclarir que tant en el pont de Potosí com en el de la B-20, hi havia retencions i per tant els vehicles circulaven més lents i el recompte no ha sigut gaire elevat. Aquesta situació, sobretot s'ha donat en el pont de Can Peixauet.

5.3. Situació d'un nou pont a Santa Coloma de Gramenet

Com acabem de veure, on hi ha més trànsit és entre els ponts de la B-20 i el de Can Peixauet, incloent el de Santa Coloma. Llavors el nou pont s'hauria de situar per aquesta zona. Algunes idees que m'he plantejat per intentar descongestionar algun d'aquests ponts són les següents:

- Fer un pont paral·lel al de Santa Coloma, exclusiu per a bicicletes i potser per a vianants per treure l'espai que aquests ocupen en el pont actual i cedir aquesta part als vehicles, creant així més carrils per a ells i millorant el trànsit.
- Fer un pont entre el de Santa Coloma i el de Potosí, ja que acostuma a haver-hi bastant de tràfic a tots dos i així descongestionar la zona.
- Fer un pont prop de la B-20, ja que és el més transitat, i fer que aquest pont comuniqui amb la C-58/AP-7. Llavors aconseguiríem desviar a aquells vehicles que hagin d'anar en direcció Sabadell/Girona, i descongestionar així el pont.

Una vegada plantejades totes les opcions, he de descartar les que no veig tan viables per obtenir la ubicació definitiva del meu nou pont.

Comencem amb la primera opció de fer un pont paral·lel al de Santa Coloma, exclusiu per a bicicletes i potser per a vianants. Aquesta idea es bastant bona per descongestionar el pont de Santa Coloma però un cop travessat el riu, els vehicles es trobarien la congestió de sempre fins a poder incorporar-se a la Meridiana, la gran via de sortida de l'àrea metropolitana nord, com passava

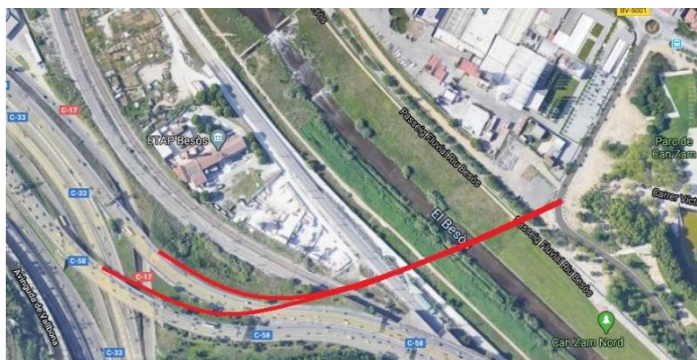
anteriorment quan el pont disposava de quatre carrils destinats exclusivament a vehicles motoritzats.

La segona opció de fer un pont entre el de Santa Coloma i el de Potosí, permetria descongestionar bastant aquests dos ponts, que acostumen a estar molt transitats, però ens trobem amb el problema de que entre aquests dos ponts no hi ha cap carrer principal, de dos sentits, i llavors el pont hauria de ser unidireccional. Si fos així seria una mica inútil ja que descongestionaria només direcció Barcelona i els que volguessin entrar en Santa Coloma seguirien tenint problemes, o viceversa, descongestionaria només direcció Santa Coloma i els que volguessin anar cap a Barcelona seguirien tenint problemes de tràfic. Llavors queda descartat per la incompatibilitat d'un pont bidireccional amb els carrers unidireccionals de la zona.

Per finalitzar, ens queda l'opció de per un pont prop de la B-20 que comuniqui amb la C-58/AP-7, ja que bastants vehicles que surten de Santa Coloma pretenen comunicar amb aquestes autopistes. Gràcies a aquest pont tota aquella gent que va cap a Sabadell o Girona s'estalviarien la saturació del nus de la Trinitat, on competeixen amb els vehicles que van a agafar la Ronda de Dalt o la C-17. El fet que aquests vehicles agafin aquest nou pont també ajudaria a descongestionar el nus de la Trinitat,

L'únic problema que se'ns planteja són les vies del tren que passen just abans d'aquesta carretera i, si es volgués connectar, el pont hauria de passar per sobre d'aquestes. Encara i així, és l'opció més viable.

Aquest nou pont baixaria des de la rotonda d'Av. Francesc Macià i enganxaria,



per sobre de les vies de tren, amb la C-58/AP-7. A la imatge es pot veure la situació final d'aquest pont, on el carril superior seria se sortida de Santa Coloma i l'inferior d'entrada.

Imatge 26. Situació d'un nou pont. Imatge extreta de: Font pròpia.

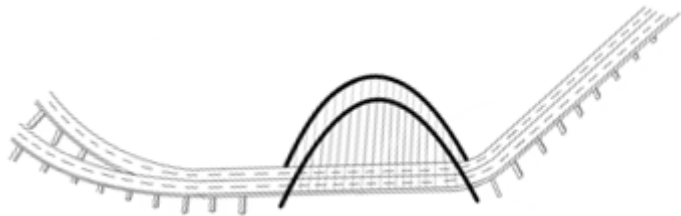
6. Disseny d'un pont per a la ciutat de Santa Coloma de Gramenet

Una vegada analitzats els diferents materials que es poden utilitzar per a la construcció d'un pont, els diferents tipus de ponts i la situació més idònia d'un a la ciutat de Santa Coloma de Gramenet, és l'hora de fer el disseny d'aquest pont.

6.1. Tipus de pont escollit i justificació

El pont escollit estarà dividit en tres parts. El primer tram serà un pont bàsic de bigues, que continuï la carretera en línia recta per salvar la baixada innecessària que va des de la rotonda fins a la vora del riu. En l'esbós no es veu clarament aquesta carretera en línia recta i sembla que faci baixada, però es qüestió de perspectiva, en la maqueta es podrà apreciar millor aquest tram. El segon tram serà un pont penjant d'arc, que salvarà la distància del riu. I per últim trobarem un altre pont de bigues, que connectarà amb la C-58/AP-7.

El tram més important i, per tant, el que més destacarà, serà el penjant d'arc. He escollit aquest disseny perquè amb aquesta forma pot ser un pont icònic per a la



Imatge 26. Esbós del disseny del pont. Imatge extreta de: Font pròpia.

ciutat, com el pont de Can Peixauet, i a més és un pont funcional, que respon a les necessitats estructurals que li estem demanant.

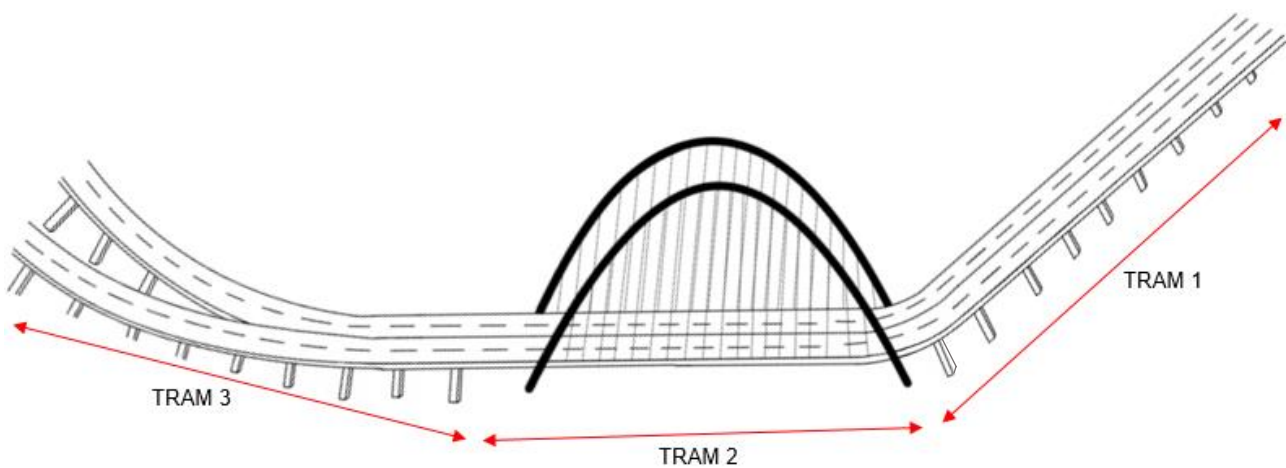
La majoria dels ponts de Santa Coloma, com ja hem vist anteriorment, són de bigues i amb aquest pont he volgut donar una altra perspectiva més divertida, innovadora i estètica a la dels simples ponts de bigues que predominen a la ciutat. Així amb aquest disseny s'innovaria i crearíem un altre símbol de Santa Coloma.

Aquesta forma continua fins a la bifurcació de les dues carreteres, necessària per a la circulació bidireccional en aquesta via. Aquest tram de pont estaria recolzat en uns pilars, al igual que el primer tram, per facilitar el seguiment de la trajectòria a seguir.

6.2. Càlcul dels esforços

A continuació calcularé tots els esforços que ha d'aguantar l'estructura del pont. Aquesta estructura serà isostàtica, és a dir, les bigues estaran col·locades en trams amb dos suports.

Per a major comprensió i facilitat, el pont es divideix en tres, com s'ha explicat anteriorment i com es pot apreciar a la imatge següent.



Imatge 27. Separació en trams del pont. Imatge extreta de: Font pròpia.

6.2.1. TRAM 1

Aquest primer tram del pont és de bigues i consta principalment de dues parts: la llosa de paviment i els pilars.

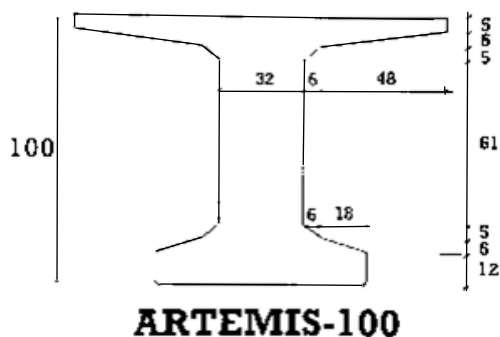
6.2.1.1. Llosa de paviment

Primer calcularé la força que exerceix la llosa del pont sobre els pilars, per després calcular quins pilars necessitarà el pont, depenent de la quantitat d'esforç a carregar.

En aquests casos s'utilitzen llums (distància entre pilars) d'uns 15-20m com a màxim, si es realitza de formigó armat, i fins a 35m si és pretesat. El gruix de les bigues que solen establir-se per a aquesta secció són de distàncies o llums de 20m o menors. En el nostre cas agafarem la mesura estàndard que és la llum de 20m.

Aquest tipus de secció s'adapta millor a trams corbs o oblics, i s'aconsella continuïtat entre obertures en els processos constructius, per obtenir una major resistència.

Llavors, al meu pont la mesura del cant de les bigues que col·locaré serà $2000\text{cm}/20 = 100\text{cm}$ de cant. Els 2000cm surten dels 20m que hi ha entre pilars (9 pilars) i 20 és la mida estàndard.



Imatge 28. Biga Artemis-100. Imatge extreta de: Font pròpia.

Una vegada hem obtingut el gruix de les bigues, hem de buscar un fabricant que tingui unes bigues que compleixin aquestes característiques. En prefabricats Pujol en trobem les Artemis-100, que s'adiuen a les necessitats.

Una vegada he escollit el tipus de biga, he de calcular quantes en necessito, cada els 20m.

