



DIAGNOSI SOBRE LES LESIONS OBSERVADES EN EL CONJUNT DE MURS DE LA ZONA NORD-EST DE LES MINES DE BELLMUNT DEL PRIORAT

INTRODUCCIÓ

- Antecedents
- Descripció del conjunt
- Descripció bàsica de les lesions observades

MÈTODE UTILITZAT EN LA INVESTIGACIÓ SOBRE LES SEVES CAUSES

LESIONS AL MUR A I AL MUR L

- Ruptura de la clau de l'arc.
- Trencaments parts superior dreta.
- Representació gràfica de les possibles línies de esforços.
- Altres lesions

LESIONS AL MUR C

- MC. Tram 2. Observació de la cara nord.
- MC. Tram 3. Observació de la cara nord i de la cara sud.
- Hipòtesi conjunta per lesions del mur MC, tram 2 i tram 3
- Anàlisi en planta

NOVA HIPÒTESI EXPLICATIVA PER AL CONJUNT DE LESIONS

- Comprovació mitjançant les seves conseqüències.
- Representació gràfica del fet

HIPÒTESI COMPLEMENTÀRIA SOBRE LA FRACTURA DE L'ARC

HIPÒTESI DEFINITIVA

PROPOSTA DEFINITIVA DE REFORÇ PREVENTIU

ANA BELÉN ONECHA PÉREZ, DRA. ARQUITECTA

INTRODUCCIÓ

Antecedents

A petició del senyor Jordi Segura, Cap de la Secció de Conservació i Millora del Patrimoni de la Generalitat de Catalunya, el dia 12 maig 2016 es va procedir a efectuar una visita a les Mines de Bellmunt amb l'objectiu d'examinar un conjunt de lesions que afecten a alguns dels murs per tal de valorar la seva possible perillositat en relació amb la seguretat estructural del conjunt, i, segons aquesta valoració, proposar algun sistema de reforç o de prevenció.

El dia 19 del mateix mes, l'equip redactor va procedir de nou a fer una altra visita d'observació. El present document exposa les diferents fases del procés segons el qual a partir de Les esmentades observacions i mitjançant les hipòtesis explicatives oportunes, s'arriba a les conclusions sobre les causes de les lesions i, en conseqüència, a una proposta del procediment de reforç o prevenció.

Descripció del conjunt

Si bé la petició d'estudi s'ha centrat en els murs en els quals s'observen unes lesions molt manifestes, el desenvolupament de tots els exàmens realitzats ha permès concloure que és convenient, per comprendre l'etiologia de les lesions, ampliar l'àmbit d'estudi a edifici immediatament adjacent. Aquest conjunt se situa a l'extrem nord-est del conjunt de les edificacions.



Fig. 1 (Google Maps)



Fig. 2 (id.)

Del conjunt global marcat en la primera figura, es veuen afectats els murs que queden marcats en la segona figura mitjançant unes denominacions particulars per tal de facilitar la seva ubicació i el seu grau de participació en el fenomen observat.

El mur denominat MA és el que conté l'arc objecte principal d'estudi. Els dos paral·lels situats a la part inferior de la imatge denominats, MT1 i MT2, és a dir, mur transversal 1 i mur transversal 2 tenen una participació merament passiva, però important. El mur situat perpendicularment a ells s'anomena MC pel fet que actua com a mur de contenció de les terres situades a la cara nord, del que es consideren tres trams, l'1 el 2 i el 3 que tenen comportaments diferents. El mur paral·lel inferior s'anomena ML per ser un mur lateral i al seu torn també d'ell es consideren dos trams el 1 y el 2.

Per completar la nomenclatura s'ha denominat a les diferents cares dels murs segons la seva orientació Nord o Sud, sent nord les que s'orienten a NE o NO i les sud les de SE o SO

Descripció bàsica de les lesions observades

Mur A vist des del Nord

Ruptura de la clau de l'arc. Fotografies 1 i 2.

Trencaments diverses a la zona de l'extrem superior dret. La fissura inclinada a 45 °, i el trencament gairebé en vertical de l'extrem superior del mur. F3 i F4

Altres trencaments F5 i F6

Mur C 2

Vist des del Nord. Ruptura sobre el brancal esquerra de la finestra situada a la part superior del mur tal com es veu des del terreny superior F7 i esquerra a 45º

Mur C 3. Fissures en el seu tram esquerre. Cara nord: vertical a la intersecció amb la façana perpendicular.F9. Cara sud: fissura a 45º que sorgeix de la cantonada superior del buit. F10.

MÈTODE UTILITZAT EN LA INVESTIGACIÓ SOBRE LES SEVES CAUSES

Es basa en l'aplicació dels següents passos

- 1) reconeixement dels fets,
- 2) formulació d'hipòtesis explicatives del fet
- 3) previsió de conseqüències comprovables de les possibles hipòtesis
- 4) observació en el lloc de la presència real d'aquestes conseqüències
- 5) comparació del que s'observa amb el previst. Si coincideix, s'accepta la hipòtesi; si no, es torna procedir de nou al recorregut dels cinc passos, a partir d'una nova hipòtesi explicativa.

Tot això no és més que l'adaptació del mètode científic a la diagnosi de les lesions en construccions d'obra de fàbrica.

