



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escola Tècnica Superior d'Arquitectura

El comportament estructural de les cadires dissenyades
per Ludwig Mies van der Rohe

Treball Fi de Grau

Grau en Fonaments de l'Arquitectura

AUTOR/A: Mondria Primo, Sara

Tutor/a: Cabrera Fausto, Ivan

CURS ACADÈMIC: 2024/2025

EL COMPORTAMENT ESTRUCTURAL DE LES CADIRES DISSENYADES PER LUDWIG MIES VAN DER ROHE

TREBALL FINAL DE GRAU

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA



GRAU EN FONAMENTS DE L'ARQUITECTURA
DEPARTAMENT DE MECÀNICA DELS MEDIS CONTINUS I
TEORIA D'ESTRUCTURES

ALUMNA: SARA MONDRIA PRIMO
TUTOR: IVAN CABRERA I FAUSTO
CURS ACADÈMIC 2024-2025



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

Al meu tio Robert, que m'ha transmés la passió per l'arquitectura.

A Jesús, el meu company de viatge.

A la meua iaia Fina, per creure sempre en mi.

I per descomptat, a vosaltres, els meus pares, no hauria estat possible sense la vostra ajuda i companyia.

RESUM

Aquest Treball Fi de Grau analitza el comportament estructural de diverses cadires dissenyades per Ludwig Mies van der Rohe, centrant-se en l'equilibri entre forma i funció que defineix la seua obra. L'objectiu principal és comprendre com la selecció de materials (acer i fusta) i les configuracions estructurals (estructura de fusta, estructura amb una barra (1B), estructura amb dues barres tangents (2B, t), estructura amb dues barres amb una intersecció (2B, i) i estructura amb dues barres amb dues interseccions (2B, ii)) influeixen en la distribució de càrregues, la rigidesa i l'ergonomia.

Mitjançant una anàlisi estructural, es comparen els diferents tipus de cadires. Es realitzen simulacions i càlculs de càrrega i deformació per a cada model, cosa que permet identificar com els esforços es distribueixen a través de l'estructura i com aquests afecten la seua resistència i estabilitat. Els resultats mostren que l'acer, amb una alta resistència a la tracció i la compressió, és especialment efectiu per a dissenys en voladís i estructures intersectades, mentre que la fusta, utilitzada en entorns més domèstics, ofereix un comportament estructural adequat en cadires amb quatre potes.

Aquesta investigació permet concloure que el llegat de Mies van der Rohe en el disseny de mobiliari es basa en la seua capacitat per integrar estètica i funcionalitat mitjançant una selecció acurada de materials i estructures innovadores. Aquest estudi contribueix a una comprensió més profunda dels principis de disseny que sustenten les seues creacions i posa en relleu la vigència del seu impacte en el mobiliari modern.

Paraules clau: Ludwig Mies van der Rohe; disseny; mobiliari; cadires; anàlisi estructural; deformació; càrregues; acer; fusta; estructura en voladís

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado analiza el comportamiento estructural de varias sillas diseñadas por Ludwig Mies van der Rohe, centrándose en el equilibrio entre forma y función que define su obra. El objetivo principal es comprender cómo la selección de materiales (acero y madera) y las configuraciones estructurales (estructura de madera, estructura con una barra (1B), estructura con dos barras tangentes (2B, t), estructura con dos barras con una intersección (2B, i) y estructura con dos barras con dos intersecciones (2B, ii)) influyen en la distribución de cargas, la rigidez y la ergonomía.

Mediante un análisis estructural, se comparan los distintos tipos de sillas. Se realizan simulaciones y cálculos de carga y deformación para cada modelo, lo que permite identificar cómo los esfuerzos se distribuyen a través de la estructura y cómo éstos afectan a su resistencia y estabilidad. Los resultados muestran que el acero, con una alta resistencia a la tracción y la compresión, es especialmente efectivo para diseños en voladizo y estructuras intersectadas, mientras que la madera, utilizada en entornos más domésticos, ofrece un comportamiento estructural adecuado en sillas con cuatro patas.

Esta investigación permite concluir que el legado de Mies van der Rohe en el diseño de mobiliario se basa en su capacidad para integrar estética y funcionalidad mediante una cuidadosa selección de materiales y estructuras innovadoras. Este estudio contribuye a una comprensión más profunda de los principios de diseño que sustentan sus creaciones y pone de relieve la vigencia de su impacto en el mobiliario moderno.

Palabras clave: Ludwig Mies van der Rohe; diseño; mobiliario; sillas; análisis estructural; deformación; cargas; acero; madera; estructura en voladizo

ABSTRACT

This Bachelor Minor Thesis analyzes the structural behavior of several chairs designed by Ludwig Mies van der Rohe, focusing on the balance between form and function that defines his work. The main objective is to understand how the selection of materials (steel and wood) and the structural configurations (wooden structure, structure with one bar (1B), structure with two tangent bars (2B, t), structure with two bars with a intersection (2B, i) and two-bar structure with two intersections (2B, ii)) influence load distribution, stiffness and ergonomics.

By means of a structural analysis, the different types of chairs are compared. Load and deformation simulations and calculations are carried out for each model, which makes it possible to identify how the efforts are distributed through the structure and how these affect its resistance and stability. The results show that steel, with high tensile and compressive strength, is particularly effective for cantilever designs and intersecting structures, while wood, used in more domestic environments, offers adequate structural behavior in chairs with four legs.

This research allows us to conclude that Mies van der Rohe's legacy in furniture design is based on his ability to integrate aesthetics and functionality through a careful selection of materials and innovative structures. This study contributes to a deeper understanding of the design principles that underpin his creations and highlights the validity of his impact on modern furniture.

Keywords: Ludwig Mies van der Rohe; design; furniture; chairs; structural analysis; deformation; loads; steel; wood; cantilever structure

Índex

1. Introducció.....	9
2. Objectius de Desenvolupament Sostenible.....	10
3. Objectius, metodologia i límits de la investigació.....	11
3.1. Objectius.....	11
3.2. Metodologia.....	11
3.3. Límits de la investigació.....	11
4. L'arquitecte.....	16
4.1. Context històric i biogràfic.....	16
4.2. El seu estil arquitectònic.....	17
4.2.1. Antecedents.....	17
4.2.1.1. Primera Guerra Mundial.....	17
4.2.1.2. Deutscher Werkbund.....	18
4.2.1.3. Bauhaus.....	19
4.2.2. Algunes de les seues obres.....	19
4.2.2.1. Weissenhofsiedlung.....	19
4.2.2.2. Pavelló d'Alemanya.....	20
4.2.2.3. Vila Tugendhat.....	21
4.2.2.4. Casa Farnsworth.....	22
4.2.2.5. Crown Hall.....	23
4.2.2.6. Edifici Seagram.....	23
4.2.2.7. Nova Galeria Nacional.....	24
5. Ludwig Mies van der Rohe i Lilly Reich.....	25
5.1. Lilly Reich.....	25
5.2. La col·laboració.....	26
6. Lescadires.....	27
6.1. Classificació.....	27
6.1.1. Estructura de fusta.....	28
6.1.2. Estructura amb una barra.....	29
6.1.3. Estructura amb dues barres tangents.....	32
6.1.4. Estructura amb dues barres intersectades.....	34
6.1.5 Estructura amb dues barres doblement intersectades.....	36
7. Estudi estructural.....	38
7.1. Comportament estructural d'una cadira amb estructura de fusta	40
7.1.1. Procés de modelatge	40
7.1.2. Envoltants d'esforços.....	42
7.1.3. Anàlisi dels resultats.....	46
7.2. Comportament estructural d'una cadira amb estructura d'una barra.....	47
7.2.1. Procés de modelatge (1B).....	47
7.2.2. Envoltants d'esforços (1B).....	49
7.2.3. Anàlisi dels resultats (1B).....	53
7.3. Comportament estructural d'una cadira amb estructura de dues barres tangents.....	54
7.3.1. Procés de modelatge (2B, t).....	54
7.3.2. Envoltants d'esforços (2B, t).....	56
7.3.3. Anàlisi dels resultats (2B, t).....	60

7.4. Comportament estructural d'una cadira amb estructura de dues barres intersectades.....	61
7.4.1. Procés de modelatge (2B, i).....	61
7.4.2. Envoltants d'esforços (2B, i).....	63
7.4.3. Anàlisi dels resultats (2B, i).....	67
7.5. Comportament estructural d'una cadira amb estructura de dues barres doblement intersectades..	68
7.5.1. Procés de modelatge (2B, ii).....	68
7.5.2. Envoltants d'esforços (2B, ii).....	71
7.5.3. Anàlisi dels resultats (2B, ii).....	78
7.6. Comparació dels resultats.....	79
8. Conclusions.....	81
9. Bibliografia.....	82
10. Índex de figures.....	84

1. Introducció

Ludwig Mies van der Rohe és considerat un dels arquitectes i dissenyadors més influents del segle XX, és conegut per les seues grans obres emblemàtiques tant d'arquitectura com de mobiliari. Aquest treball se centra específicament en l'anàlisi del comportament estructural de les seues cadires, peces que exemplifiquen la seua filosofia de "menys és més" i que, més enllà del seu valor estètic, són una prova de la interacció perfecta entre forma i funció.

Les cadires de Mies van der Rohe no només són reconegudes per la seua bellesa formal, sinó que també demostren un profund enteniment de les forces estructurals, la tria de materials adequats i les necessitats ergonòmiques de l'usuari. A través d'aquest estudi, s'analitza com els seus principis de disseny, la selecció de materials i altres decisions clau contribueixen a l'estabilitat, la durabilitat i el confort d'aquestes peces.

Aquest treball examinarà de manera detallada diverses de les seues cadires clàssiques des d'una perspectiva estructural. En aquesta anàlisi es posa èmfasi en com les configuracions de disseny influeixen en la distribució de càrregues, la resistència a les deformacions i la seua capacitat per mantenir una forma estable sota la càrrega d'una persona. Amb aquest estudi, es busca oferir una comprensió més profunda del que hi ha darrere del disseny de Mies van der Rohe i posar en relleu la rellevància del seu llegat en el mobiliari modern, una herència que encara inspira dissenyadors contemporanis.

2. Objectius de Desenvolupament Sostenible

Els Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) són un conjunt de 17 objectius universals, 169 metes i diversos indicadors que els estats membres de les Nacions Unides haurien d'emmarcar en la seua agenda i tenir en compte a l'hora de crear polítiques fins a l'any 2030 (Nacions Unides, 2019).



Posar fi a la pobresa en totes les seues formes és un repte important per a la humanitat, però no influeix en aquest treball (Nacions Unides, 2019). Aquest estudi se centra en l'anàlisi estructural del mobiliari de Mies van der Rohe, posant l'accent en aspectes com els materials, els mètodes de construcció, l'estètica o la funcionalitat, i no en qüestions socials o econòmiques.



La fam i la malnutrició continuen sent un gran obstacle per al desenvolupament a molts països, encara que és un tema que no és rellevant en aquest treball. (Nacions Unides, 2019). El treball de Mies van der Rohe va centrar-se en l'arquitectura i el disseny funcional, mentre que la qüestió de la fam i la malnutrició és una problemàtica social independent que no es vincula directament amb la seua obra.



Garantir una vida sana i promoure el benestar és essencial per al desenvolupament sostenible (Nacions Unides 2019). Les construccions i el mobiliari es dissenyen per a proporcionar benestar i comoditat. En particular, el mobiliari de Ludwig Mies van der Rohe se centra a oferir confort, funcionalitat i estètic, contribuint al benestar general de les persones.



Aconseguir una educació de qualitat és la base per a millorar la vida de les persones i el desenvolupament sostenible, per tant, té certa influència en aquest estudi (Nacions Unides, 2019). La trajectòria educativa de l'arquitecte és crucial per a elaborar tots els seus projectes, la formació acadèmica i l'experiència professional influeixen significativament la seua capacitat per crear dissenys innovadors i funcionals.



La igualtat de gènere no només és un dret humà fonamental, sinó també un principi necessari per a viure en un món pacífic, pròsper i sostenible (Nacions Unides, 2019). Tema clau en aquest treball, s'observa en la diferència de reconeixement que té Lilly Reich respecte al reconegut Ludwig Mies van der Rohe.



L'aigua neta i accessible per a tots és una part essencial, i hi ha prou aigua dolça al planeta per aconseguir-ho. (Nacions Unides, 2019). No influeix molt en aquest treball, ja que l'estudi del comportament estructural del mobiliari de Mies van der Rohe se centra principalment en aspectes de disseny.



L'energia assequible i no contaminant és fonamental per a gairebé tots els grans reptes i oportunitats a què s'enfronta el món actualment. (Nacions Unides, 2019). Tot i ser un tema poc influent en aquest estudi, la utilització d'alguns materials en el disseny arquitectònic pot impactar en l'eficiència energètica i en la sostenibilitat global dels projectes.



Aquest progrés lent i desigual obliga a fer que les nacions replantegen les polítiques econòmiques i socials per erradicar la pobresa (Nacions Unides, 2019). Aquesta qüestió influeix parcialment, ja que la construcció, tant d'edificis com de mobles, és una oportunitat d'oferir diverses ocupacions laborals.



Les inversions en infraestructura, transport, energia i tecnologies de la informació i comunicacions són fonamentals per a assolir el desenvolupament sostenible i l'enfortiment de comunitats a molts països (Nacions Unides, 2019). Influeix molt en aquest treball, aquests factors són necessaris per a la construcció i manteniment del mobiliari.



Cal continuar reduint la desigualtat i les grans disparitats en accedir als serveis de salut, educació i altres béns (Nacions Unides, 2019). En estudiar el context històric de l'arquitecte, s'observa una època de moltes desigualtats, sobretot socials.



És important aplicar pràctiques eficients de planificació i gestió urbana sostenible per afrontar els problemes derivats de la urbanització, un tema estretament relacionat amb la construcció (Nacions Unides, 2019). La manera en què es dissenyen i es gestionen les àrees urbanes té un impacte directe, no només en la sostenibilitat del territori, sinó també en la qualitat de vida dels seus residents, afectant aspectes com la mobilitat, l'eficiència energètica, la convivència social i el benestar general de la població.



El consum i la producció sostenibles estan relacionats estretament amb l'eficiència energètica i l'ús responsable dels recursos. Per tant, s'han de tenir en compte aquests aspectes a l'hora de construir els edificis i el mobiliari, i per això, podem dir que influeix en certa manera (Nacions Unides, 2019).



El canvi climàtic està afectant a tots els països del món (Nacions Unides, 2019). Aquest problema pot afectar a qualsevol persona del planeta i està relacionat, entre altres aspectes, amb la construcció, els materials, les formes de producció...



Els oceans són els que realment impulsen els sistemes globals i els que fan que la Terra siga habitable (Nacions Unides, 2019). La seua gestió és clau per a un futur sostenible, però aquest tema no influeix en aquest treball, ja que el disseny de mobles no està relacionat amb factors ambientals marins.



Els boscos cobreixen gran part de la Terra i són essencials per a la seguretat alimentària, el refugi, la lluita contra el canvi climàtic, la protecció de la biodiversitat i les llars de la població indígena. (Nacions Unides, 2019). En protegir els boscos, també enfortim la gestió dels recursos naturals, per tant, està relacionat parcialment amb aquest estudi.



Cal establir normes eficaces i transparents i pressupostos governamentals amplis per a societats més pacífiques i inclusives. (Nacions Unides, 2019). És un aspecte que no afectarà l'estudi, les polítiques governamentals i les normes de transparència no tenen una relació directa amb aquesta anàlisi del mobiliari.



Per a complir un programa de desenvolupament sostenible d'aquest calibre són necessàries associacions entre els governs, el sector privat i la societat civil (Nacions Unides, 2019). Per a l'elaboració d'una construcció es necessita un treball conjunt de diferents persones darrere del mateix objectiu.

3. Objectius, metodologia i límits de la investigació

3.1. Objectius

L'objectiu principal de realitzar aquest estudi sobre el comportament estructural de les cadires dissenyades per Ludwig Mies van der Rohe és comprendre i analitzar el seu funcionament.

Cal avaluar com el comportament estructural de les cadires garanteix l'estabilitat i la durabilitat a llarg termini. Per això s'analitzen exemples específics que es classifiquen en diferents grups, on es considera i estudia la relació entre el comportament, la forma i l'elecció del material.

També es pretén proporcionar una informació profunda del procés de disseny i els principis estructurals que hi ha darrere de les cadires de Mies van der Rohe. Així mateix, s'espera que l'anàlisi detallada que es presente siga útil per a altres estudiants i professionals.

Finalment, és important extreure conclusions objectives sobre les pautes de disseny per a poder establir criteris clars i fonamentats que faciliten la presa de decisions en el procés de creació de cadires, en assegurar que el disseny final no sols siga estèticament atractiu, sinó funcional i durador.

3.2. Metodologia

El procediment que s'ha seguit per a la realització del treball ha sigut:

- Utilització de diverses fonts d'informació. Destaquem llibres, pàgines web, el Pavelló Alemany de Barcelona i vídeos disponibles en internet per a l'aprenentatge de la utilització del programa CYPE 3D.
- Recopilació de la bibliografia i materials de suport per a l'elaboració del document.
- Transferir els coneixements apresos durant els anys d'estudi.
- A partir de dibuixos i apunts tractar de reinterpretar conceptes clau.
- Extracció de conclusions a partir de l'aprenentatge dut a terme durant la realització d'aquest treball.

3.3. Límits de la investigació

Alguns límits a destacar en la realització d'aquest treball són:

- El termini limitat per completar el treball pot influir en la profunditat de l'anàlisi i la quantitat de dades que es poden recopilar i analitzar.
- La grandària de la mostra del mobiliari dissenyat per Ludwig Mies van der Rohe condiciona seleccionar els mobles a estudiar.
- La dificultat per a accedir a fons primaris per trobar-se en ubicacions distants o per ser un material inaccessible, entre altres coses.
- Alguns mobles només s'han pogut estudiar amb fotografies. Aquesta limitació pot complicar l'avaluació precisa del comportament estructural i de la qualitat dels materials.

- S'ha utilitzat el programa CYPE 3D, habitualment destinat a l'àmbit de l'edificació, per realitzar les simulacions estructurals de les cadires, ja que aquest programara ofereix eines avançades per a l'anàlisi de comportaments estructurals complexos i proporciona un enfocament més general. Tot i que no està específicament dissenyat per al mobiliari, les seues capacitats de simulació permeten obtenir resultats precisos i extrapolables en termes de resistència, estabilitat i resposta a càrregues.
- El programa utilitzat per a l'estudi estructural no reconeix les línies corbes, per tant, ha estat necessari transformar-les en línies rectes. Aquesta modificació ha estat essencial per garantir la correcta interpretació dels models.
- Per homogeneïtzar els resultats s'han analitzat exclusivament, mitjançant el programa de càlcul estructural, cadires sense reposabraços.
- Per a l'anàlisi estructural de les cadires, s'ha utilitzat la norma d'edificació en lloc de la norma de mobiliari, ja que l'objectiu del treball se centra en dur a terme simulacions estructurals i anàlisis de comportament general, en lloc de verificar el compliment de requisits específics per a cadires segons les normatives de mobiliari. Aquesta elecció permet abordar el projecte des d'un enfocament més ampli i aplicable a contextos arquitectònics.



Fig. 1: Ludwig Mies van der Rohe

4. L'arquitecte

4.1. Context històric i biogràfic

Ludwig Mies van der Rohe és un dels arquitectes més influents del segle XX i se'l reconeix com un dels pioners de l'arquitectura moderna (Vives, 2022a).

Nascut a Aquisgrà (ciutat de l'actual Alemanya) el 27 de març de 1886, Mies van der Rohe va desenvolupar la seua carrera com a arquitecte a l'Alemanya d'abans de la Primera Guerra Mundial (1914-1918) i també durant la República de Weimar (1918-1933), i finalment als Estats Units d'Amèrica (Vives, 2022a).

Fill de picapedrer, comença a treballar al taller del seu pare fins que es trasllada a Berlín per col·laborar a l'estudi de Bruno Paul per tal de dissenyar mobles (Vives, 2022a).

Durant la dècada de 1910 va treballar a l'estudi de Peter Behrens, on va coincidir amb altres grans

arquitectes com Walter Gropius i Le Corbusier (Vives, 2022a).

Al final de la Primera Guerra Mundial va entrar en contacte amb l'avantguarda del moment i va conèixer altres arquitectes, artistes, escriptors i intel·lectuals de renom a Europa: Hans Richter, Theo van Doesburg, Man Ray, Ludwig Hilberseimer, Walter Benjamin i Raoul Hausmann, entre d'altres (Vives, 2022a).

Durant la dècada de 1920 va desenvolupar el seu estil personal, plasmat en algunes de les seues obres més importants (Vives, 2022a).

L'any 1926 suposa per a Mies un moment crucial en la seua evolució professional. En primer lloc, va ser elegit vicepresident de la Deutsche Werkbund, càrrec que ocuparia fins al 1932, convertint-lo en una de les figures centrals de l'arquitectura alemanya i europea al Moviment Modern Internacional (Barba i Goicochea, 2019).

Mies van der Rohe va conèixer la dissenyadora i interiorista Lilly Reich a mitjans dels anys vint

i immediatament van iniciar una relació professional. La seua col·laboració es va prolongar fins al 1939, quan Mies van der Rohe va emigrar als Estats Units, i inclou alguns dels seus projectes més reconeguts (Vives, 2022a).

El 1930 l'alcalde de Dessau li va proposar dirigir la Bauhaus, l'avantguardista escola alemanya d'art i arquitectura moderna fundada per Walter Gropius a Weimar el 1919 i que va ser clausurada el 1933 amb l'arribada del nazisme al poder (Vives, 2022a).

“De Behrens vaig aprendre la gran forma, de Berlage l'estructura”. Ludwig Mies van der Rohe.

4.2. El seu estil arquitectònic

Mies va voler buscar un estil arquitectònic nou, amb materials que pogueren representar una nova era de modernitat (Batavia, 2017).

Va perseguir una arquitectura amb estructures mínimes i elegants destinada a crear espais oberts que fluïren lliurement sense obstacles (Barba i Goicochea, 2019).

Els seus dissenys exemplifiquen el famós principi de “menys és més”, caracteritzat per la simplicitat i l'ornamentació mínima (Batavia, 2017).

Una de les frases que s'atribueixen a Mies van der Rohe és: “Déu és als detalls”. D'aquesta manera, l'arquitecte alemany creia que no calia adornar un edifici, sinó que el seu valor es basava en el disseny de la seua estructura, la qualitat dels materials i la pulcritud de la seua construcció (Vives, 2022a).

Va anomenar als seus edificis “arquitectura de pell i ossos”, fent referència al seu estil adornat amb claredat i senzillesa. L'arquitecte tenia un sentit excepcional de la proporció i una extrema preocupació pels detalls (Batavia, 2017).

L'esperit de l'era moderna es pot veure a tots els seus projectes tant arquitectònics com de disseny de mobiliari (Batavia, 2017).

4.2.1. Antecedents

4.2.1.1. Primera Guerra Mundial



Fig. 2: Soldats a la Primera Guerra Mundial

Coneguda també com la Gran Guerra, la Primera Guerra Mundial va ser un dels conflictes més letals de la història, un enfrontament que es va estendre per terra, mar i aire. Els seus efectes van ser devastadors. En tan sols quatre anys, des del 28 de juliol de 1914 fins a l'11 de novembre de 1918, la guerra va deixar darrere seu més de deu milions de militars morts i més de sis milions de víctimes civils (Sadurní, 2023).

La raó principal darrere d'aquest conflicte era la competència econòmica i colonial que existia entre les grans potències de l'època. Alemanya, en particular, sentia que, a causa del seu gran desenvolupament industrial, havia de tenir un paper més dominant al món. En aquell temps, Europa era el centre de l'economia, la política i la cultura globalment (Imaginario, 2021).

Es van enfrontar dues aliances internacionals, en primer lloc, la Triple Aliança, composta per l'Imperi alemany i Àustria-Hongria. Posteriorment, es van unir l'Imperi otomà i el Regne de Bulgària. Aquests països conformaven les potències centrals. La segona aliança, anomenada la Triple Entente, conformada pel Regne Unit, França i l'Imperi rus. Posteriorment, es van unir Itàlia, Estats Units i l'Imperi del Japó, entre d'altres. Aquests països van formar les potències aliades (Imagina-

rio, 2021).

La Guerra va finalitzar l'11 de novembre de 1918 amb la derrota de les potències centrals i la signatura del Tractat de Versalles. En conseqüència, van desaparèixer els imperis Àustria-Hongria, l'Otomà i el Rus. A més, la Gran Guerra va deixar un nombre de víctimes i destrucció superior a qualsevol de les guerres anteriors (Imaginario, 2021).

La devastació provocada per la Primera Guerra Mundial va provocar una profunda transformació a Alemanya, tant en l'àmbit polític com en el cultural. Aquest context de crisi i reconstrucció va donar origen a moviments com la Deutscher Werkbund, que va impulsar la unió entre l'art i la indústria per modernitzar el país. En aquest entorn, van sorgir figures com Mies van der Rohe, que buscaven desenvolupar una arquitectura funcional i racional capaç de satisfer les necessitats d'una societat decidida a superar els estralls de la guerra i avançar cap a un futur més ordenat i modern.

4.2.1.2. Deutscher Werkbund



Fig. 3: Fàbrica de Turbines de l'AEG

La Deutscher Werkbund era una associació mixta d'arquitectes, artistes i industrials, fundada el 1907 a Munic. Va ser una organització important a la història de l'arquitectura de la Modernitat, del disseny modern i precursora de la Bauhaus. Sorgeix per la preocupació d'un grup d'artistes

davant de la manca d'una tradició industrial, buscant salvaguardar la qualitat del disseny alemany. La Deutscher Werkbund recull al principi part de les teories dels Arts & Crafts anglès, però no es restringeix a l'artesanía, sinó que s'estén també al treball industrial, a la peça realitzada en sèrie (Balcazar, 2009).

El Werkbund, més que un moviment artístic, era una acció sufragada per l'estat per integrar els oficis tradicionals amb les tècniques industrials de producció en massa per posar Alemanya en un lloc competitiu amb altres potències com ara la Gran Bretanya o els Estats Units (Balcazar, 2009).

La Deutscher Werkbund (DWB) va abraçar la modernitat en l'arquitectura, utilitzant materials com el formigó i el vidre, i en el disseny industrial, va combatre l'Art Nouveau, promovent la creació d'objectes pràctics i simples. Peter Behrens, un dels referents de la DWB, va ser essencial en portar aquests ideals a la realitat, dissenyant tots els productes de l'empresa AEG, incloent-hi les plantes industrials i la publicitat, establint el primer exemple d'imatge corporativa integral. Al seu estudi treballaven figures com Walter Gropius, Mies van der Rohe i breument, Le Corbusier (Hendler, 2016).

Una altra fita destacada va ser l'exhibició de 1914 a Colònia, que comptava amb un teatre dissenyat per Henry van de Velde, que lamentablement va ser destruït durant la Primera Guerra Mundial. Gropius va fundar la Bauhaus, que va reprendre i es va apropiat dels objectius de la DWB. Tot i que Muthesius va morir el 1927, la DWB va continuar activa fins a la Segona Guerra Mundial (Hendler, 2016).

La Deutscher Werkbund va establir les bases per a la modernitat en arquitectura i disseny, influenciant directament la Bauhaus. Una de les figures més destacades que va estar vinculat tant a la Deutscher Werkbund com a la Bauhaus va ser Mies van der Rohe, qui, amb la seua visió i treball, va ser clau per portar aquests ideals a la seua màxima expressió, consolidant la fusió entre art, arquitectura i indústria que la Bauhaus va difondre en l'àmbit global.

4.2.1.3. Bauhaus



Fig. 4: Escola de la Bauhaus

La Bauhaus, una escola d'arts i oficis a vegades en oposició a les escoles, les arts i els oficis, va ser una institució extravagant, revolucionària i influent, fundada formalment el 1919 mitjançant un manifest. El seu primer gran líder va ser Walter Gropius, i entre els seus professors i directors es van destacar figures com Ludwig Mies van der Rohe, Vasili Kandinski, Paul Klee i Marcel Breuer (Toca, 2019).