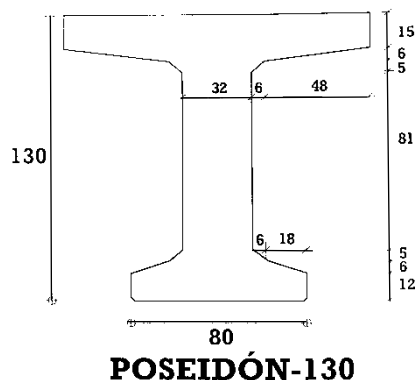
En cada sentit de circulació trobarem un carril de 3,7 metres d'amplada, més un voral de la mateixa amplada (per evitar interrompre la circulació en cas d'averies o accidents); així que en total tenim 14,8 metres d'amplada, que en centímetres són 1480. També hem de tenir en compte la separació màxima entre els eixos de les bigues que és de 200cm segons el fabricant, llavors en necessitem $1480 / 200 = 7,4$ bigues. En realitat serien 8 bigues ja que no podem fer que la llum sigui superior.

Aquestes 8 bigues Artemis fan 1540 cm d'amplada, $(200 \cdot 7) + (70 \cdot 2)$. He multiplicat la distància màxima entre els eixos de les bigues per 7, ja que en haver 8 bigues només tenim 7 espais entre bigues. Si les Artemis fan 140 cm d'amplada, hem de sumar dues vegades 70 cm. Això ho faig perquè els 200cm són la distància entre els eixos de les bigues i així tenim en compte només la meitat de la biga. Per comptar amb la distància de les dues bigues laterals, que no es té en compte si només mesurem la distància entre eixos, he sumat 70 cm dues vegades, que és la meitat de la llargada d'una Artemis.

Sabent que aquest tipus de bigues pesen 1.229 kg cada metre, el pes d'aquestes bigues entre pilars (20m) seria de $1229 \cdot 20 \cdot 8 = 196.640$ kg ; i per tant totes les bigues Artemis del tram 1 pesarien 1.966.400 kg ($19,29 \cdot 10^6$ N).

Aquestes bigues Artemis van a sobre de les Poseidón-130, ja que, la Poseidón té una ala més ampla, cosa que afavoreix la recollida de bigues en la part superior; o sigui, que les bigues Poseidón estan pensades per fer de jàsseres, en una estructura isostàtica.

Per poder calcular quina biga Poseidón utilitzaré (entre els diferents models de bigues), primer calcularé el pes que hi ha a sobre d'una d'aquestes bigues. Aquest pes estarà calculat en N/m, donat que és una càrrega uniformement repartida al llarg de tota la biga.



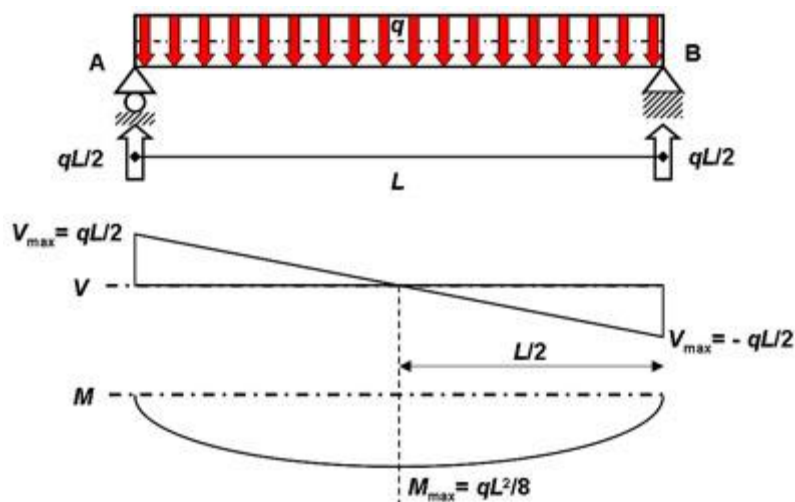
Imatge 29. Biga Poseidón-130.
Imatge extreta de: Font pròpia.

PESOS	Pes específic	Mides	Massa	Força
<i>Betum</i>	2.250 kg/m ³	20m · 0,05m	2.250 kg/m	22.072,5 N/m
<i>Formigó armat</i>	2.500 kg/m ³	20m · 0,2m	10.000 kg/m	98.100 N/m
<i>Càrrega d'us</i>	40t / 12m	2 carrils	6,667 · 10 ³ kg/m	65.400 N/m
<i>Artemis</i>	1.229 kg/m	2	2.458 kg/m	24.112,98 N/m
<i>Poseidón</i>	1.739 kg/m	1	1.739 kg/m	17.059,6 N/m
Total			23.113,66 kg/m	226,745,07 N/m

Un cop sabem el pes que ha de suportar la biga Poseidón, i sabent que ha de ser superior a l'Artemis, hem escollit, per a una primera aproximació, la Poseidón-130, i amb el seu pes anem a veure si ara és la biga que es requereix.

Primer calculem el moment flector màxim que suporta aquesta biga. El moment flector màxim, com és una estructura que treballa a flexió, es calcula amb la fórmula següent:

$$M_{f \text{ màx}} = q \cdot l^2 / 8$$



Imatge 30. Moment flector màxim d'una biga. Imatge extreta de: http://webdelprofesor.ula.ve/arquitectura/argicast/materias/materia2/CLASE_VIGAS.html

On q és la càrrega uniformement repartida, i l és la longitud de la biga Poseidón. Llavors tenim que:

$$M_{f \text{ m\grave{a}x}} = 226.745,07 \cdot 15,4^2/8 = 6,721 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Comparem aquest moment flector màxim amb el moment flector màxim que aguanta la biga Poseidón-130 segons el fabricant.

TIPUS DE BIGA POSEIDÓN MOMENT FLECTOR MÀXIM QUE SUPORTA

<i>Poseidón-120</i>	6 MN·m
<i>Poseidón-130</i>	8 MN·m
<i>Poseidón-140</i>	10 MN·m

Així doncs, la biga Poseidón-130 és la ideal per a exercir de jàssera al meu pont. Ja que el moment flector màxim supera al màxim de la 120 i de la 140 queda massa lluny.

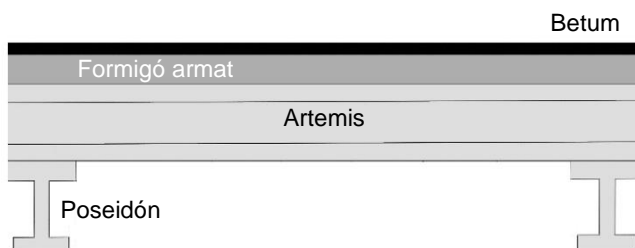
Com a quadre resum del que hem calculat tenim el següent:

BIGUES	Artemis	Poseidón
<i>Cant de biga</i>	1 m	1,30 m
<i>Amplada inicial carretera</i>	14,8 m	14,8 m
<i>Separació màxima bigues (entre eixos)</i>	0,2 m	20 m (mateixa dist dels pilars)
<i>Num de bigues</i>	7,4	9
<i>Num de bigues reals</i>	8	9
<i>Amplada bigues</i>	1,4 m	1,4 m
<i>Amplada carretera amb x bigues</i>	15,4 m	15,4 m
<i>Pes material</i>	1229 kg/m	1739 kg/m
<i>Pes bigues (tram entre pilars)</i>	196.640 kg	-
<i>Distància tram</i>	200 m	200 m
<i>Massa total bigues</i>	1.966.400 kg	241.025,4 kg
<i>Pes total</i>	$19,29 \cdot 10^6 \text{ N}$	$2,364 \cdot 10^6 \text{ N}$

A continuació calcularé la resta de forces que actuen en la llosa de paviment del pont. Aquestes altres forces són: el pes del formigó armat, el pes de la superfície bituminosa i el pes de la sobrecàrrega d'ús.

El formigó armat va a sobre de les bigues Artemis, i a sobre d'aquest en trobem la superfície bituminosa. Aquesta superfície és el quitrà amb el que estan fetes totes les carreteres.

També hem de tindre en compte un altre pes que ja no és de cap material, sinó de la sobrecàrrega d'ús del pont, és a dir, el pes de tot el trànsit que circularia pel pont. En el pitjor dels casos ens



Imatge 31. Materials llosa de paviment. Imatge extreta de: Font pròpia.

podríem trobar amb camions de quatre eixos, un a cada carril. Aquests camions pesen 40 tones i fan 12 metres de llarg, és a dir, en 20 metres hi haurien 66,67 tones a cada carril, i en tots quatre carrils 266,67 T (considerem el voral com un carril més). Aquesta seria la massa dels camions en els vint metres que hi ha de pilar a pilar, però com que el tram fa 200 metres, en tot el tram podíem trobar-nos amb $2,666 \cdot 10^6 \text{kg}$. Això fa un total de $26,15 \cdot 10^6 \text{N}$.

En la següent taula veiem tots els càlculs necessaris per obtenir el pes i la força total de la llosa de paviment en aquest primer tram del pont.

LLOSA	Pes material	Amplada	Llargada	Gruix	Massa	Força
<i>Artemis</i>	1.229 kg/m	15,4 m	20 m	1 m	1.966.400 kg	$19,29 \cdot 10^6 \text{ N}$
<i>Poseidón</i>	1.739 kg/m	20 m	15,4 m	1,30 m	241.025,4 kg	$2,364 \cdot 10^6 \text{ N}$
<i>Formigó armat</i>	2.500 kg/m^3	15,4 m	200 m	0,2 m	$1,54 \cdot 10^6 \text{ kg}$	$15,1074 \cdot 10^6 \text{ N}$
<i>Superfície bituminosa</i>	2.250 kg/m^3	15,4 m	200 m	0,05 m	346.500 kg	$3,399 \cdot 10^6 \text{ N}$
<i>Càrrega d'ús</i>	$(40 \text{ t} / 12\text{m}) \cdot 4$	-	200 m	-	$2,6 \cdot 10^6 \text{ kg}$	$26,15 \cdot 10^6 \text{ N}$
Total llosa de paviment					$6,712 \cdot 10^6 \text{ kg}$	$65,84 \cdot 10^6 \text{ N}$

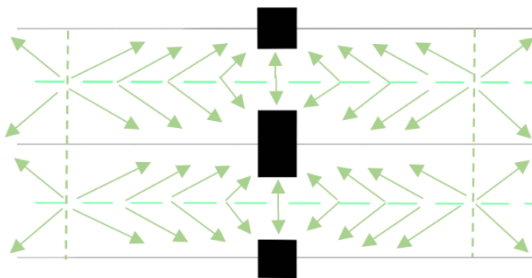
6.2.1.2. Pilars

Una vegada calculat tot el pes que han d'aguantar els pilars, que és tot el pes de la llosa de paviment del pont, hem de veure quins pilars són els més adients i quants són necessaris per a suportar aquests esforços.

Aquests pilars estaran fets de formigó armat HM-35, ja que aquest tipus de formigó és molt resistent. Aleshores tenim:

$$\sigma = F / s$$

On σ són 35 N/mm², que és el màxim que aguanta el formigó armat HM-35, S és la superfície del pilar i F la força que aquest suporta.



Imatge 32. Línies d'eix del pes que ha de suportar cada pilar. Imatge extreta de:
Font pròpia.

Com ens interessa saber aquesta superfície, buscarem les forces que han de suportar els diferents pilars per així trobar les respectives superfícies.

Primer fem un dibuix a mà alçada d'un tram de pont per poder veure com actuen les forces en els diferents pilars i

les càrregues que han de suportar. Amb línies d'eixos he marcat allò que ha de suportar cada pilar. Quan parlem de la llargada, cada pilar ha de aguantar 10 m per un cantó i uns altres 10 m per l'altre, ja que la distància total entre pilars es de 20 m. En relació a l'amplada del tram que ha de suportar cada pilar, doncs dividim l'ample de la carretera (15,4 m) en tantes parts com pilars en aquest tram (4, com es pot veure al dibuix de la imatge 32). Això dona 3,85 m d'amplada per cada pilar.