En el cas de fissures o esquerdes, el reconeixement dels fets es basa en les següents variables geomètriques que concorren en elles, que s'han d'analitzar des de dos punts de vista, un de molt proper sobre l'esquerda i un altre més llunyà que la situï en el conjunt del parament o del edifici. La visió propera ha de determinar, a partir de l'observació de les vores de l'obertura, diverses qüestions: si són paral·leles, si són convergents a la part superior o a la part inferior, etc. i en tots els casos de quin moviment relatiu dels dos costats són conseqüència.

L'observació de la ubicació relativa de les diferents formes coincidents (mascle-famella) de les dues vores ens indicarà si és una translació en horitzontal o en vertical o alguna cosa intermedi, o és un gir amb el seu centre en el punt d'intersecció de les vores.

El resultat d'aquest reconeixement dels fets, ens portarà a determinar una primera hipòtesi i d'ella a seguir amb el mètode exposat.

LESIONS AL MUR A I MUR L

Ruptura de la clau de l'arc del MA

La primera hipòtesi a considerar en general sobre el trencament de la clau d'un arc és que hi ha un moviment de deformació d'allunyament dels estreps respecte de l'eix de l'arc. Si aquesta és la causa, la fissura ha de ser forçosament de menor amplada en la part superior i de major amplada a la part inferior, és a dir, la clau de l'arc ha d'estar tancada dalt i oberta a baix.

En principi, en el nostre cas no és així. L'observació de la cara nord, de l'intradós de l'arc i la cara sud, permet comprovar que les vores de la fissura són paral·lels i fins i tot es pot afirmar que la vora inferior de l'esquerra ha baixat respecte de la dreta. F11 i F12.

La segona conseqüència immediata de la hipòtesi és que l'arc en els seus ronyons s'ha de trencar de manera contrari a l'anterior, F13, queda obert dalt i tancat a baix, tampoc es compleix en el mateix arc que no té cap senyal de lesió F14.

Amb posterioritat a la realització de la foto 14, es va fer la cala al mateix ronyó de l'arc per tal de esbrinar la seva fàbrica. A les F15 i F16 es comprova un cop més que no en té cap lesió sinó que la seva fàbrica és d'una alta qualitat.

Trencaments parts superior dreta del MA

Tant la fissura inclinada a 45 °, com la gran esquerra que afecta la part superior del mur, que en realitat la segona està clarament relacionada amb la primera, F17 i F18, les seves vores indiquen un moviment de translació horitzontal que a mesura que va ascendint s'eixampla, de manera que marquen un desplaçament relatiu en horitzontal que no pot ser altre que el que desplaça a la dreta, vist des de la cara nord, tant el mateix mur a com el mur perpendicular ML el qual queda en conseqüència desplomat.

Trencament del ML

Aquest mur en el seu origen estava travat amb el mur MT1, i el trencament vertical d'una amplitud considerable li i que ha estat fa pocs temps rejuntada, F19 i F20 (fotos no originals), tot indica que és conseqüència que aquesta trava és magnífica i no ha permès la seva ruptura amb la qual cosa aquesta s'ha produït en el propi mur ML.

Representació gràfica de les possibles línies de esforços.

Un altre possible mètode de comprovació en el cas d'un arc és l'estudi del seu estat d'equilibri segons els principis de l'anàlisi límit.

Aquesta és l'operació que es mostra en la figura 3. Es comprova que en els dos estreps la resultant discorre pel seu interior. Sens dubte, el de l'esquerra queda afavorit per la presència del mur MC, però el de la dreta es suficient.

Les dades numèriques sobre el procés queden exposades en l'annex 1.

És una dada més que ens porta a descartar, de moment, la hipòtesi en aquest desequilibri de l'arc.

La qual cosa ens porta a proposar noves hipòtesis explicatives. Per a això és imprescindible ampliar la zona d'observació al mur MC, tant en la seva cara nord com en la seva cara sud.

Altres lesions

L'observació de les lesions que afecten la part superior del mur A, veure F7, permet considerar la possibilitat d'una lleu relació amb els fets que es consideren rellevants. Sens dubte, el seu estudi permetria afegir algunes conclusions però s'ha considerat que seria ampliar d'una manera no justificada el present informe. No passa el mateix amb la fissura indicada a la F6, de la qual es donen algunes indicacions més endavant.

