

## **Treball final de màster**

**Estudi: Màster en Enginyeria Industrial**

**Títol: ANÀLISI DINÀMICA DELS TIRANTS DELS EDIFICIS DEL SECTOR C  
CAMPUS EMPRESARIAL DE TELEFÓNICA DE MADRID**

**Document:** Resum

**Alumne:** Antoni Clarés Garcia

**Tutor:** Dr. Miquel Llorens Sulivera

**Departament:** Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

**Àrea:** Mecànica de Medis Continus i Teoria de les Estructures

**Convocatòria:** Juny/2020

El document es centra en una adquisició experimental dinàmica fet sobre els tirants estructurals dels edificis de la ciutat de les comunicacions, la seu central a Madrid de Telefónica. Un campus format per 12 edificis d'oficines ubicats en un solar de 170000 m<sup>2</sup> situat al costat de la M40.

El campus va ser projectat per l'estudi d'arquitectura de Rafael de la Hoz, on destaquen les façanes de vidre i la part en voladís dels edificis d'oficines. La part en voladís és subjectada per un sistema de tirants, que va de la coberta fins al sostre de la planta baixa. L'accés a la part vista dels tirants només és possible des de la planta de coberta.

La direcció facultativa de l'obra, volia establir un mètode de seguiment dels tirants que formen la part en voladís dels edificis, aquests són els edificis d'oficines *Norte-2, Norte-3, Sur-2, Sur-3, Este-2, Este-3, Oeste-2 i Oeste-3*, anomenats així segons la seva situació geogràfica en els punts cardinals. Aquest requeriment va quedar redactat en el llibre de l'edifici, on s'especifica que cada 5 anys l'estructura ha de ser revisada.

La proposta que va convèncer més va ser una auscultació periòdica dels tirants mitjançant l'anàlisi modal. L'auscultació consisteix en fer una adquisició dinàmica per tots 48 tirants del campus utilitzant acceleròmetres adherits directament sobre la superfície del tirant.

Per tant l'objectiu d'aquest estudi és fer un seguiment dels tirants, comprovar si aquests es degraden i si es dona el cas, identificar la causa del problema.

Des de la planta de coberta s'accedeix als tirants dels diferents edificis. Utilitzant un martell d'impacte s'introdueix una senyal vibratòria a mode d'excitació pels diversos tirants, les vibracions són recollides per acceleròmetres uniaxials i la informació és processada per un equip d'adquisició d'altres freqüències connectat a un ordinador portàtil.

Utilitzant aquesta configuració, el sistema d'adquisició extreu les quatre freqüències naturals dels tirants i en el post procés els corresponents modes de vibració. Principalment amb l'ús d'aquestes propietats es pot caracteritzar el seu comportament i veure si hi ha algun comportament anòmal.

Una primera adquisició dinàmica va ser feta l'any 2011, amb aquestes dades es farà per primera vegada per aquesta estructura, una comparativa històrica amb els resultats obtinguts en l'adquisició de l'any 2020.

En el principi del document de la memòria es fa una breu introducció a la dinàmica i la seva adquisició. També hi ha una cerca bibliogràfica dels diversos mètodes publicats que fan referència a la identificació del dany utilitzant dades extremes de la dinàmica.

Seguidament es mostren els resultats de l'adquisició 2020, en un primer cop d'ull es pot veure en aportacions gràfiques, que hi ha una sèrie de tirants que han sofert variacions sensibles respecte els resultats obtinguts en l'any 2011.

Per comprovar aquests resultats es recorre a un anàlisi estadístic bàsic, utilitzant diagrames de caixes i bigotis és visualment fàcil de veure quins tirants són els que donen valors fora de rang. Utilitzant un mètode de correlació entre freqüències naturals, es pot tenir una primera idea sobre quina és la causa d'aquestes dades anòmales.

La correlació entre la segona i primera freqüència natural mostra els tirants que prèviament s'havia vist que eren problemàtics fora de la línia de tendència, on destaca el tirant 11 amb les dades de l'adquisició 2011 i l'evolució d'aquest amb els resultats del 2020.