Els professors i estudiants de la Bauhaus promouien un estil senzill i sense ornamentacions on la funció de l'objecte o edifici a dissenyar era més important que la seua estètica (Fernández, 2019).

Entre 1919 i 1928, la Bauhaus va ser dirigida per Walter Gropius. La primera part d'aquest període (fins al 1924) es coneix com a etapa expressionista i es va caracteritzar per l'esperit de recerca creativa i l'experimentació. El 1925, amb el canvi polític a Weimar, l'escola es va traslladar a Dessau, on va adoptar una orientació més cap a l'arquitectura i el constructivisme, marcant el camí de l'arquitectura moderna a Alemanya. Hannes Meyer va assumir la direcció en 1928, introduint l'anàlisi del consumidor en el disseny (Maurizo, 2021).

El 1930, Mies van der Rohe va prendre el relleu com a director, enfocant l'escola cap a l'arquitectura en un context cada vegada més advers pel creixement del nacionalsocialisme. Davant la repressió nazi, Mies va traslladar la Bauhaus a Ber-

lín com una escola privada d'arquitectura, però la pressió del règim va forçar la seua dissolució el 1933 (Maurizo, 2021). Mies van der Rohe, amb la seua visió arquitectònica i lideratge, va ser clau en l'última etapa de la Bauhaus, consolidant el seu llegat en l'arquitectura moderna malgrat les dificultats polítiques.

4.2.2. Algunes de les seues obres

El 1912 va obrir el seu propi estudi a Berlín i va dissenyar una casa a La Haia (ciutat dels Països Baixos) per al matrimoni Kröller-Müller. Durant els primers anys va rebre pocs encàrrecs, però ja les primeres obres mostraven la línia arquitectònica que encara duraria la resta de la seua carrera. Entre aquestes obres hi ha la Casa a la Heerstrasse i la Casa Urbig (Barba i Goicochea, 2019).

4.2.2.1. Weissenhofsiedlung



Fig. 5: Apartaments Weissenhof

Durant la seua vicepresidència a la Deutsche Werkbund s'encarrega de la planificació i realització de l'exposició "L'habitatge", que tindria lloc a Stuttgart el 1927. Mies descobreix un nou sistema de disseny compositiu que serà determinant per a les seues futures obres. Genera plantes lliures amb espais fluids sense transicions, que constitueixen el "guió" característic del seu treball (Barba i Goicochea, 2019).

Va construir un bloc de quatre plantes i va uti-

litzar, per primera vegada, una estructura innovadora de pilars d'acer que li permetia aconseguir l'obertura i flexibilitat espacial a què feia temps que aspirava. Aquest tipus de construcció no només li ofería una llibertat de disseny més gran, sinó que també permetia crear espais interiors més amplis i versàtils, adaptant-se a les necessitats canvians dels habitants. El potencial d'aquest sistema constructiu quedava clarament demostrat en les diverses variacions de la distribució dels habitatges, on s'inclouien alguns prototips que presentaven un nucli fix de bany i cuina, així com una partició amb barandats mòbils que oferien la possibilitat de reconfigurar els espais segons conveniència (Esteve, 2021).

Aquest projecte, a més de ser un avanç tècnic, també suposa una declaració de principis arquitectònics, marcant el pas cap a un llenguatge modern i funcional que trencava amb el passat.

Mies van der Rohe va reprendre l'interés pel disseny de mobles, una passió que ja havia començat a cultivar durant els seus primers anys de formació amb Bruno Paul, en encarregar-se junta a Lilly Reich de moblar conseqüentment aquests habitatges. I així dissenyaren la primera cadira en suspensió, contribuint així a l'èxit de la cadira de tub d'acer en el disseny de mobles. Posteriorment, Mies i Reich crearen algunes de les peces més conegudes del mobiliari modern (Esteve, 2021).

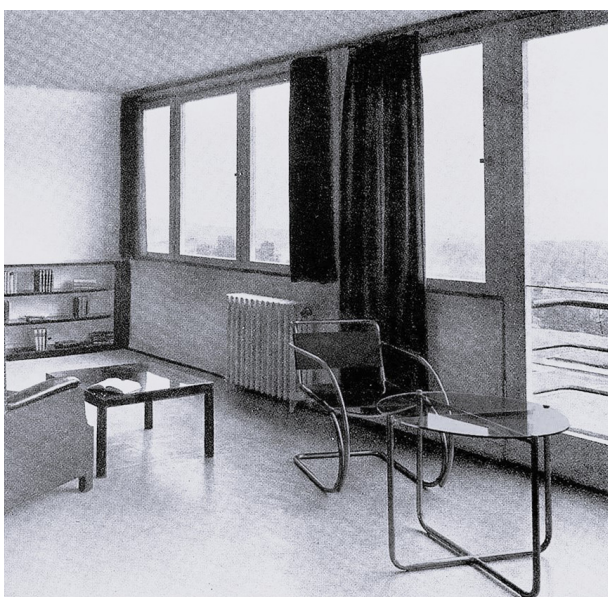


Fig. 6: Interior d'un apartament Weissenhof

4.2.2.2. Pavelló d'Alemanya



Fig. 7: Pavelló d'Alemanya

Un projecte que cristal·litzaria brillantment aquest inicial període d'experiments serà el Pavelló d'Alemanya per a l'Exposició Universal de Barcelona del 1929 (posteriorment reconstruït el 1986), que inclou la seua experiència i coneixement dels petris, l'articulació fluida dels espais i el maneig de l'estructura i els nous materials (Barba i Goicochea, 2019).

Destaca el disseny de la famosa Cadira Barcelona, aquesta peça, juntament amb altres dissenys creats per a l'exposició, es convertiria en un símbol del mobiliari modern i en una de les seues contribucions més perdurables al món del disseny (Barba i Goicochea, 2019).

Sobre el basament es desenvolupa una composició a partir d'una retícula regular de huit columnes. El Pavelló defineix els seus espais mitjançant el joc ortogonal de plànols desplaçats, els murs es disposen de manera que generen una absoluta fluïdesa espacial a l'interior de l'edifici. Amplis finestrals continus dibuixen el límit exterior, declarant així la transparència, la idea de llibertat i progrés que la República Alemanya buscava reflectir al seu moment. Mies Van Der Rohe dissenya l'edifici separant l'estructura del tancament, i així es genera un despreniment del sostre respecte dels murs, ja que aquest sostre recolzat sobre les columnes metàl·liques en creu, permet que les parets es disposen de manera més lliure, perquè en alguns casos són elements de suport i en altres

organitzadors de l'espai (Zuleta, 2011).



Fig. 8: Interior del Pavelló d'Alemanya

4.2.2.3. Vila Tugendhat



Fig. 9: Vila Tugendhat

La casa Tugendhat a Brno (1928-1930), integra molts dels elements del pavelló de Barcelona. Aquesta construcció està formada per un esquelet d'acer robust, grans finestrals que permeten una connexió visual amb l'exterior, i l'ús de les millors matèries primeres disponibles en aquell moment. A més, la casa incorporava els darrers avanços tecnològics de la vida moderna, als quals Mies van der Rohe va donar molta importància. L'arquitecte ací va voler alliberar la planta de tots els barandats per crear una planta lliure on la dialèc-

tica entre l'interior i l'exterior arribés a cotes noves. A aquest factor s'uneixen els grans finestrals panoràmics a l'altura del sostre que cobreixen aquesta zona, fins i tot alguns d'aquests podien enfonsar-se mitjançant mecanismes electrònics, convertint l'espai en una veritable terrassa, fent que la divisió entre dins i fora desaparegués pràcticament (Barba i Pérez, 2016).

La cadira Tugendhat i la cadira Brno van ser dissenyades especialment per a aquesta casa, i estaven entapissades en colors com gris-plata, cuir verd maragda, vellut vermell robí o pell blanca, demostrant un ús atrevit, elegant i sofisticat del color per part de Mies (Barba i Pérez, 2016).

Seria bo assenyalar que tant la cadira Tugendhat com la Barcelona, tot i tenir una aparença aparentment industrial, són en realitat grans obres d'artesanía. Aquestes cadires es fabricaven a mà, en petites quantitats, i amb una cura excepcional pels detalls, cosa que les convertia en peces exclusives i de gran valor artístic. La bellesa i el disseny refinat d'aquestes cadires continuen sent un signe de distinció, elegància i luxe fins als nostres dies, mantenint la seua rellevància com a icones del mobiliari modern (Barba i Pérez, 2016).

Destaca també la integració amb l'entorn natural. Els espais interiors es connecten amb el paisatge exterior, creant una continuïtat visual que accentua la sensació d'amplitud i llibertat.



Fig. 10: Interior Vila Tugendhat

4.2.2.5. Casa Farnsworth



Fig. 11: Casa Farnsworth

Uns anys després s'iniciaria el projecte de la Casa Farnsworth (1945-1950).

La Casa Farnsworth va ser dissenyada com el segon habitatge per a la doctora Edith Farnsworth. L'habitatge està situat enmig de prats i arbres, vorejant el riu Fox, a Plano (Illinois, Estats Units). És una de les icones de l'arquitectura del moviment modern; caracteritzat per ser una simple estructura metàl·lica que només es tanca amb vidre (Duque, 2012). La doctora va rebutjar els dissenys de mobles de Mies, a favor de mobles moderns d'altres dissenyadors notables, com a revenja pel conflicte personal al qual havien arribat propietària i arquitecte, a més també va afegir mobles tradicionals i antiguitats xineses (Harrouk, 2020).

La casa s'emplaça a 1,6 metres sobre el terreny i s'organitza a partir de dues plataformes desplaçades, una més baixa que actua com a nexa entre el terreny i l'altra, a més altura, sobre la qual es desenvolupa l'habitatge. Mies prescindeix de murs exteriors i barandats interiors. La casa és, en essència, un únic espai tancat amb vidre, sense particions, excepte el nucli central de fusta que allotja els serveis i independitza l'àrea pública d'una altra de més privada. El perímetre transparent no és interromput per cap element, on la continuïtat visual des de l'exterior només és interrompuda pel cos de serveis (Gardinetti, 2012).

L'estructura de sustentació consta de huit perfils de ferro que, a diferència dels seus treballs anteriors, es desplacen cap a l'exterior per no interrompre la llibertat de la planta. Utilitza caragols a les unions menys visibles de l'estructura, però als llocs exposats va utilitzar soldadures ocultes per fer invisible aquesta unió, donant una aparença monolítica. Per reforçar aquesta aparença, es van aplicar tres capes de pintura blanca. Tots els desguassos són conduïts a una cambra de recollida a través de la llosa del pis, que també conté els serveis d'aigua i d'electricitat. Tres anys després de la inauguració, el riu Fox va desbordar i va assolir una alçada d'1,2 metres a l'interior de l'habitatge (Gardinetti, 2012).

Una dada curiosa de la Casa Farnsworth és que la bancada de la cuina està feta d'alumini. Aquest material, comunament utilitzat en la construcció de vaixells a causa de la seua lleugeresa i resistència a la corrosió, es va fer servir per primera vegada en un edifici en aquest projecte. Això marca una fita a la història de l'arquitectura, que demostra la innovació i la visió avançada del disseny de la Casa Farnsworth.

Poc després, dissenya un altre edifici d'aquesta tipologia, el Commonwealth Promenade Apartments, entre els anys 1953 i 1956. Continua explorant l'ús del vidre i l'acer com a materials principals, consolidant el seu enfocament en la creació d'espais oberts (Barba i Goicochea, 2019).



Fig. 12: Interior Casa Farnsworth

4.2.2.4. Crown Hall



Fig. 13: Crown Hall

Quan va emigrar als Estats Units va ser nomenat director del departament d'arquitectura de l'Institut Armour, que més tard es fusionaria amb l'Institut Lewis, formant l'Institut Tecnològic d'Illinois (IIT) on s'encarregaria de construir gran part de la infraestructura d'aquest institut entre els anys 1939 i 1958. Un dels edificis més emblemàtics del complex és el Crown Hall, IIT (1950-1956) (Barba i Goicochea, 2019).

L'edifici, de caràcter industrial i destinat a acollir l'escola d'arquitectura, es divideix en dos nivells: una planta principal i lliure, elevada uns metres respecte del terra; i un nivell semisoterrat, on l'arquitecte "oculta" alguns usos com a oficines, salons i serveis. Mies proposa un espai educatiu sense murs ni divisions, alliberant-lo de pilars interiors. Per això col·loca les grans bigues de la coberta per sobre del pla i suporta en pilars exteriors, cosa que permet tancar l'espai entre dos plans paral·lels. El perímetre de l'edifici s'emboïca amb grans fulles de vidre de diferents graus de transparència. L'estructura, que permet construir un espai d'aquestes característiques, només es pot fer amb acer. D'aquesta manera, l'edifici només està format per tres elements bàsics: una llosa a terra, pilars i un forjat a la coberta. Mies construeix un espai que ell mateix va definir com "gairebé res", un buit entre plànols on tot, o res, pot passar (Arquine 2013).

4.2.2.6. Edifici Seagram



Fig. 14: Edifici Seagram

L'any 1958, Mies van der Rohe va projectar una de les seues obres més importants i influents, l'Edifici Seagram a Nova York. Aquest edifici, de trenta-set pisos d'alçada, es caracteritza pel seu revestiment de vidre i bronze, que li confereix una estètica moderna i refinada. El projecte es va desenvolupar en col·laboració amb el seu deixeble i també arquitecte de renom, Philip Johnson. Una de les característiques més destacades d'aquest edifici és la façana-cortina de metall, que reflecteix clarament la reproducció de l'estructura de l'edifici. Aquesta integració de l'estructura en l'estètica exterior es va convertir en un punt de referència per a l'arquitectura moderna (Barba i Goicochea, 2019).

La torre és una estructura d'acer, embolicada per un mur cortina de vidre de color rosa grisenc. Les juntes, muntants i bigues, que s'utilitzen per modular la superfície de la pell de vidre, estan elaborades en bronze, un material poc comú, però que afegeix una sensació de luxe i durabilitat al disseny. A l'interior, les parets i els ascensors estan revestits amb marbre travertí, donant una impressió de grandesa i elegància. Aquests materials nobles no només compleixen una funció estructural, sinó que també afegeixen un toc de sofisticació que fa de l'Edifici Seagram una obra mestra de l'arquitectura del segle XX, sent considerat un símbol del moviment modernista (Barba, 2014).

4.2.2.7. Nova Galeria Nacional



Fig.15: Nova Galeria Nacional

La construcció del gran pavelló de la Nova Galeria Nacional de Berlín (1962-1968) és considerada com el punt culminant del principi d'espai buit, que consistia en un sol espai alliberat de la necessitat d'estructures. Es tracta d'un edifici dedicat a exposicions d'obres d'art, format per una gran sala quadrada construïda completament en vidre i acer i situada sobre una extensa terrassa de lloses de granit (Barba i Goicochea, 2019).

L'edifici destaca per ser una gran estructura o coberta quadrada de 64,8 metres de longitud, sostinguda per huit suports al seu perímetre, dos a cada costat, però en el qual es deixen lliures els cantons, de manera que l'edifici adquireix molta lleugeresa. Posseeix dos nivells, el primer (d'accés) comprén la sala principal i lloc d'exposicions itinerants, i l'inferior acull la col·lecció permanent (Hevia, 2008).

Entendre l'edifici es torna, en primer lloc, una cosa relativament senzilla, potser per la seua radicalitat i claredat conceptual, però una mirada més detallada permet veure la seua gran complexitat. L'estructura n'és un clar exemple, ja que no està composta per formes estranyes o peces sofisticades, sinó que, paradoxalment, resideix en la seua senzillesa (Hevia, 2008).

El material es converteix en un tema clau. L'acer és treballat amb absoluta noblesa, i els elements deixen de ser una cosa merament constructiva i

es converteixen en un factor molt superior. En aquest sentit, es pot detectar un dels postulats característics de Mies, ja que la bona arquitectura resideix en la qualitat dels detalls, tal com es pot comprovar en aquest edifici (Hevia, 2008).



Fig. 16: Lilly Reich

5. Ludwig Mies van der Rohe i Lilly Reich

Sovint es recorda més la figura de Mies van der Rohe, però la veritat és que les aportacions de Lilly Reich van ser essencials en tots els projectes en què van col·laborar, tant a l'àmbit del disseny, les arquitectures efímeres i els espais expositius. Així i tot, com tantes altres dones, Lilly Reich ha estat relegada a un segon terme, si no inexistent, en la història de l'arquitectura (Vives, 2022b).

5.1. Lilly Reich

Nascuda a Berlín el 1885, Lilly Reich es va iniciar professionalment com a dissenyadora de tèxtils i roba de dona, però prompte es decantaria cap al camp de l'interiorisme i l'arquitectura. El 1908 es va traslladar a Viena, on va treballar a la Wiener Werkstätte (associació d'artistes, arquitectes i dissenyadors que apostaven per integrar totes les arts en un projecte comú, sense distinció entre arts majors i menors). També va treballar breument amb l'arquitecte i el dissenyador Josef Hoffmann (Vives, 2022b).

El 1911 es va instal·lar de nou a Berlín, on ja treballava de forma independent. Ací va entrar a for-

mar part de la Deutscher Werkbund, adquirint cada vegada més responsabilitats fins a ser nomenada directora el 1920 (Vives, 2022b).

El 1928 es va convertir en directora artística de la secció alemanya de l'Exposició de Barcelona i va compartir el càrrec amb Mies van der Rohe per al desenvolupament de tots els seus treballs a la capital catalana (Vives, 2022b).

La seua situació a l'Alemanya Nacional Socialista, governada pel règim nazi, no va ser fàcil. No obstant això, a diferència de Mies van der Rohe, Lilly es va quedar a Alemanya durant la Segona Guerra Mundial (1939-1945). En aquells anys va defensar la conservació dels dibuixos i esbossos

dels treballs conjunts que Mies van der Rohe havia deixat abans d'anar-se'n. Actualment, aquests documents es conserven a l'arxiu Mies van der Rohe del museu MoMA de Nova York (Vives, 2022b). Al final de la guerra, Reich va lluitar perquè Berlín recuperara certa normalitat i va ser la responsable del restabliment de la Deutscher Werkbund. L'associació de disseny finalment es va restituir el 1950, tres anys després de la seua mort el 1947 (Vives, 2022b).

5.2. La col·laboració



Fig. 17: Classe a la Bauhaus amb Lilly Reich

Van col·laborar en diferents projectes, incloent-hi l'Exposició d'Habitatges Weissenhof entre 1925 i 1927 i la Glassraum de 1927, totes dues a la ciutat alemanya de Stuttgart; el Pavelló Alemany per a l'Exposició Internacional de Barcelona del 1929; la Vila Tugendhat a Brno (República Txeca) entre 1928 i 1930, o la instal·lació per a l'Exposició de Berlín de 1931 (Vives, 2022b).

En la Vila Tugendhat es va incloure el disseny de la Cadira Brno, habitualment atribuït a Mies, amb l'ajuda de la col·laboradora. Alguns investigadors sospiten que Lilly Reich va ser més que una ajuda i que podria ser la veritable autora de la cadira Tugendhat, a més d'altres dissenys (Ramírez, 2019).

Com en el disseny de la famosa cadira Tugendhat, també hi ha dubtes sobre el paper de Lilly Reich al mobiliari del Pavelló Alemany a Barcelona. La

parella va rebre l'encàrrec per a l'Exposició Internacional del 1929. Allà es va exhibir per primera vegada la Cadira Barcelona, un clàssic del disseny al segle XX, concebuda per servir de tron a Alfons XIII i Victoria Eugenia (Ramírez, 2019).

La col·laboració de la dissenyadora i l'arquitecte va coincidir en el temps amb els dissenys més emblemàtics de la Bauhaus, en què el nom de Lilly Reich com a autora s'ha reivindicat en les últimes dècades. Per a l'investigador Ludwig Glaeser, és "més que una coincidència" que l'èxit de Mies en el disseny d'exposicions i de mobles coincidisca amb la seua relació (Ramírez, 2019).

Aquesta relació professional i personal entre Lilly Reich i Mies van der Rohe, i la seua col·laboració en projectes tan icònics, ha portat molts historiadors i experts a replantejar-se el paper de Reich en aquestes creacions. Tot i que tradicionalment s'ha atribuït el mèrit principal a Mies, les recents investigacions posen de manifest que Lilly Reich podria haver tingut una influència molt més significativa del que s'ha reconegut fins ara. Això no només posa en relleu la necessitat d'avaluar de nou les contribucions individuals en col·laboracions creatives, sinó que també subratlla la importància de donar visibilitat i reconeixement a les dones que han estat fonamentals en el desenvolupament del disseny modern i l'arquitectura del segle XX.

"El nivell arquitectònic de Lilly Reich no és comparable al de Mies van der Rohe". Sonja Günther.



Fig. 18: Cadira Barcelona

6. Les cadires

Mies van der Rohe va dissenyar un gran nombre de mobles al llarg de la seua trajectòria professional, però no podem conèixer la quantitat exacta. El seu llegat inclou una ampla gamma de peces de mobiliari, des de cadires fins a taules o sofàs. Tots ells han deixat una gran empremta en el disseny modern.

Dins del seu ampli repertori de mobiliari, aquest treball se centrarà específicament en l'estudi de les cadires.

6.1. Classificació

Entre les nombroses i cèlebres cadires dissenyades per Ludwig Mies van der Rohe, a continuació, es destaquen algunes que representen característiques innovadores i dissenys elegants. Aquestes peces exemplifiquen el seu enfocament minimalista i funcionalista i continuen sent referències importants en el disseny contemporani.

Atés que hi ha una quantitat considerable d'informació sobre les cadires de Mies, la qual està dispersa en múltiples fonts, s'ha decidit utilitzar una sola bibliografia per desenvolupar la classificació.

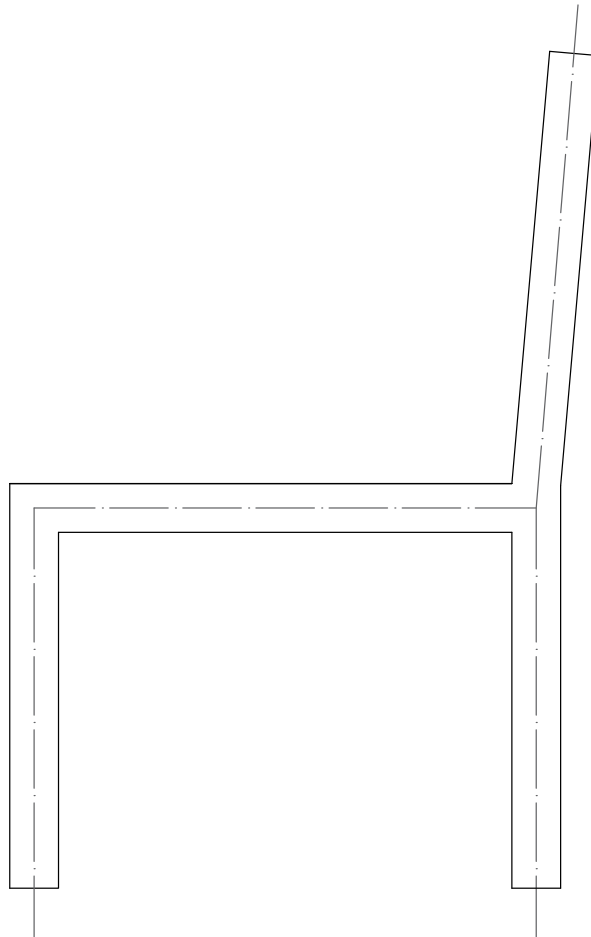


Fig. 19: Model lineal de la cadira de menjador

6.1.1. Estructura de fusta

Entre 1925 i 1926 Mies va fer fabricar un joc de cadires per al seu apartament a Berlín (Am Karlsbad), i més tard també les va utilitzar, juntament amb dissenys similars, per a decorar algunes de les seues obres posteriors. Amb aquest conjunt de cadires el dissenyador intenta tractar la lògica constructiva de la unió elemental de la fusta, les potes s'enllacen amb la part superior amb un punt d'unió que desapareix generant una unitat homogènia i lleugera. Tot açò queda emfatitzat per la direccionalitat vertical de les vetes de la fusta (Cohen, 2010).

Les potes de la cadira suporten la càrrega principal i distribueixen el pes a terra, mentre que el seient suporta la compressió i la flexió causada pel pes de l'usuari. El respatllet proporciona suport addicional, resistint les forces de compressió i, fonamentalment de flexió, que es generen quan una persona es reclina (Cohen, 2010).

- Cadira de menjador:

- Materials:

Estructura: fusta de palissandre contraxapada.
Seient i respatllet: cuir (pergamí).

- Dimensions: 83 x 51,5 x 52,5 cm (altura del seient: 44,5 cm).



Fig. 20: Cadires de menjador

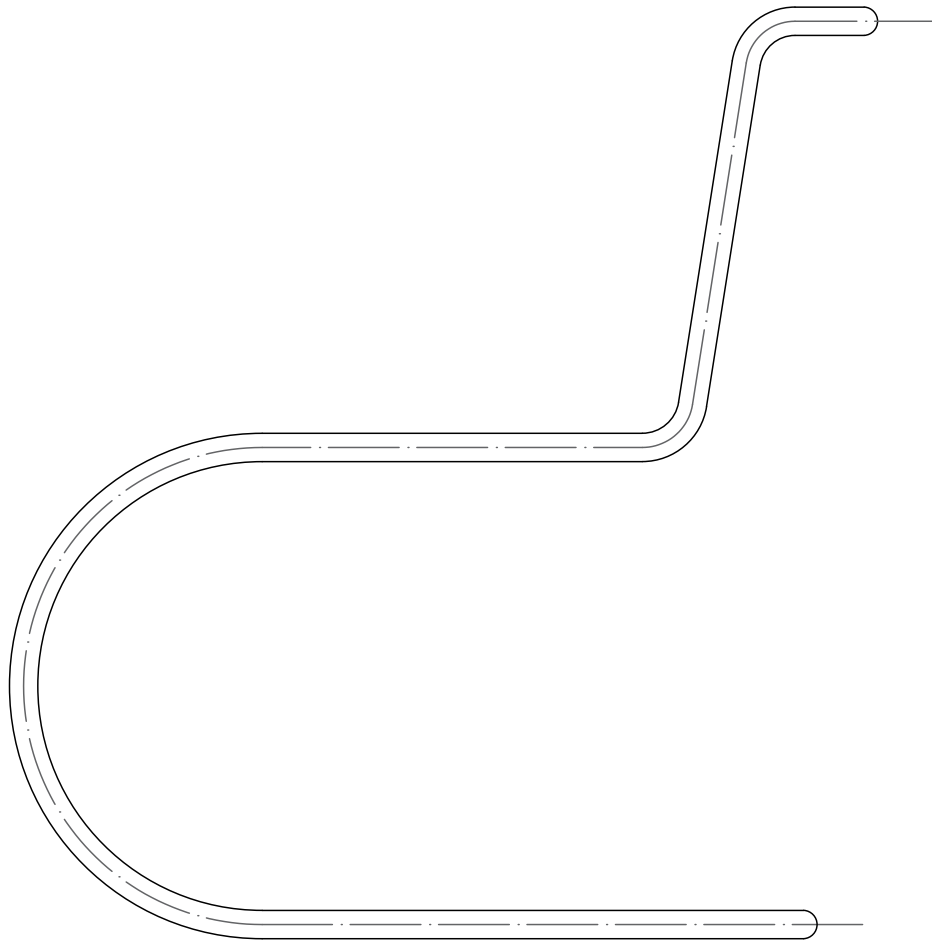


Fig. 21: Model lineal de la cadira MR10

6.1.2. Estructura amb una barra

Les cadires MR van ser les primeres creacions de mobiliari amb estructura d'acer tubular dissenyades per Mies van der Rohe. Aquestes peces incorporen el concepte innovador d'un marc estructural continu, que els confereix una resistència excepcional tant a la compressió com a la flexió. La idea d'espai continu, clau en l'arquitectura moderna, queda plasmada en el disseny mitjançant una única línia estructural tancada (Cohen, 2010).