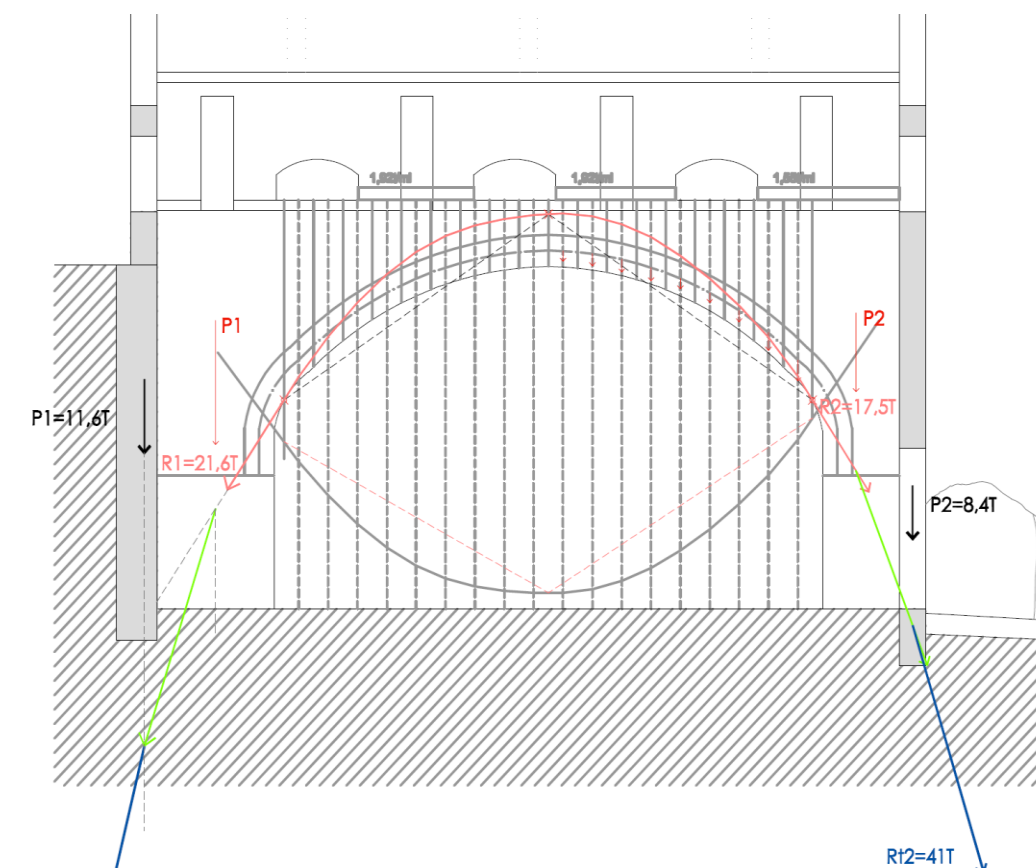


Figura 3

LESIONS EN MC

MC. Tram 2. Observació de la cara nord.

Trencament de la part superior de la finestra situada al tram 2. F21 i F22

A l'esquerra del trencament tenim un parament amb enllaça amb el tram 3 de la part superior del mur MC, és a dir, la façana de l'edifici contigu. A la dreta del trencament, es comprova que la vora es desplaça cap al sud allunyant-se de l'observador.

I aquest trencament suggereix una nova hipòtesi, que indica que el conjunt del mur MC tram 2 a la dreta de la finestra (vist des del nord) s'ha desplomat. La recerca d'indicis que corroboren aquesta hipòtesi es posposa a completar l'estudi de totes les lesions del mur MC.

MC. Tram 3. Observació de la cara nord i de la cara sud.

Fissura vertical. Recorre en tota la seva alçada la unió o intersecció amb el mur MT 2 i no és observable des de la cara sud. F.

Fissura inclinada a 45 ° a partir de la intersecció entre brançal i arc de la finestra. Des de la cara nord és molt fina F .. i des de la cara sud té major amplitud. F ..

Fissura en l'eix de la cara sud. F ..

Aquest conjunt de fissures pot considerar congruent amb un cert enfonsament del tram 3 del mur MC, la causa només pot ser l'empenta del terreny, caiguda que queda impedit pels murs MT1 i MT2 que actuen com potentíssims contraforts en contra d'aquesta empenta. El mur MC tram 3 es deforma en el seu tram lliure de contraforts, caiguda que pot considerar-se la possibilitat que no sigui més gran com a conseqüència que la presa se situa en el seu centre està envoltada d'una bona massa de formigó.

Hipòtesi conjunta per lesions del mur MC, tram 2 i tram 3

El conjunt de lesions que afecten els dos trams semblen corroborar que són conseqüència de l'empenta del terreny sobre el mur MC. Els murs MT1 i MT 2, actuen com a contrafort. No obstant això, els trencaments en 45 ° que afecta les dues finestres són molt diferents. La del tram 3 és congruent amb un gir cap a l'interior de la part central només superior del mur, però la del tram 2 és congruent clarament amb una caiguda total del tram de la dreta, que és el que està precisament en relació amb el mur MA també perpendicular al MC. La qual cosa a una nova possibilitat a considerar com a nova hipòtesi explicativa que el mur MA no s'hagi comportat tan rígidament com els MT com a conseqüència, precisament, pel forat de l'arc. Tot això, pot observar-se amb més facilitat analitzant la planta del conjunt.

Anàlisi en planta

Analitzant la planta d'aquest conjunt d'edificis s'observa el següent: el mur MC de contenció està actuant com a tal en relació amb totes les terres que hi ha a la part nord. Els anomenats MT1 i MT2, en relació amb aquesta empenta de terres, actuen com uns potentíssims contraforts que no es deformen en el seu pla però no poden evitar la deformació dels trams del mur MC compresos entre el MT.