En diversos estudis s'ha demostrat que aquesta correlació amb freqüències més pròximes a la freqüència fonamental, estan molt vinculades a les condicions de contorn. Obtenir un resultat pròxim a 2.75 amb la relació entre la freqüència 2 i la freqüència 1, mostra unes condicions amb graus de llibertat del tipus lliure-lliure.

Els últims apartats volen demostrar si l'evolució en les freqüències dels tirants està vinculat amb les condicions de contorn o és degut a un increment de la càrrega axial, fet que també podria provocar un increment de les freqüències. Per portar a terme aquesta comprovació s'utilitza un programa d'elements finits.

És molt important ajustar el model numèric amb les dades de l'adquisició experimental.

Primer es vol simular un tirant amb un comportament mig, utilitzant un anàlisi modal, s'ajusten les condicions de contorn, les càrregues i l'esmoreïment. Es comprova que s'obtenen unes freqüències similars a les de l'adquisició i es mira l'ordre dels modes de vibració vinculats a cada freqüència natural.

Una vegada ajustat el model, s'intenten obtenir les dades del tirant 11 introduint factors com l'esmoreïment de l'adquisició experimental, vist que aquest ajust no és suficient es fa un càlcul paramètric augmentant la càrrega axial fins a un estat semblant a les dades del tirant 11 per l'adquisició del 2020. Es comprova que aquest increment no és factible que hagi estat la causa de l'augment de les freqüències, per tant es descarta i es formula una altra hipòtesis.

Utilitzant condicions de molla en els extrems del tirant, incrementant la rigidesa de la molla utilitzant un càlcul paramètric, es pot arribar a un estat ajustat a les dades del 2020. Comprovant que l'augment de la rigidesa en les connexions, es tradueix en una restricció del gir en els extrems i comporta un increment del valor de les freqüències naturals.

En les conclusions es menciona tot el procediment que s'ha portat a terme en el document, els mètodes teòrics que han donat peu a fer les comprovacions amb el model d'elements finits, com s'han descartat les diferents hipòtesis formulades fins arribar a una conclusió més factible que pot explicar els resultats de les adquisicions. Bàsicament hi ha dues possibles causes que podrien explicar aquest fet, un increment de la càrrega axial i un canvi de les condicions de contorn. En els apartats teòrics del document ja apuntaven que la causa podria ser deguda a una variació de les condicions de contorn. Utilitzant el model d'elements finits juntament amb la formulació teòrica extreta de la literatura, per a la seva comprovació, es descarta que la causa sigui un augment de la càrrega axial.

Es raona que amb un increment de la càrrega axial equivalent per modificar les freqüències del tirant 11, no és possible sense modificar el comportament dels tirants adjacents, ja que tots estan units per una placa rígida formada pel forjat. L'increment de la càrrega axial necessària per a causar un augment de la freqüència fonamental observada, hauria d'haver afectat els altres elements estructurals de l'edifici.

La causa més plausible a la variació del comportament del tirant 11, resulta ser la modificació de les condicions de contorn. Els valors de la rigidesa necessària per modificar la resposta en la freqüència dels tirants, són compatibles amb situacions reals de les connexions del sistema de tirants.

Finalment s'aporten uns suggeriments finals que fan referència a la inspecció visual in situ de les connexions dels tirants i fer una adquisició monitoritzada contínua durant un any, per veure la progressió en el temps d'aquests elements estructurals i comprovar si la degradació té relació amb altres condicions com podrien ser les ambientals.

Es fa menció d'una nova línia d'estudi, ja que amb la bibliografia consultada s'ha pogut veure que un mètode no utilitzat per la identificació del dany és utilitzar els coeficients  $\alpha$  i  $\beta$  relacionats amb l'esmoreïment, fer una comparació dels valors d'aquests coeficients per tots 48 tirants per veure si és possible identificar un resultat destacable pels tirants amb un comportament anòmal.