La inspiració per crear una cadira sense potes del darrere prové d'un esbós de Mart Stam. Mies va prendre aquest concepte i el va refinar, suavitzant les línies de les potes i creant una base sòlida i ben equilibrada. En lloc d'utilitzar els tubs de ferro del disseny de Stam, Mies va fer servir acer tubular més prim, cosa que va permetre mantenir la flexibilitat de l'estructura (Cohen, 2010).

El disseny de les cadires es va presentar al públic per primera vegada el 1927 durant l'exposició de la colònia Weissenhof, i posteriorment va tenir

diverses modificacions (Cohen, 2010).

Aquest tipus de cadira sense potes posteriors, coneguda per la seua estructura en voladís, ofereix una lleugera flexibilitat quan algú s'hi seu. El seient, fet de cuir o tela, es troba sobre un marc d'acer tubular, cosa que permet que el material s'adapte al cos de l'usuari. Això garanteix una distribució uniforme del pes i ofereix suport i comoditat.

El respallier segueix el mateix concepte de disseny, utilitzant els mateixos materials per assegurar flexibilitat i proporcionar suport. Gràcies a la lleugera capacitat de flexió, el respallier també permet moviments naturals i ajustos en la postura. A més, la seua estructura tubular assegura que el pes es distribuïska de manera uniforme, donant estabilitat i suport global, sent una combinació d'estètica funcional i ergonomia, reflectint els principis arquitectònics de l'època.

La meticulosa atenció als detalls de Mies van der Rohe es reflecteix clarament en la manera com va dissenyar els reposabraços de les butaques.

Aquests elements estan dissenyats per connectar-se de manera subtil amb el respall de la cadira, reforçant visualment i estructuralment la unió entre aquest i les potes davanteres. Aquesta solució no només és funcional, sinó que també destaca per la seua elegància, creant una transició fluida entre els diferents components de la cadira, sense comprometre l'estètica neta i minimalista que caracteritza els seus dissenys (Cohen, 2010).

A continuació destaquem alguns exemples de cadires que segueixen aquest comportament estructural:

- Cadira MR10:

- Materials:

Estructura: tubular d'acer cromat, niquelat o lacat en color.

Seient i respall: dos peces de tela o cuir, o una sola peça de vímet.

- Dimensions: Cadira: 79 x 47 x 72 cm (altura seient: 44 cm). Secció estructural: Ø 2,4 cm.



Fig. 22: Cadira MR10

- Cadira MR30:

- Materials:

Estructura: tubular d'acer cromat, niquelat o lacat en color.

Seient i respall: una sola peça encoixinada.

- Dimensions: Cadira: 84 x 55 x 90 cm (altura seient: 40 cm). Secció estructural: Ø 2,4 cm.



Fig. 23: Cadira MR30

- Butaca MR20:

- Materials:

Estructura: tubular d'acer cromat, niquelat o lacat en color.

Seient i respall: dos peces de tela o cuir, o una sola peça de vímet.

Reposa braços: en ocasions folrat amb el mateix material que el seient i el respall.

- Dimensions: Butaca: 79 x 52 x 82 cm (altura seient: 44 cm). Secció estructural: Ø 2,4 cm.

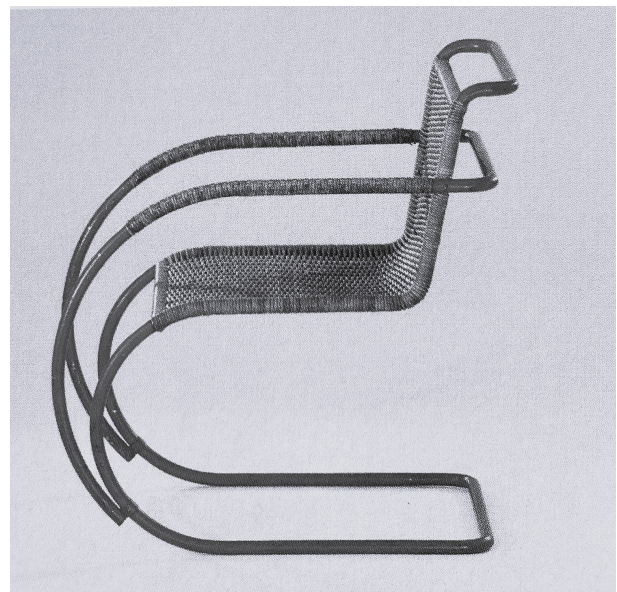


Fig. 24: Butaca MR20

- Butaca MR40:

- Materials: Estructura: tubular d'acer cromat, niquelat o lacat en color.
Seient i respalller: una sola peça encoixinada.
Reposa braços: en ocasions folrat amb el mateix material que el seient i el respalller.

- Dimensions: Butaca: 84 x 60 x 95 cm (altura seient: 40 cm). Secció estructura: Ø 2,4 cm.

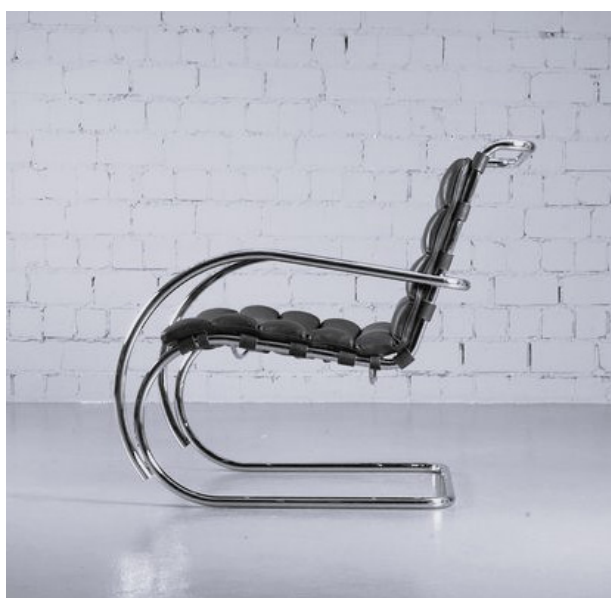


Fig. 25: Butaca MR40

Amb el disseny de la gandula (1931), la idea d'oscil·lador lliure arriba ací a la seua màxima expressió amb un vol prolongat de l'estructura que s'alça corbant-se des del llarg suport en forma d'U. Per això l'espessor de la paret del tub d'acer va ser augmentat 5 mm i l'estructura quedava reforçada mitjançant tres barres transversals. Una altra de les diferències significatives amb els altres oscil·ladors era l'ergonomia enfront de la rigidesa geomètrica, que permetia gitar-se completament (Cohen, 2010).

- Gandula MR100:

- Materials:

Estructura: tubular d'acer cromat.
Seient i respalller: entapissat amb coixí prisat en tela llisa o a quadres de lli i catorze corretges de goma.

- Dimensions: Butaca: 95,5 x 60 x 120 cm (altura seient: 49 cm). Secció estructura: 0,5 x Ø 2,5 cm.

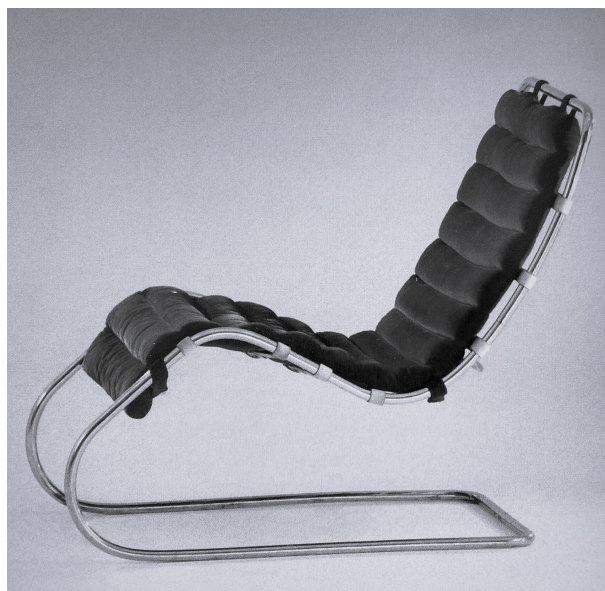


Fig. 26: Gandula MR100

- Chaise longue:

- Materials:

Estructura: tubular d'acer cromat.
Seient i respalller: entapissat amb coixí prisat de tela o enfundat en pell i corretges de goma o cuir.

- Dimensions: Butaca: 92,5 x 66 x 172 cm (altura seient: 44 cm). Secció estructura: Ø 2,5 cm.



Fig. 27: Chaise longue

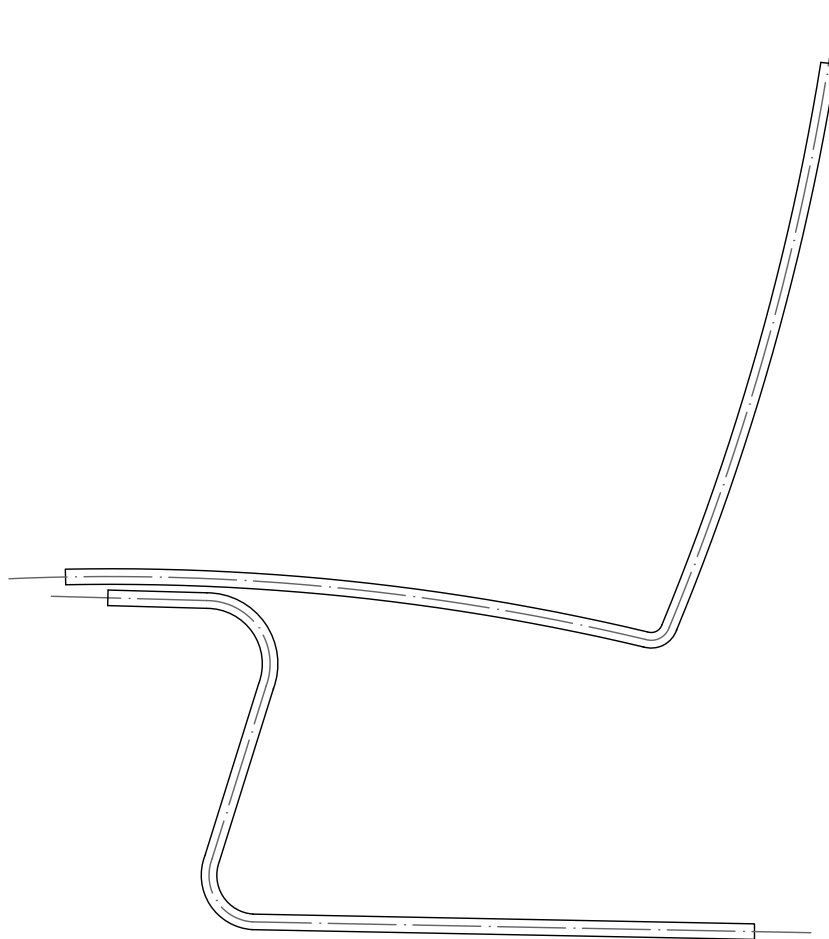


Fig. 28: Model lineal de la cadira Tugendhat

6.1.3. Estructura amb dues barres tangents

Durant el curs del disseny de la casa Tugendhat a Brno, República Txeca (1929-1930) es va prestar gran importància a tots els detalls, incloent-hi els mobles que integren i estructurin els espais interiors. La disposició de cada moble està perfectament definida i la seua possible reubicació alteraria l'estricta ordre en la composició espacial (Cohen, 2010).

Amb l'ús de l'acer de secció plana corbada, conforma cadires de lliure oscil·lació, sense potes en la part de darrere. Aquest ús de l'acer cromat no només és estètic sinó també funcional, ja que el material ofereix una excel·lent resistència a la flexió i a la compressió, distribuint el pes de l'usuari de manera uniforme i evitant la formació de punts de tensió. S'observa un marc d'acer que es corba per formar les potes i un altre que forma el suport del seient i el respall, tractant-se de dues barres tangents que es connecten per oferir estabilitat i elegància a la peça.

El seient de la butaca Tugendhat està dissenyat

per oferir comoditat i suport, utilitzant materials de qualitat i tècniques de construcció precises. Sota la tapisseria, el seient està compost per una base de corretges elàstiques o molls que distribueixen el pes de l'usuari de manera uniforme.

El respall, igual que el seient, està entapissat en cuir o material similar, amb un farciment intern que proporciona comoditat i suport. Proporciona un suport ergonòmic i una postura còmoda, està lleugerament inclinat i corbat, oferint suport adequat a l'esquena de l'usuari, encara que és prou rígid per a proporcionar suport.

La combinació de línies netes i materials d'alta qualitat reflecteix la filosofia de Mies van der Rohe de "menys és més".

- Cadira i butaca:

- Materials:

Estructura: acer envernissat, niquelat o cromat.
Seient i respall: entapissat en tela o cuir (6,5 cm), i la cadira també en vímet.

- Dimensions:

Cadira i butaca: 87,5 x 77 x 70 cm (altura seient: 32 cm).

Secció estructura: 3,5 x 1,1 cm.



Fig. 29: Butaca Tugendhat

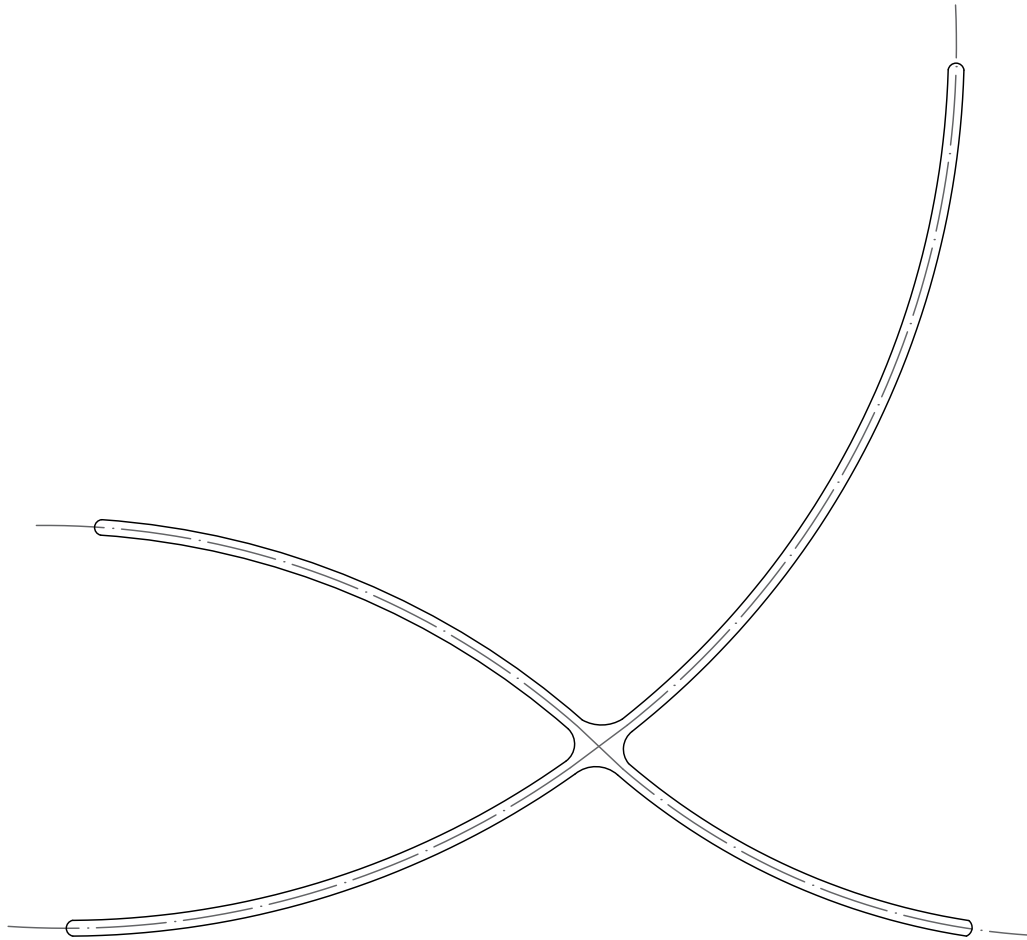


Fig. 30: Model lineal de la cadira Barcelona

6.1.4. Estructura amb dues barres intersectades

La cadira de Barcelona, entre altres mobles, va ser dissenyada com a part del mobiliari que decorava el pavelló alemany en l'Exposició Universal que es va celebrar en aquesta ciutat en 1929. Mies buscava un tipus de mobiliari d'acord amb l'arquitectura que proposava, i que no trenqués amb la fluïdesa espacial (Cohen, 2010).

Es va basar en la forma de tisora, que possiblement s'inspirava en una cadira de l'arquitecte Frederich Schinkel, referència sempre important per a Mies van der Rohe. El possible moviment que suggereix la tisora quedava anul·lat en enriquir l'eix mitjançant la unió soldada. D'alguna manera, aquesta posició estàtica de la tisora representava l'aparent flexibilitat espacial del Pavelló però clarament determinada. La suau oscil·lació de les potes recorda el mateix concepte de suspensió elàstica que estava present en l'oscil·lador lliure dels sueus mobles anteriors (Cohen, 2010).

Aquest disseny també es classificaria com una cadira en voladís. La intersecció de les potes permet

una distribució equilibrada de les càrregues a més d'actuar com un punt d'unió que reforça l'estructura.

Quan una persona s'hi seu, el pes es reparteix de manera uniforme a través de les potes, reduint punts de tensió específics. La forma en X ajuda a transmetre les forces aplicades verticalment cap a les bases de les potes, disminuint així la probabilitat de deformació. A més, la cadira és menys propensa a torçar-se o deformar-se sota càrrega.

El seient i el respatlle estan encoixinats i entapisats en cuir. Els coixins estan sostinguts per corretges de cuir que s'ajusten a l'estructura d'acer, proporcionant suport i confort. La base ampla i el pes de l'acer inoxidable contribueixen a evitar bolcades o moviments no desitjats.

“Aquesta cadira em va costar més que el pavelló.” Ludwig Mies van der Rohe.

- **Cadira:**

- Materials:

Estructura: fleix d'acer cromat. Seient i respall: fleix d'acer cromat entapissat original de pell blanca, després també en negre, cosit a mà.

- Dimensions:

Cadira: 75 x 75,4 x 76 cm (altura seient: 34,5 cm).

Secció estructura: 3,5 x 1,1 cm.



Fig. 31: Cadira Barcelona

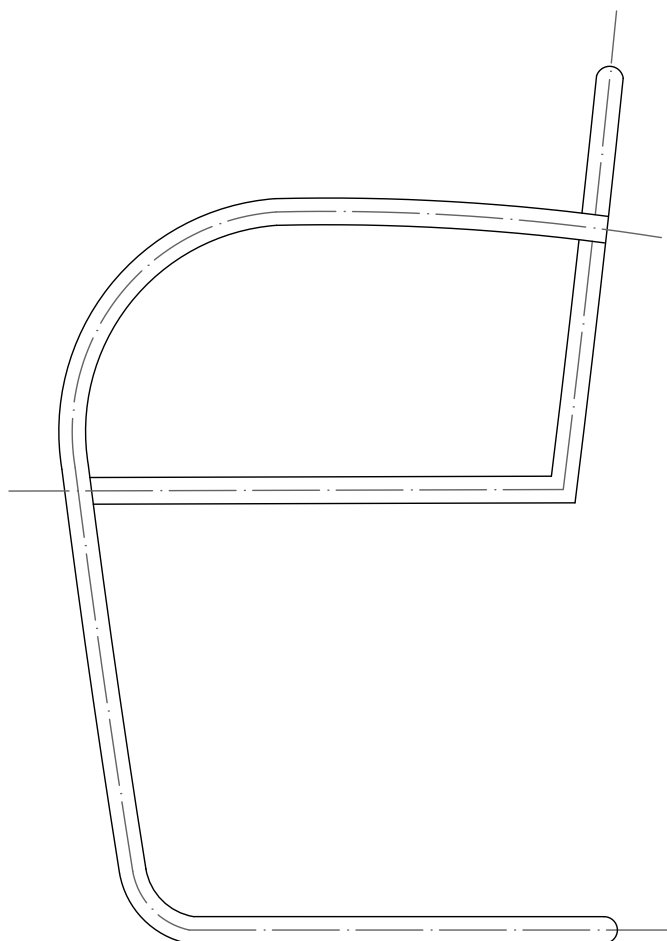


Fig.32: Model lineal de la cadira Brno

6.1.5. Estructura amb dues barres doblement intersectades

Aquesta peça de mobiliari internacional porta el nom de la segona ciutat més gran de l'antiga Txecoslovàquia, es va fer especialment per a la Vila Tugendhat, una vivenda extraordinària, amb una distribució especial. Destaca la utilització d'equipament tècnic avantguardista, materials de construcció innovadors i el mobiliari (Slamova, 2016).

El disseny de la cadira Brno, desenvolupat entre 1929 i 1930, és una evolució de la cadira MR20. A causa de l'accentuada inclinació del respalller de la MR20 i les seues dimensions més grans, no era adequada per a un ús en menjadors. Per aquest motiu, Mies van der Rohe va decidir crear un nou model més xicotet, amb un disseny més formal, seriós i elegant, pensat per a entorns interiors com menjadors o sales d'estar (Cohen, 2010).

El disseny de la cadira Brno també manté una estructura en voladís, i integra dues barres doblement intersectades, una de les quals forma les

potes i l'altra el suport del seient i el respalller. La intersecció de les barres contribueix a una distribució uniforme del pes, mantenint l'equilibri i la flexibilitat.

Aquesta cadira la va realitzar en dues versions. La primera va dissenyar amb un tub de secció circular, i es va fabricar amb entapissat en pergami blanc. La segona versió, amb tub de secció plana, i es va fabricar originalment en entapissat de color granat. Posteriorment, es trobaran altres variants d'aquesta cadira, tant en materials com en colors (Slamova, 2016).

- Cadira:

- Materials:

Estructura: tubular d'acer cromat o de secció plana d'acer cromat, lacat o niquelat.

Seient i respalller: entapissat i cobert de pell de vedell blanc o de cuir.

- Dimensions:

Estructura tubular: 78,6 x 55 x 59,5 cm (altura seient: 43,7 cm).

Secció estructura: Ø 2,4 cm.

Estructura plana: 81 x 41 x 57 cm (altura seient: 44 cm). Secció estructura: 3, 5 x 1,1 cm.



Fig. 33: Cadira Brno

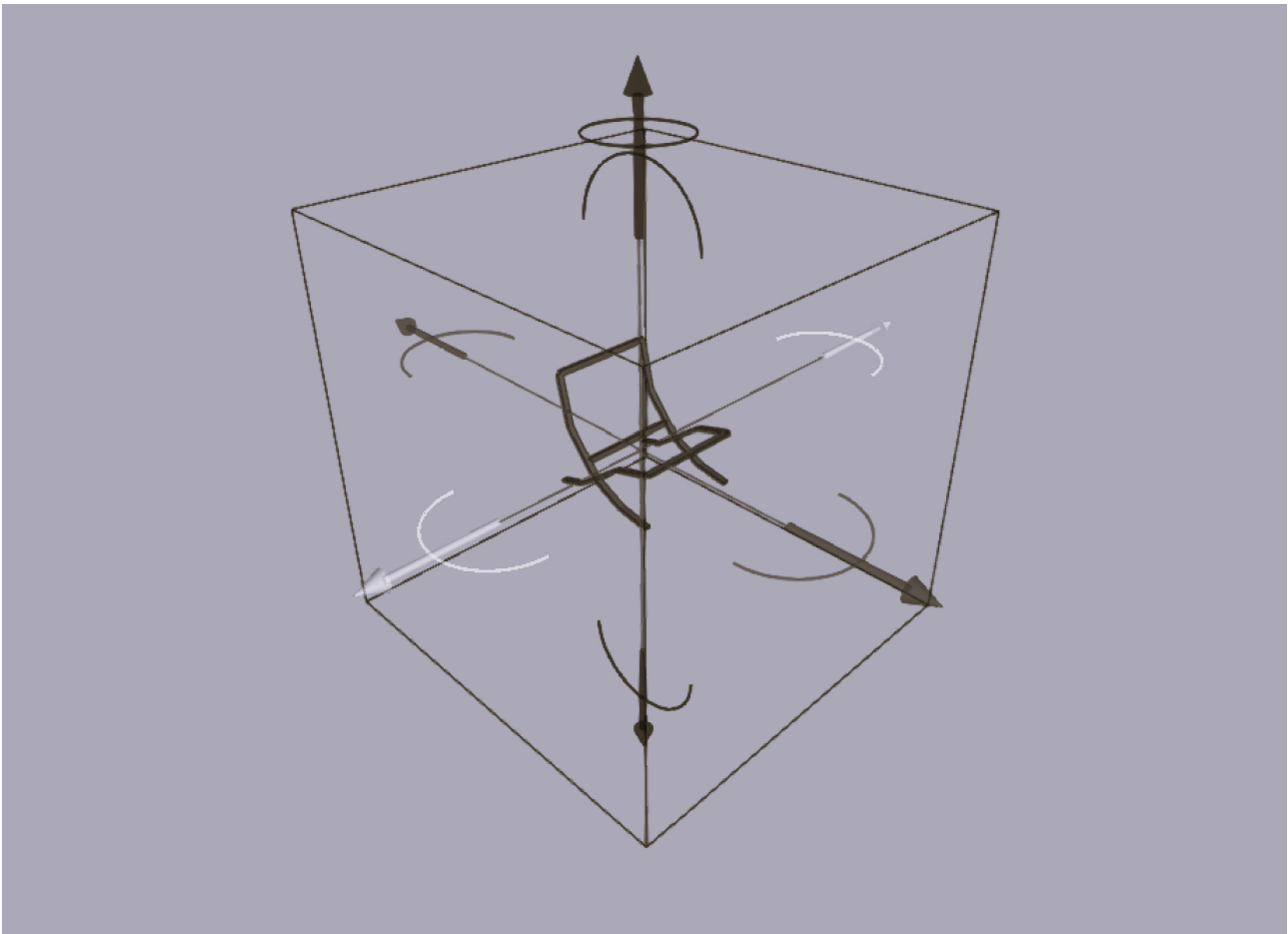


Fig. 34: CYPE 3D

7. Estudi estructural

Després de l'anterior classificació, en la qual s'han classificat les cadires segons si tenen una estructura de fusta, una barra (1B), dues barres tangents (2B, t), dues barres amb una intersecció (2B, i) o dues barres amb dues interseccions (2B, ii), es va a estudiar el comportament estructural d'una cadira de cada tipus, considerades les més representatives, cosa que permet així una anàlisi detallada i precisa de les característiques i la resistència estructural de cada disseny.

Per a l'estudi s'utilitzaran dades recopilades que tracten la capacitat de càrrega de les cadires i la manera com el pes d'una persona es distribueix sobre elles.

Tot seguit, s'han dibuixat les cadires utilitzant el programa AutoCAD per crear els models inicials, aquest pas ha permès representar la forma i estructura de les cadires de manera detallada. No obstant això, moltes d'aquestes cadires estan compostes per barres corbes, fet que genera un inconvenient amb el programa que utilitzarem per a analitzar el comportament estructural d'aquestes. Aquest programa no reconeix les línies corbes, per tant, ha estat necessari transformar-les en línies rectes; durant aquest procés, s'han variat algunes mesures de les cadires originals, però aquestes modificacions no han afectat el resultat final. Aquesta modificació ha estat essencial per garantir la correcta interpretació dels models dins del programa d'anàlisi.

Per al càlcul del comportament estructural de les cadires, s'han modelitzat utilitzant el programa CYPE 3D, que permet simular i avaluar la resposta estructural de les cadires davant les càrregues aplicades, assegurant una anàlisi precisa i fiable.

Pel que fa a l'estudi, totes les cadires seleccionades per a modelar comparteixen la característica de no

tenir reposabraços, per homogeneïtzar els resultats (excepte la cadira Brno, ja que aquests formen part de l'estructura).