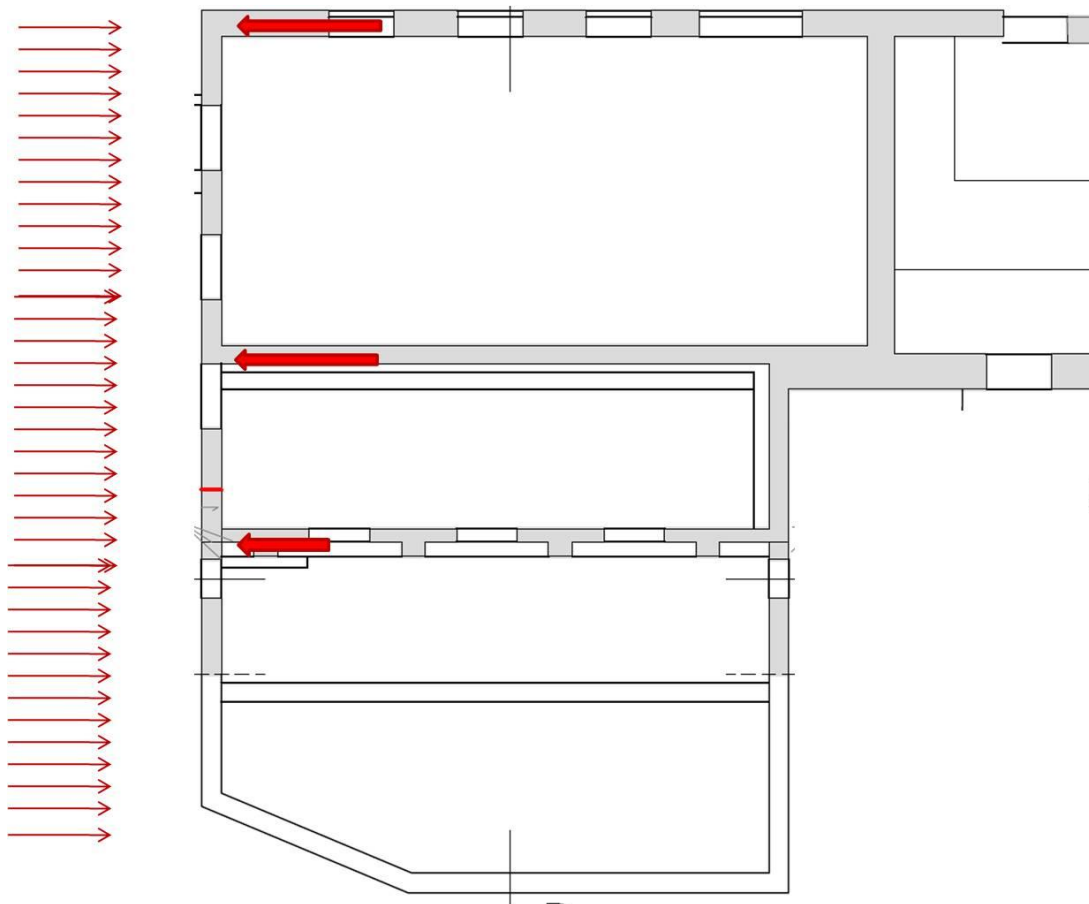


Figura 4

I aquí és quan es produeix la major paradoxa de tot el que analitza. El mur de l'arc MA en planta tenen la mateixa situació que els MT1 MT2, però per tenir precisament buidada la seva part inferior pel forat de l'arc, no pot tenir en absolut la mateixa rigidesa que els murs MT1 i MT2.

NOVA HIPÒTESI EXPLICATIVA PER AL CONJUNT DE LESIONS

La nova hipòtesi es pot formular dient que la causa de totes les lesions observades és l'empenta del terreny contra el mur MC que pot ser contrarestat, amb més o menys dificultat segons la rigidesa dels murs situats perpendicularment, totalment pels murs MT1 i MT2 per la seva pràcticament indeformabilitat i només parcialment pel mur MA més deformable pel buit creat per l'arc.

Comprovació mitjançant les seves conseqüències. Una primera comprovació de conseqüències d'aquesta hipòtesi queda aparentment confirmada tant per desplom que apunta la ruptura de la part superior del mur MC la caiguda ja citat del mur ML i les postures congruents amb tot això de la part superior del mur que MA.

Ara bé, tot indica que cal aprofundir més en la comprensió del fet descrit.

Per això sembla raonable tornar al ja citat procediment de l'anàlisi límit.

Representació gràfica del fet

Mitjançant les figures 5, 6 i 7 es completa l'indicat a la figura 3, és a dir, el fet en què es basa la nova hipòtesi: l'empenta del terreny sobre el mur MC. Les dades numèriques corresponents es presenten en l'annex 2.

A la figura 5 s'afegeix l'empenta del terreny, a partir de dades suposades sobre la seva composició ja que no existeix cap informe geotècnic al respecte. Es comprova que el mur MC seria totalment inestable sense els murs de contraresto MT1 MT2 i també MA, la qual cosa també permet corroborar que és bastant reformable en aquells trams que no existeixen aquests murs semblants a contraforts.