Aquests dos pilars centrals podem unificar-los i posar-ne un el doble de gran.

Ara calcularé, les forces que ha de suportar cada pilar. I per fer-ho diferenciaré entre dos tipus de pilars:

- Pilar tipus 1, aquell dels extrems i amb menys càrregues a suportar.
- Pilar tipus 2, aquell més gran que es troba en el centre i que ha de suportar més càrregues.

Primer calcularé els esforços que ha de carregar el pilar tipus 1. Així que per començar necessito obtenir el pes de les bigues Artemis en aquest tram.

Llavors he calculat quantes bigues hi caben. Tenint en compte que es tracta d'una quarta part de la carretera total i en total tenim 8 bigues l'operació és molt senzilla.

$$8 / 4 = 2 \text{ Bigues Artemis}$$

A continuació he multiplicat el nombre d'Artemis per el pes específic d'aquestes bigues i pels 10 m de llosa de paviment a cada costat (20 m en total). Aquesta operació dóna 49.160 kg, que són 482.259,6 N.

Ara, per aconseguir el pes de la biga Poseidón he multiplicat el seu pes específic pels 3,85 m que hem calculat anteriorment de l'amplada del tram de carretera que suporta cada pilar. Això dóna 6.695,15 kg, que són 65.679,42 N.

També he calculat el pes del formigó armat i el del material bituminós, multiplicant pels respectius pesos específics, per les mides del tram suportat per aquest pilar i el gruix de les diferents capes de materials.

Per acabar, he calculat el pes de la sobrecàrrega d'ús, dividint les 40 tones que pesa un camió pels 12 m que fa de llarg. I per acabar, aquest resultat l'he multiplicat pels metres del tram (20 m).

En la següent taula es veuen reflectits tots aquests càlculs necessaris per obtenir les forces que ha de suportar aquest pilar.

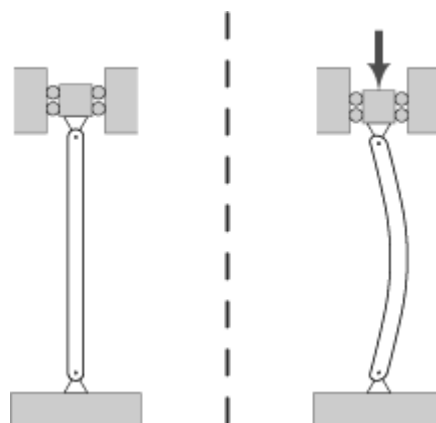
PILAR TIPUS 1	Pes específic	Mides	Massa	Força
Bigues Artemis	1.229 kg/m	2 bigues · 10 m · 2	49.160 kg	482.259,6 N
Bigues Poseidón	1.739 kg/m	3,85 m	6695,15 kg	65.679,42 N
Formigó armat	2.500 kg/m ³	20 m · 3,85 m · 0,2 m	38.500 kg	377.685 N
Material bituminós	2.250 kg/m ³	20 m · 3,85 m · 0,05 m	8.662,5 kg	84.979,125 N
Càrrega d'ús	40 t/ 12m	20 m	66,66 · 10 ³ kg	654.000 N
Total	-	-	169.667,65 kg	16.664.537,75 N
Total amb coeficient de seguretat				2.496.806,62 N
Superfície ($s = F / \sigma$)				71.337,33 mm ²

Com és una peça de formigó armat executat en obra, és a dir, no prefabricada, hem d'aplicar un coeficient de seguretat de 1,5, majorant accions. Per tant:

$$16.664.537,75 \text{ N} \cdot 1,5 = 2.496.806,62 \text{ N}$$

Si fem pilars quadrats surten 26,7 cm, és a dir, posarem pilars de 30x30 cm.

Ara anem a comprovar si aquests pilars aguanten a vinclament. El vinclament és un esforç que es produeix en estructures esveltes quan estan sotmeses a compressió. Aleshores es pot doblegar i trencar-se estructuralment a flexió, tot i que la càrrega a compressió aguantaria bé. Als pilars, sobre tot, és molt important comprovar el vinclament, i per això ara es procedirà a calcular si la secció del nostre pilar aguanta aquest esforç.



Imatge 32. Vinclament. Imatge extreta de: https://ca.wikipedia.org/wiki/Vinclament#/media/Fitxer:Buckled_column.png

La força crítica de vinclament es calcula segons la següent fórmula:

$$F_{\text{crit}} = \frac{\pi^2 \cdot \sigma \cdot I}{L^2}$$

L'alçada màxima que tindrem en compte per al pont és de 7m. I el valor I és la inèrcia de la secció, en aquest cas, secció quadrada. La inèrcia de la secció quadrada val:

$$I = \frac{b^4}{12}$$

On b és el costat del quadrat.

Calculant tenim el següent:

$$I = \frac{0,3^4}{12} = 0,000675 \text{ m}^3$$

$$F_{\text{crit}} = \frac{\pi^2 \cdot 35 \cdot 10^6 \cdot 0,000675}{7^2} = 4.758,559 \text{ N}$$

Com que $4.758,559 \text{ N} < 2.496.806,62 \text{ N}$, el nostre pilar no aguanta el vinclament. Llavors hem de tornar a calcular la secció per tal que aguantí l'esforç de la llosa de paviment i el vinclament alhora.

$$2.496.806,02 = \frac{\pi^2 \cdot 35 \cdot 10^6 \cdot I}{7^2}$$

A l'aïllar I ens surt que ha de ser de $0,354171 \text{ m}^3$, llavors ara substituïm a la formula de la I per aïllar el costat del nostre nou pilar que ara aguantarà tant la compressió com el vinclament.

$$0,354171 = \frac{b^4}{12}$$

Un cop aïllat b , ens surt que el costat d'aquest pilar quadrat ha de ser de 1,435 m, per tant posarem pilars de 1,5m x 1,5m, és a dir de $2,25 \text{ m}^2$ de secció.

En el pilar tipus 2, només varia l'amplitud del tram de carretera que ha de suportar, que és el doble. Això és pot veure clarament en el dibuix fet anteriorment (Imatge 32). Per tant, l'amplada passa a ser 7,7 m.

De bigues Artemis en aquest cas trobem també el doble, és a dir 4 bigues.

Tots aquests càlculs els podem apreciar a la següent taula:

PILAR TIPUS 2	Pes específic	Mides	Massa	Força
Bigues Artemis	1.229 kg/m	4 bigues · 10 m · 2	98.320 kg	964.519,2 N
Bigues Poseidón	1.739 kg/m	7,7 m	13.390,3 kg	131.358,84 N
Formigó armat	2.500 kg/m ³	20 m · 7,7 m · 0,2 m	77.000 kg	755.370 N
Material bituminós	2.250 kg/m ³	20 m · 7,7 m · 0,05 m	17.325 kg	169.958,25 N
Càrrega d'ús	40 t/ 12m	20 m · 2	133,33 · 10 ³ kg	1,308 · 10 ⁶ N
Total	-	-	339.365 kg	3,329 · 10 ⁶ N
Total amb coeficient de seguretat				4.993.760,39 N
Superfície (s= F / σ)				142.678,8683 mm ²

Hem d'aplicar de nou un coeficient de seguretat de 1,5. Per tant:

$$3,329 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot 1,5 = 4.993.760,39 \text{ N}$$

Si fem que aquests pilars siguin rectangulars, fent-los com dos pilars dels pilars tipus 1 però units, aquests haurien de ser de 30 cm de costat i ens faltaria saber l'altre costat.

$$\text{Àrea rectangle} = b \cdot a$$

$$142.678,8683 = 300 \cdot a$$

On a és el costat que ens falta. Aquesta operació ens dona que el costat que ens falta és de 475,59 mm. Llavors posarem pilars de 30x50 cm.

Per últim hem de tornar a calcular el vinclament per seguretat.

$$I_0 = \frac{bh^3}{12} \quad I = \frac{0,3 \cdot 0,5^3}{12} = 0,003125 \text{ m}^3$$

Imatge 32. Inèrcia del rectangle.

Imatge extreta de:

https://ca.wikipedia.org/wiki/Llista_d_e_moments_d%27in%C3%A8rcia_d%27%C3%A0rees

$$F_{\text{crit}} = \frac{\pi^2 \cdot 35 \cdot 10^6 \cdot 0,003125}{7^2} = 2.203,037 \text{ N}$$

Com que $2.203,037 \text{ N} < 4.993.760,39 \text{ N}$, el nostre pilar no aguanta el vinclament. Hem de tornar a calcular la secció, com ens ha passat amb el pilar tipus 1. La força que tenim per calcular la secció que aguanti a compressió i el vinclament alhora.

Com abans hem d'aïllar primer I i a partir d'aquí poder aïllar el costat h que desconeixem.

$$4.993.760,39 = \frac{\pi^2 \cdot 35 \cdot 10^6 \cdot I}{7^2}$$

Lavors aïllem I , i ens surt que I ha de ser de $0,70836$. I el costat b el posem d' $1,5\text{m}$ que és el que ens ha sortit a l'apartat anterior

$$0,70836 = \frac{1,5 \cdot h^3}{12}$$

Un cop aïllat h , ens surt que el costat d'aquest pilar rectangular ha de ser de $1,783 \text{ m}$, per tant posarem pilars de $1,5\text{m} \times 1,8\text{m}$, és a dir de $2,7\text{m}^2$ de secció.

6.2.2. TRAM 2

Aquest segon tram és un pont penjant d'arc i consta de quatre parts: la llosa de paviment, l'arc, els tirants i els pilars a cada cantó del tram que subjecten l'arc.

6.2.2.1. Llosa paviment:

Els càlculs d'aquesta secció són iguals que els de la llosa de paviment del tram anterior, només varia la distància total del tram. Aquesta distància és de 191,56m. El nombre de bigues Poseidón també serà el mateix ja que la de la distància a salvar només varia 9 metres (de menys) en aquest segon tram.

En les següents taules podem veure tots els càlculs necessaris per obtenir la massa total i el pes de la llosa de paviment.

BIGUES	Artemis	Poseidón
Cant de biga	1 m	1,30 m
Amplada inicial carretera	14,8 m	14,8 m
Separació màxima bigues (entre eixos)	0,2 m	20 m (mateixa dist dels pilars)
Num de bigues	7,4	9
Num de bigues reals	8	9
Amplada bigues	1,40 m	1,40 m
Amplada carretera amb x bigues	15,4 m	15,4 m
Pes material	1229 kg/m	1739 kg/m
Pes bigues (tram entre pilars)	196.640 kg	-
Distància tram	191,56 m	191,56 m
Massa total bigues	$1,833 \cdot 10^6$ kg	241.025,4 kg
Pes total	$18,48 \cdot 10^6$ N	$2,364 \cdot 10^6$ N

LLOSA	Pes material	Amplada	Llargada	Gruix	Massa	Força
<i>Artemis</i>	1229 kg/m	15,4 m	20 m	1 m	$1,833 \cdot 10^6$ kg	$18,48 \cdot 10^6$ N
<i>Poseidón</i>	1739 kg/m	20 m	15,4 m	1,30 m	241.025,4 kg	$2,364 \cdot 10^6$ N
<i>Formigó armat</i>	2500 kg/m ³	15,4 m	191,56 m	0,2m	1.475.012 kg	$14,47 \cdot 10^6$ N
<i>Superfície bituminosa</i>	2250 kg/m ³	15,4 m	191,56 m	0,05m	331.877,7 kg	$3,256 \cdot 10^6$ N
<i>Càrrega d'ús</i>	(40 t/ 12m) · 4	-	191,56 m	-	$2,554 \cdot 10^6$ kg	$25.056 \cdot 10^6$ N
Total llosa de paviment					$6,435 \cdot 10^6$ kg	$63,13 \cdot 10^6$ N

6.2.2.2. Tirants

En aquest tram de pont no hi hauran pilars sinó que posaré tirants. Aquests treballen igual que els pilars però en comptes de treballar a compressió treballen a tracció. A continuació calcularé els esforços als quals sotmetem cadascun del tirants del tram.