La norma atorga a cada persona un pes mitjà de 75 quilos, un valor que s'utilitza sovint en càlculs de capacitat per garantir la seguretat (Beltran, 2019). Però, per tal de fer el càlcul més fiable, es faran servir 100 quilos en lloc del valor estàndard.

Per a l'anàlisi estructural, aquest pes ha de ser majorat segons els coeficients de seguretat estipulats pel Codi Estructural, assegurant que l'estructura suporti no només el pes estàtic de la persona, sinó també forces addicionals que podrien sorgir durant el seu ús. Segons aquest, per a estructures d'acer, se sol aplicar coeficients de seguretat d'1,35 per a càrregues permanents i d'1,5 per a càrregues variables. Aquests coeficients estan disponibles i poden ser activats a CYPE 3D.

Es plantejaran dues hipòtesis per a l'anàlisi estructural de cada cadira. En la primera, s'assumirà que la persona recolza tot el seu pes únicament al seient de la cadira. En la segona hipòtesi, es considerarà que una part del pes també és suportat pel respall; després de fer diverses proves domèstiques, s'ha determinat que el respall podria suportar, com a màxim, 25 quilos dels 100 quilos totals. No obstant això, per al càlcul d'aquesta segona hipòtesi, es col·locaran els 100 quilos sobre el seient, ja que els resultats no varien pràcticament, i així es manté un marge de seguretat adequat. Cal destacar que aquestes dues hipòtesis no són combinables, ja que representen situacions d'ús mútuament excloents que no poden donar-se simultàniament.

Aquests pesos es transformaran en càrregues superficials o lineals per als càlculs i depenent de les dimensions específiques de cada cadira obtindrem diferents valors de càrregues.

Les cadires es modelitzaran amb nusos rígids que connectaran les parts estructurals de manera que no permeten cap moviment relatiu entre elles. Això farà que les càrregues es transmeten de manera eficient i uniforme a través de l'estructura, garantint que la cadira pugui suportar el pes d'una persona asseguda sense deformacions significatives. Tanmateix, els nusos inferiors de les potes seran suports articulats mòbils a les potes davanteres, cosa que permet la rotació i, a més, petits desplaçaments horitzontals o laterals. A les potes posteriors, s'utilitzaran suports articulats fixos, que impediran el desplaçament o translació de la base de les potes, però permetran una lleugera rotació (Basset, 2014).

Amb els models finalitzats s'extrauran les envoltants, els valors de les quals representen un valor màxim i un valor mínim, entre els quals es troben la resta de valors que resulten de les combinacions emprades al càlcul. Les dades mostrades en una gràfica de tensió sempre estaran compreses entre zero i el valor màxim de la tensió, mentre que els esforços podran prendre com a valor mínim i/o màxim un nombre negatiu.

A continuació, es detallarà pas a pas el procés de disseny de cada cadira.

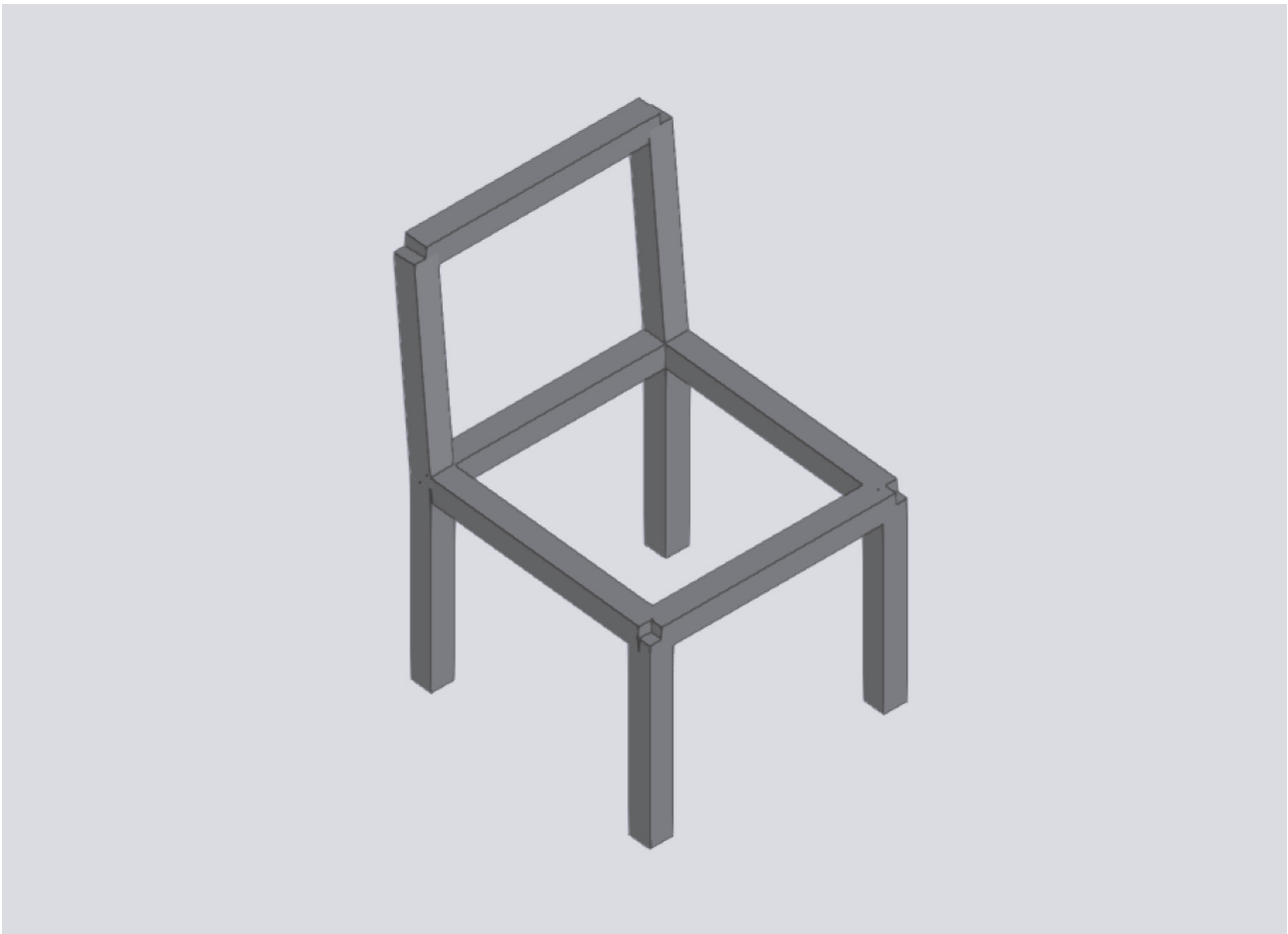


Fig. 35: Estructura 3D cadira de menjador

7.1. Comportament estructural d'una cadira amb estructura homogènia

Per a aquest grup d'anàlisi, ens centrarem en una cadira de fusta de palissandre contraxapada, que va dissenyar l'arquitecte per a un dels seus apartaments a Berlín.

Aquesta cadira destaca geomètricament perquè és la que més s'assembla al que coneixem com una cadira tradicional. Per tant, aquest estudi ens permetrà conèixer les forces i la resistència d'un disseny clàssic, la seua forma senzilla i lineal ofereix una base idònia per avaluar els esforços tant al seient com al respall, tal com es faria amb una cadira comuna en el nostre entorn.

7.1.1. Procés de modelatge

El primer pas per a l'estudi estructural ha estat dibuixar i acotar la cadira en AutoCAD, creant un model bidimensional precís que inclou totes les dimensions i detalls de la seua geometria.

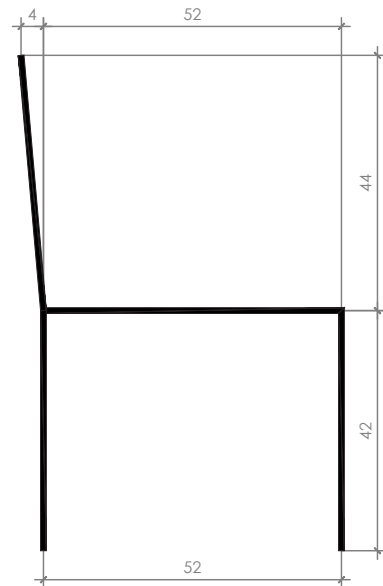


Fig. 36: Cadira de menjador acotada

Amb el disseny finalitzat, s'importa el pla a CYPE 3D, on es genera un nou pla a una distància de 0,5 metres, per crear així el model tridimensional. Així mateix, s'han creat els nusos corresponents i s'han afegit les barres que els uneixen, aconseguint així la geometria desitjada.

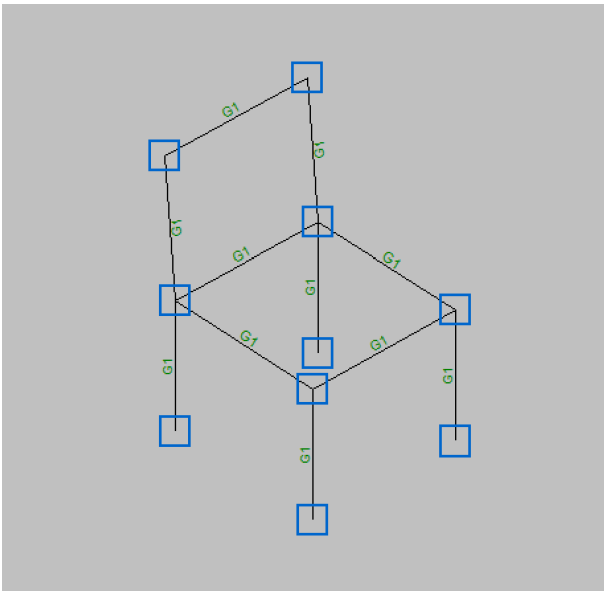


Fig. 37: Cadira de menjador amb nusos i barres

S'han descrit de la mateixa manera totes les barres amb una secció quadrada de fusta de 5 centímetres. Aquesta mesura ha estat seleccionada tenint en compte les dimensions reals de la cadira i les mides dels perfils disponibles en el programa utilitzat. Cal destacar que la fusta seleccionada per al càlcul ha estat la fusta massissa, ja que és el material més similar a l'original que ofereix el programa.

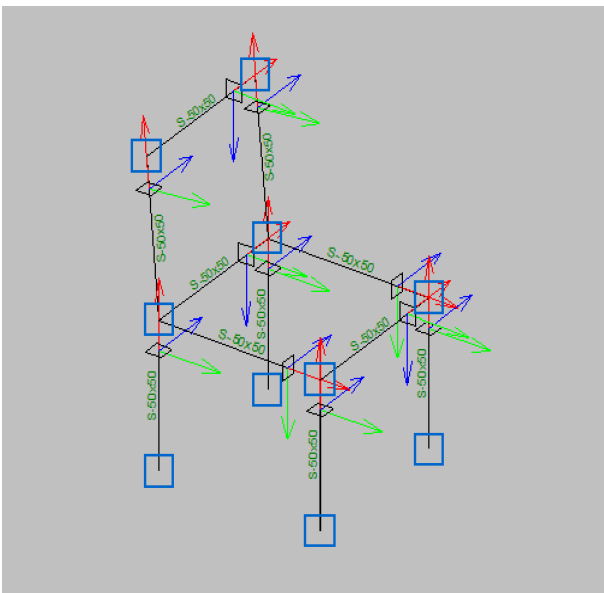


Fig. 38: Cadira de menjador amb les barres descrites

Es van dur a terme modificacions als nusos inferiors de les potes, substituint-los per suports articulats mòbils en les potes davanteres i per suports articulats fixos en les posteriors, a diferència dels nusos rígids utilitzats en les altres unions.

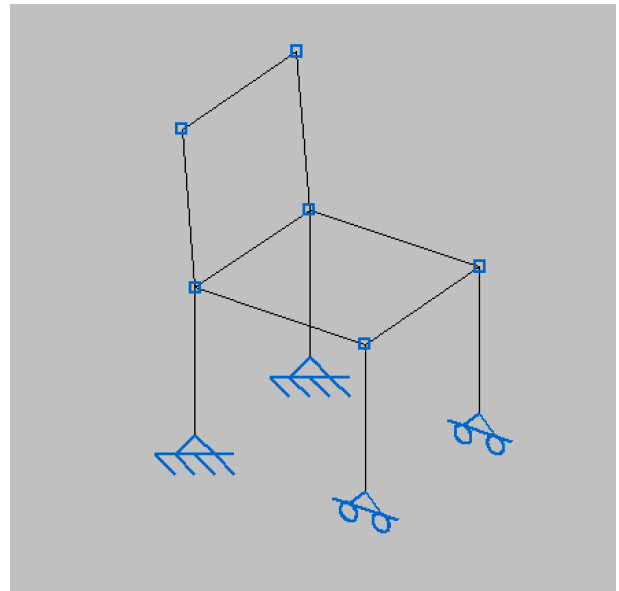


Fig. 39: Model complet de la cadira de menjador

A continuació s'introdueixen les hipòtesis esmentades anteriorment:

Hipòtesi 1:

- $1 \text{ KN} / (0,5 \text{ m} \times 0,52 \text{ m}) = 3,85 \text{ KN/m}^2$; $3,85 \text{ KN/m}^2 \times 0,25 \text{ m} = 0,96 \text{ KN/m} \approx 1 \text{ KN/m}$. Sent l'àmbit de càrrega 0,25 metres.

- $0,25 \text{ KN} / (0,5 \text{ m} \times 0,44 \text{ m}) = 1,12 \text{ KN/m}^2$; $1,12 \text{ KN/m}^2 \times 0,25 \text{ m} = 0,28 \text{ KN/m} \approx 0,3 \text{ KN/m}$. Sent l'àmbit de càrrega 0,25 metres.

Hipòtesi 2:

- $1 \text{ KN} / (0,5 \text{ m} \times 0,52 \text{ m}) = 3,85 \text{ KN/m}^2$; $3,85 \text{ KN/m}^2 \times 0,25 \text{ m} = 0,96 \text{ KN/m} \approx 1 \text{ KN/m}$. Sent l'àmbit de càrrega 0,25 metres.

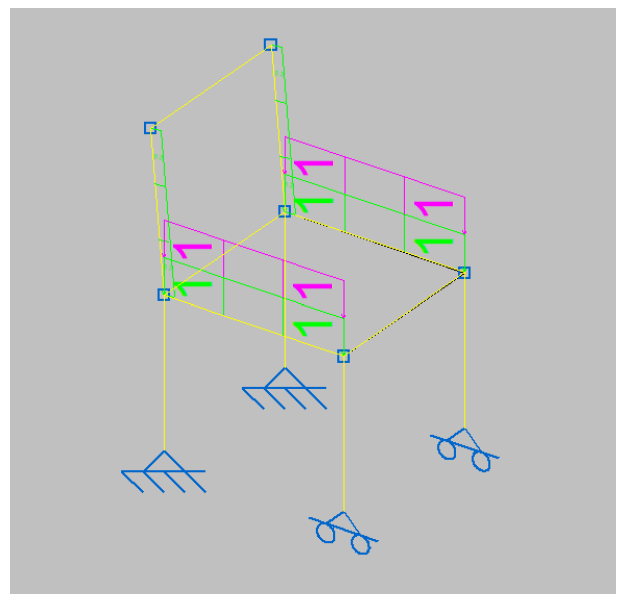


Fig. 40: Cadira de menjador amb les hipòtesis

Amb les càrregues aplicades es comprovarà si els elements prèviament seleccionats són capaços de suportar els esforços corresponents.

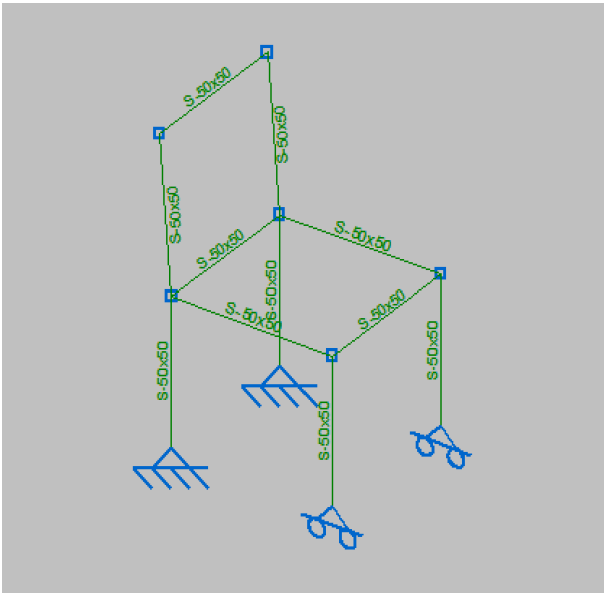


Fig. 41: Cadira de menjador comprovada

Després de realitzar la comprovació pertinent, es pot concloure que les barres de fusta massissa amb una secció quadrada de 5 centímetres són adequades per suportar els esforços aplicats. Amb això, ja disposem del modelatge final complet i llest per a l'extracció de les envoltants d'esforços.

7.1.2. Envoltants d'esforços

Axials:

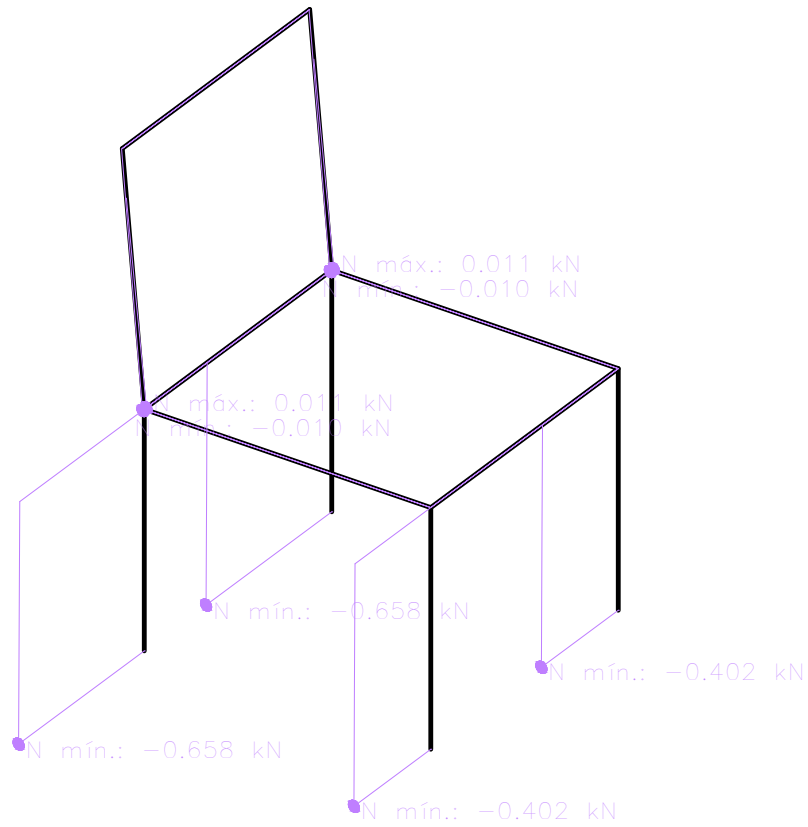


Fig. 42: Envoltant d'axials de la cadira de menjador

Tallants en Y:

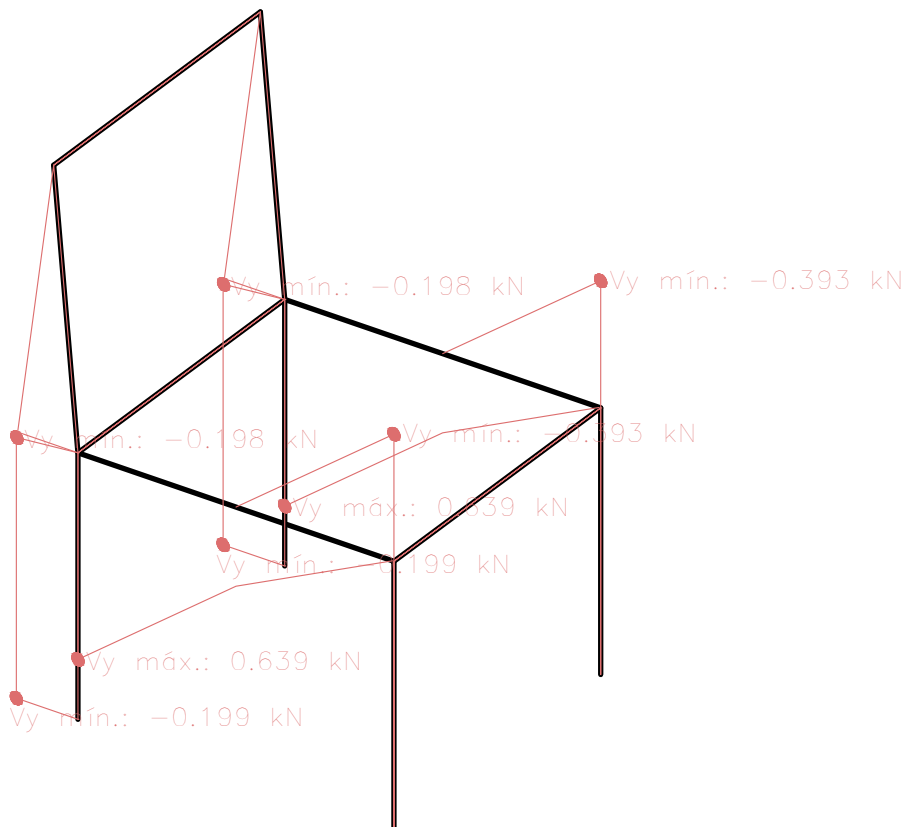


Fig. 43: Envoltant de tallants en Y de la cadira de menjador

Moments en Z:

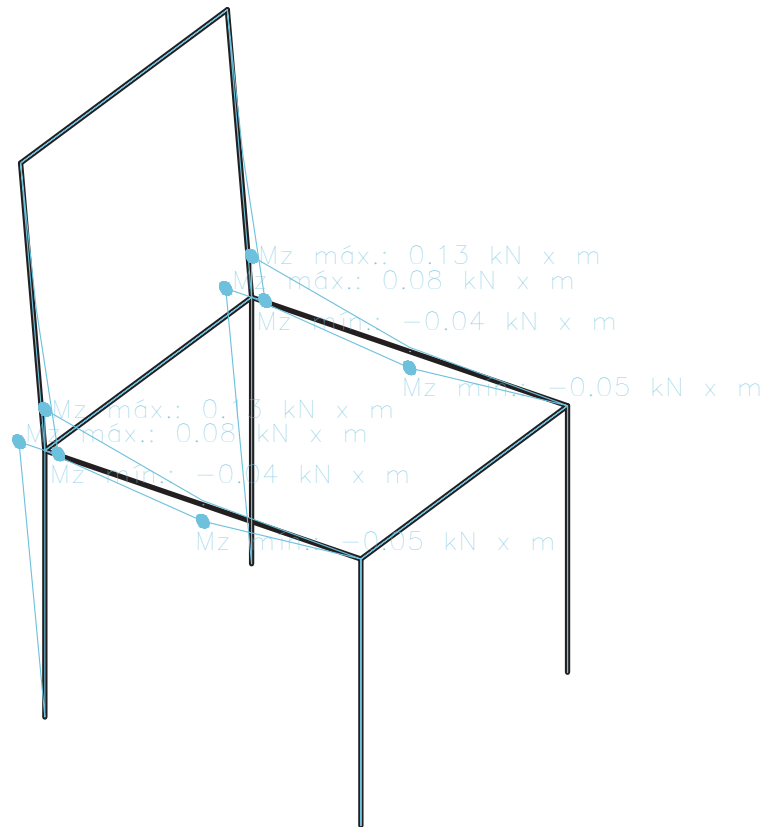


Fig. 44: Envoltant de moments en Z de la cadira de menjador

Tensions:

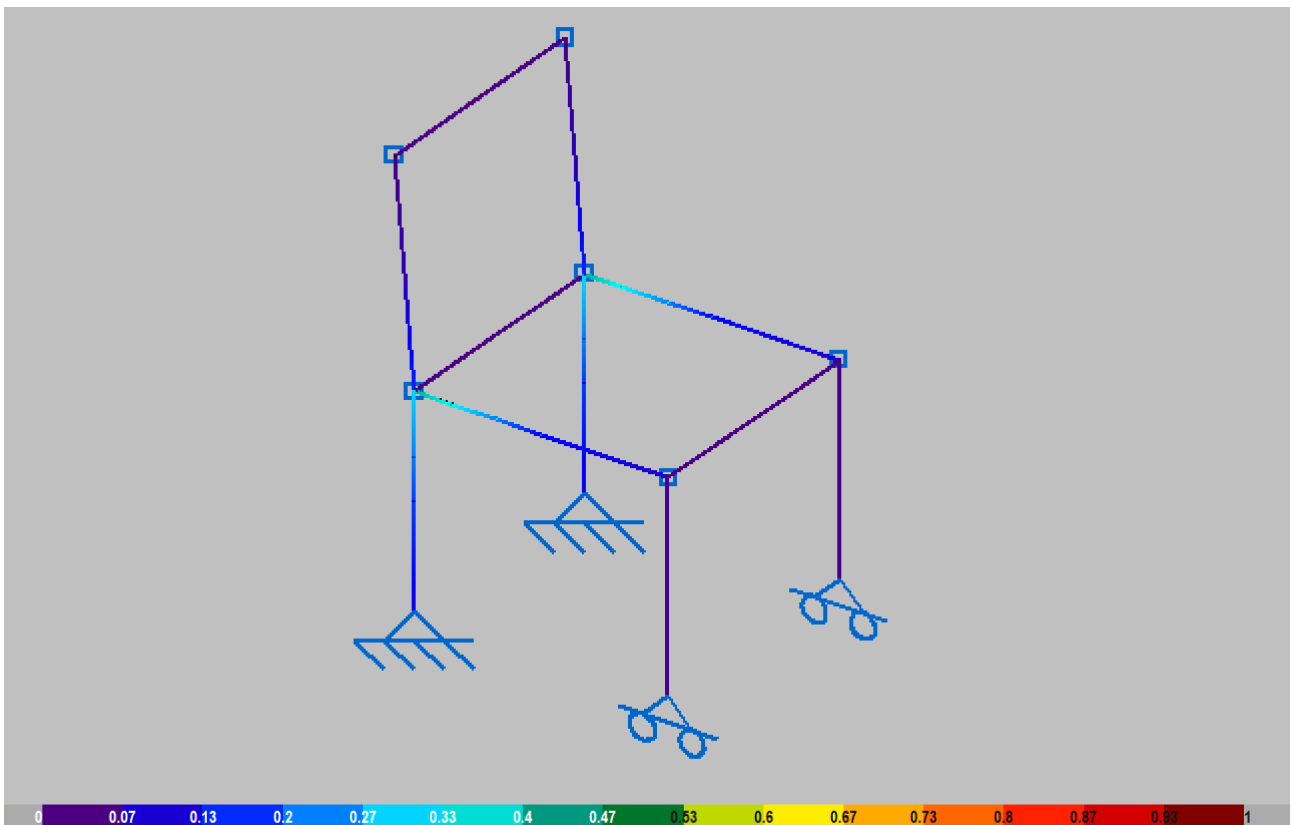


Fig. 45: Tensions de la cadira de menjador. Els valors estan compresos entre zero i el valor màxim de la tensió

Deformada:

- Hipòtesi 1:

Enllaç vídeo: https://www.instagram.com/p/DBTVg_INSyA2Lju2pPzthkWQ9VlKu01x9-i8To0/?hl=es