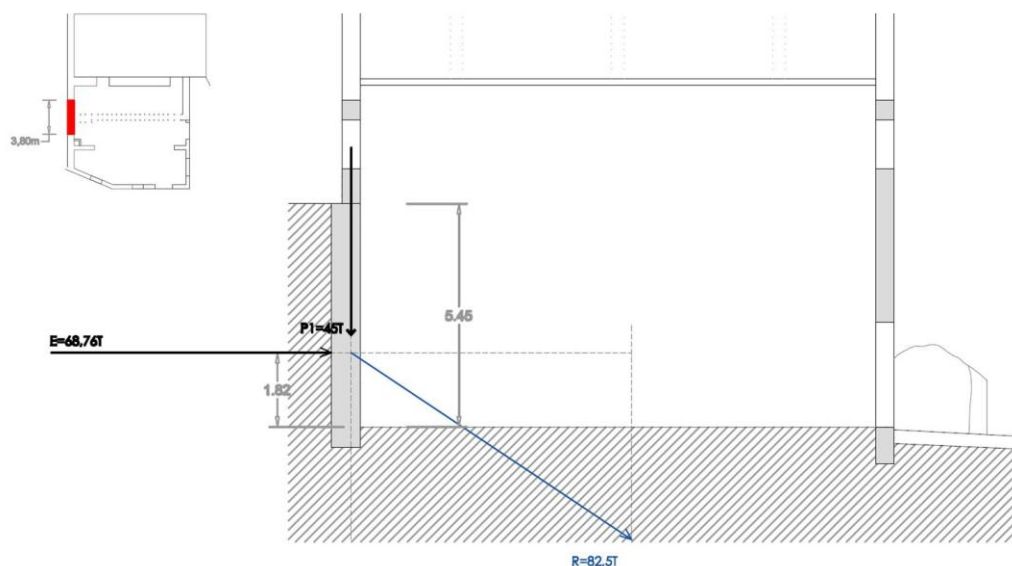


Figura 5

És convenient ara apuntar que, malgrat la seva rigidesa, no existiria l'equilibri si els murs MT1, MT2 i MA no poguessin aportar una reacció equivalent a l'empenta i donada la configuració general aquesta reacció només pot venir de l'ancoratge al terreny i sempre que aquest sigui el seu torn prou rígid per proporcionar aquesta reacció.

Per a explicar-ho fàcilment, es pot imaginar el mur amb tot el seu tamany i el seu informalitat recolzat sobre recolzaments lliscants; sota l'empenta del terreny es desplaçaria en el seu propi

pla i el mur de contenció insuficient per si mateix es desplomaria. Òbviament, a més la reacció del terreny ve reforçada pel pes del propi mur.

En la figura 6 es combina amb el comportament de l'arc i en la figura 7 s'analitzen quines són les conseqüències finals en el conjunt i sobretot quin és el fet que permet l'equilibri de tot el conjunt i pot explicar el comportament que es tracta d' comprendre.