Aquests tirants els trobarem, igual que els pilars, cada 20 metres. Això vol dir que en 191,56 metres de llarg trobarem 9 tirants (9,578).

Per obtenir el pes de les bigues Artemis que ha de suportar el tirant, he calculat el nombre de bigues que suporta ($8 / 2 = 4$) i això ho he multiplicat per

Aquestes 5 bigues Artemis pesen 122.900 kg, que són 1.205.649 N.

Tota la resta de càlculs necessaris els he fet pràcticament igual que en l'apartat dels pilars tipus 2 del tram 1, com es pot veure en la taula següent.

<i>TIRANT</i>	Pes específic	Mides	Massa	Força
<i>Bigues Artemis</i>	1.229 kg/m	4 bigues · 10 m · 2	98.320 kg	964.519,2 N
<i>Bigues Poseidón</i>	1.739 kg/m	7,7 m	13.390,3 kg	131.358,84 N
<i>Formigó armat</i>	2.500 kg/m ³	20 m · 7,7 m · 0,2 m	77.000 kg	755.370 N
<i>Material bituminós</i>	2.250 kg/m ³	20 m · 7,7 m · 0,05 m	17.325 kg	169.958,25 N
<i>Càrrega d'ús</i>	40 t/ 12m	20 m · 2	133,33 · 10 ³ kg	1,308 · 10 ⁶ N
<i>Total</i>	-	-	339.368 kg	3,329 · 10 ⁶ N
<i>Total amb coeficient de seguretat</i>				3.662.126,922 N
<i>Superfície</i> ($s = F / \sigma$)				8323,02 mm ²

L'acer que utilitzarem en aquests tirants és l'acer tipus B400S i en aquest acer hem d'aplicar un coeficient de seguretat de 1,1.

$$3,329 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot 1,1 = 3.662.126,922 \text{ N}$$

En l'acer també té la resistència de forces més elevada que el formigó armat, aquesta és de 440 N/mm². Llavors ens dona una superfície de 8323,02 mm².

Com la superfície d'aquests tirants és circular, anem a calcular el radi dels tirants necessari. Sabem que la superfície d'una circumferència ve donada per la fórmula següent:

$$S = \pi \cdot r^2$$

On S és la superfície i r el radi. Si aïllem el radi ens quedaria que:

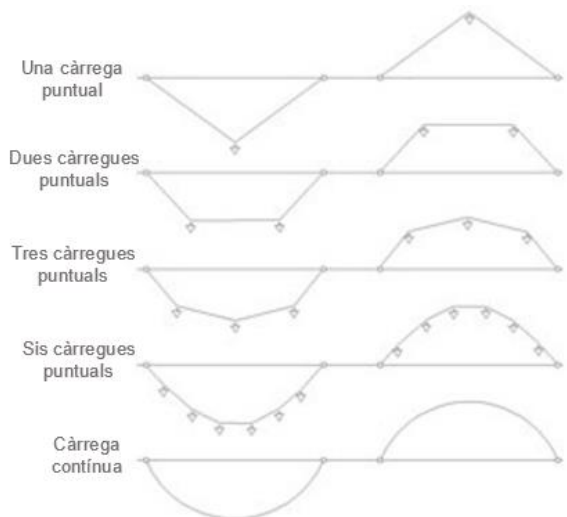
$$r^2 = S \cdot \pi$$

$$r = \sqrt{8323,02 \cdot \pi} = 161,7 \text{ mm}$$

Llavors ens quedarien uns 9 tirants de 16,17 cm de radi, és a dir 32,3 cm de diàmetre.

6.2.2.3. Arc

Per suportar la força que acabem de calcular dels tirants necessitarem un arc, d'acord al tipus de pont escollit en aquest tram. Aquest arc serà en forma de catenària. Una catenària és la corba que descriu una cadena suspesa pels seus extrems, que té la massa distribuïda uniformement i sotmesa únicament a les forces de gravetat. La imatge 33 ens ajuda a entendre millor aquestes formes geomètriques.

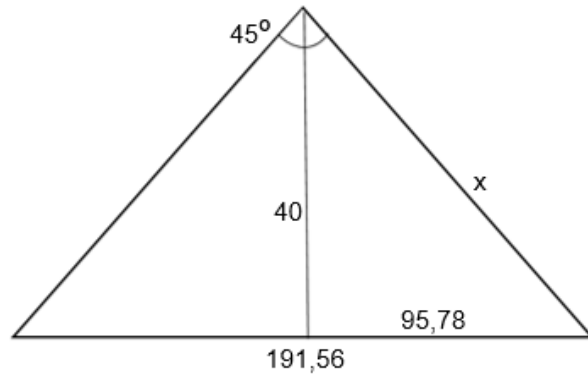


Aquesta és un clar exemple de la reflectivitat que hi ha entre estructures que treballen a tracció i les que treballen a compressió, ja que un arc en forma de catenària invertida és precisament la forma que minimitza els esforços de compressió sobre aquest arc.

Imatge 34. *Catenària.* Imatge extreta de: Font pròpia.

Per saber les mesures d'aquest arc en cada tirant he decidit fer una maqueta on posaré una cadena i d'aquesta he penjat 9 pesos iguals. Així obtindrè la forma idònia de catenària per un arc que ha de suportar 9 tirants amb el mateix pes. Llavors, una vegada feta la maqueta calcularé la distància que hi ha des del terra fins a cada pes i sabré la distància proporcional que hi haurà de mesurar cada tirant del meu pont. En la maqueta l'arc que es formarà treballarà a tracció, però com ja he comentat anteriorment, si invertim la forma el treball és el mateix i només canvia la forma de treballar, que ara treballarà a compressió.

Per saber la mesura d'aquest fil que després, amb l'aplicació dels nou pesos iguals, en formarà la forma ideal del meu arc, he calculat la mesura dels dos costats d'un triangle isòsceles, on l'angle superior és de 45° , que és l'angle en el que es reparteixen les càrregues. La altura màxima és el doble de la llum i la base és la carretera, és a dir la base són 191,56 m.



Imatge 35. Triangle catenària. Imatge extreta de: Font pròpia.

Ens queda un triangle com el de la imatge 33 i només ens falta saber el valor de x .

Sabent que si $h^2 = c^2 + c^2$

Llavors tenim que:

$$x = \sqrt{40^2 + 95,78^2} \quad x = 103,8$$

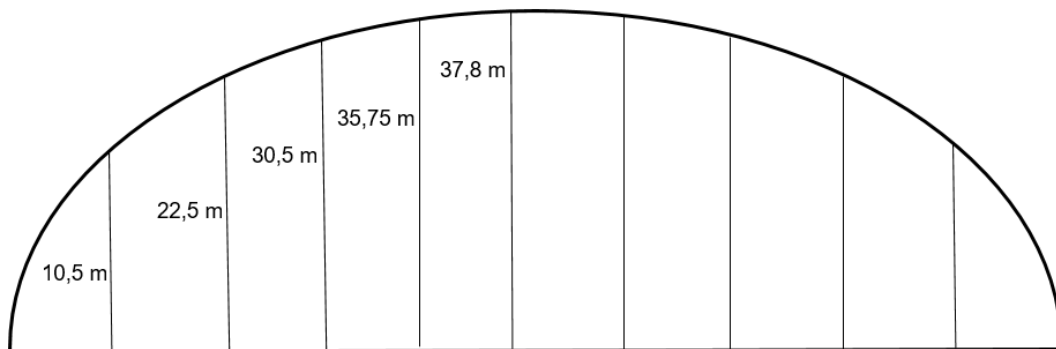


Imatge 36. Maqueta catenària. Imatge extreta de: Font pròpia.

Aleshores en dona que el costat del triangle es de 103,8 mm i per tant el fil que hauré d'agafar per fer aquesta maqueta serà del doble, és a dir, de 207,6 mm.

Una vegada feta la maqueta els tirants m'han sortit de les mesures

que podem veure en el següent dibuix.



Imatge 37. Dibuix mida del tirants. Imatge extreta de: Font pròpia.

Òbviament els tirants d'un costat són de la mateixa mida que l'altre costat ja que és simètric.

Ara hem de calcular la secció d'aquests arcs de catenària, que treballen a compressió amb el pes màxim de la meitat dels tirants. Com que cada tirant aguanta 3.662.126,922 N i el pont té 9 tirants a cada banda, la meitat del pes dels tirants és de 16.479.571,15 N. Llavors, dividim aquesta xifra entre els 440 N/mm² que suporta aquest tipus d'acer i ens dona la secció de 37.453,57 mm².

És cert que no tot el arc aguantarà igual, però també és cert que no anem a posar l'arc més fi a la part d'adalt i més gros a baix. Llavors, al final tot el pes es reparteix igual.

Com la superfície d'aquests arcs és circular, anem a calcular el radi necessari. Sabem que la superfície d'una circumferència ve donada per la fórmula següent:

$$S = \pi \cdot r^2$$

On S és la superfície i r el radi. Si aïllem el radi ens quedaria que:

$$r^2 = S \cdot \pi$$

$$r = \sqrt{37.453,57 \cdot \pi} = 343,02 \text{ mm}$$

Llavors ens quedarien uns arcs de 34,3 cm de radi, és a dir 68,6 cm de diàmetre.

6.2.2.4. Pilars

Ara hem de calcular els pilars que aguantaran aquest arc de catenària i ho farem igual que hem fet a l'apartat anterior, però aquest cop el material serà el mateix que a la resta de pilars, formigó armat.

El pes que han de suportar els pilars és el mateix que el dels arcs més el pes d'aquests arcs. Llavors he de calcular el pes d'aquests i així treure la secció d'aquests pilars.

Sabem que la secció de la catenària és de 37.453,57 mm² i aquesta fa 207,6 m de llargada. Aquesta llargada és la dada que hem calculat en l'apartat anterior per fer la maqueta de la catenària. Llavors podem treure el volum de l'arc, que

ens surt de 7775,36 mm³. Ara només ens cal fer un factor de conversió amb la densitat de l'acer B400s i així treure el pes de la catenària.

Sabem que aquesta es de 7850 kg/m³, llavors en queden:

$$\frac{7850 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot 7775,36 \text{ mm}^3 \cdot \frac{\text{m}^3}{1000^3 \text{ mm}^3} = 61.036,58 \text{ kg}$$

Ara calculem el pes segons la massa que ens acaba de sortir de 61.036,58 kg i ens dona 598.768,9 N.

Només cal sumar aquest pes propi de la catenària a tot el pes que aquesta suporta i poder aconseguir la secció del pilar tipus 4 que col·locarem en aquest tram.

$$F_{total} = 16.479.571,15 + 598.768,9 = 17.078.340,05 \text{ N}$$

Apliquem la fórmula de $S = \frac{F}{\sigma}$.

$$S = \frac{17.078.340,05 \cdot 1,5}{35} = 731.928,86 \text{ mm}^2$$

Si fem aquests pilars quadrats surten de 85,55 cm de costat, és a dir, posarem pilars de 86x86.

