

## **Capítol 7: Conclusions i perspectives futures**

### **7.1 Conclusions**

#### Metodologia

Els mètodes computacionals utilitzats han demostrat ser una eina vàlida per l'anàlisi d'aquest tipus de construccions, ja que s'ha reproduït el seu comportament de forma satisfactòria.

La principal limitació dels mètodes computacionals per l'estudi d'obres de fàbrica és la suposició que fan sobre la continuïtat del medi, donat que no podem representar les separacions de les juntes i el seu lliscament. No obstant, els models basats en formulacions no lineals s'aproximen satisfactòriament a la realitat.

Una limitació important és que només es preveu correctament els efectes directes i instantanis que produeix una sol·licitació. No es poden simular les deformacions i els danys que es produeixen a llarg termini. Per tant, no es poden considerar fenòmens com la fluència, l'acumulació de petits sismes, la fatiga del material, els efectes tèrmics o ambientals com la humitat o la presència de vegetació. Com el minaret té segles de vida, aquests fenòmens a llarg termini, que no han pogut ser considerats en l'estudi, tenen un pes importantíssim en l'estat actual de deformacions i danys.

Donat que els mètodes de càlcul realitzats en la present tesina són estàtics, poden ser del tot no concloents, donat que caldria fer un anàlisi dinàmic en el domini del temps.

La falta d'informació i la complexitat de la geometria han provocat que s'adoptessin certes simplificacions en la construcció del model. Un dels punts crítics ha estat el modelat de les escales, ja que s'han considerat com a plans que permeten dotar d'un cert grau d'unió el nucli i la part exterior.

#### Estudi modal

Les característiques materials de les escales ha estat un dels elements que més ha influït en el comportament, a nivell d'anàlisi modal, del minaret. En un primer moment es pensava que no tindrien una incidència significativa, però el seu anàlisi fa pensar tot el contrari.

Un punt destacable és que el minaret té una freqüència fonamental baixa. Això explicaria, en certa manera, que no hagi col·lapsat degut a la sèrie de sismes que ha sofert. Aquest motiu quedaria justificat si els sismes típics de la zona consistirien en freqüències més elevades que la fonamental.

### Ajust i resultats del model

Mitjançant la identificació dinàmica ha estat possible identificar els mòduls del model. S'ha determinat que les escales tenen una rigidesa superior als del nucli intern i la part externa del model. Aquesta elevada rigidesa pot ser deguda a que les escales i bigues que lliguen el nucli intern i la part exterior són pedres monolítiques, també a que l'escala és helicoidal, amb més rigidesa que els plans generats en el model.

El mòdul que presenten el nucli intern i la part exterior del model resulten valors habituals per aquest tipus de materials. D'altra banda les diferències que presenten cadascun dels nivells són petites tot i que indiquen que la part intermitja presenta un mòdul més petit i la part inferior és la que presenta un valor més elevat.

### Estudi sota pes propi

El pes propi provoca un estat de tensions elevat, donat que les tensions de compressió assoleixen el 30% de la tensió de trencament. Les deformacions assoleixen valors conseqüents amb la seva alçada.

Les tensions de tracció que s'obtenen en el càlcul elàstic es concentren en les zones de les escales, ja que el nucli intern i l'extern experimenten deformacions de magnitud diferent. Aquest fet potser no s'ajusta a la realitat donat que les escales no resten perfectament solidàries a les parets de l'estructura.

### Estudi d'una sol·licitació sísmica

S'ha realitzat un estudi aproximat on s'ha aplicat una força estàtica horitzontal equivalent ponderada per la massa.

Els resultats de l'anàlisi no lineal indiquen que el minaret seria capaç de resistir un espectre amb un període de retorn de 975 anys. Aquest resultat sembla ser lògic donat que aquesta construcció ha sofert diversos grans sismes al llarg de la seva història i no ha sofert grans danys estructurals.

D'altra banda s'ha de considerar que al sotmetre el Qutb a l'espectre adoptat, es produeix una fissuració dels materials que provoca la pèrdua de capacitat si no es repara adequadament. En una següent sol·licitació que arribi a un estat no lineal la capacitat resultant seria inferior a la calculada en aquest estudi. En conseqüència, el minaret s'aniria debilitant estructuralment, fent necessari un seguiment d'aquesta construcció.

## **7.2 Perspectives futures**

Aquest estudi pot servir com a punt de partida d'un anàlisi més detallat del minaret Qutb. En aquest sentit es proposa una llista dels aspectes que es poden millorar en estudis futurs:

- Considerar una geometria més real de la disposició de les escales i les bigues que lliguen el nucli amb la part externa.
- Considerar les obertures i balcons existents per tal d'estudiar les seccions crítiques en cas de sisme.
- Obtindre una millor informació sobre les característiques dels materials i dels danys existents en tot l'edifici.
- Realitzar un anàlisi dinàmic no lineal temporal i determinar zones de trencament, possibilitant reforçaments de l'estructura.