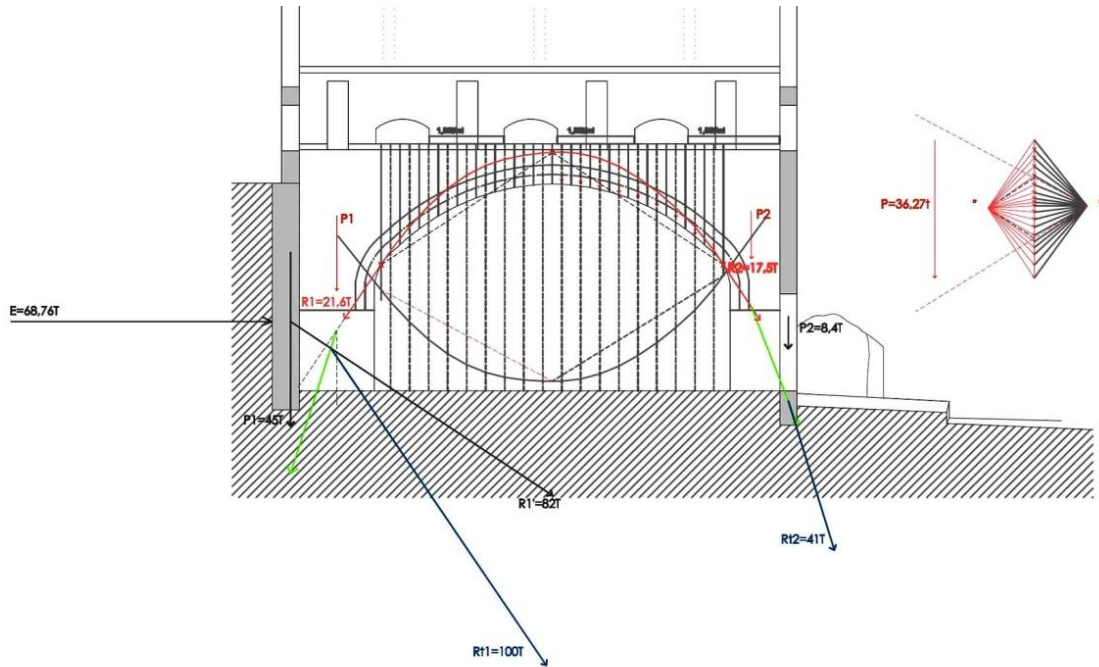


Figura 6

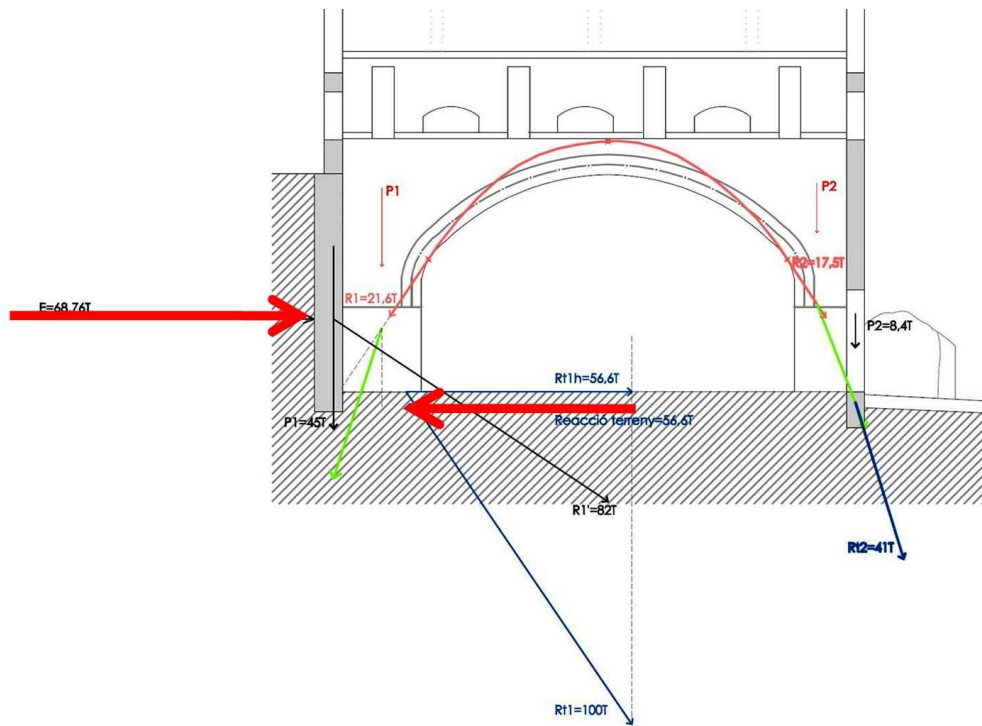


Figura 7

De la mateixa manera que s'ha exposat anteriorment sobre la reacció imprescindible del terreny, veiem que la clau de l'equilibri també està en la reacció que en principi ha d'aportar el tram d'estrep esquerre encastat al terreny. És raonable suposar que l'empenta del propi arc també participa en aquest contrarrest però és una participació petita, l'important és la reacció del terreny. En definitiva, el tram del mur que actua com estrep de l'arc està sotmès a un esforç tallant produït la reacció del terreny i per empenta del mur de contenció i tot indica que no és prou rígid per contrarestar tot sense deformar-se i traslladar-lo tot el conjunt del arc.

Per acabar de comprendre el fenomen sembla convenient explicar el comportament que tenen els murs realment rígids a aquest efecte.

En el gràfic 8, s'exposa la seva actuació mitjançant també una simple anàlisi límit. Suposat dividit el mur en diverses franges verticals s'entén el tipus de tensions que es produeixen al seu interior. Suposant que cadascuna d'aquestes franges no estiguessin unides entre si i relacionades mitjançant una superfície lliscant es produiria una falla del tipus que es doni en el següent gràfic. Perquè no es produeixi aquest fet ha d'existir una reacció per esforç tallant en cadascuna de les superfícies. I si la resistència a l'esforç tallant és menor es poden fracturar verticalment després d'haver fet un petit gir.

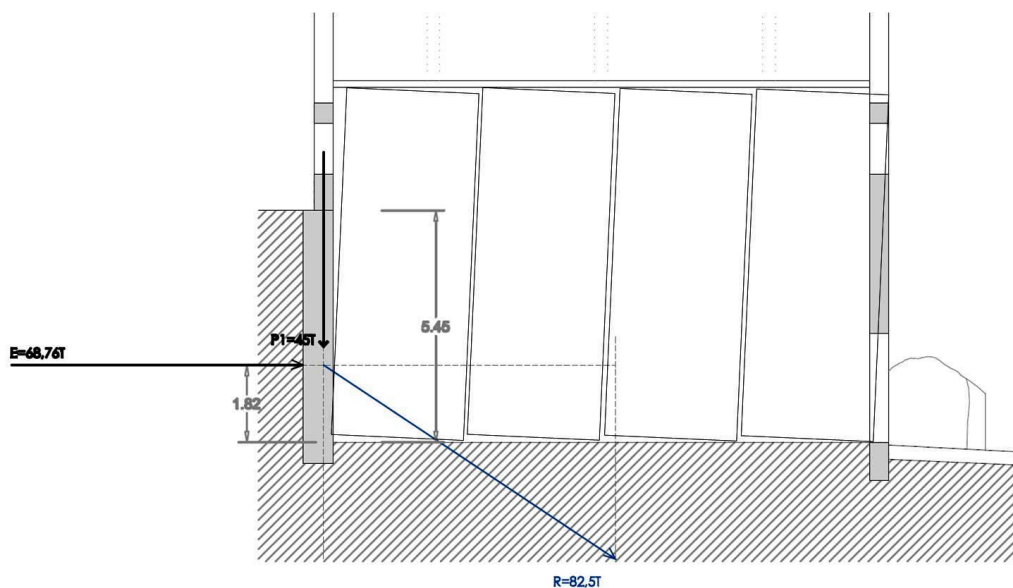


Figura 8

NOVA HIPÒTESI EXPLICATIVA SOBRE LA FRACTURA DE L'ARC

Doncs bé, aquests el que ha passat amb el mur MA i el seu arc; la fractura vertical a la clau és conseqüència d'aquest esforç tallant degut a que les dues meitats de l'arc, dreta i esquerra, han sofert un petit gir relatiu del tipus de les exposades anteriorment.

Aquesta nova hipòtesi es pot comprovar mitjançant l'observació molt atenta del tipus de fractura: el seu costat esquerre, (mirant des del nord), està una mica més baixa que el costat dret i les vores són totalment paral·lels, és una ruptura per esforç tallant.

A més, tot això també pot explicar una lesió a la qual fins ara no s'ha fet referència, la qual afecta a l'estrep dret de l'arc: arrenca a una alçada mitjana i amb un angle de 45º descendeix

eixamplant fins arribar al sòcol el qual al final es trenca en vertical. L'anàlisi proper de la fissura permet veure més que el moviment és de descens i desplaçament cap a la part esquerra.

Una explicació congruent amb el que s'ha dit anteriorment és la següent: la part superior del mur situada per sobre de l'arc, a causa de la rigidesa d'aquest, és la que es trasllada cap a la dreta i produeix al seu torn el desplom del mur ML. Ara bé, aquesta fissura també porta a suposar que el tram del lliurament de l'estrep situat a l'esquerra de la mateixa està prou ancorat al terreny com per no desplaçar-se a la dreta.