Aleshores ara ens falta comprovar el vinclament dels pilars, per veure si els hem de tornar a calcular o no.

$$I = \frac{0,86^4}{12} = 0,0456 \text{ m}^3$$

$$F_{crit} = \frac{\pi^2 \cdot 35 \cdot 10^6 \cdot 0,0456}{6^2} = 437.399,0625 \text{ N}$$

Com que 437.399,0625 N < 16.479.571,15 N, el nostre pilar no aguanta el vinclament.

Hem de calcular de nou la secció, com ens ha passat amb els altres pilars. Aquest pilar serà rectangular com el pilar tipus 2. Començarem aïllant la I.

$$17.078.340,05 \cdot 1,5 = \frac{\pi^2 \cdot 35 \cdot 10^6 \cdot I}{6^2}$$

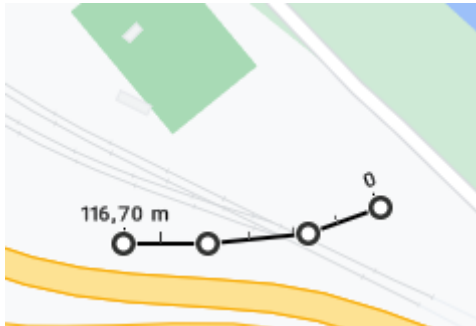
Lavors surt que l ha de ser de 2,67 m³. I el costat b el posem d'2 m.

$$2,67 = \frac{2 \cdot h^3}{12}$$

Un cop aïllat h, ens surt que el costat d'aquest pilar rectangular ha de ser de 2,52 m, per tant posarem pilars de 2m x 2,6m, és a dir de 5,2 m² de secció.

6.2.3. TRAM 3

Aquest tercer tram del pont té la mateixa forma que el primer, només varia la longitud i que en un punt es separen els diferents sentits de la carretera per unir-se a la C-17/C-58.



Imatge 38. T3 tram comú. Imatge extreta de: Font pròpia.

En la primera imatge podem veure el tram de carretera comú en tots dos sentits, ja que més endavant ens trobem amb una bifurcació que separa la carretera en 2. El sentit Santa Coloma – C-58 i el de la C-58 – Santa Coloma. En les dos imatges següents veurem el tram total d'aquest tram en cada sentit.



Imatge 39. T3 Sentit Santa Coloma – C-58. Imatge extreta de: Font pròpia.



Imatge 40. T3 Sentit C- 58 - Santa Coloma. Imatge extreta de: Font pròpia.

A continuació calcularé els esforços tant en la llosa de paviment com en els pilars per separat. És a dir, primer els calcularé en el tram comú i després en les bifurcacions.

6.2.3.1. Llosa paviment

La següent taula conté, com acabo d'explicar, tots els càlculs necessaris per obtenir els esforços en el tram comú amb el mateix procediment que els càlculs del tram 1.

De bigues Poseidón en necessitaré menys donat que la longitud és menor. Per saber aquest nombre de bigues dividiré la longitud total del tram entre la distància entre aquestes bigues.

$$116,7 / 20 = 5,835$$

Llavors posaré 5 Poseidón i, en conseqüència, 5 pilars.

BIGUES	Artemis	Poseidón
Cant de biga	1 m	1,30 m
Amplada inicial carretera	14,8 m	14,8 m
Separació màxima bigues (entre eixos)	0,2 m	20 m (mateixa dist dels pilars)
Num de bigues	7,4	5
Num de bigues reals	8	5
Amplada bigues	1,4 m	1,4 m
Amplada carretera amb x bigues	15,4 m	15,4 m
Pes material	1229 kg/m	1739 kg/m
Pes bigues (tram entre pilars)	196.640 kg	-
Distància tram	116,7 m	116,7m
Massa total bigues	1.147.394,4 kg	133.903 kg
Pes total	11.255.939,06 N	1.313.588,43 N

LLOSA	Pes material	Amplada	Llargada	Gruix	Massa	Força
Artemis	1.229 kg/m	15,4 m	20 m	1 m	1,147· 10 ⁶ kg	11,25 · 10 ⁶ N
Poseidón	1.739 kg/m	20 m	15,4 m	1,30 m	133.903 kg	1,313 · 10 ⁶ N
Formigó armat	2.500 kg/m ³	15,4 m	116,7 m	0,2 m	898.590 kg	12,21· 10 ⁶ N
Superfície bituminosa	2.250 kg/m ³	15,4 m	116,7 m	0,05 m	202.182,75 kg	2,748· 10 ⁶ N
Càrrega d'ús	(40 t/ 12m) · 4	-	116,7 m	-	1,556 · 10 ⁶ kg	21,15 · 10 ⁶ N
Total llosa de paviment	-	-	-	-	· 10 ⁶ kg	48,68 · 10 ⁶ N

En la següent taula mostraré tots els càlculs necessaris per obtenir els esforços en el tram de Santa Coloma a la C-58. Aquesta distància és de la distància total d'aquest tram (imatge 34) menys la distància del tram comú.

$$254,2 - 116,7 = 137,4 \text{ m.}$$

De bigues Poseidón en necessitaré menys donat que la longitud és menor. Per saber aquest número de bigues dividiré la longitud total del tram entre la distància entre aquestes bigues.

$$137,4 / 20 = 6,87$$

Llavors posaré 6 Poseidón i, en conseqüència, 6 pilars.

BIGUES	Àrtemis	Poseidón
Cant de biga	1 m	1,30 m
Amplada inicial carretera	7,4 m	7,4 m
Separació màxima bigues (entre eixos)	0,2 m	20 m (mateixa dist dels pilars)
Num de bigues	3,7	6
Num de bigues reals	4	6
Amplada bigues	1,4 m	1,4 m
Amplada carretera amb x bigues	7,4 m	7,4 m
Pes material	1229 kg/m	1739 kg/m
Pes bigues (tram entre pilars)	98.320 kg	-
Distància tram	137,4 m	137,4 m
Massa total bigues	675.458,4 kg	77.211,6 kg
Pes total	6.626.246,904 N	757.445,796 N

LLOSA	Pes material	Amplada	Llargada	Gruix	Massa	Força
Artemis	1.229 kg/m	7,4 m	20 m	1 m	675.458,4 kg	$6,626 \cdot 10^6$ N
Poseidón	1.739 kg/m	20 m	7,4 m	1,30 m	77.211,6 kg	$757,4 \cdot 10^3$ N
Formigó armat	2.500 kg/m ³	7,4 m	137,4 m	0,2 m	508.380 kg	$4,987 \cdot 10^6$ N
Superfície bituminosa	2.250 kg/m ³	7,4 m	137,4 m	0,05 m	114.385,5 kg	$1,122 \cdot 10^6$ N
Càrrega d'ús	(40 t/ 12m) · 2	-	137,4 m	-	916.000 kg	$8,99 \cdot 10^6$ N
Total llosa de paviment	-	-	-	-	$4,962 \cdot 10^6$ kg	$48,68 \cdot 10^6$ N

Per finalitzar calcularé tots els esforços en el tram de la C-58 a Santa Coloma. Aquesta distància és la distància total d'aquest tram (imatge 35) menys la distància del tram comú.

$295,97 - 116,7 = 179,27 \text{ m.}$

De bigues Poseidón en necessitaré menys donat que la longitud és menor. Per saber aquest numero de bigues dividiré la longitud total del tram entre la distància entre aquestes bigues.

$179,27 / 20 = 8,96$

Llavors posaré 8 Poseidón i, en conseqüència, 8 pilars.

BIGUES	Àrtemis	Poseidón
<i>Cant de biga</i>	1 m	1,30 m
<i>Amplada inicial carretera</i>	7,4 m	7,4 m
<i>Separació màxima bigues (entre eixos)</i>	0,2 m	20 m (mateixa dist dels pilars)
<i>Num de bigues</i>	3,7	8
<i>Num de bigues reals</i>	4	8
<i>Amplada bigues</i>	1,4 m	1,4 m
<i>Amplada carretera amb x bigues</i>	7,4 m	7,4 m
<i>Pes material</i>	1229 kg/m	1739 kg/m
<i>Pes bigues (tram entre pilars)</i>	98.320 kg	-
<i>Distància tram</i>	179,27 m	179,27 m
<i>Massa total bigues</i>	881.291,32 kg	102.948,8 kg
<i>Pes total</i>	8.645.467,85 N	1.009.927,73 N

LLOSA	Pes material	Amplada	Llargada	Gruix	Massa	Força
Artemis	1.229 kg/m	7,4 m	20 m	1 m	881.291,32 kg	$8,645 \cdot 10^6$ N
Poseidón	1.739 kg/m	20 m	7,4 m	1,30 m	102.948,8 kg	$1,009 \cdot 10^3$ N
Formigó armat	2.500 kg/m ³	7,4 m	179,27 m	0,2 m	663.299 kg	$6,5 \cdot 10^6$ N
Superfície bituminosa	2.250 kg/m ³	7,4 m	179,27 m	0,05 m	149.242,275 kg	$1,464 \cdot 10^6$ N
Càrrega d'ús	(40 t/ 12m) · 2	-	179,27 m	-	$1,195 \cdot 10^6$ kg	$11,72 \cdot 10^6$ N
Total llosa de paviment	-	-	-	-	$2,992 \cdot 10^6$ kg	$29,35 \cdot 10^6$ N

6.2.3.2 Pilars

Els pilars en aquest tram han de ser, òbviament, de la mateixa mida que en el primer tram. Ja que la distància entre pilars és la mateixa i el pes per m³ també és el mateix. L'únic que varia és el nombre de pilars que hi trobem, però la superfície d'aquests és la mateixa.

6.3. Plànols

Per poder entendre volumètricament el pont, i veure com quedaria la visió del mateix que tenia al meu cap, abans de fer la construcció de la maqueta, vaig realitzar l'estudi del 3D amb el programa Sketch-Up.

Aquest és un programa de disseny gràfic i modelatge tridimensional (3D) basat en la cara. S'utilitza per modelar entorns urbanístics, arquitectura o enginyeria civil entre d'altres.

Primer, per a més comoditat i facilitat a l'hora de treball, faré cadascun dels tres trams per separat i una vegada acabats, els ajuntaré,

En tots tres trams vaig seguir, més o menys, el mateix procediment. Vaig començar fent la base de la superfície bituminosa i després la de formigó armat. A continuació vaig crear una biga Artemis model per copiar-la i pegar-la tantes vegades com requereixi el pont, perquè així no hi hagués cap error de mesura i totes les bigues tinguin la mateixa mida tant d'amplada com llargada. Amb les Poseidón vaig seguir el mateix procés.

Un cop acabada la llosa de paviment, només quedaven els suports del pont. Pel primer i últim tram vaig fer els pilars amb les mides que havia calculat anteriorment i els vaig col·locar a sota de cada biga Poseidón. El segon tram va ser el més complex de tots: vaig haver de crear un arc. Aquest arc havia estat calculat amb secció circular però el programa que estava utilitzant no permetia fer arcs amb aquesta secció i ho vaig haver de fer amb una de quadrada. Després vaig fer els tirants i els vaig col·locar a sobre de cada biga Poseidón, per tal que fes el mateix treball que els pilars però en compressió.

Ara només em quedava repassar que tot estigués bé i acabar de fer alguns detalls com les línies discontinües de la carretera i acabar de pintar els elements. Per acabar, vaig fer la base del pont perquè es veiés el riu per on creua.

