

## Treball final de màster

**Estudi:** Màster en Enginyeria Industrial

**Títol:** Disseny i càlcul d'una estructura paramètrica, tecnologies BIM

**Document:** Resum

**Alumne:** Pau Duran Carrera

**Tutor:** Enric Simon Madrenas

**Departament:** Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial (EMCI)

**Àrea:** Mecànica dels Medis Continus i Teoria d'Estructures (MMCTE)

**Convocatòria:** juny 2022

## 1 Proposta

En aquest projecte s'ha proposat el modelatge paramètric d'una graderia per albergar esdeveniments esportius, culturals o de qualsevol que requereixi de públic.

Actualment el sector de la construcció està avançant cap al modelatge BIM.

El BIM (Building Information Modeling) és una filosofia de treball que pretén centralitzar en un sol model 3D tota la feina referent a la modelització i construcció d'estructures que fins ara s'ha fet de manera coordinativa entre diferents actors mitjançant plànols 2D. Aplicant aquesta tecnologia s'aconsegueix una reducció de costos i de temps, principalment millorant la detecció d'errors quan el seu cost encara és mínim. Augmenta la productivitat, eficiència i rendiment del sector. El concepte principal que defineix el BIM és el fet de "Modelar amb Informació".

A més, existeix la modalitat de disseny paramètric. Mitjançant el programari adequat es pot crear un algoritme que permet modelar una estructura de manera parametritzada. D'aquesta manera, introduint distàncies, dimensions o propietats dels elements es genera un model 3D automàticament. Aquesta metodologia és una manera molt ràpida de modelar una estructura adaptada a cada situació partint d'un estàndard generat a través d'un treball previ de creació de l'algoritme.

## 2 Introducció

Es tracta d'un projecte explicatiu del procés d'elaboració d'un algoritme que modela i calcula una estructura metàl·lica. Concretament, s'ha modelat una graderia pensada per suportar el trànsit del públic en diversos esdeveniments.

El procés d'elaboració i definició del model paramètric queda recollit en les pàgines d'aquest projecte. S'han explicat els passos seguits i les possibles complicacions que poden sorgir a l'hora de treballar amb estructures paramètriques. Gràcies al programari adequat, s'ha obtingut el model i càlcul simultanis d'una estructura sobre la qual es poden modificar les seves mides i càrregues aplicades mitjançant diversos paràmetres d'entrada al procés.

### 2.1 Objectius del projecte

L'objecte d'aquest procés consisteix en l'elaboració d'un algoritme que s'encarregui de modelar una estructura paramètrica. Vol ser un mètode de modelatge i càlcul d'estructures paramètric que ajudi a obtenir, de la manera més ràpida i eficient possible, una estructura que compleixi amb les sol·licitacions del peticionari a partir de certs paràmetres de disseny.

### 2.2 Abast del projecte

L'abast del treball realitzat compren la recerca, formació i instrucció necessària per utilitzar el programari adequat, l'elaboració de l'algoritme que permeti modelar i calcular l'estructura desitjada i obtenir una solució efectiva i real per solucionar el problema plantejat. No es tracta d'un projecte constructiu i per tant, no es presenten documents detallats de la solució elaborada per explicar el procés.

## 3 Procés de disseny

S'ha elaborat un disseny d'estructura metàl·lica mitjançant la programació d'un algoritme que tracta la informació d'entrada de tal manera que a la seva sortida esdevé en un disseny

estructural calculat. Per començar a elaborar un algoritme des de zero cal tenir una idea prèvia dels elements a dissenyar i de les variables a parametritzar. És per aquest motiu que per assolir l'objectiu, s'ha començat per un disseny preliminar base d'una estructura estàndard. A partir d'aquest disseny base s'han decidit les variables a parametritzar i els elements que formen el conjunt de l'estructura.

### 3.1 Disseny base

Aquest disseny base s'ha elaborat amb el programari de càlcul d'estructures Diamonds. La idea inicial és la de dissenyar una estructura metàl·lica inclinada que permeti un angle de visió adequat per l'espectador. Aquest públic transitarà sobre unes plaques alveolars de formigó prefabricat recolzades sobre els perfils metàl·lics seleccionats.