El punt marcat amb la lletra **a** es manté fix. El punt **b** es desplaça just l'amplada de la fissura juntament amb el tot conjunt superior i produeix el desplom del mur ML i les fractures de la part superior del MA. F31 i F32. I la figura 9

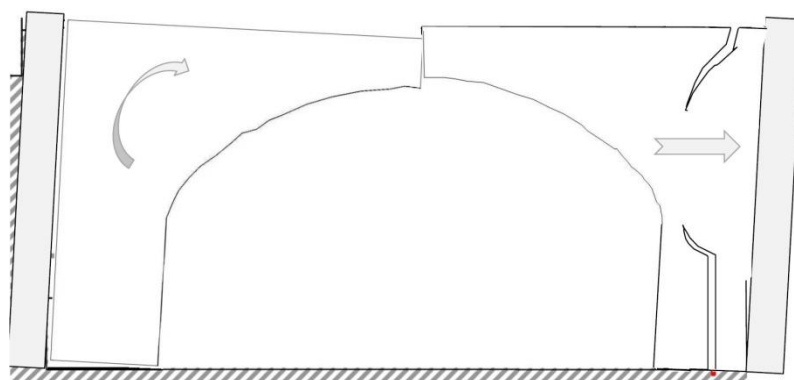


Figura 9

HIPÒTESI DEFINITIVA SOBRE LA CAUSA BÀSICA

A la vista de tot l'indicat, i ara ja d'una manera simplificada, es pot afirmar que la hipòtesi més raonable és que, com a conseqüència de l'empenta de les terres, es deforma el mur MC en el seu tram 3, i també es deforma el mur que MA com a conseqüència de la seva minva de rigidesa en el seu pla per estar buidatge a la zona inferior per la bolcada de l'arc. Aquesta deformació es transmet també a la seva zona de la dreta i també origina la caiguda i posterior ruptura del mur ML.

És convenient apuntar que vistes les fotografies de la configuració constructiva i de suport de terres que ja es donava en els anys 20 l'efecte de l'empenta d'aquestes s'està produint des de fa molts anys i ha anat deformant lentament el mur MA.

Aquesta és, en definitiva, la hipòtesi de les causes que es defensa en aquesta diagnosi i que dóna lloc a la proposta de reforç preventiu que s'exposa línies endavant i el qual només té com a objectiu pal·liar el possible efecte que pugui seguir produint-se en els anys esdevenidors com a conseqüència d'aquesta persistència possible de l'empenta del terreny i possible deformació per fluència del mur del mur MA.

PROPOSTA DEFINITIVA DE REFORÇ PREVENTIU

Com és ben sabut, la millor manera de solucionar qualsevol trastorn que es concretin lesions i deformacions d'una obra de fàbrica, més que actuar en les conseqüències, per exemple, rigiditzar mitjançant pròtesis que poden desvirtuar el sentit arquitectònic del conjunt, passa

per actuar directament, si és possible, sobre les causes. A la vista de tot el que s'ha dit la causa real és l'empenta del terreny situat al costat nord del mur MC.

Sens dubte, la millor opció, si és possible i no té efectes secundaris negatius en el conjunt de l'edificació, és buidar aquest terreny, pot ser no en la totalitat amb de l'alçada del mur sinó només en la meitat superior, o una altre opció que calia estudiar més a fons un cop conegut el caràcter geotècnic del terreny

Una altra solució és evitar d'una manera directa aquesta empenta ancorant el mur de contenció al terreny situat més enllà de la porció de terreny que està suportant.

Considerant el seu procés de realització i les seves dificultats tècniques, la primera és relativament senzilla, òbviament requereix un estudi detallat que passa amb el del sistema de desguàs dels murs laterals que al desmunt, etc.

La segona requereix d'una maquinària i uns operaris amb un mitjà-elevat grau d'especialització, tot i que, no obstant això, si l'elecció es fa per una empresa solvent, no planteja greus problemes.

Altres solucions basades en rigiditzar l'arc mitjançant pròtesis o també situar contraforts adossats a la cara Sud del mur MC, presenta la dificultat de la seva complexitat i major cost que poden afectar els valors patrimonials del conjunt.

L'elecció ja queda i fora dels criteris que es poden deduir de tot el que s'ha exposat en aquest informe i passa a ser responsabilitat del propietari o gestor del conjunt de l'edificació.