En el annex es presenten algunes imatges del 3D en estat original, a les quals es pot apreciar la complexitat de l'execució.

7. Construcció de la maqueta del pont

Un cop tinc el disseny clar, començo la realització de la reproducció a escala del pont i a continuació explicaré tot el que ha estat necessari per fer-ho.

7.1. Procés de construcció de la maqueta

7.1.1. Materials i eines

Els materials i eines utilitzats en el procés de construcció de la maqueta han estat els següents:

Materials:

- 7 Taulers de fusta contraxapat de 30 x 60 x 0,5cm
- Tauler contraxapat de 60 x 120 x 1cm
- 3 varetes galvanitzades de Ø 0,4 x 100cm
- Tub de coure de Ø1 x 150cm
- 2 Cartolines DIN A3 negra
- Cartolina DIN A3 grisa
- Pack Cilindres de silicona
- Feltre verd
- Impressió aigua de riu 40 x 10cm
- 750ml Pintura blanca
- 750ml Pintura negra
- Protoboard

Eines:

- Tisores
- Serra
- Serra caladora

- Llima
- Pistola de silicona calenta
- Impressora 3D – prusa mini
- Pinzells

7.1.2. Procés d'execució pas a pas

El primer pas ha estat escollir una escala adient per aquesta maqueta, però m'he trobat amb l'inconvenient que el pont és molt llarg però poc ample. Ja que mesura uns 650m aproximadament de llarg i només 15,4m d'ample. Llavors, si prenguéssim l'escala de 1/500, la longitud quedaria de 1,3 metres, una longitud raonable; però l'amplitud quedaria massa petita, d'uns 0,00308 metres. Per aquesta raó he decidit treballar amb dues escales, una per la longitud i una altre per l'amplitud.

L'escala escollida per la llargada és de 1/500 i la de l'amplada de 1/154. Així ens queda una maqueta de 1,3 metres de llarg i de 10 centímetres d'ample.

El segon pas ha estat fer tota la base on haurà de posar-se el pont. Per fer-la primer he dibuixat totes les mesures d'on han d'anar el riu, la gespa i tota la resta de parts, tant de vianants com de vehicles. Un cop posades totes les respectives mesures, he enganxat una impressió d'aigua de riu, simulant així l'aigua del riu Besòs pel que creua el pont, i als seus dos costats he posat feltre verd, per fer de gespa. Després d'enganxar la impressió de l'aigua i el feltre, m'he adonat que l'aigua quedava una mica fosca i no massa blava, així que amb retolador blau vaig pintar per sobre de la impressió i el resultat es el que es veu a la imatge 41.



Imatge 41. Riu i gespa de la base de la maqueta. Imatge extreta de: Font pròpia.

Aleshores, he continuat fent ja la part més "urbana" d'ambdós costats i per fer-ho primer he alçat aquest tram de base uns 5 cm, simulant les parets del riu, i a continuació he fet les dues rampes respectives. Aquestes les he fet en unes xapes de fusta. Les quals he tallat amb la serra caladora, tal i com es veu a la imatge, les he llimat i les he pintat de color gris més fosc. També he hagut de fer els costats d'aquestes rampes i



Imatge 42. Procés de serrar la fusta. Imatge extreta de: Font pròpia.

les parets del riu, que les he pintat del mateix to de gris. Cal afegir, que aquestes en la realitat no existeixen com a tal encara que sí que es veritat que en un costat, el tram 1, hi ha una rampa en la ciutat. En aquest tram, trobem la rampa de la carretera i al costat d'aquesta el Parc de Can Zam. En l'altre tram, el tram 3, no hi ha una rampa com a tal, sinó que hi trobem el Nus de la Trinitat, que és una complexitat de carreteres que es creuen entre si. Com aquestes estan



Imatge 43. Nus de la Trinitat. Imatge extreta de: nudo8uh.jpg (800x600) (bp.blogspot.com)

encreuades, unes per sobre i altres per sota, he decidit simplificar la maqueta fent una rampa, perquè degut a la complexitat del Nus de la Trinitat seria difícil dur a terme la maqueta i tampoc forma part del meu projecte. Cal tenir en compte que la carretera del meu pont ha d'anar en increment, igual que els pilars, per això la rampa.

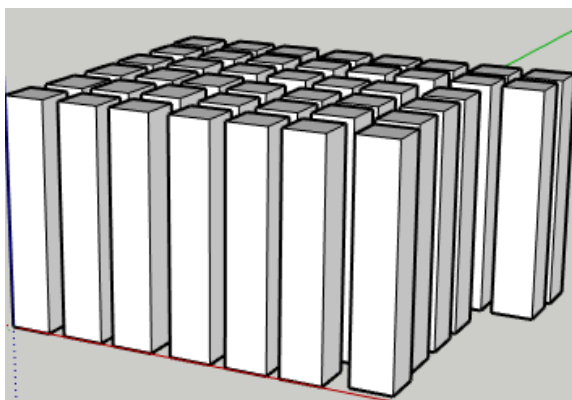
El tercer pas ha estat fer la llosa de paviment de la carretera, que l'he fet amb la separació per trams. El primer de tots de 40 cm de llarg per 10 d'ample, el segon de 38 cm i la mateixa amplada i per últim, les dues carreteres de l'últim tram corb de 50 cm i de 58 cm i amplada de 5 cm en ambdues carreteres. Llavors he tallat aquestes mesures en les xapes de fusta i les he pintat del mateix color que el formigó armat del que esta fet la carretera, és a dir, de color gris. A continuació, he enganxat a la part d'adalt una cartolina negra com si fos la superfície bituminosa, que és molt fina. En aquesta, he pintat les ratlles blanques de la

carretera de les diferents vies. En la imatge 44, es pot veure el resultat dels passos esmentats.

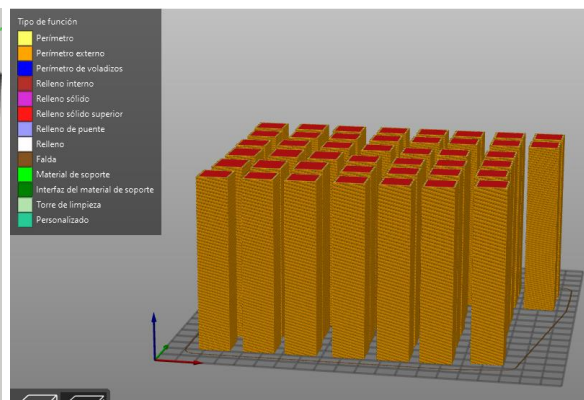


Imatge 44. Carreteres Trams 1 i 2. Imatge extreta de: Font pròpia.

El quart pas ha estat fer les bigues i les columnes del pont. Aquestes com són molt petites i han de tenir detall, he decidit fer-les amb la impressora 3D. Així que primer les he dissenyat a escala a part en l'Sketch-up, igual que tot el pont anteriorment, i després les he passat al programa de la impressora 3D de l'institut, prusa mini 8, per imprimir-les posteriorment. Que com es veu a la imatge, he hagut de posar-les totes cap a dalt i el més junt possible per a que càpiguen a la placa de la impressora 3D, ja que aquesta tarda bastant en imprimir i és important aprofitar el màxim espai possible.

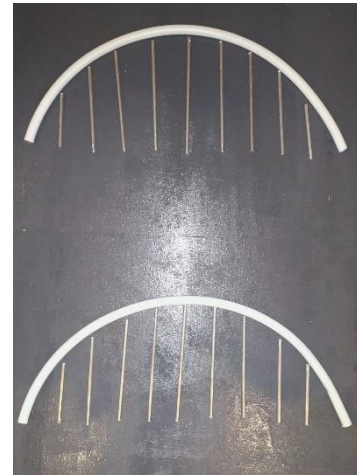


Imatge 45. Pilars per imprimir en Sketch-up. Imatge extreta de: Font pròpia.



Imatge 46. Pilars per imprimir en 3D. Imatge extreta de: Font pròpia.

El cinquè pas ha estat la construcció dels arcs de catenària i els respectius tirants. L'arc l'he fet amb un tub de coure de 10mm de diàmetre, el qual vaig tallar i pintar de blanc. També vaig haver de modelar, dins les meves possibilitats, el tub de coure amb una forma més similar a la del resultat de l'arc que es busca. Aquest procés l'he fet dues vegades ja que el pont consta de dos arcs. Després vaig enganxar els tirants, simulats per unes varetes galvanitzades. Aquestes prèviament les vaig haver de tallar amb les respectives mesures tal i com es veu a la imatge, on les vaig posar sense pegar-les amb els arcs ja pintats per veure com quedaria el resultat.



Imatge 47. Arc de catenària amb tirants. Imatge extreta de: Font pròpia.

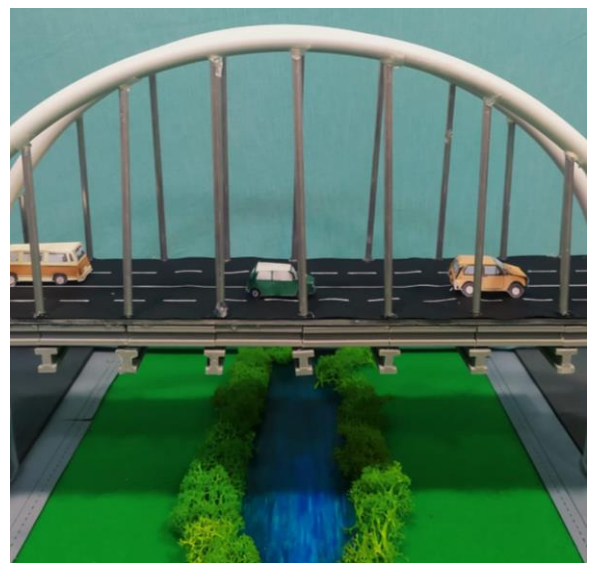


Imatge 48. Bigues Artemis impreses en 3D. Imatge extreta de: Font pròpia.

El sisè pas ha estat enganxar les bigues a la carretera amb les respectives distàncies, un cop tot imprès. Primer he enganxats les bigues Artemis a la base de la carretera i a sobre d'aquestes les Poseidón. També he enganxat els pilars i després tot el pont a la base feta posteriorment, com es pot veure a les imatges 49 i 50 del tram 2.



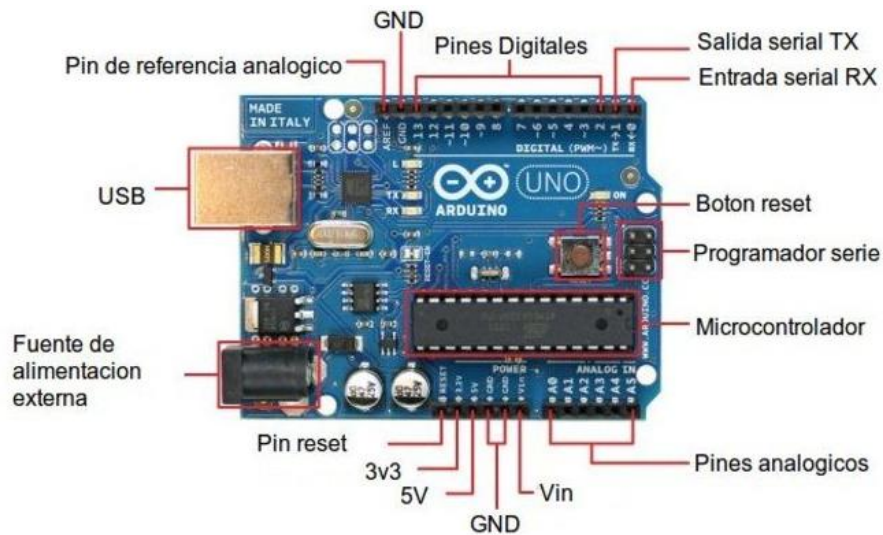
Imatge 49. Tram 2 amb arcs i bigues. Imatge extreta de: Font pròpia.