S'ha pensat en una estructura de dos nivells de circulació del públic, un de superior i l'altre d'inferior. Entre aquestes dues zones s'ha establert la part inclinada anomenada grada. Aquesta zona central, és on s'hi establiran els seients i el públic podrà gaudir dels esdeveniments. També s'ha incorporat un tercer nivell, no transitable, a la part posterior de l'estructura pensant en una implementació de coberta futura. D'aquesta manera, l'estructura que dona nom al disseny bàsic és la mostrada a la figura 1.

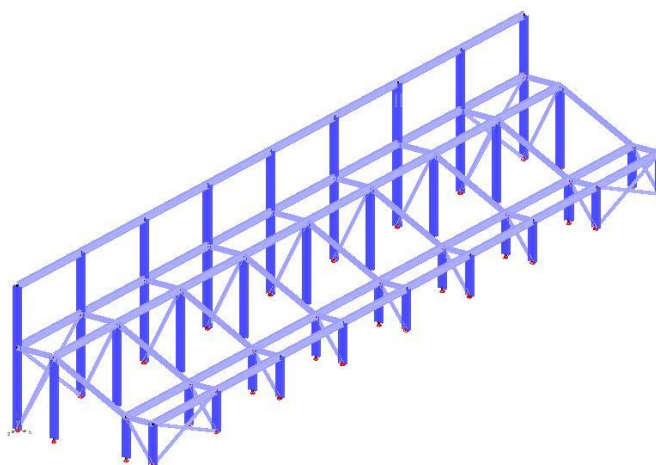


Figura 1: Disseny basic de l'Estructura estàndard 3D.

S'ha dibuixat al programari de càlcul estructural una construcció formada pels diferents elements anomenats: columnes, cordons, corretges i diagonals.

S'ha tingut en compte una gran homogeneïtzació dels aspectes material i perfils metàl·lics per facilitar la posterior elaboració de l'algoritme. La taula 2 exposa els perfils i materials escollits.

Taula 1: Material i perfils dels elements

<b>Elements</b>	<b>Material</b>	<b>Perfil</b>
Columnes	S275	IPE400
Corretges	S275	IPE360

Taula 1: Material i perfils dels elements

<b>Elements</b>	<b>Material</b>	<b>Perfil</b>
Diagonals	S275	IPE160
Cordons	S275	HEB200

Com que es tracta d'un disseny base que es vol convertir en una estructura variable, s'han establert les càrregues en funció de les capacitats de variabilitat que s'ofereixen. Per tant, a part del pes propi que ja ve determinat pels elements que esdevenen la construcció, les càrregues s'ha determinat en un valor en funció de la superfície. La taula 3 resumeix les càrregues considerades tant en el disseny base com en el propi algoritme.

Taula 2: Resum de magnituds del disseny base.

<b>Grup de càrrega</b>	<b>Definició</b>	<b>Valor (kN/m<sup>2</sup>)</b>
Pes propi	Kilonewtons resultants del pes de l'estructura	-
Plaques alveolars	Plaques alveolars per forjat 15+5	3,63
Sobrecàrrega d'ús	Categoria d'ús C5: Zones d'aglomeració	5
Seients	Pes dels seients recolzats sobre les plaques alveolars	0,5
Vent lateral	Vent que impacta sobre el pla XY, (columnes i cordons)	0,728
Vent posterior	Vent que impacte sobre el pla ZY, (columnes i corretges)	0,728

## 4 L'algoritme

A partir d'una primera idea concebuda en el programari de càlcul estructural Diamonds s'ha treballat en l'elaboració d'un algoritme que permet generar el disseny i realitzar el càlcul d'una estructura metàl·lica a la qual s'hi pot donar un ús de graderia per esdeveniments culturals i/o esportius. Aquest objectiu s'ha dut a terme amb el programari de disseny gràfic Rhinoceros i la seva extensió de "Grasshopper". El programa en qüestió és un programa de dibuix en 3D que es caracteritza per treballar amb superfícies complexes a un molt bon rendiment. L'extensió de GrasHopper és una eina que permet dibuixar a "Rhino" a partir d'una programació de blocs. L'execució d'aquests blocs connectats de manera consecutiva fa que el disseny de "Rhino" prengui una forma o una altra en funció dels paràmetres d'entrada estipulats.