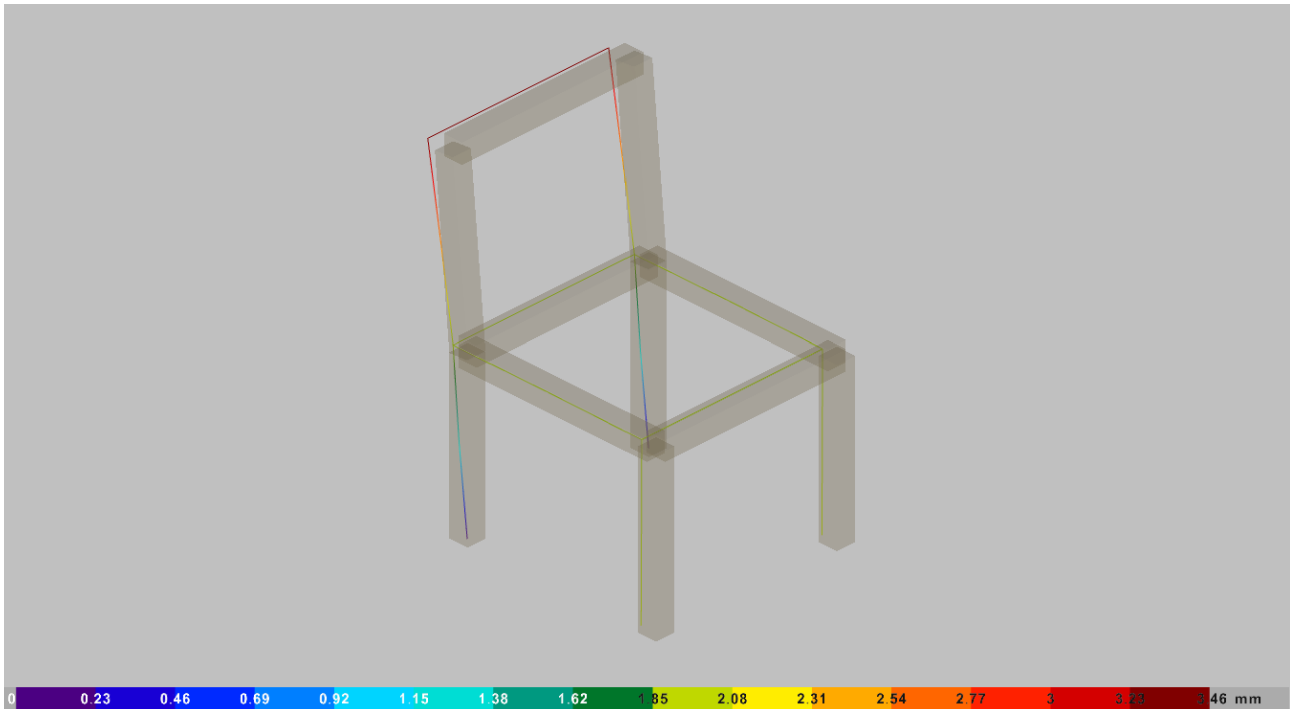


Fig. 46: Deformada de la hipòtesi 1 de la cadira de menjador

- Hipòtesi 2:

Enllaç vídeo: https://www.instagram.com/p/DBTWLMCNkOIiOdJPxkHRCx-j_C1y7C3TOz-ZWHo0/?hl=es

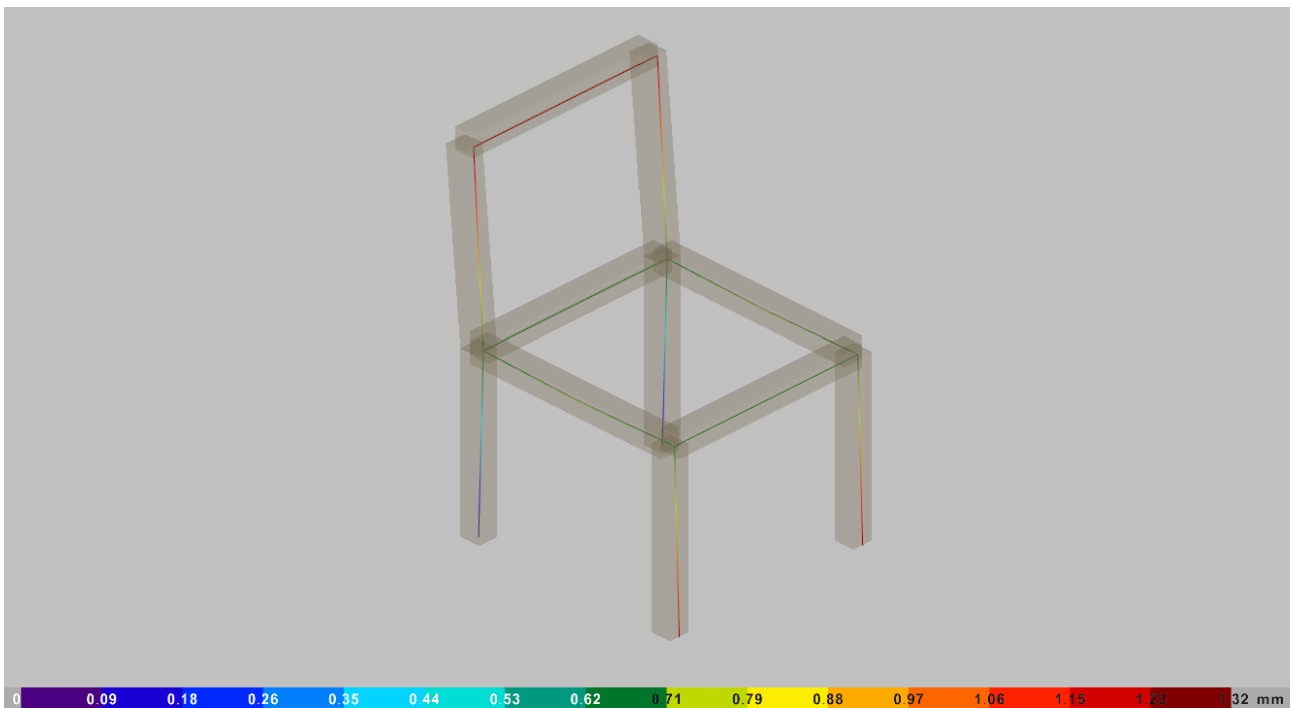


Fig. 47: Deformada de la hipòtesi 2 de la cadira de menjador

7.1.3. Anàlisi dels resultats

En seure una persona sobre el seient, el pes que exerceix es reparteix a través de les quatre potes de la cadira, podem observar aquest repartiment de càrregues observant el diagrama d'axials. Aquestes no estan distribuïdes de manera totalment uniforme, les potes posteriors tendeixen a suportar més pes que les davanteres, ja que estan connectades al respall, el qual també suporta part de la càrrega que la persona genera en recolzar-s'hi. A més, la inclinació del respall genera una força axial que es distribueix al llarg d'aquest. Per tant, al punt que uneix el respall i les potes posteriors s'observa una major càrrega i una concentració de tensions.

Els diagrames de tallants mostren com el pes d'una persona asseguda genera forces verticals en la cadira. Quan aquest pes es distribueix, es poden observar punts amb valors màxims i mínims de càrrega en el diagrama. Les potes posteriors suporten més càrrega que les davanteres, això es deu, al fet que han de transmetre, no només el pes directe de la persona, sinó també la força addicional que prové del respall, el qual reparteix part del pes al llarg de la seua estructura. La part posterior del seient és un dels punts amb més tensió de tall, ja que és on s'uneix amb el respall i on treballen conjuntament per estabilitzar la cadira i absorbir les càrregues més altes.

Els moments reflecteixen la resposta a les càrregues aplicades quan la persona asseguda exerceix pressió en diferents punts del seient o es recolza sobre el respall. Aquestes forces es concentren principalment en els punts on la cadira suporta càrregues més grans o on hi ha canvis d'orientació en les connexions, com el respall i les potes posteriors. Quan la persona es recolza el respall experimenta un moment de torsió, i aquest esforç es transmet a les unions amb les potes, que han de suportar la càrrega combinada de pes i de torsió. Els valors màxims i mínims dels moments indiquen, per tant, els punts de l'estructura on la cadira ha de ser més resistent per evitar deformacions o moviments no desitjats, és a dir, on és més probable que es produeixen tensions per torsió i on la construcció ha de ser més robusta per suportar-les.

Quant a la deformada, s'observa que en la hipòtesi 1, quan la persona seu recolzant part del seu

pes en el respall, la màxima deformació es produeix precisament en aquesta part de la cadira, ja que el respall suporta una càrrega addicional. La part posterior de la cadira experimenta la major concentració de càrregues i, per tant, és on la cadira més deforma. En canvi, en la hipòtesi 2, on el pes de la persona es concentra únicament en el seient, la càrrega es transmet principalment a les potes davanteres, perquè suporten el pes directe sense l'ajuda del respall. Això fa que les potes davanteres experimenten la màxima deformació, ja que han de suportar tota la càrrega de la persona. Així i tot, com que la cadira és una estructura unida, es genera una deformació també en el respall.

El material utilitzat en el disseny d'aquesta cadira és la fusta, material amb característiques particulars que la fan resistent, però que requereixen un disseny cuidat. Com a material anisòtrop, la seua resistència varia segons la direcció de la fibra; suporta millors forces paral·leles a la fibra, com la compressió i tracció al llarg de l'eix. A més, és sensible a la humitat, la qual cosa pot afectar la seua estabilitat dimensional i durabilitat. La fusta també es deforma amb el temps sota càrregues permanents, i les seues unions necessiten disseny precís per evitar deformacions que afecten l'estructura (De Pedro, 2022).

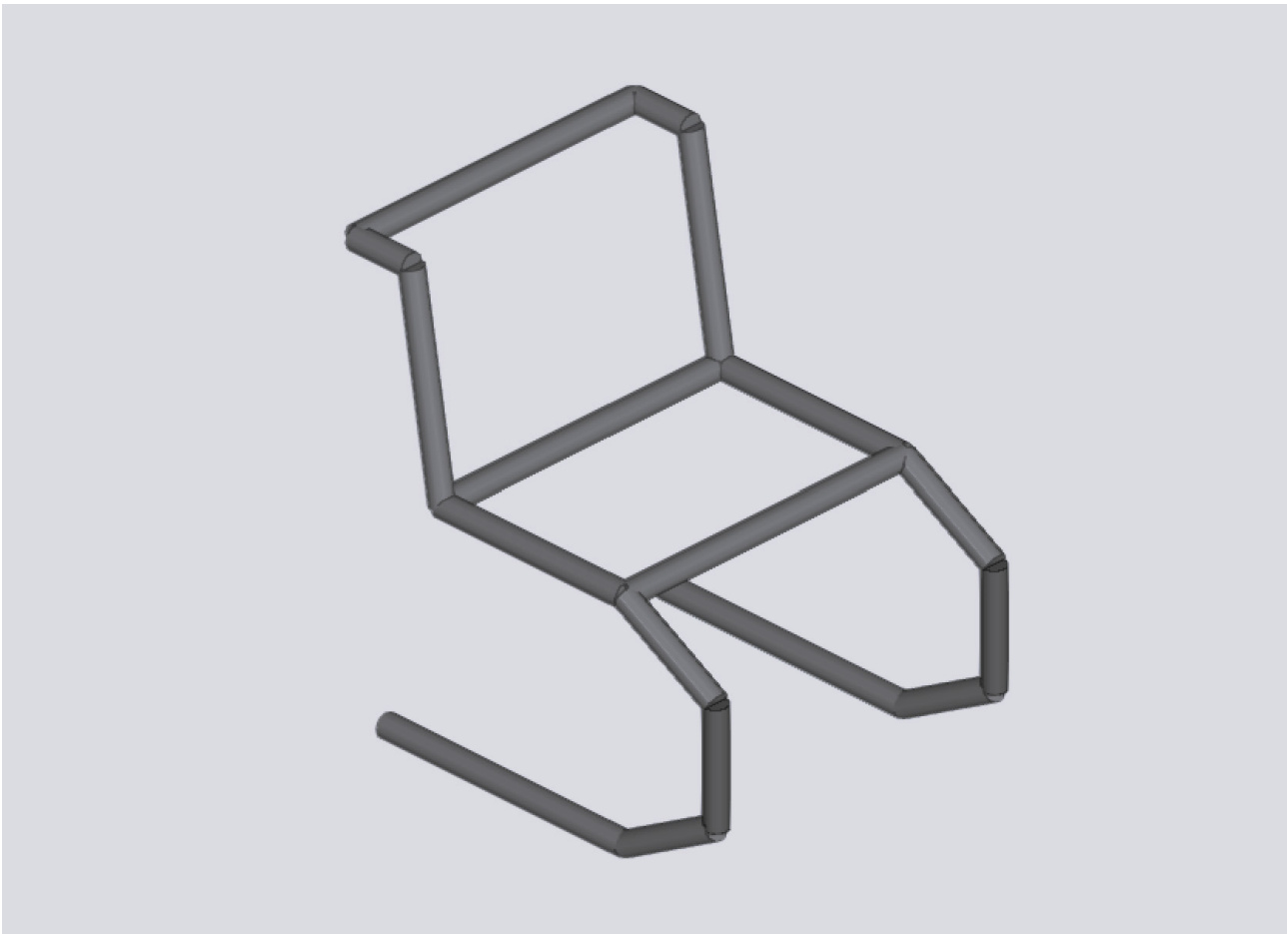


Fig. 48: Estructura 3D cadira MR10

7.2. Comportament estructural d'una cadira amb estructura d'una barra

En aquest grup trobem les cadires conegudes com les primeres peces de mobiliari amb estructura tubular d'acer dissenyades per Mies van der Rohe.

Aquestes cadires introdueixen el concepte d'un marc estructural continu i destaquen per ser cadires exemptes de potes al darrere i són conegudes com a cadires en voladís.

7.2.1. Procés de modelatge (1B)

El primer pas a l'estudi estructural ha estat dibuixar la cadira a AutoCAD. En aquest cas, com s'ha comentat anteriorment, ha estat necessari convertir les corbes en línies rectes. A partir d'aquesta transformació, s'ha acotat la cadira, generant un model bidimensional detallat que inclou totes les dimensions i les característiques de la seua geometria.

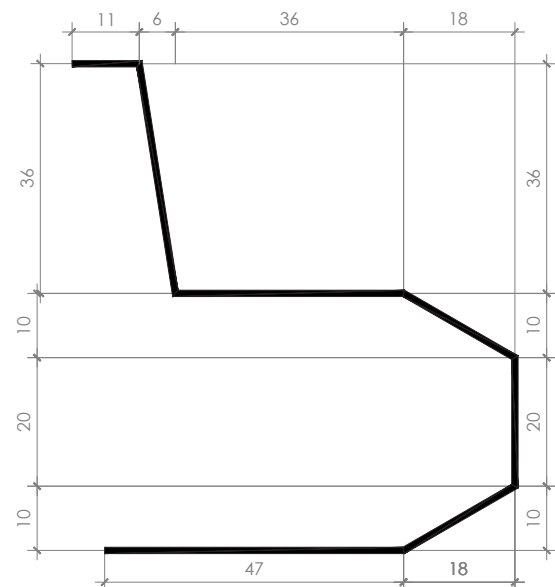


Fig. 49: Cadira MR10 acotada

Amb el disseny finalitzat, s'importa el pla a CYPE 3D, on es genera un nou pla a una distància de 0,7 metres, per crear així el model tridimensional. Així mateix, s'han creat els nusos corresponents i s'han afegit les barres que els uneixen, aconseguint així la geometria desitjada.

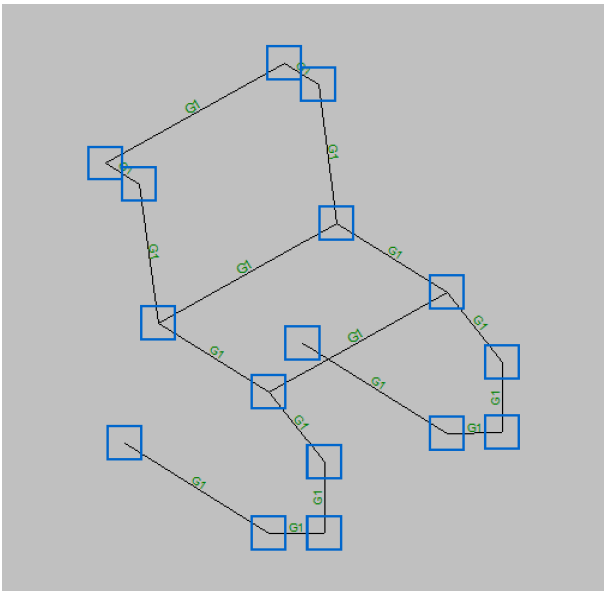


Fig. 50: Cadira MR10 amb nusos i barres

S'han descrit de la mateixa manera totes les barres emprades en el disseny, seleccionant perfils armats de xapes d'acer laminat (S275). Dins d'aquest grup, s'ha optat específicament per perfils tubulars, els quals presenten una secció de 24x2 mil·límetres. Aquesta mesura ha estat escollida ajustant-se a les dimensions reals de la cadira i, tenint en compte les mides disponibles en el programa utilitzat.

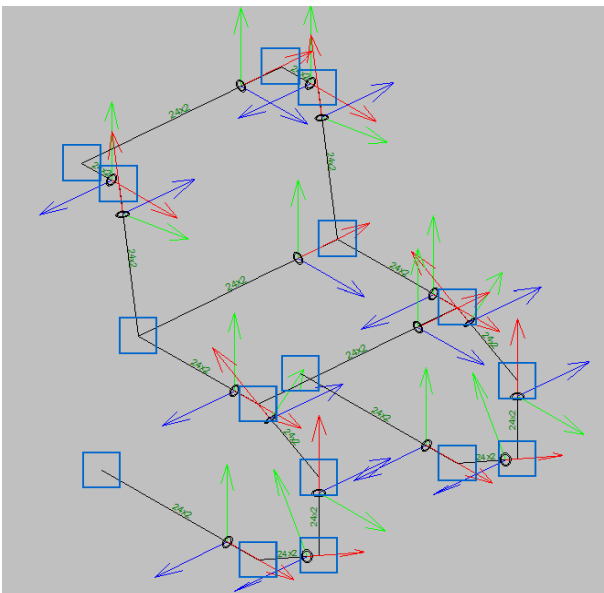


Fig. 51: Cadira MR10 amb les barres descrites

Es van dur a terme modificacions als nusos inferiors de les potes, substituint-los per suports articulats mòbils en les potes davanteres i per suports articulats fixos en les posteriors, a diferència dels nusos rígids utilitzats en les altres unions.

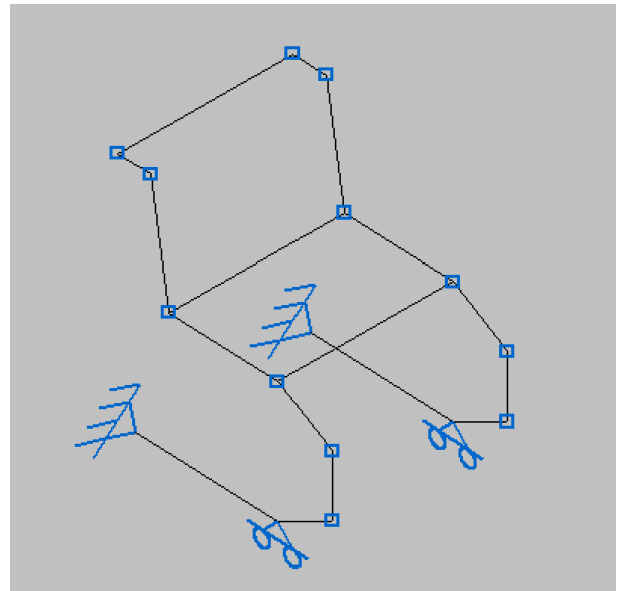


Fig. 52: Model complet de la cadira MR10

A continuació s'introdueixen les hipòtesis esmentades anteriorment:

Hipòtesi 1:

- $1 \text{ KN} / (0,7 \text{ m} \times 0,36 \text{ m}) = 3,97 \text{ KN/m}^2$; $3,97 \text{ KN/m}^2 \times 0,35 \text{ m} = 1,39 \text{ KN/m} \approx \mathbf{1,4 \text{ KN/m}}$. Sent l'àmbit de càrrega 0,35 metres.

- $0,25 \text{ KN} / (0,7 \text{ m} \times 0,36 \text{ m}) = 0,99 \text{ KN/m}^2$; $0,99 \text{ KN/m}^2 \times 0,35 \text{ m} = 0,35 \text{ KN/m} \approx \mathbf{0,4 \text{ KN/m}}$. Sent l'àmbit de càrrega 0,35 metres.

Hipòtesi 2:

- $1 \text{ KN} / (0,7 \text{ m} \times 0,36 \text{ m}) = 3,97 \text{ KN/m}^2$; $3,97 \text{ KN/m}^2 \times 0,35 \text{ m} = 1,39 \text{ KN/m} \approx \mathbf{1,4 \text{ KN/m}}$. Sent l'àmbit de càrrega 0,35 metres.

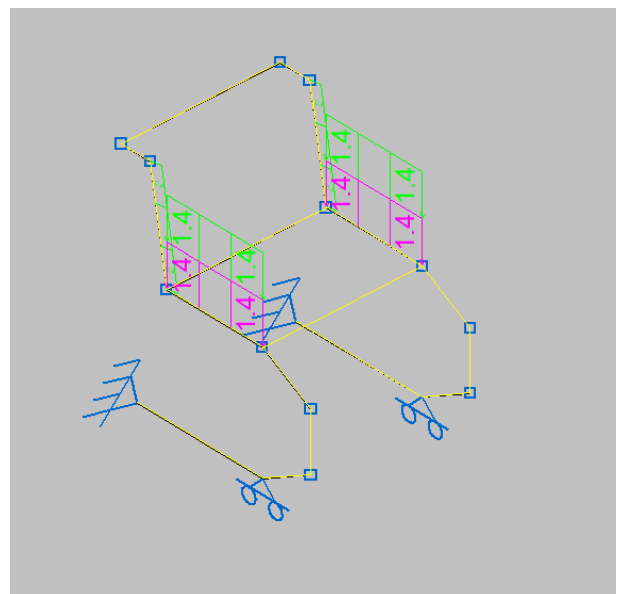


Fig. 53: Cadira MR10 amb les hipòtesis

Amb les càrregues aplicades es comprovarà si els elements prèviament seleccionats són capaços de suportar els esforços corresponents.

7.2.2. Envoltants d'esforços (1B)

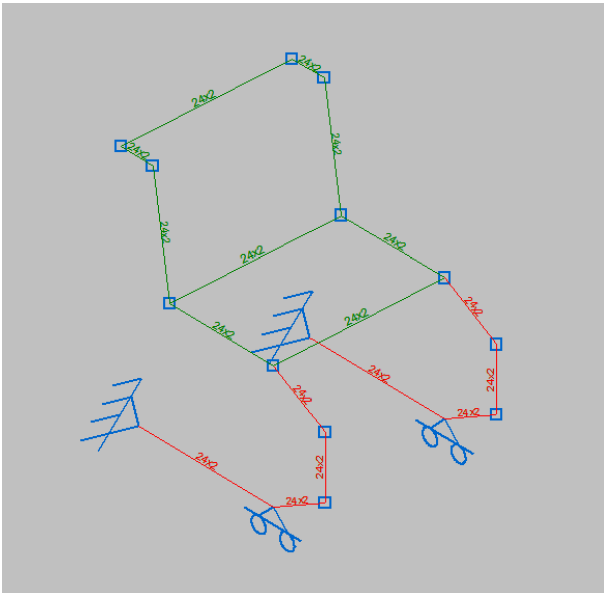


Fig. 54: No compliment de la cadira MR10

Realitzada la verificació corresponent, es pot concloure que les barres tubulars, amb una secció circular de 24x2 mil·límetres no són suficients per a resistir els esforços aplicats; és necessari redimensionar les barres.

Per tal de complir amb els requisits de resistència, s'ha decidit utilitzar barres amb una secció de 28x3 mil·límetres, assegurant així que totes les barres compleixen les exigències estructurals. Per tant, ja podem obtenir les envoltants d'esforços.

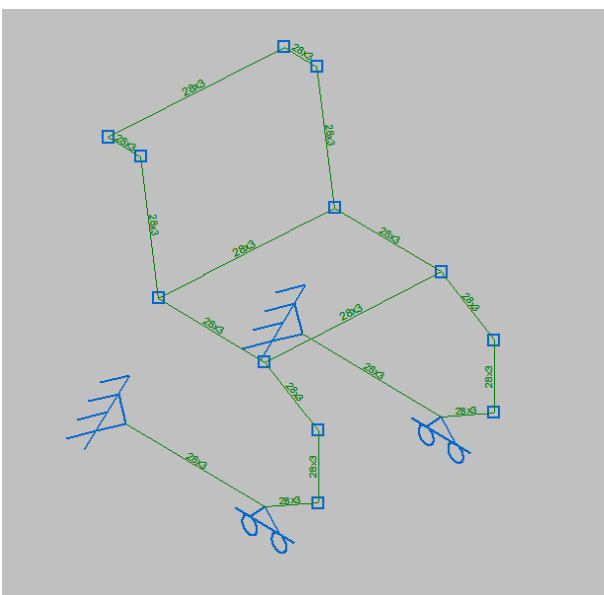


Fig 55: Cadira MR10 comprovada

Axials:

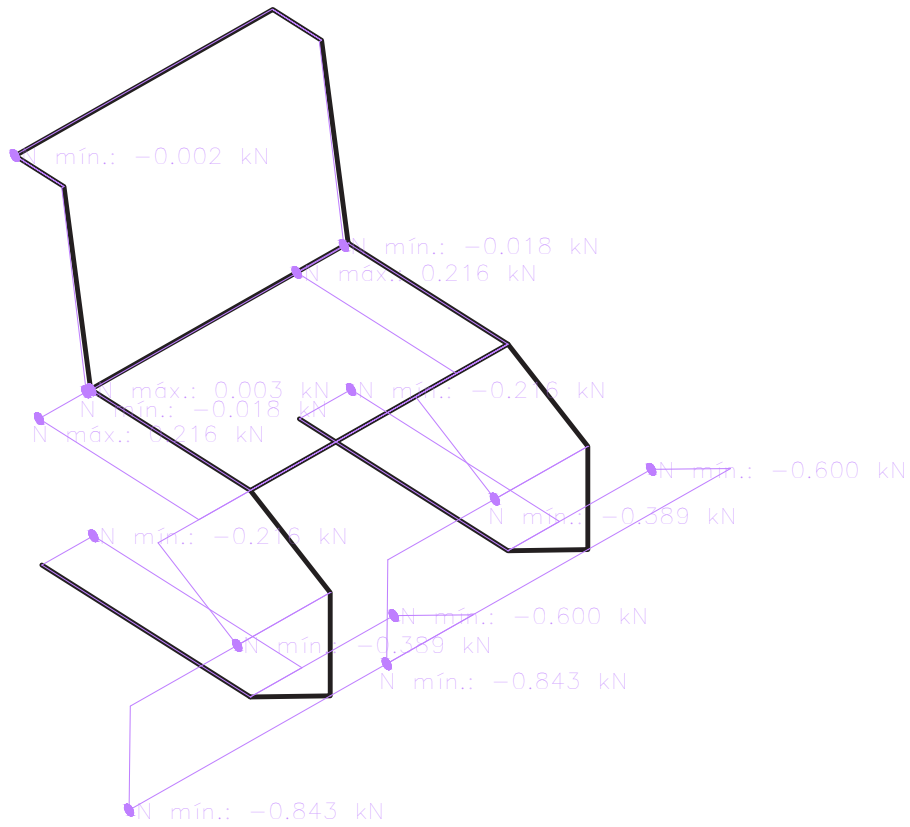


Fig. 56: Envoltant d'axials de la cadira MR10

Tallants en Y:

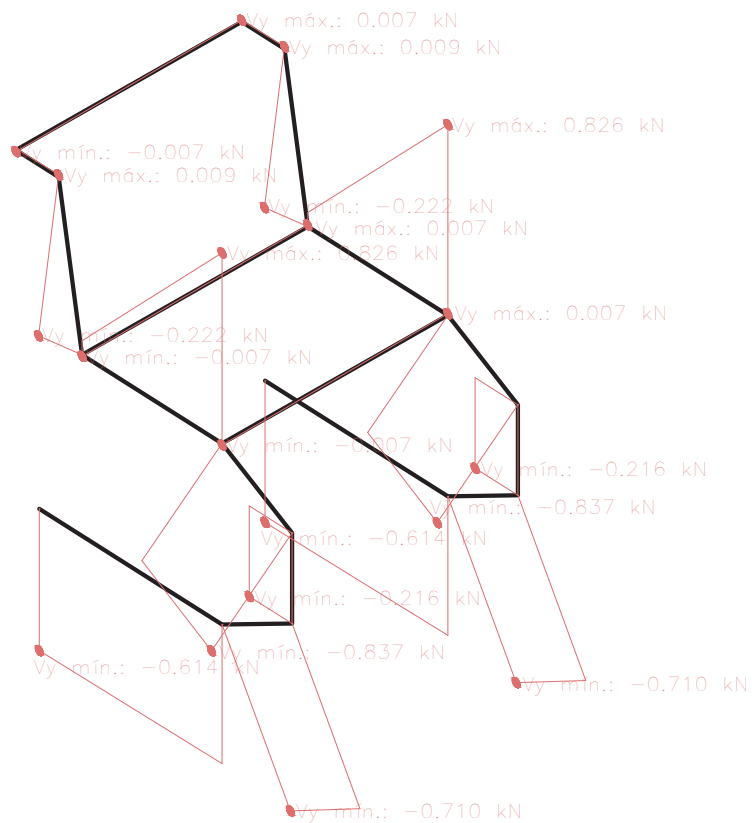


Fig. 57: Envoltant de tallants en Y de la cadira MR10

Moments en Z:

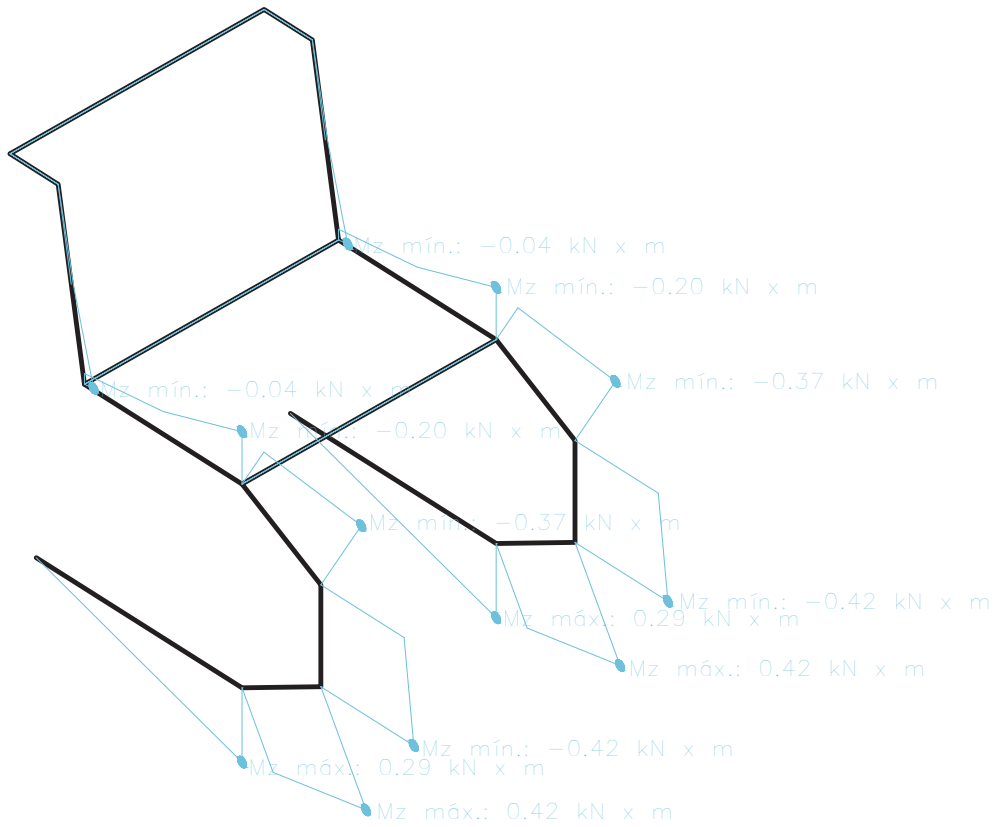


Fig. 58: Envoltant de moments en Z de la cadira MR10

Moments en Y:

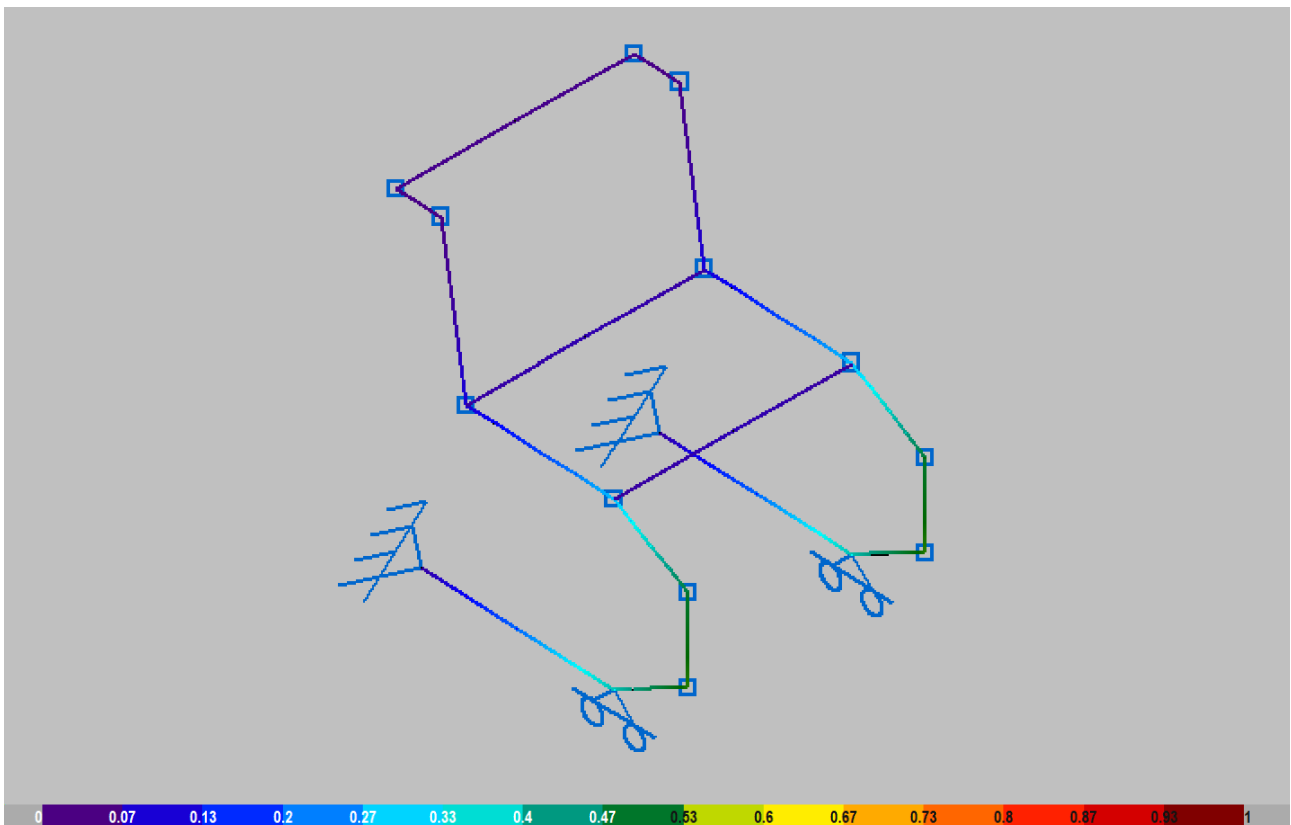


Fig. 59: Tensions de la cadira MR10. Els valors estan compresos entre zero i el valor màxim de la tensió

Deformada:

- Hipòtesi 1:

Enllaç vídeo: <https://www.instagram.com/p/DBTWVNPNBWszIQUsuoMRoMH8b8SDgigA8tk-GE0/?hl=es>

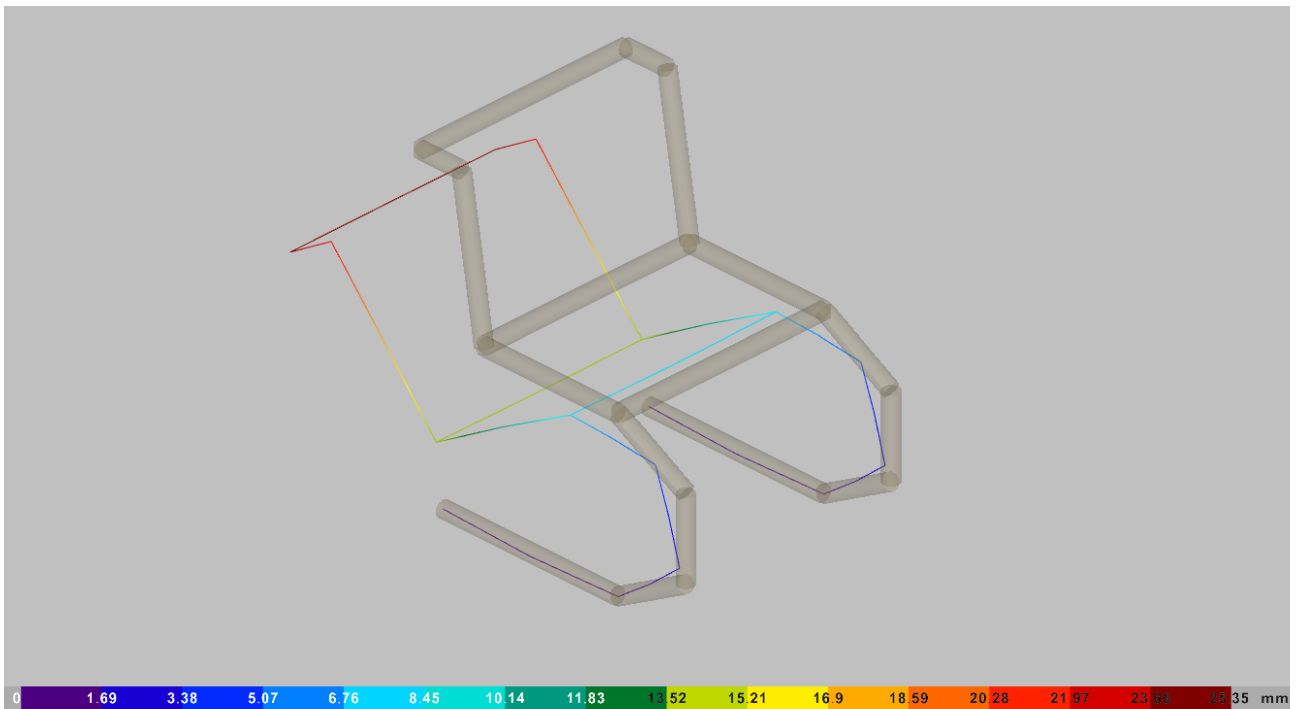


Fig. 60: Deformada de la hipòtesi 1 de la cadira MR10

- Hipòtesi 2:

Enllaç vídeo: https://www.instagram.com/p/DBTWZqqN0twB_1MpQjUd5GxztfwcMSj_Ibs-H-c0/?hl=es

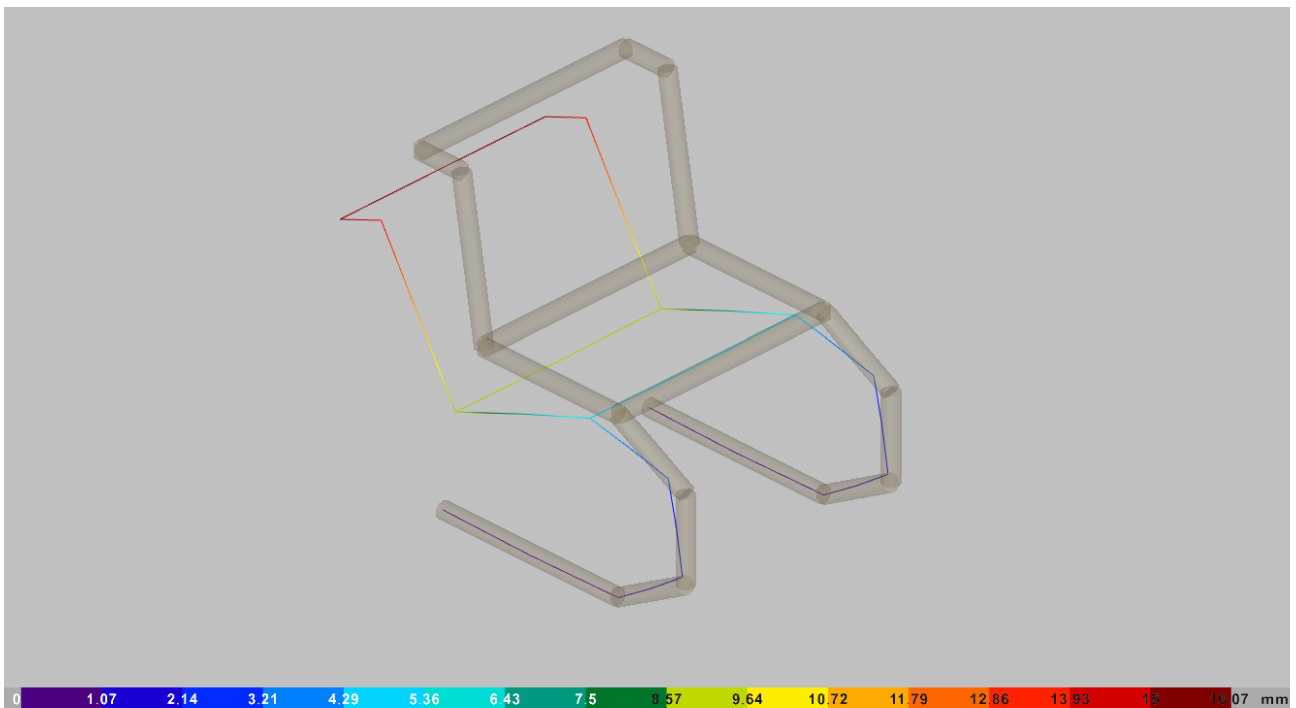


Fig. 61: Deformada de la hipòtesi 2 de la cadira MR10

7.2.3. Anàlisi dels resultats (1B)

La cadira que estem analitzant presenta una estructura en voladís a causa de l'absència de potes del darrere. Això vol dir que tot el pes d'una persona asseguda recauen exclusivament sobre les dues potes davanteres, que formen el suport principal de la cadira i, per tant, assumeixen els màxims punts de tensió.

Pel que fa als esforços axials, atés que la cadira no té potes a la part del darrere, les potes davanteres són les que suporten tota la càrrega produïda pel pes de la persona. El seient experimenta un esforç axial en el pla horitzontal que prové d'aquest pes, que es transfereix des del seient cap a les potes davanteres. Al punt d'unió entre el seient i el respall, també es produeix un esforç axial important, provocat quan la persona es recolza contra el respall. Aquest respall, en rebre el pes del cos inclinat cap enrere, ha de transmetre aquest esforç cap a les potes davanteres. Com a resultat, tant el seient com el respall experimenten forces axials que es distribueixen cap a les potes davanteres, assegurant que el pes total de la persona siga suportat adequadament en aquests dos punts de contacte amb el terra.

D'altra banda, els esforços tallants a la cadira són també significatius a causa de la configuració en voladís. La força vertical generada pel pes de la persona es concentra directament al seient i es transfereix cap a les potes davanteres, ja que, com que són les úniques que suporten l'estructura, han de transmetre tota la força tallant. Aquest esforç tallant s'incrementa a mesura que descendim per les potes, assolint-ne el valor màxim a la base, on les potes toquen el terra i han de suportar la totalitat del pes de la persona i de l'estructura de la cadira. A més, a la unió entre el seient i el respall es produeix una concentració de càrregues a causa de la transferència de pes i la força addicional que es genera quan la persona es recolza. Aquest punt de connexió entre el seient i el respall és crític, ja que suporta una càrrega tallant alta que és fonamental per a l'estabilitat de la cadira.

Finalment, pel que fa als moments, les potes davanteres tenen un paper essencial en la transmissió d'aquests. Com que es tracta d'una estructura en voladís, les potes davanteres han de transmetre tot el moment generat tant pel pes de la per-

sona asseguda com per qualsevol càrrega addicional que s'origina en recolzar-se al respall. Aquest disseny implica que les potes davanteres suporten moments significatius, especialment a la base, on la reacció del terra compensa el moment generat per la càrrega superior. A més, a la unió entre el respall i les potes davanteres s'ha de resistir el moment que es produeix pel pes del respall i la inclinació de la persona. Aquesta unió és un punt crucial per a l'equilibri de l'estructura, ja que qualsevol moment generat pel pes i el moviment de l'usuari es transfereix directament a aquesta connexió i, finalment, cap a les potes davanteres.

En aquesta cadira amb estructura en voladís, tant en la hipòtesi 1 (amb pes repartit entre el seient i el respall) com en la hipòtesi 2 (amb el pes només sobre el seient), es produeix una deformació similar a través de tota la cadira, ja que l'estructura és contínua i cada part contribueix a la rigidesa general. En la hipòtesi 1, on la persona es recolza tant al seient com al respall, la deformació en aquest últim és molt més gran. En aquest cas, el respall experimenta una flexió significativa perquè la força addicional genera un moment en voladís que es concentra sobretot en la unió entre el seient i el respall. Aquest moment fa que el respall es doble cap enrere, augmentant la deformació de manera notable en comparació amb la hipòtesi 2. En la hipòtesi 2, encara que el pes només es concentra al seient, la cadira igualment es deforma en tota la seua estructura, però la deformació al respall és menor, ja que no hi ha una força extra aplicada sobre ell.

Mies van der Rohe va utilitzar acer tubular per aprofitar les qualitats del material, com la seua resistència i flexibilitat, entre d'altres. L'acer permetia crear una estructura lleugera i estable sense necessitat de potes del darrere, cosa que generava una estètica moderna i neta. A més, l'acer doblegat oferia la possibilitat de fer formes corbades, augmentant l'elasticitat i evitant la fatiga del material. A més, la forma corba de les potes, s'adaptava a l'estil funcional i minimalista del disseny industrial i la Bauhaus (Esperón, 2015).



Fig. 62: Estructura 3D cadira Tugendhat

7.3. Comportament estructural d'una cadira amb estructura de dues barres tangents

En aquest apartat d'anàlisi, es tracta la cadira Tugendhat, una icona del disseny modern.

Destaca la seua elegant forma en voladís, combinant precisió tècnica i una clara intenció artística. L'estructura d'acer, refinada en la seua construcció i en la seua materialitat, aporta una sensació de lleugeresa i solidesa, mentre que, els coixins gruixuts ofereixen un alt nivell de confort i una informalitat acollidora (Knoll, 2024).

7.3.1. Procés de modelatge (2B, t)

Com a primer pas de l'estudi, s'ha dibuixat la cadira a AutoCAD. Tal com s'ha indicat prèviament, ha estat necessari substituir les corbes per línies rectes. A partir d'aquesta modificació, s'ha acotat la cadira per crear un model bidimensional que reflecteix amb precisió totes les seues dimensions i característiques geomètriques.

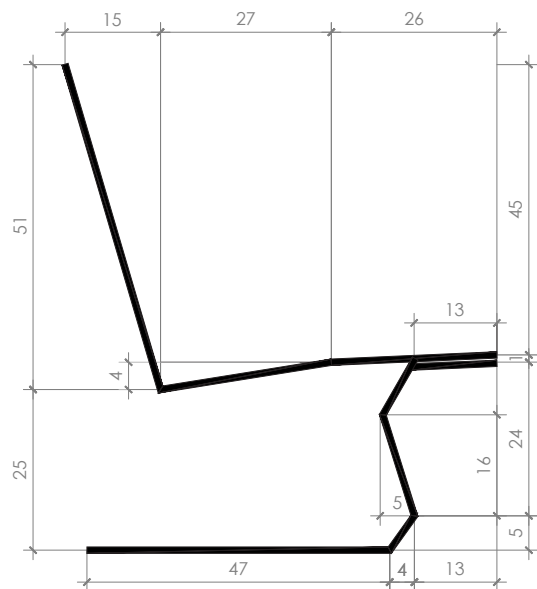


Fig. 63: Cadira Tugendhat acotada

Amb el disseny finalitzat, s'importa el pla a CYPE 3D, on es genera un nou pla a una distància de 0,7 metres, per crear així el model tridimensional. Així mateix, s'han creat els nusos corresponents i s'han afegit les barres que els uneixen, aconseguint així la geometria desitjada.

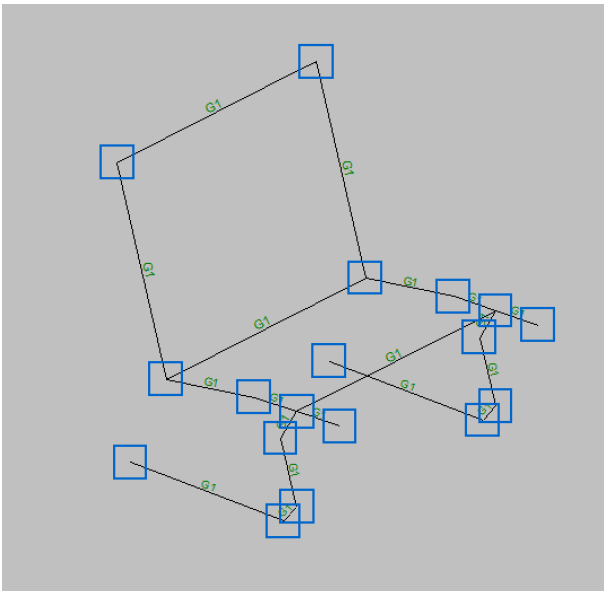


Fig. 64: Cadira Tugendhat amb nusos i barres

S'han descrit de la mateixa manera totes les barres emprades en el disseny, seleccionant perfils armats de xapes d'acer laminat (S275). Dins d'aquest grup, s'ha optat específicament per perfils rectangulars de tipus pletina, amb una secció de 35x12 mil·límetres. Aquesta mesura ha estat escollida ajustant-se a les dimensions reals de la cadira i, tenint en compte les mides disponibles en el programa utilitzat.

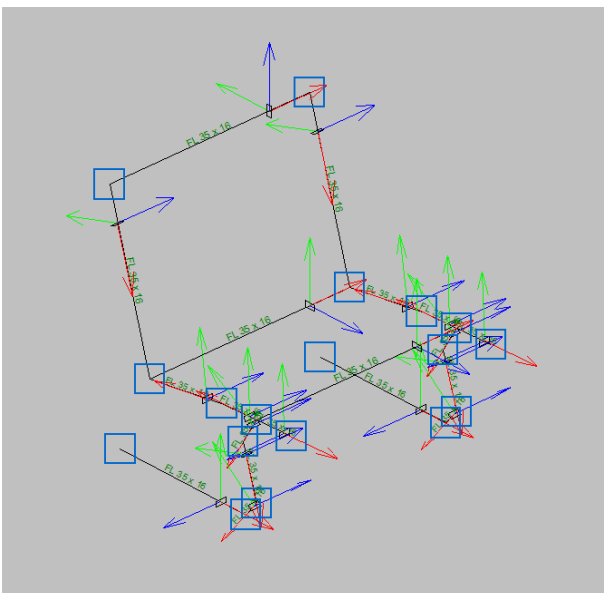


Fig. 65: Cadira Tugendhat amb les barres descrites

Es van dur a terme modificacions als nusos inferiors de les potes, substituint-los per suports articulats mòbils en les potes davanteres i per suports articulats fixos en les posteriors, a diferència dels nusos rígids utilitzats en les altres unions.

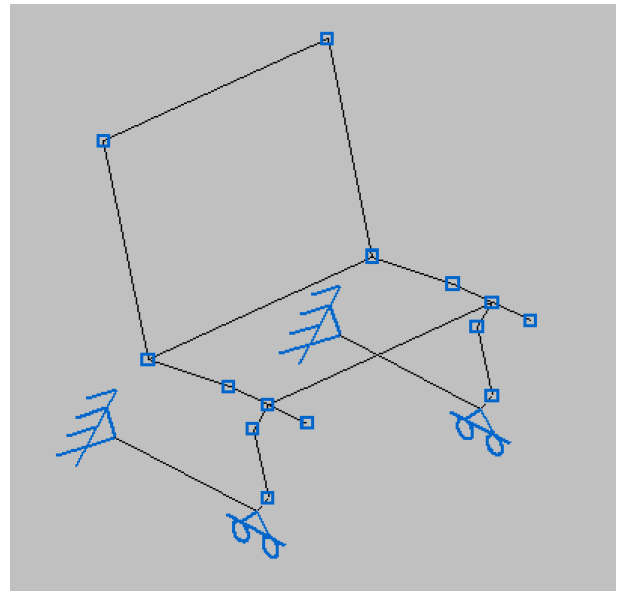


Fig. 66: Model de la cadira Tugendhat

A continuació s'introdueixen les hipòtesis esmentades anteriorment:

Hipòtesi 1:

- $1 \text{ KN} / (0,7 \text{ m} \times 0,53 \text{ m}) = 2,7 \text{ KN/m}^2$; $2,7 \text{ KN/m}^2 \times 0,35 \text{ m} = 0,94 \text{ KN/m} \approx \mathbf{1 \text{ KN/m}}$. Sent l'àmbit de càrrega 0,35 metres.

- $0,25 \text{ KN} / (0,7 \text{ m} \times 0,51 \text{ m}) = 0,7 \text{ KN/m}^2$; $0,7 \text{ KN/m}^2 \times 0,35 \text{ m} = 0,25 \text{ KN/m} \approx \mathbf{0,3 \text{ KN/m}}$. Sent l'àmbit de càrrega 0,35 metres.

Hipòtesi 2:

- $1 \text{ KN} / (0,7 \text{ m} \times 0,53 \text{ m}) = 2,7 \text{ KN/m}^2$; $2,7 \text{ KN/m}^2 \times 0,35 \text{ m} = 0,94 \text{ KN/m} \approx \mathbf{1 \text{ KN/m}}$. Sent l'àmbit de càrrega 0,35 metres.

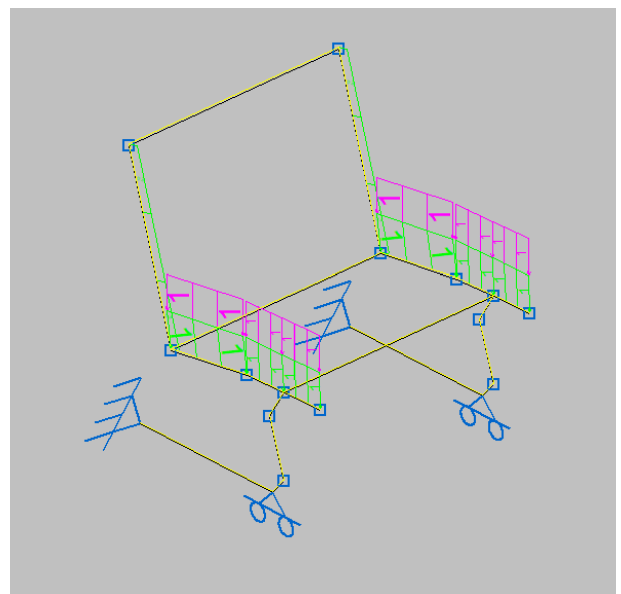


Fig. 67: Cadira Tugendhat amb les hipòtesis

Amb les càrregues aplicades es comprovarà si els elements prèviament seleccionats són capaços de suportar els esforços corresponents.