Imatge 50. Tram 2 ja acabat. Imatge extreta de: Font pròpia.

7.2. Il·luminació

Per últim, he decidit afegir il·luminació, a través de llums LED, perquè s'encengui quan estigui fosc, en la nit. El procés de programació d'aquests LED el faré mitjançant la Placa Arduino Uno. Aquesta consta de les següents parts fonamentals:



Imatge 51. Parts placa Arduino Uno. Imatge extreta de: [arduino-partes1.jpg \(830x415\) \(wp.com\)](#)

El port USB s'usa per connectar la placa Arduino amb l'ordinador i així ser programat. També és una forma per a que la placa estigui alimentada elèctricament i per fer-ho s'utilitza un cable USB, un cable de corrent o adaptador. Una mica més a baix, trobem la font d'alimentació externa, que és capaç de donar voltatge a la placa quan no esta connectada a l'ordinador. A la seva dreta, hi ha els pins d'energia que tenen sortides de 5V i 3.3V, així com pins de terres o GND (ground) i els pins analògics, que serveixen únicament com a entrades d'una variable analògica. També hi podem trobar els pins digitals que funcionen tant com sortides i entrades digitals com de sortides analògiques. Cal aclarir que un pin és un punt de connexió entre el microcontrolador i el seu entorn. Aquest microcontrolador és el nucli de la targeta, és on es processa tota la informació i s'executen les ordres. Per últim trobem el botó de reset. Aquest reinicia la nostra targeta per començar a córrer el programa novament.

Un cop clares les parts de la placa que utilitzaré i l'objectiu de la programació és hora de començar a programar i realitzar el procés d'il·luminació. Tota la

programació requerida l'adjunto a continuació i després em centraré en el muntatge.

7.2.1. Programació Arduino:

```
/**
 * Encendido nocturno
 */

void setup() {
  pinMode(3, OUTPUT); /*dar de alta los leds que vamos a utilizar*/
  pinMode(4, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
}

void loop() {
  if (analogRead(0) > 150) {
    digitalWrite(3, HIGH);
    digitalWrite(4, HIGH);
    digitalWrite(5, HIGH);
    digitalWrite(6, HIGH); /*enmcender los leds cuando sea de noche*/
    digitalWrite(7, HIGH);
    digitalWrite(8, HIGH);
  }
  else {
    digitalWrite(3, LOW);
    digitalWrite(4, LOW);
    digitalWrite(5, LOW);
    digitalWrite(6, LOW); /*apagar los leds cuando sea de dia o haya
luz*/
    digitalWrite(7, LOW);
    digitalWrite(8, LOW);
  }
}
```

7.2.2. Muntatge



Com hem pogut veure el muntatge de la il·luminació és molt senzill. Els components d'aquest muntatge són els que podem veure a la imatge 51, un sensor de llum i LED.

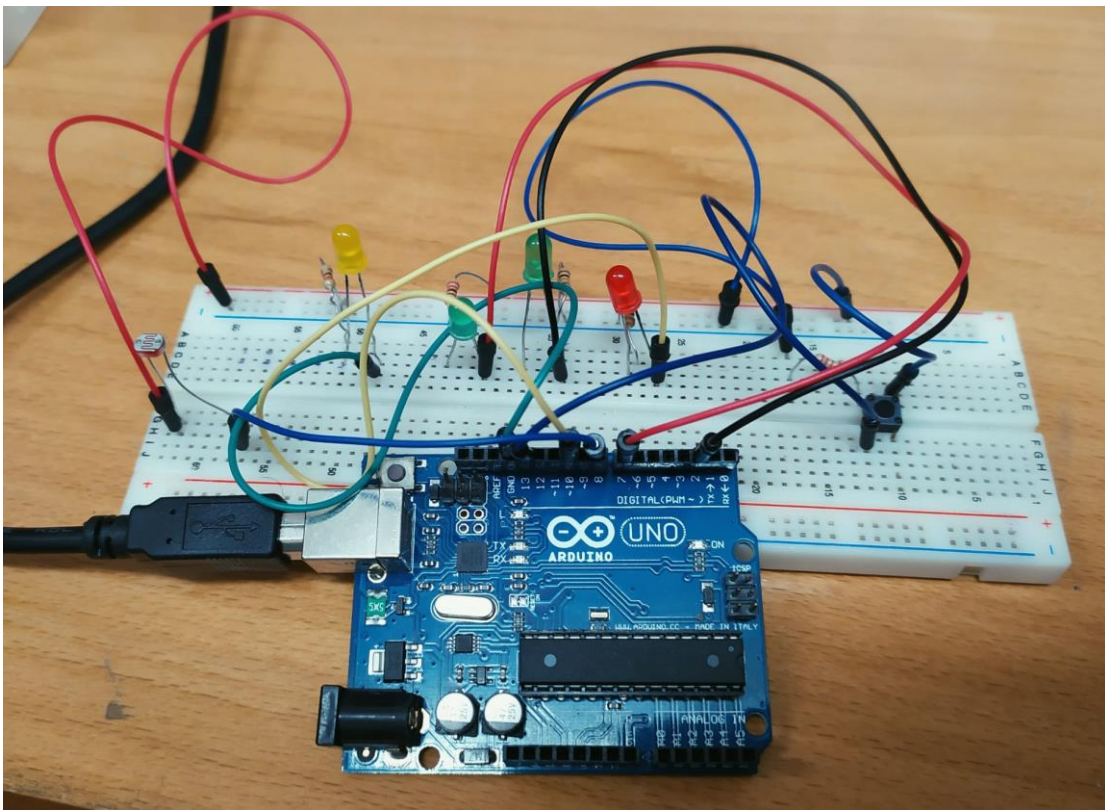
El primer pas ha estat connectar els LED a les sortides digitals de la placa, col·locant resistències també per

Imatge 52.

Components. Imatge extreta de: font pròpia

precaució. Després he connectat el sensor de llum a un altre pin digital i per últim he connectat un botó al GND, per encendre i apagar el circuit independentment del sensor de llum. Gràcies a aquest sensor ja connectat, quan hi hagi llum a l'ambient enviarà un senyal als LED perquè s'encenguin les llums i quan no hi hagi que s'apaguin, tal i com preteníem. Així quan sigui de nit o fosc els vehicles podran circular pel pont sense problemes de visió.

El resultat final del muntatge es el que es pot veure a la imatge 52 de manera simplificada, donat que en la maqueta tant els sensors com els LED estaran ubicats al pont.



Imatge 53. Muntatge simplificat il·luminació. Imatge extreta de: font pròpia

7.3. Pressupost

El pressupost final de l'execució de la maqueta, ascendeix al següent:

MATERIAL	Quantitat	Preu unitari	Preu final
<i>Tauler de fusta contraxapat petit</i>	8	2,69€	21,52€
<i>Tauler contraxapat gran</i>	1	11,29€	11,29€
<i>Vareta galvanitzada</i>	3	0,78€	2,34€
<i>Rotllo de coure</i>	1	4,95€	4,95€
<i>Cartolina DIN A3 negra</i>	2	0,80€	1,60€
<i>Cartolina DIN A3 grisa</i>	1	0,80€	0,80€
<i>Cilindres de silicona</i>	Pack (25uds.)	3,37€	3,37€
<i>Feltre verd</i>	1	0,85€	0,85€
<i>Impressió aigua de riu</i>	1	0,95€	0,95€
<i>750ml Pintura blanca</i>	1	1,80€	1,80€
<i>750ml Pintura negra</i>	1	1,80€	1,80€
<i>Placa Arduino</i>	1	20€	20€
<i>Leds</i>	Pack (100uds.)	3.18€	3.18€
<i>Placa Protoboard</i>	1	10€	10€
<i>Sensor de llum</i>	1	0,6€	0,6€
PREU TOTAL			85,05€

7. Conclusions

Un cop acabat aquest Treball de Recerca és el moment de comprovar si he pogut donar resposta a la hipòtesi inicial i a totes les preguntes plantejades arran d'aquesta.

Efectivament he trobat resposta a la meva hipòtesi inicial, la qual era si la meua ciutat, Santa Coloma de Gramenet, té la necessitat d'un pont més que la comunicui amb la ciutat de Barcelona. La resposta és que sí, ja que, com hem pogut veure en l'estudi urbanístic, els ponts de Santa Coloma es trobem saturats. El problema és que bastants vehicles utilitzen ponts amb comunicació directa a Barcelona amb la finalitat d'anar direcció Sabadell/Girona i no al centre. Aleshores, la millor opció es redirigir aquest trànsit en un nou pont i descongestionar així els ponts ja existents amb via directa a Barcelona. Així els vehicles que hagin d'agafar la C-58 no saturarien els ponts actuals, solucionant indirectament la comunicació de Santa Coloma amb Barcelona. També, gràcies al disseny d'aquest donaria a la ciutat un altre símbol característic i innovador a Santa Coloma de Gramenet.

Respecte a les qüestions que es plantejaven de la hipòtesi inicial he conclòs el següent:

1. Com han anat evolucionant els ponts al llarg de la història fins als actuals?

Els ponts al llarg de la història han tingut una gran evolució tant dels materials emprats, com de la forma escollida i la manera de fer-los. Gràcies a aquesta evolució avui dia som capaços de fer ponts molt llargs amb una quantitat de material mínima.

2. Quines són les necessitats de la ciutat per construir un pont nou?

El lloc més idoni per situar un nou pont a la ciutat de Santa Coloma de Gramenet és entre el pont de la B-20 i el de Can Peixauet degut a que són els ponts amb més tràfic de la ciutat, com hem vist a l'estudi urbanístic. Es requereix d'un pont prop d'aquests per descongestionar-los i facilitar la circulació.

3. On es podria situar el meu pont en Santa Coloma?

El més viable és situar aquest nou pont una mica per sobre del de la B-20 per descongestionar-lo, donat que és el més transitat de tots. Un altre factor que afavoreix aquesta elecció és la incompatibilitat de situar un pont bidireccional entre el de la B-20 i el de Potosí, ja que tots els carrers que trobem entre aquests que es puguin comunicar amb l'altre costat del riu són unidireccionals.

4. Per què és d'important tenir en compte els esforços que aquests suporten a l'hora de fer el seu disseny?

Perquè sinó podria ser que no aguantés el pes necessari, tant el seu propi com el que li apliquem, i termina trencant-se. Llavors és necessari calcular aquests esforços per assegurar que el pont que anem a dissenyar aguantí correctament tot allò que es requereix. Aquests esforços es suporten depenent del seu fonament arquitectònic del pont de diverses maneres, tant a tracció, a compressió o a flexió. Llavors segons la forma en què suporten els esforços podem classificar els ponts en ponts de biga, ponts d'arc, ponts d'armadura, ponts penjants...

5. Quin seria el material més adient per construir el pont?

Per a la construcció de ponts es podem utilitzar diferents materials, que responen a diferents necessitats. Aquests materials acostumen a ser: fusta, pedra o maó, acer i formigó armat. El tipus de material escollit pel meu pont ha estat el formigó armat, format de formigó i acer, donat que són estructures d'alta resistència als esforços, al vent, als tremolors i al clima. Un altre avantatge és que són de muntatge ràpid, ja que moltes vegades admeten elements prefabricats i tenen unes despeses de manteniment molt escasses. Tot i així el meu pont també compta amb acer en els tirants i l'arc, ja que el formigó no treballa tan bé en aquestes circumstàncies, a tracció en el cas dels tirants per exemple, i es requereix d'acer per complir-les.