Tot el procés descrit en els diversos apartats del projecte ha permès obtenir un disseny que depèn de les característiques imposades per l'usuari. Aquest algoritme, així com té uns paràmetres d'entrada també disposa d'uns paràmetres de sortida que resumeixen en un nombre total de nou branques d'informació, la totalitat del disseny paramètric que s'ha elaborat a partir de les rutines explicades al projecte.

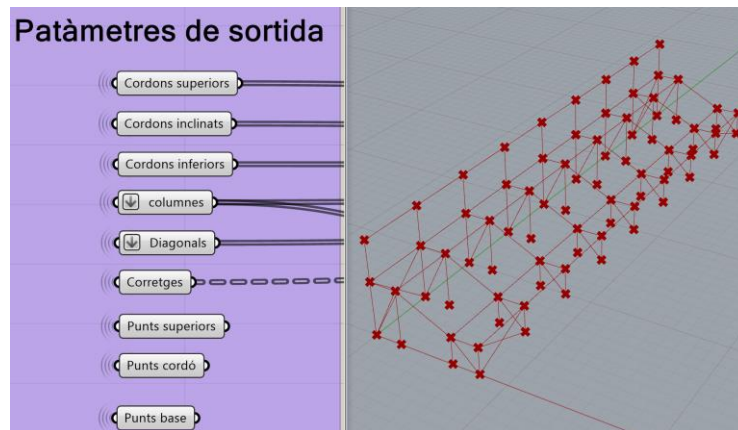


Figura 2: Paràmetres de sortida de l'algoritme parametritzat.

#### 4.1 Càlcul paramètric de l'estructura

El disseny paramètric elaborat s'avalua amb l'extensió de "Grasshopper" anomenada "Karamba3D". El càlcul paramètric de l'estructura consta de diferents parts:

En primer lloc, s'ha de definir el model de càlcul a partir del disseny paramètric obtingut de l'algoritme de disseny. Així doncs, l'algoritme de càlcul consisteix en definir els elements i les seves unions a partir dels paràmetres de sortida del disseny, introduir els valors de càrrega variables i incorporar els components necessaris per l'anàlisi i la visualització desitjada del model calculat. El model calculat en aquest projecte vol ser similar al disseny bàsic elaborat amb el programari de càlcul estructural "Diamonds" per poder realitzar una validació del càlcul paramètric. Per tant, s'han determinat els mateixos perfils, materials, unions i càrregues als elements corresponents al disseny bàsic esmentat.

#### 4.2 Validació del càlcul

Amb les dades recopilades que descriuen el resultat de cadascun dels càlculs s'ha realitzat una comparació. S'han determinat els valors de les reaccions i s'ha procedit a avaluar la diferència entre els dos models de càlcul. S'ha obtingut una diferència màxima d'uns 8,6 kN de força el qual implica un error no superior al 6% dels resultats obtinguts amb el "Karamba3D" respecte als del "Diamonds". Aquestes diferències s'atribueixen al fet de que el programari paramètric disposa d'un model de càlcul no tant desenvolupat com el del programari "Diamonds", especialitzat en càlcul d'estructures. Tot i que aquest segon mètode és el més utilitzat i adient per realitzar un càlcul exhaustiu, de moment, el "Karamba3D" és l'eina que es pot utilitzar amb algoritmes paramètric a través de "Grasshopper". D'aquesta manera, segons el criteri d'aquets projecte, el mètode de càlcul paramètric queda validat.

#### 4.3 Possibilitats de l'algoritme

El concepte de disseny paramètric és l'evolució del disseny tradicional. La gran virtut que proposa és la possibilitat de provar una família bastant extensa de solucions possibles en un interval de temps molt reduït. Aquesta evolució ha permès aconseguir optimitzar el procés de disseny en dos aspectes bàsics: Reducció de temps i estalvi de material.