1



2



3



4



5



6



7



8



9



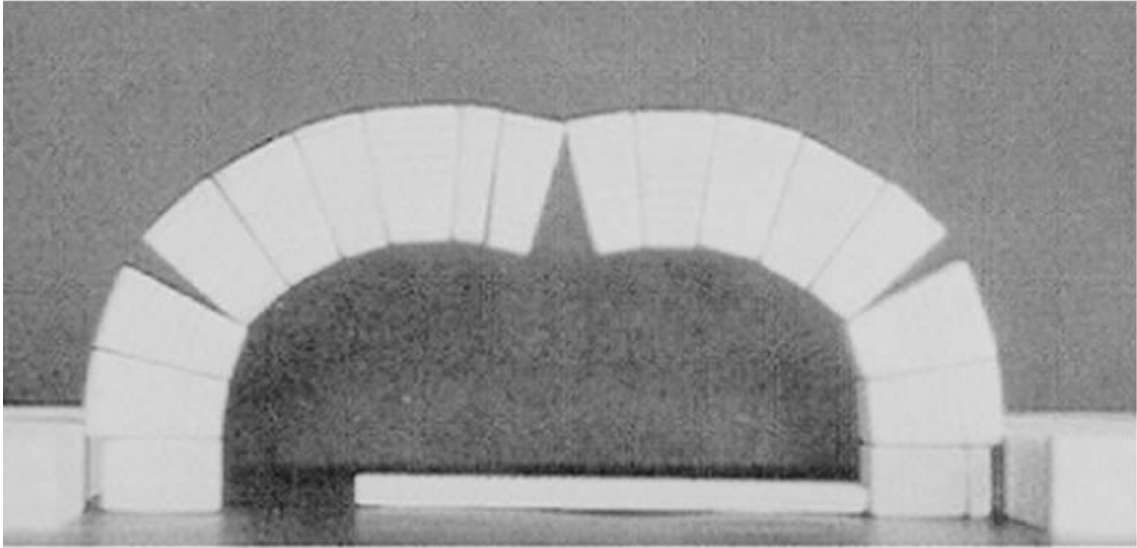
10



11



12



13



14



15



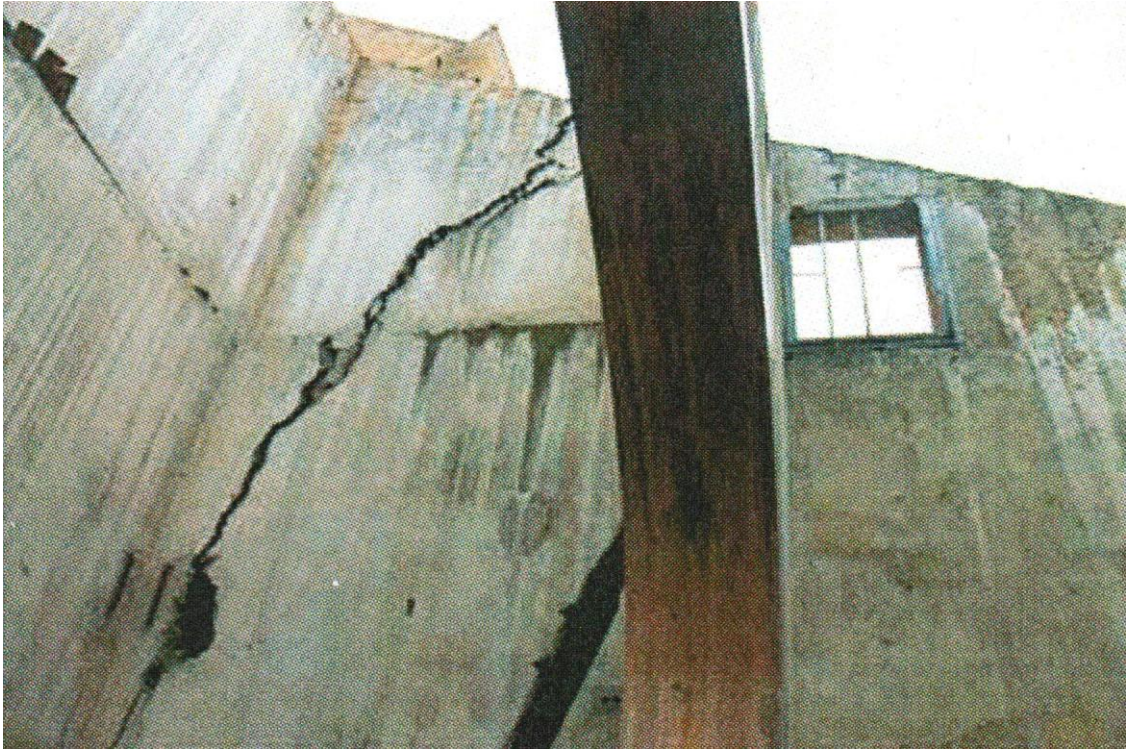
16



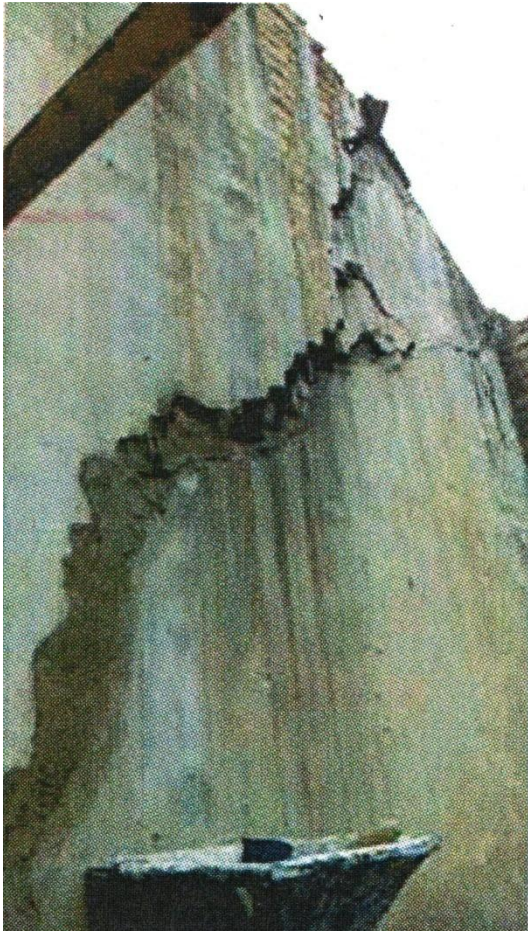
17



18



19



20



21



22



23



24



25



26



27



28



29



30



31



32