7.3.2. Envoltants d'esforços (2B, t)

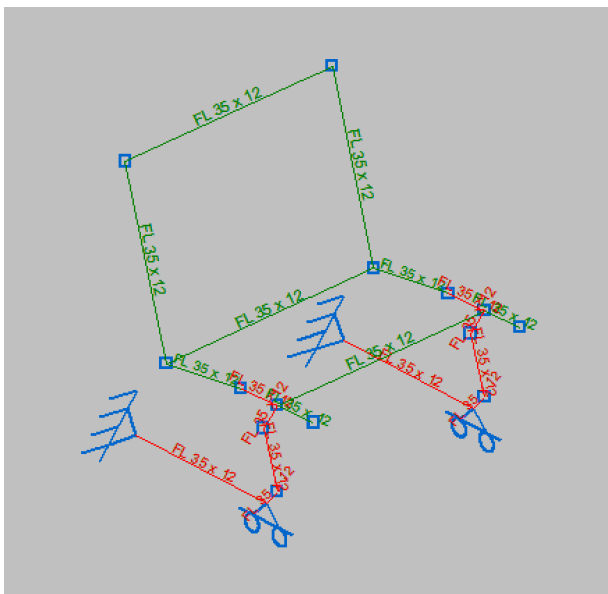


Fig. 68: No compliment de la cadira Tugendhat

Realitzada la verificació corresponent, es pot concloure que les barres de tipus pletina, amb una secció rectangular de 35x12 mil·límetres no són suficients per a resistir els esforços aplicats; és necessari redimensionar les barres.

Per tal de complir amb els requisits de resistència, s'ha decidit utilitzar barres amb una secció de 35x16 mil·límetres, assegurant així que totes les barres compleixen les exigències estructurals. Per tant, ja podem obtenir les envoltants d'esforços.

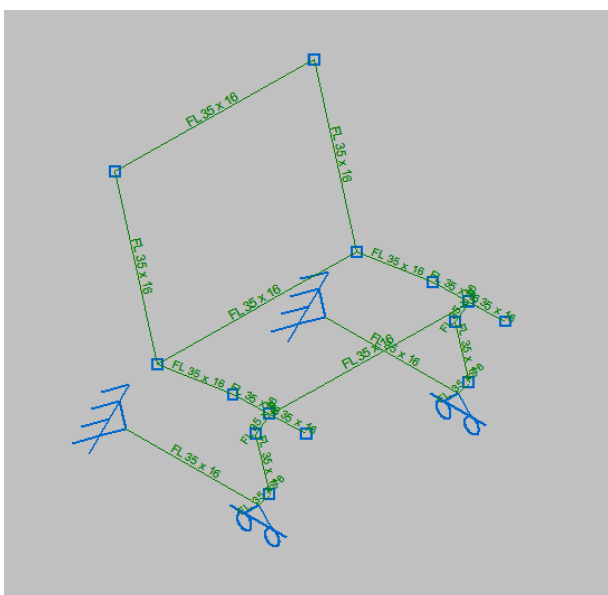


Fig. 69: Cadira Tugendhat comprovada

Moments en Z:

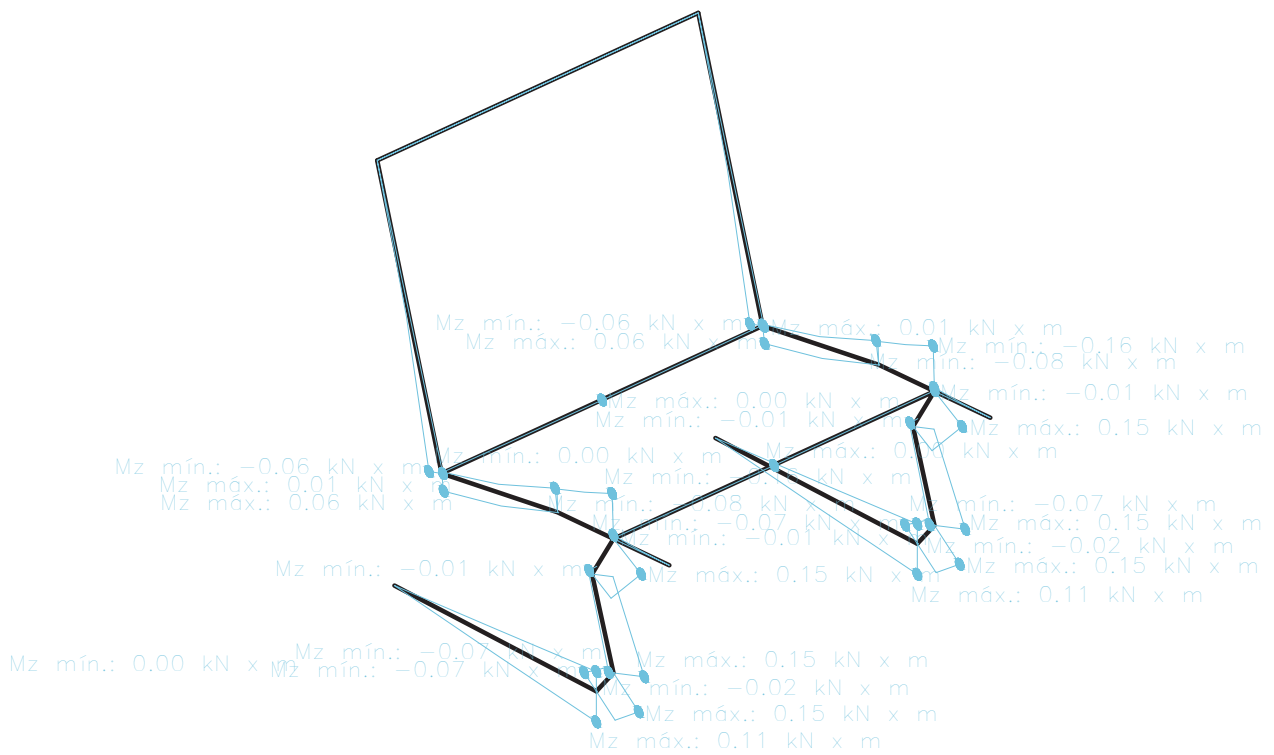


Fig. 72: Envoltant de moments en Z de la cadira Tugendhat

Tensions:

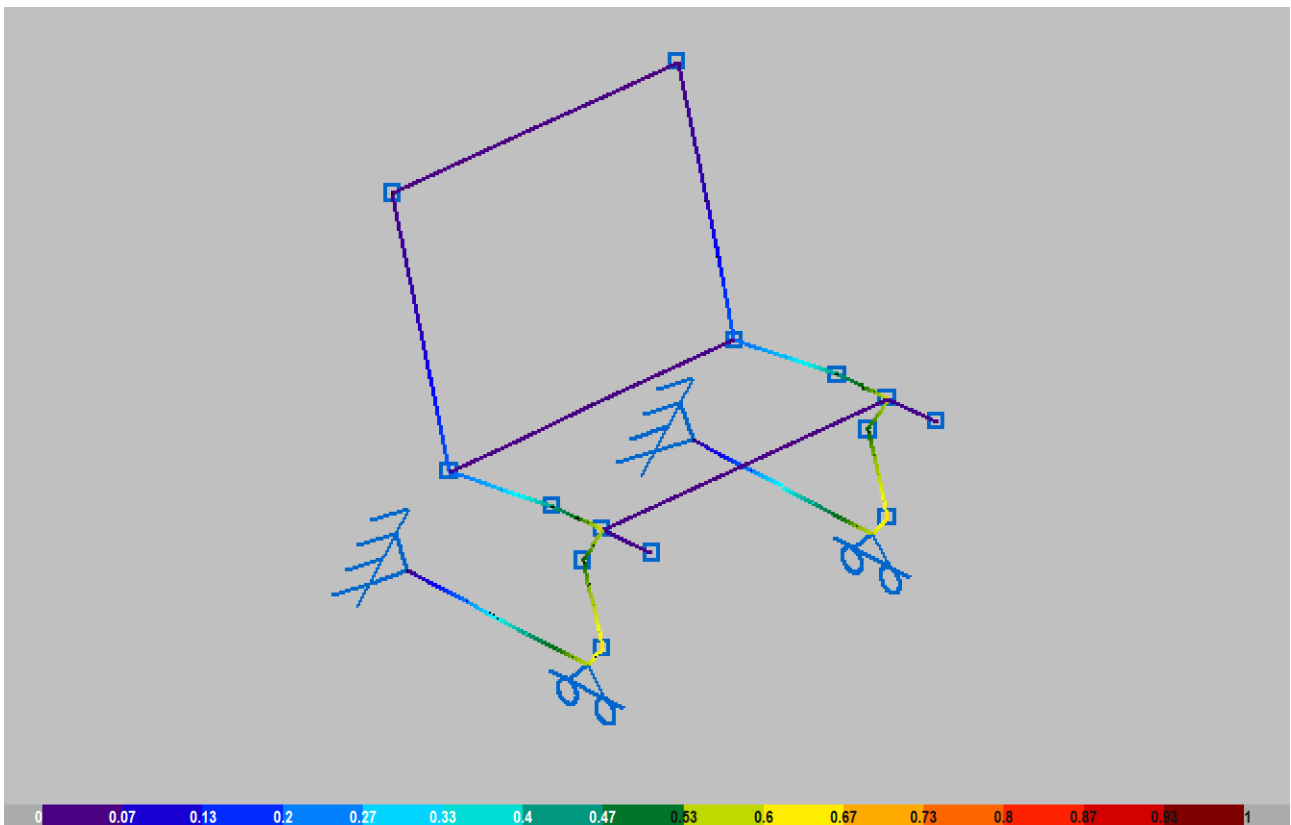


Fig. 73: Tensions de la cadira Tugendhat. Els valors estan compresos entre zero i el valor màxim de la tensió

Deformada:

- Hipòtesi 1:

Enllaç vídeo: <https://www.instagram.com/p/DBTXXGBNc7WhDBsS-raDTSbN6Dj99FzaKmg-BpE0/?hl=es>

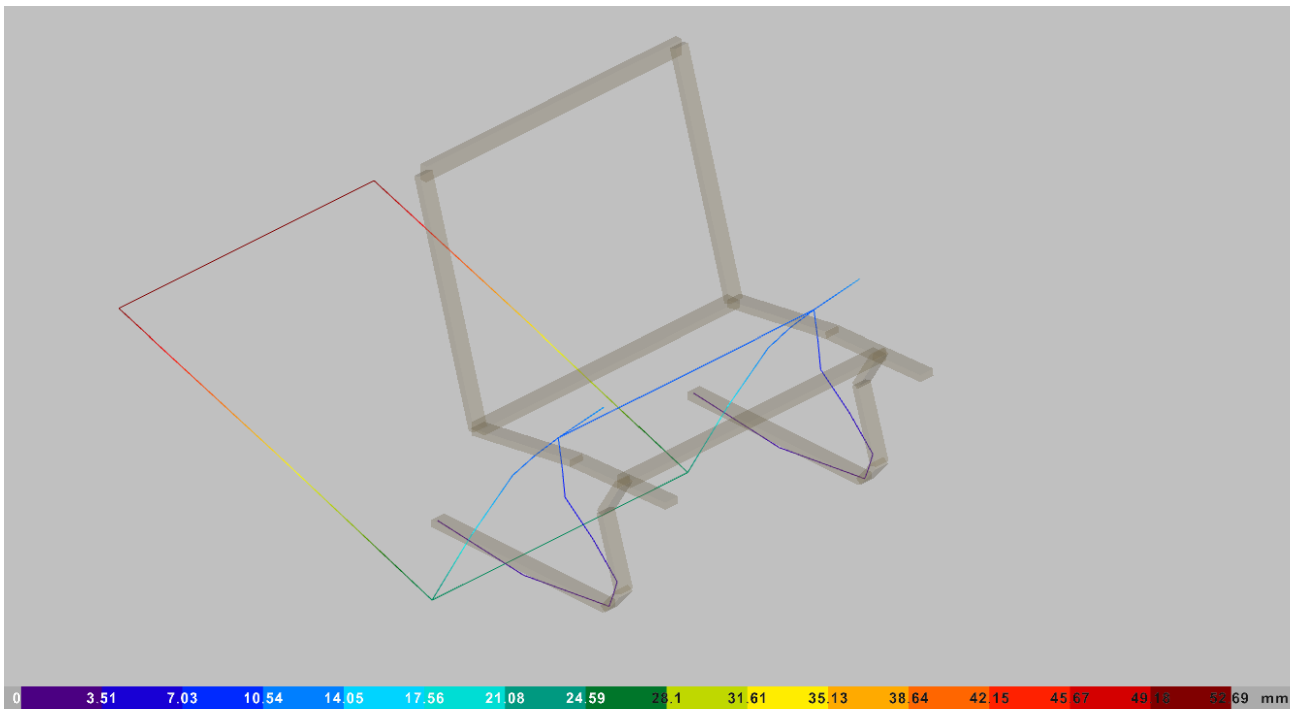


Fig. 74: Deformada de la hipòtesi 1 de la cadira Tugendhat

- Hipòtesi 2:

Enllaç vídeo: https://www.instagram.com/p/DBTXhswt0ahiRS2pZwuZdeyTRKQBq96_O_nFPY0/?hl=es

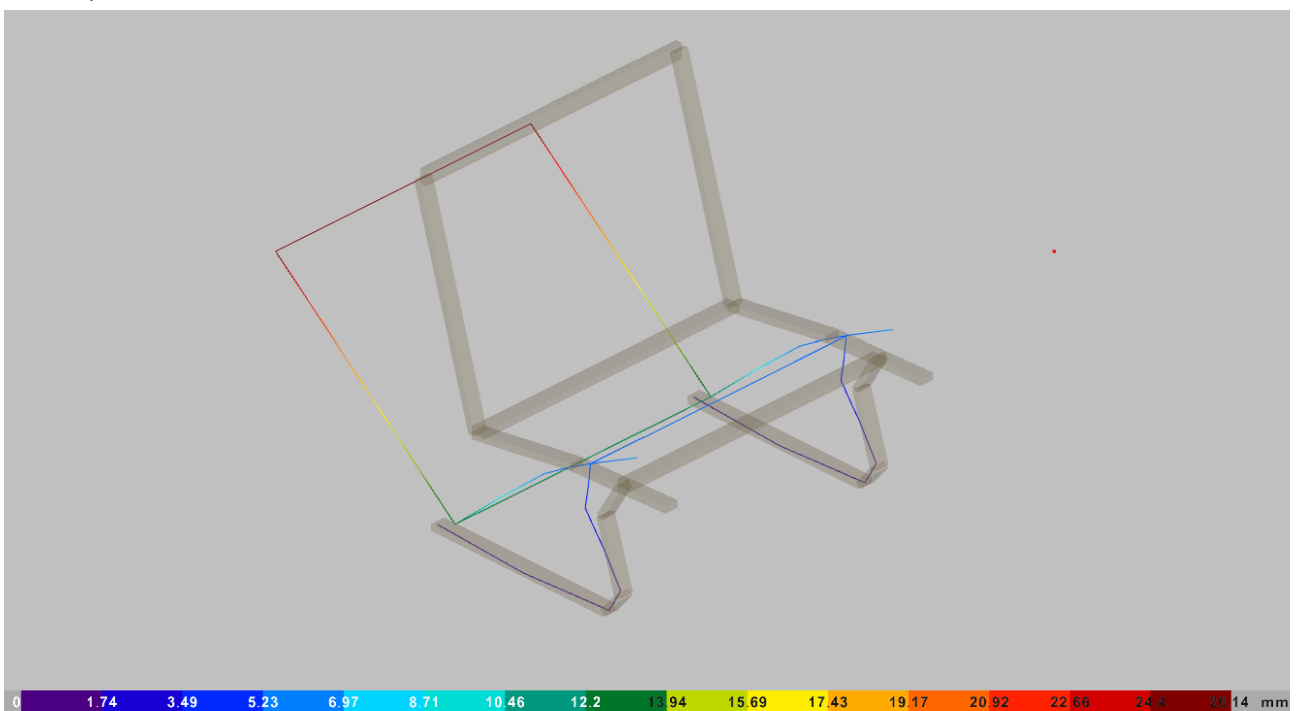


Fig. 75: Deformada de la hipòtesi 2 de la cadira Tugendhat

7.3.3. Anàlisi dels resultats (2B, t)

En ser una cadira en voladís, el seu comportament estructural és molt similar al de la cadira MR10, en què la falta de potes posteriors fa que tot el pes de la persona asseguda recaiga sobre les potes davanteres. Aquesta disposició fa que les dues potes frontals siguin l'element essencial de suport i, per tant, els punts que suporten la tensió més gran de l'estructura.

Pel que fa als esforços axials, aquestes potes davanteres suporten tota la càrrega vertical generada pel pes de la persona asseguda. El seient, en rebre aquest pes, ha de transmetre'l cap a les potes davanteres. A més, la connexió entre el seient i el respatllet també experimenta esforços axials importants, ja que, en recolzar-se l'usuari, el respatllet transmet una part de la força cap a les potes davanteres. Així, tant el seient com el respatllet actuen conjuntament per distribuir les forces axials cap a aquestes dues potes, garantint que la càrrega es transferisca de manera eficient als punts de contacte amb el terra.

Quant als esforços tallants, aquests es concentren especialment a la base de les potes davanteres, ja que són les úniques que sostenen l'estructura en voladís. La força vertical creada pel pes de la persona es canalitza des del seient fins a les potes, augmentant progressivament l'esforç tallant a mesura que s'acosta al punt de contacte amb el terra. A més, la unió entre el seient i el respatllet es converteix en un punt crític, ja que allà es concentra la força derivada del pes de l'usuari, especialment quan es recolza cap enrere, generant un augment addicional de la càrrega tallant en aquest punt de connexió.

Finalment, respecte als moments, les potes davanteres són les encarregades de transmetre els moments generats pel pes de l'usuari i per qualsevol força addicional produïda quan aquest es recolza al respatllet. En tractar-se d'una estructura en voladís, les potes han de resistir moments significatius, especialment a la base, on la reacció del terra compensa el moment generat per les forces superiors. Així mateix, la unió entre el respatllet i les potes davanteres juga un paper fonamental en l'equilibri de la cadira, ja que aquesta connexió ha de resistir el moment que resulta de la inclinació del cos de l'usuari cap enrere, assegurant l'estabi-

litat global de l'estructura.

En aquesta cadira amb estructura en voladís, tant en la hipòtesi 1 (quan el pes es reparteix entre el seient i el respatllet), com en la hipòtesi 2 (quan el pes recau només sobre el seient), es produeix una deformació semblant a la cadira MR10. En la hipòtesi 1, quan la persona es recolza tant en el seient com en el respatllet, també en aquesta cadira, el respatllet experimenta una deformació molt elevada. En canvi, en la hipòtesi 2, tot i que el pes es concentra exclusivament en el seient, la cadira es deforma de manera similar a la hipòtesi 1, no obstant això, el respatllet experimenta una deformació menor, ja que no rep cap força directa.

Tot i que la cadira MR10 i la cadira Tugendhat són ambdues cadires amb estructura en voladís, la composició estructural és diferent. Mentre que la cadira MR10 utilitza una única barra contínua com a suport principal, la cadira Tugendhat es compon amb dues barres tangents. Aquesta configuració de dues barres permet una millor distribució dels esforços. A més, ofereix una major estabilitat, especialment en les zones de transició entre el seient i el respatllet, on la intersecció de les barres actua com a reforç addicional. Una altra diferència que s'observa entre aquestes dues cadires amb estructura en voladís és la deformació, les barres rectangulars de la cadira Tugendhat tenen una inèrcia molt menor que les barres circulars, emprades en la MR10, fet que es tradueix en una major deformació sota càrrega.

Per suportar aquests esforços estructurals i mantenir la seguretat i durabilitat de la cadira, Mies van der Rohe també va escollir l'acer com a material de construcció. L'acer destaca per la seua elevada resistència a la tracció i compressió, així com per la seua capacitat de suportar grans càrregues sense deformacions permanents, fent-lo ideal per a aquesta aplicació en què els esforços són alts i constants.



Fig. 76: Estructura 3D cadira Barcelona

7.4. Comportament estructural d'una cadira amb estructura de dues barres intersectades

Classificació a la qual pertany la cadira Barcelona, una veritable icona del disseny modern creada per Ludwig Mies van der Rohe i Lilly Reich.

En la seua concepció original compta amb una estructura d'acer inoxidable polit, mentre que les superfícies dels coixins del seient i el respatller són de cuir blanc, subjectes als bastidors mitjançant corretges també de cuir caragolades a la carcassa metàl·lica.

7.4.1. Procés de modelatge (2B, i)

El primer pas de l'estudi ha consistit a dissenyar la cadira utilitzant AutoCAD. Com ja s'ha esmentat anteriorment, va caldre convertir les corbes en línies rectes. Amb la creació del model bidimensional s'han afegit totes les mesures, aconseguint un model detallat que inclou totes les característiques geomètriques.

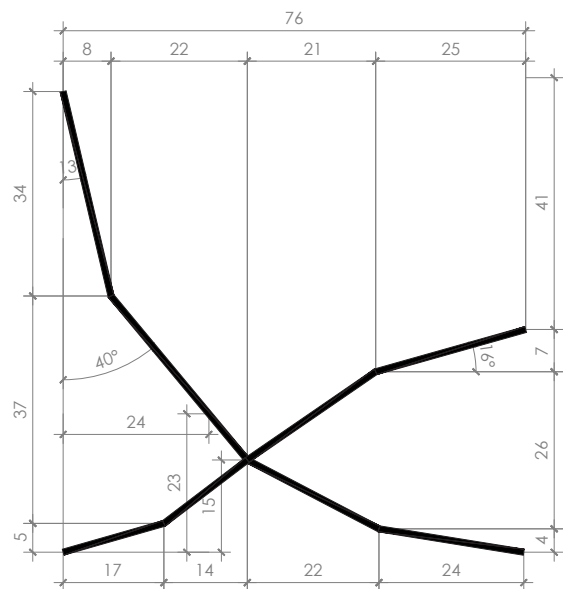


Fig. 77: Cadira Barcelona acotada

Amb el disseny finalitzat, s'importa el pla a CYPE 3D, on es genera un nou pla a una distància de 0,7 metres, per crear així el model tridimensional. Així mateix, s'han creat els nusos corresponents i s'han afegit les barres que els uneixen, aconseguint així la geometria desitjada.

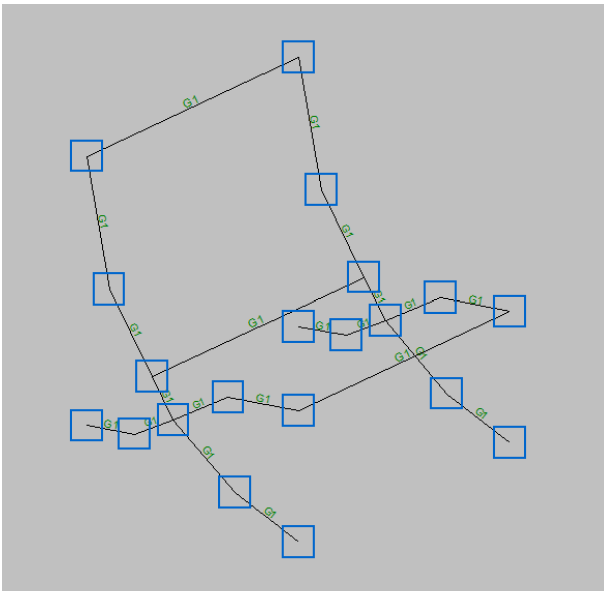


Fig. 78: Cadira Barcelona amb nusos i barres

S'han descrit de la mateixa manera totes les barres emprades en el disseny, seleccionant perfils armats de xapes d'acer laminat (S275). Dins d'aquest grup, s'ha optat específicament per perfils rectangulars de tipus pletina, amb una secció de 35x12 mil·límetres. Aquesta mesura ha estat escollida ajustant-se a les dimensions reals de la cadira i, tenint en compte les mides disponibles en el programa utilitzat.

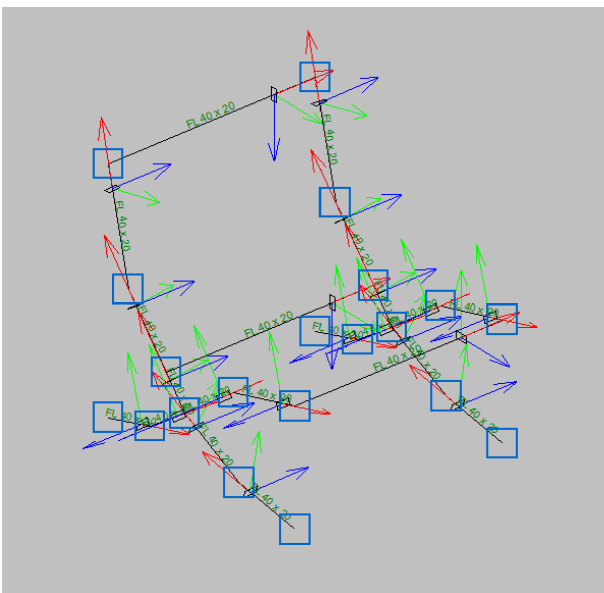


Fig. 79: Cadira Barcelona amb les barres descrites

Es van dur a terme modificacions als nusos inferiors de les potes, substituint-los per suports articulats mòbils en les potes davanteres i per suports articulats fixos en les posteriors, a diferència dels nusos rígids utilitzats en les altres unions.

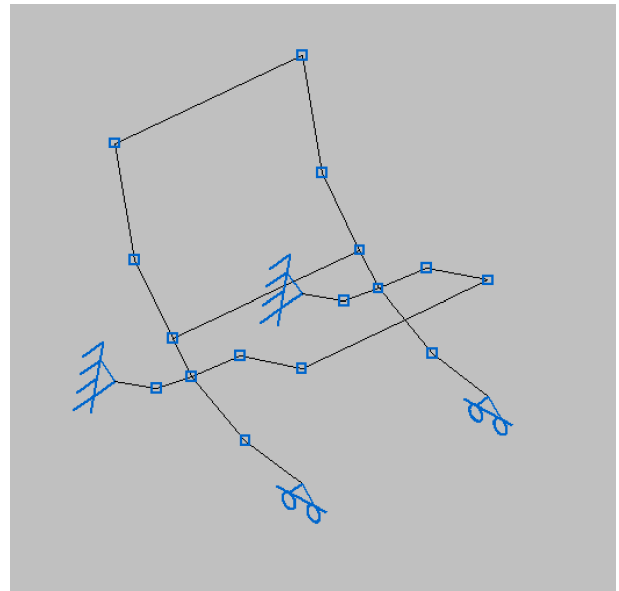


Fig. 80: Model complet de la cadira Barcelona

A continuació s'introdueixen les hipòtesis esmentades anteriorment:

Hipòtesi 1:

- $1 \text{ KN} / (0,7 \text{ m} \times 0,54 \text{ m}) = 2,65 \text{ KN/m}^2$; $2,65 \text{ KN/m}^2 \times 0,27 \text{ m} = 0,72 \text{ KN/m} \approx \mathbf{0,8 \text{ KN/m}}$. Sent l'àmbit de càrrega 0,27 metres.

- $0,25 \text{ KN} / (0,7 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}) = 0,6 \text{ KN/m}^2$; $0,6 \text{ KN/m}^2 \times 0,35 \text{ m} = 0,21 \text{ KN/m} \approx \mathbf{0,3 \text{ KN/m}}$. Sent l'àmbit de càrrega 0,35 metres.

Hipòtesi 2:

- $1 \text{ KN} / (0,7 \text{ m} \times 0,54 \text{ m}) = 2,65 \text{ KN/m}^2$; $2,65 \text{ KN/m}^2 \times 0,27 \text{ m} = 0,72 \text{ KN/m} \approx \mathbf{0,8 \text{ KN/m}}$. Sent l'àmbit de càrrega 0,27 metres.