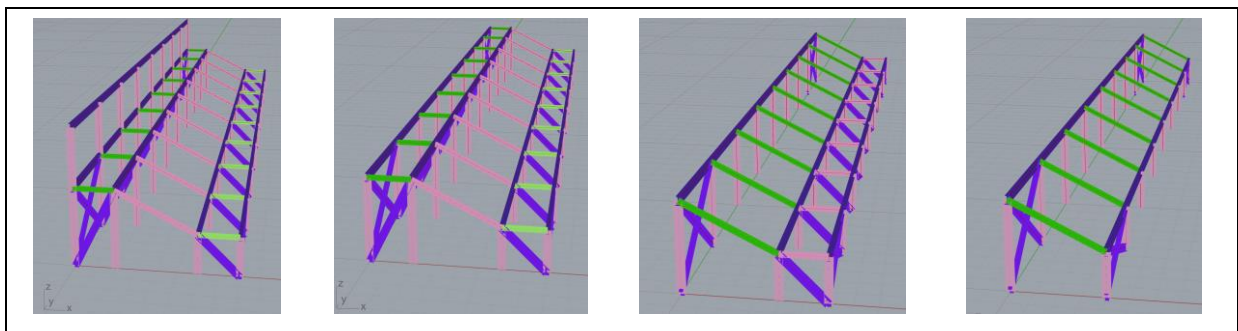
Aquesta metodologia de treball és excel·lent per aquells que dissenyen una tipologia específica d'estructures. Amb la inversió de temps necessària per elaborar un algoritme ja s'estalvia molta feina d'iteració en el disseny de cadascun dels projectes d'una mateixa

família. A més, aquest algoritme pot experimentar un procés evolutiu on s'hi poden afegir complements que cada vegada facilitin més la feina de modelar nous projectes.

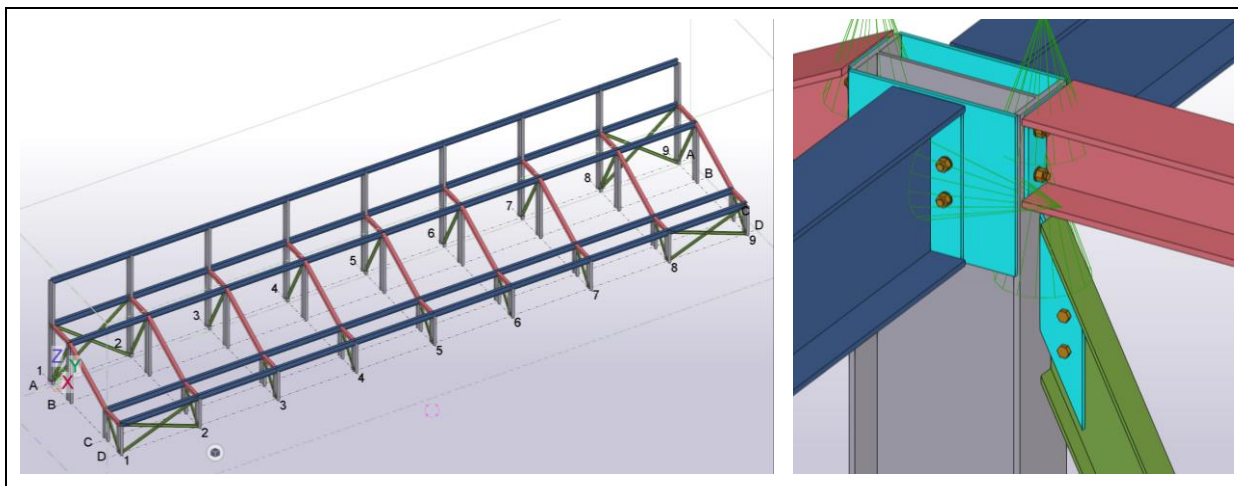
Per altra banda, el disseny paramètric també és molt efectiu pel que fa a estalvis de material. Per això es disposa d'algoritmes molt potents d'iteracions successives, com poden ser els de "Karamba3D" que es mostren en aquest projecte, i d'algoritmes encara molt més potents com els algoritmes genètics, que permeten avaluar les diferents possibilitats i trobar una solució òptima respecte els criteris estipulats.

Tots aquests processos, requereixen d'una estructura paramètrica per ser aplicats en aquest camp de la construcció. És per això que cal remarcar el valor d'aquest projecte destacant el fet de que no solament s'ha dissenyat una estructura, sinó que s'ha volgut demostrar que aquesta manera de disseny és la que permet introduir les eines matemàtiques adequades al camp de la construcció per poder aconseguir uns resultats de disseny òptims.

A les figures 3 i 4 es mostra algun exemple dels resultats que es poden arribar a obtenir.



*Figura 3: Exemples de dissenys paramètrics per la graderia metàl·lica*



*Figura 4: Model de TEKLA exportat des de l'algoritme.*