6. Com ha de ser el disseny d'aquesta estructura?

El disseny dependrà del gust de la persona encarregada de construir el pont, de les necessitats que requereixi i del pressupost. En el meu cas he escollit fer un pont dividit en tres trams, ja que volia fer un pont penjant d'arc però en el primer i tercer tram resultava difícil per les característiques d'aquests. Llavors hi trobem dos trams de pont de bigues i el del mig, que és un pont penjant d'arc. He escollit el pont penjant per donar-li a la ciutat una perspectiva diferent, més divertida i estètica a la dels simples ponts de bigues que hi predominen. Així amb aquest disseny s'innovaria i crearíem un altre símbol de Santa Coloma, a més de ser pont funcional, que respon a les necessitats estructurals que demanem.

Per últim, durant tot aquest treball he après que darrere la construcció d'un pont hi ha gran treball, molt més difícil del que em pensava, ja que s'han de tenir en compte molts factors que, personalment, desconeixia. A més, he après a utilitzar millor el Sketch-Up a l'hora de fer la part pràctica del treball.

També he pogut dissenyar i construir una maqueta d'un pont, com la maqueta prèvia a la construcció d'un pont real. Ha estat una tasca difícil, però satisfactòria, i he estat capaç de demostrar com amb esforç i ajuda dels tutors de recerca, es pot arribar a aconseguir.

8. Agraïments

Primer de tot, vull agrair a la meva primera tutora de recerca, Dori Cañal, a la qual li agraeixo tot el temps invertit en ajudar-me i aconsellar-me en aquest treball i sobretot en l'apartat dels càlculs estructurals, ja que sense la seva ajuda no hagués estat possible dur-los a terme.

També agrair al Jaime Morcillo, segon tutor d'aquest treball de recerca, per ajudar-me sobretot en els aspectes pràctics del treball, tant en la maqueta, com amb l'Sketch-up i la il·luminació.

A la meva família, que sempre han estat presents en qualsevol moment que els he necessitat, ajudant-me en tot el que ha estat al seu abast i donant-me recolzament incondicional. En especial als meus pares, Miguel i Maite, i al meu germà, Pol, per ajudar-me en certs aspectes tècnics i pràctics del treball.

I finalment, als meus amics, per donar-me ànims i aconsellar-me en tot allò que sabien i ajudar-me a l'hora de fer l'estudi urbanístic; sobretot, a la Joanna Muñoz, per facilitar-me la seva tauleta a l'hora de fer la majoria dels dibuixos requerits en el treball, per facilitar la compressió d'aquest, ja que em resultava més fàcil fer-los amb tauleta que amb l'ordinador.

Moltes gràcies a tots!

9. Webgrafia

- Puente (en línia). Califòrnia: Wikipedia, 29 de maig de 2020 (Consultat: 11 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://es.wikipedia.org/wiki/Puente> >
- Puentes Que Son Tipos y Construcción - Tecnologia (en línia). Toronto: Area Tecnologia, 24 de novembre de 2015 (Consultat: 11 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://www.areatecnologia.com/puentes.htm> >
- Meyin, Evelyn. ¿Que fuerza ejercen en un puente? (en línia). Seattle: Prezi, 14 de gener de 2016 (Consultat: 11 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://prezi.com/qlca--wlqv-i/que-fuerza-ejercen-en-un-puente/> >
- Los puentes de madera (en línia). Antioquia: Forestal Maderero, 29 de gener de 2020 (Consultat: 11 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/los-puentes-de-madera.html> >
- PUENTES DE MADERA (en línia). Madrid: Cscae, 27 de gener de 2020 (Consultat: 11 de juny de 2020). Disponible a:
< http://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/actividades/act_paginas/libro/45%20Puentes.pdf >
- Puentes de Madera (en línia). Espanya: Dupi Prefabricats, 4 de març de 2020 (Consultat: 11 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://www.dupiprefabricats.com/puentes-de-madera> >
- Landín, Pedro. Salvando obstáculos: Tipos de puente (en línia). California: Blogspot, 26 de febrer de 2013 (Consultat: 11 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://pelandintecno.blogspot.com/2013/02/salvando-obstaculos-tipos-de- puente.html> >
- Tipos de puentes que existen y sus características (en línia). Veracruz: Ccocoa, 26 de gener de 2018 (Consultat: 12 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://ccocoa.com/tiposdepuentes-que-existen-y-sus-caracteristicas/> >

- Tipos de puentes que existen y sus características (en línea). Nacimiento: Ccocoa, 10 d'agost de 2018 (Consultat: 12 de juny de 2020). Disponible a:
< https://www.clasificacionde.org/tipos-de-puentes/Puente_de_madera >
- Puente de hormigón armado (en línea). Califòrnia: Wikipedia, 9 de setembre de 2019 (Consultat: 12 de juny de 2020). Disponible a:
< https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_de_hormigón_armado >
- Los puentes clasificación (en línea). Los Angeles: Thales.cica, 23 de març de 2016 (Consultat: 12 de juny de 2020). Disponible a:
< https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0053-02/contenido/9_clasificacion_puentes.htm >
- Tipos de puentes (en línea). Denver: 10tipos, 16 de juliol de 2019 (Consultat: 12 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://10tipos.com/tipos-de-puentes/> >
- Tipos de puentes segon su arquitectura, los materiales usados y su uso (en línea). Manacor: Cinco noticias, 10 de juny de 2020 (Consultat: 12 de juny de 2020). Disponible a:
< https://www.cinconoticias.com/tipos-de-puentes/#Tipos_de_puente_segun_los_materiales_utilizados >
- Estructuras De Puentes (en línea). California: Blogspot, 18 de juny de 2015 (Consultat: 12 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://puentesgrande.blogspot.com/2015/06/estructuras-de-puentes.html> >
- Diferentes tipus de puentes (en línea). Tarragona: Diferentes tipos, 25 de juny de 2019 (Consultat: 12 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://diferentestipos.com/diferentes-tipos-puentes/> >
- ¿Qué es un puente de armadura? (en línea). Illinois: Prucomercialre, 1 de juliol de 2019 (Consultat: 12 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://www.prucomercialre.com/que-es-un-puente-de-armadura/> >
- Puentes de armadura (en línea). França: oocities, 14 de maig de 2020 (Consultat: 12 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://www.oocities.org/jescud2000/lospuentes/pontsstructs.htm> >

- Tipos de puentes (en línia). Francisco Morazan: Ingenieria real, 27 de març de 2019 (Consultat: 12 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://ingenieriareal.com/tipos-de-puentes/> >
- Puente en ménsula (en línia). Califòrnia: Wikipedia, 15 de abril de 2020 (Consultat: 18 de juny de 2020). Disponible a:
< https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_en_ménsula >
- Río Besós puente Santa Coloma (en línia). Madrid: Verpueblos.com, 22 de maig de 2015 (Consultat: 27 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://www.verpueblos.com/cataluna/barcelona/santa+coloma+de+gramenet/foto/1090660/> >
- Puente de Can Peixaiuet (en línia). Califòrnia: Wikipedia, 10 de gener de 2015 (Consultat: 27 de juny de 2020). Disponible a:
< https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_de_Can_Peixaiuet >
- Catenaria (en línia). Califòrnia: Wikipedia, 1 de maig de 2015 (Consultat: 28 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://es.wikipedia.org/wiki/Catenaria> >
- Simple suspension bridge (en línia). Califòrnia: Wikipedia, 20 de març de 2020 (Consultat: 30 de juny de 2020). Disponible a:
< https://en.wikipedia.org/wiki/Simple_suspension_bridge >
- Puente en Suspension (en línia). Londres: Arqhys, 4 de abril de 2020 (Consultat: 30 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://www.arqhys.com/construccion/suspension-puente.html> >
- Simple (Primitive) suspension bridges (en línia). Alemanya: Structurae, 13 d'octubre de 2020 (Consultat: 30 de juny de 2020). Disponible a:
< <https://structurae.net/en/structures/bridges/simple-primitive-suspension-bridges> >
- PASSERA DEL MOLINET sobre el riu Besòs (en línia). Califòrnia: Blogspot, 12 de desembre de 2011 (Consultat: 27 de juliol de 2020). Disponible a:
< <https://barcelofilia.blogspot.com/2011/12/passera-del-molinet-sobre-el-riu-besos.html?m=1> >
- Google Earth (en línia). Califòrnia: Google, 9 de setembre de 2019 (Consultat: 10 d'agost de 2020). Disponible a:

- < <https://earth.google.com/web/search/santa+coloma+de+gramenet/@41.4534932,2.20510645,21.21809429a,8711.74067422d,35y,0h,0t,0r/data=CiqiJgokCVL7z2aGwURAEUawNTKFrkRAGZ65SVgKcANAlcxm-DoLgBA> >
- Juntas de dilatación para puentes con elastómero armado (en línea). España: Cymper, 20 de febrer de 2020 (Consultat: 3 de setembre de 2020). Disponible a:

< <https://www.cymper.com/blog/juntas-de-dilatacion-para-puentes-con-elastomero-armado/> >
 - Las juntas de puentes (en línea). California: Monografias, 19 de juny de 2020 (Consultat: 3 de setembre de 2020). Disponible a:

< <https://www.monografias.com/trabajos5/juntas/juntas.shtml> >
 - Calculo estructural de un Puente (en línea). California: Blogspot, 29 de juliol de 2020 (Consultat: 22 de setembre de 2020). Disponible a:

< <https://calculodepuente.blogspot.com/2010/11/los-puentes.html> >
 - Benedicto Lucena, Miriam. Calculo del tablero de un Puente de vigas prefabricadas para uso carretero (en línea). Llinars: bitstream, 17 de setembre de 2016 (Consultat: 22 de setembre de 2020). Disponible a:

< http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/3582/1/TFG_Benedicto_Lucena_Miriam.pdf >
 - Tablas de pesos específicos y densidades de materiales (en línea). España: Ingemecanica, 29 de juliol de 2020 (Consultat: 22 de setembre de 2020). Disponible a:

< <https://ingemecanica.com/tutoriales/pesos.html#materiales> >
 - Jiménez, Miguel. Predimensionar estructuras (en línea). Buenos Aires: Spectra. Calculistas estructurales, 16 de maig de 2020 (Consultat: 22 de setembre de 2020). Disponible a:

< [Predimensionar Estructuras Hormigón Armado - Sencilla Regla - Spectra \(calculistaestructural.com\)](https://www.spectra.com.ar/estructuras/predimensionar-estructuras-hormigon-armado-sencilla-regla) >
 - Gallagher, Jorge. Estructuras isoestáticas (en línea). Cuitat de Mèxic: Taringa, 17 de juliol de 2012 (Consultat: 24 de setembre de 2020). Disponible a:

< https://www.taringa.net/+ciencia_educacion/estructuras-isostaticas >

- Estudio y aplicación de la catenaria (en línea). Chile: Casiopea, 21 de gener de 2012 (Consultat: 12 d'octubre de 2020). Disponible a:
< https://wiki.ead.pucv.cl/ESTUDIO_Y_APLICACION_DE_LA_CATENARIA >
- Construcción de puentes (en línea). Califòrnia: Wikimedia, 23 d'abril de 2019 (Consultat: 13 d'octubre de 2020). Disponible a:
< https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2d/Shima_Pearl_bridge01.jpg/220px-Shima_Pearl_bridge01.jpg >

Annex

1. Plànols