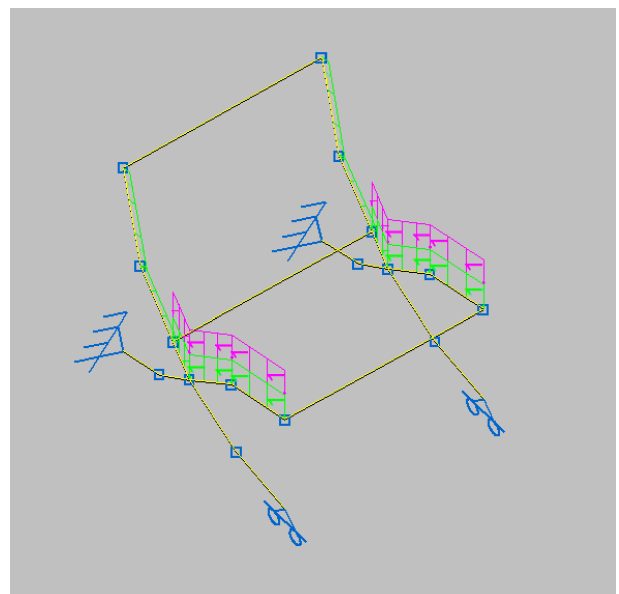


Fig. 81: Cadira Barcelona amb les hipòtesis

Amb les càrregues aplicades es comprovarà si els elements prèviament seleccionats són capaços de suportar els esforços corresponents.

7.3.2. Envoltants d'esforços (2B, i)

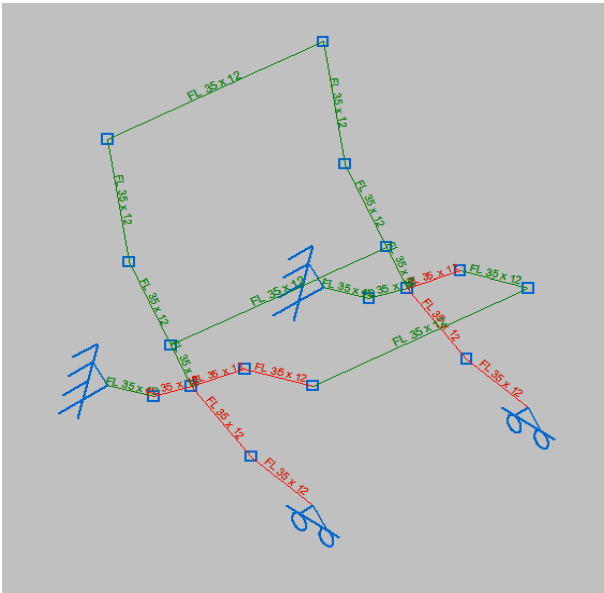


Fig. 82: No compliment de la cadira Barcelona

Realitzada la verificació corresponent, es pot concloure que les barres de tipus pletina, amb una secció rectangular de 35x12 mil·límetres no són suficients per a resistir els esforços aplicats; és necessari redimensionar les barres.

Per tal de complir amb els requisits de resistència, s'ha decidit utilitzar barres amb una secció de 35x16 mil·límetres, assegurant així que totes les barres compleixen les exigències estructurals. Per tant, ja podem obtenir les envoltants d'esforços.

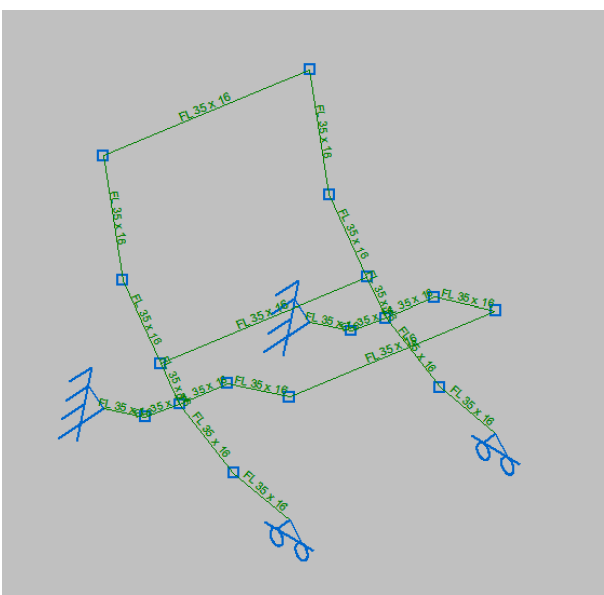


Fig. 83: Cadira Barcelona comprovada

Axials:

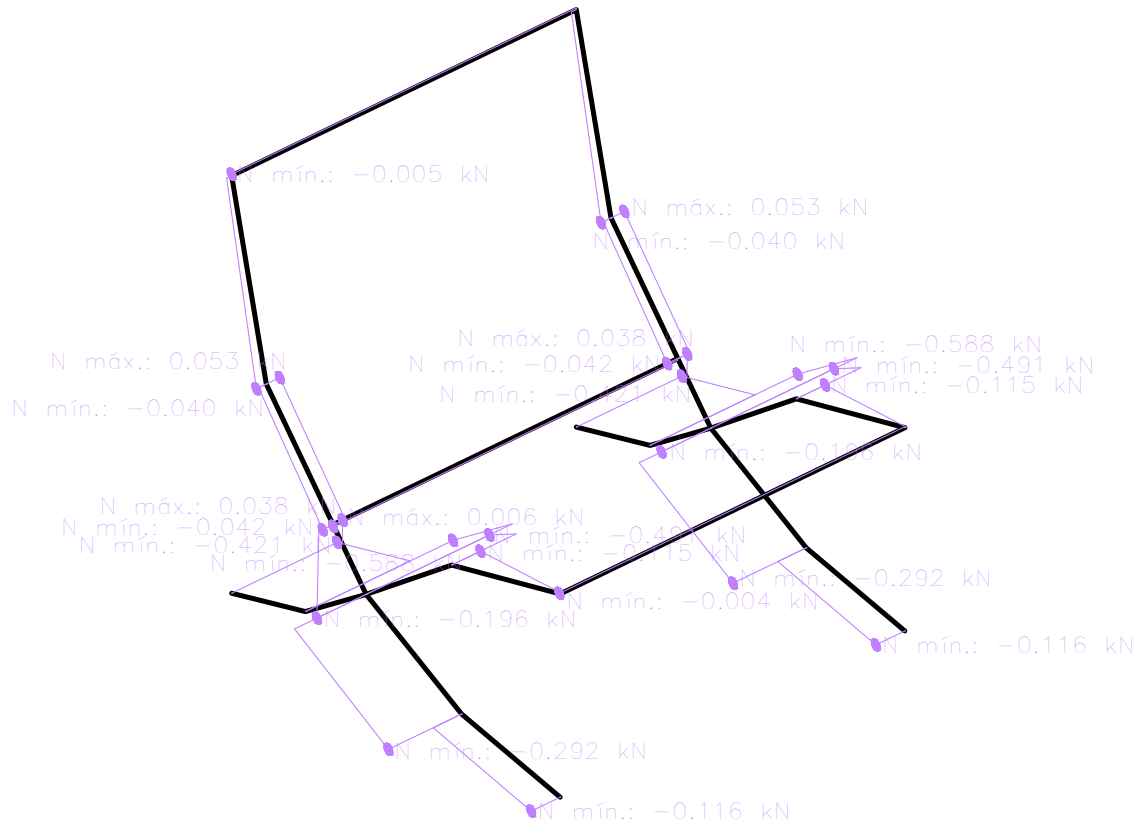


Fig. 84: Envoltant d'axials de la cadira Barcelona

Tallants en Y:

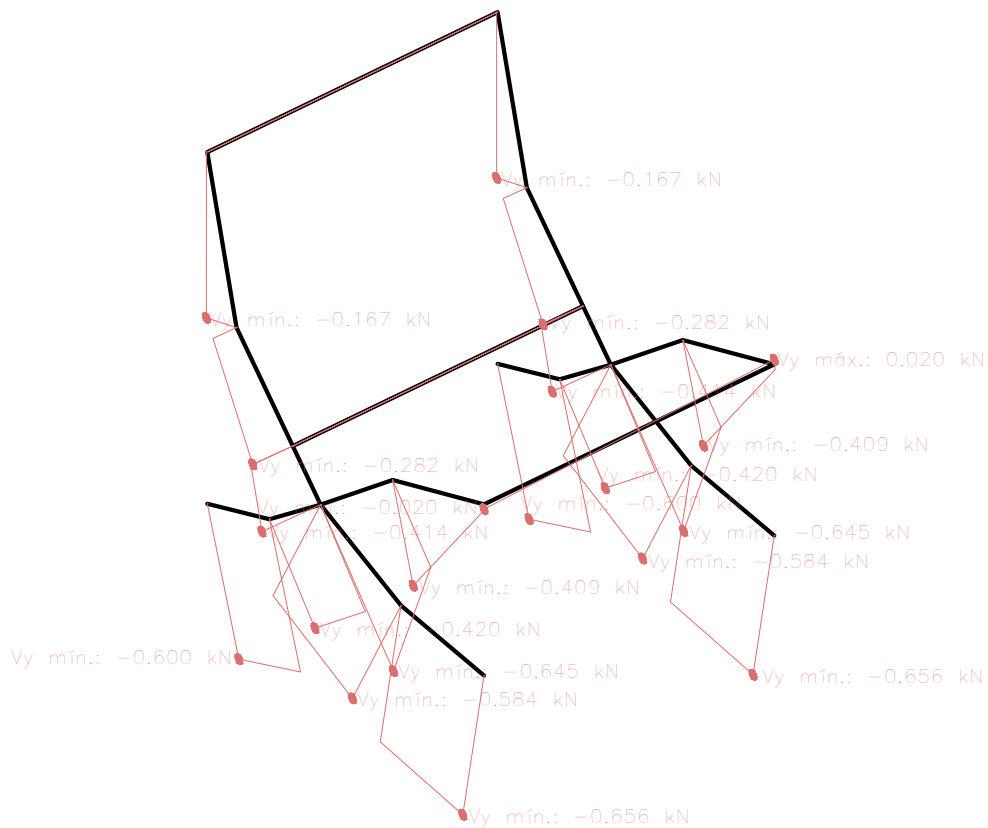


Fig. 85: Envoltant de tallants en Y de la cadira Barcelona

Deformada:

- Hipòtesi 1:

Enllaç vídeo: <https://www.instagram.com/p/DBTYCatt4qllXi4OdYx0DUMo7wtI8As7B1EJO-E0/?hl=es>

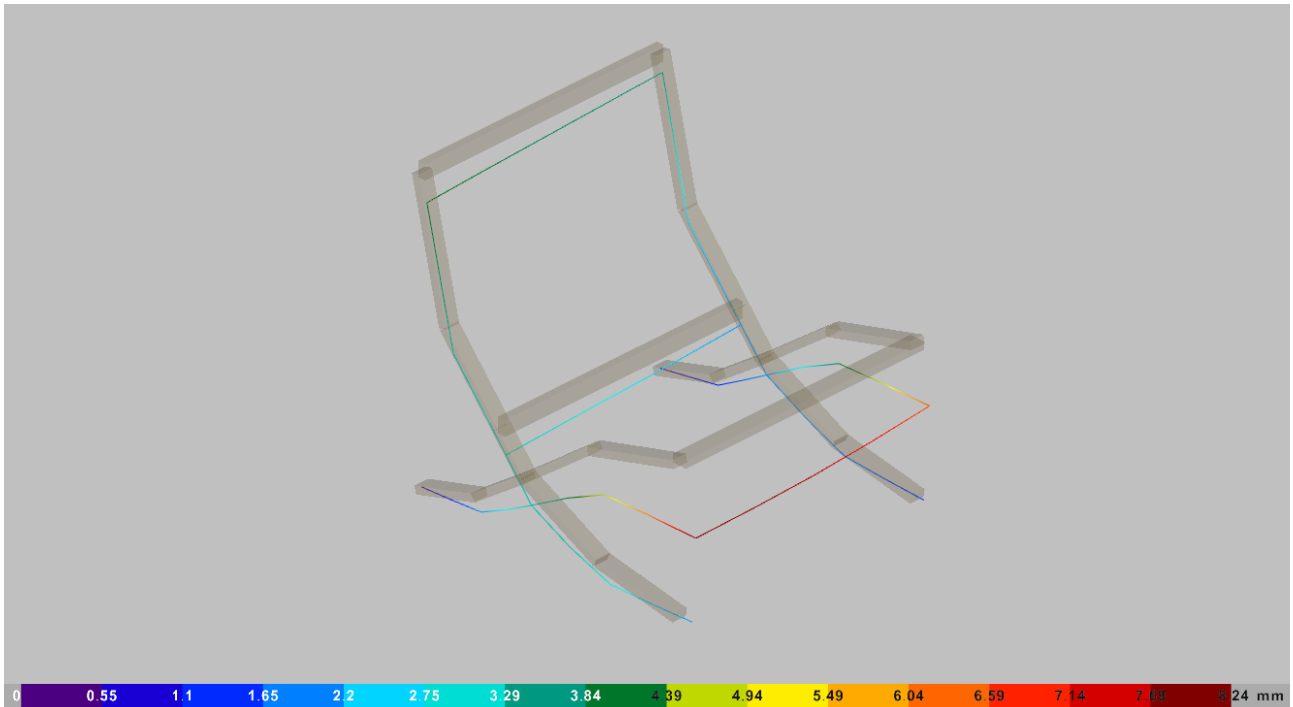


Fig. 88: Deformada de la hipòtesi 1 de la cadira Barcelona

- Hipòtesi 2:

Enllaç vídeo: <https://www.instagram.com/p/DBTYFKMNEJaLvYPpZ6iNEW8GsyH1kZ5-CcmI-QA0/?hl=es>

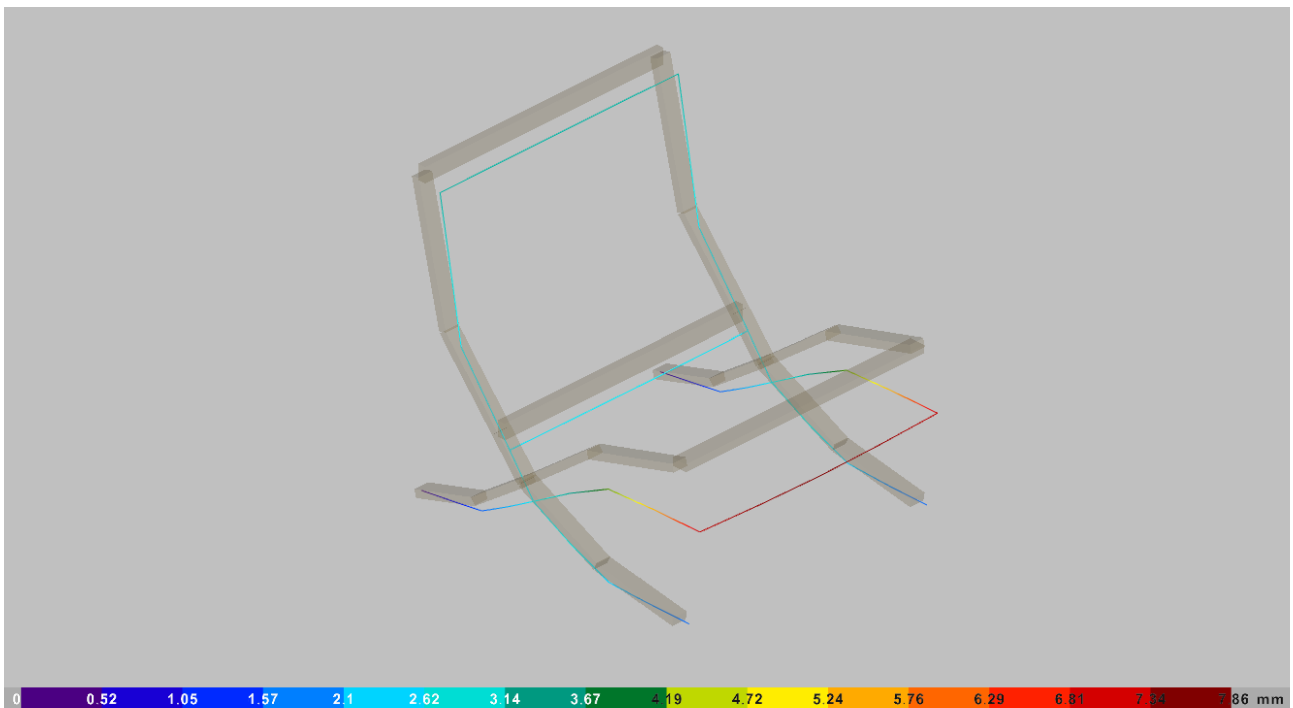


Fig. 89: Deformada de la hipòtesi 2 de la cadira Barcelona

7.4.3. Anàlisi dels resultats (2B, i)

La cadira Barcelona també presenta un disseny en voladís. Això vol dir que les seues potes, en forma de tisora, distribueixen el pes de manera equilibrada gràcies a la seua intersecció, cosa que permet una transmissió eficaç de les càrregues cap a terra.

Pel que fa als esforços axials, aquesta cadira compta amb potes interseccionades que permeten una distribució uniforme del pes de l'usuari. Quan una persona es col·loca al seient, les potes configurades en X treballen conjuntament per transferir aquesta càrrega cap a les bases, de manera que les forces axials s'absorbeixen i es redistribueixen evitant concentracions d'esforç en un sol punt de les potes. Això fa que el risc de deformació siga menor, ja que el pes es canalitza equitativament cap a les zones de suport.

En termes d'esforços tallants, el disseny de tisora limita els punts de tallants a les interseccions de les potes. Aquesta forma en X contribueix a minimitzar els tallants al llarg de les potes, atés que la força vertical que es genera quan l'usuari s'asseu es dissipa progressivament a través de l'estructura, arribant amb menor intensitat a la base. La disposició en voladís fa que les potes treballen juntes per transmetre aquests esforços tallants, cosa que proporciona una major estabilitat i disminueix la propensió a torçar-se sota càrrega.

Finalment, quant als moments, la forma en tisora proporciona un punt central d'unió que redueix la necessitat de resistir grans moments en zones aïllades de l'estructura. El disseny permet que els moments generats pel pes de la persona asseguda i per les possibles inclinacions es dissipin a través de la intersecció de les potes, oferint una major rigidesa a la base. Aquesta configuració en X, reforçada amb unions soldades, impedeix que l'estructura cedisca davant els moments aplicats, mantenint la cadira estable fins i tot en situacions de moviment lleuger.

En aquesta cadira, tant en la hipòtesi 1 (amb el pes repartit entre el seient i el respall) com en la hipòtesi 2 (amb el pes aplicat únicament sobre el respall), es produeix una deformació notable en diferents zones de l'estructura a causa de la configuració contínua d'aquesta, on cada part contribueix a la rigidesa global. En la hipòtesi 1,

la deformació es presenta tant al seient com a les potes i el respall. La força aplicada al seient genera una compressió cap avall, mentre que el pes recolzat al respall crea un moment que fa que aquesta part de la cadira es flexione cap endavant, a casa de la unió de l'estructura que forma la cadira. També observem una gran deformació on s'acumulen els esforços, és a dir, a la intersecció de les potes. Per altra banda, en la hipòtesi 2 provoca una deformació una mica menys intensa en comparació amb la hipòtesi 1, però a configuració de la cadira fa que, en ambdues hipòtesis, es generen moments i deformacions a través de tota l'estructura.

A més, s'ha utilitzat acer inoxidable com a material principal per la seua alta resistència a la compressió, la tracció i la torsió, així com per la seua capacitat de suportar càrregues importants sense deformar-se. Aquesta elecció de material ajuda a mantenir l'estabilitat estructural de la cadira i assegura la seua durabilitat, garantint una resistència adequada als esforços generats durant l'ús diari.

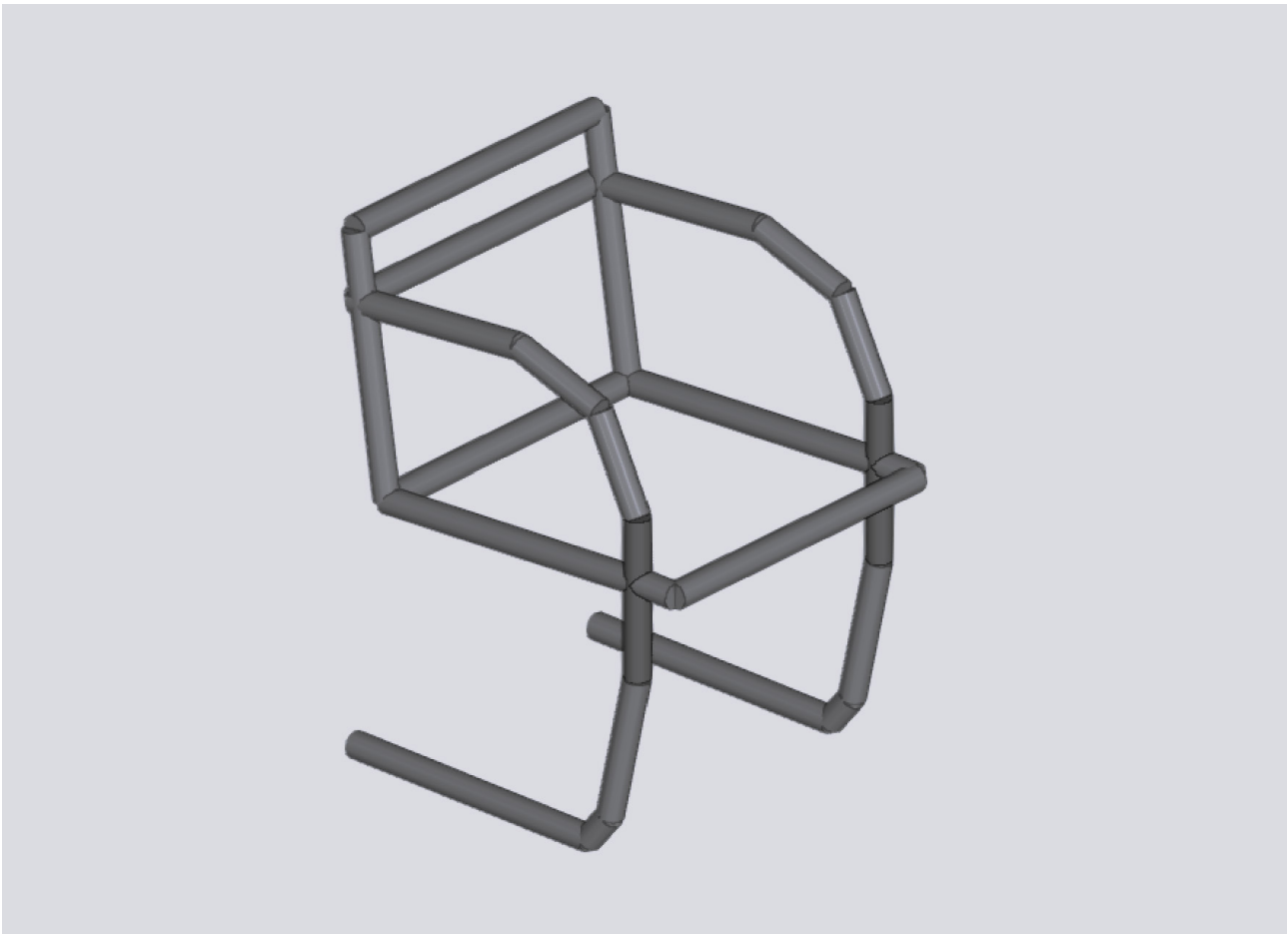


Fig. 90: Estructura 3D cadira Brno amb secció circular

7.5. Comportament estructural d'una cadira amb estructura dues barres doblement interseccions

En aquest grup trobem la cadira Brno, peça que destaca, entre altres coses, per la seua estructura en voladís. El disseny integra dues barres doblement interseccades que fan que l'estructura de la cadira treballi conjuntament.

Mies van der Rohe va dissenyar aquesta cadira en dues versions; la primera, amb estructura de secció circular i, la segona versió, amb secció plana rectangular. Per tant, a continuació, estudiarem les dues tipologies.

7.5.1. Procés de modelatge (2B, ii)

En primer lloc, es va dissenyar la cadira utilitzant AutoCAD. Va ser necessari convertir les corbes en línies rectes, com s'ha comentat anteriorment. Després d'aquesta transformació, s'han afegit les dimensions, creant un model bidimensional detallat que inclou totes les característiques geomètriques.

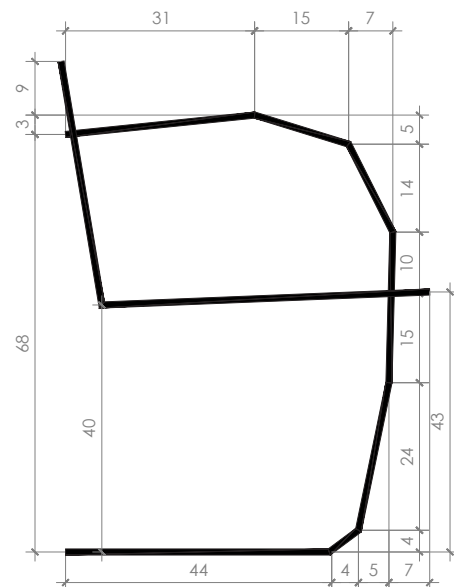


Fig. 91: Cadira Brno acotada

Amb el disseny finalitzat, s'importa el pla a CYPE 3D, on es genera un nou pla a una distància de 0,5 metres, per crear així el model tridimensional. Així mateix, s'han creat els nusos corresponents i s'han afegit les barres que els uneixen, aconseguint així la geometria desitjada.

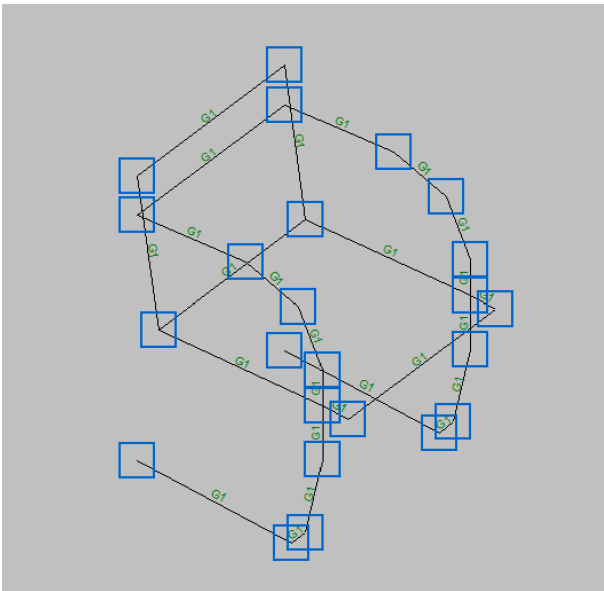


Fig. 92: Cadira Brno amb nusos i barres

Mies van der Rohe va dissenyar aquesta cadira en dues versions. La primera, amb tub de secció circular, per tant, per al modelatge s'han seleccionat perfils tubulars amb una secció de 40x2 mil·límetres (S275).

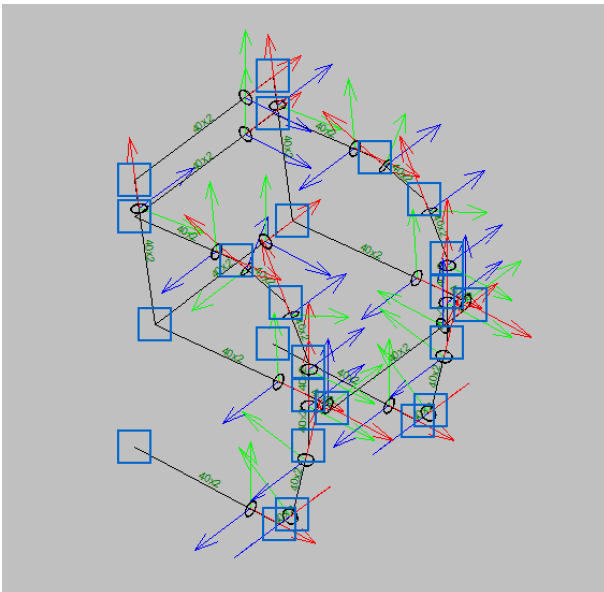


Fig. 93: Cadira Brno amb les barres circulars descrites

La segona versió, amb tub de secció plana, i per a aquesta, s'han triat perfils rectangulars de tipus pletina amb una secció de 35x2 mil·límetres (S275 (UNE-EN 10025-2)).

Els perfils esmentats s'han seleccionat basant-nos en la informació que tenim sobre les dimensions reals de la cadira, però ens hem hagut d'ajustar a les opcions que ofereix el programa de disseny.

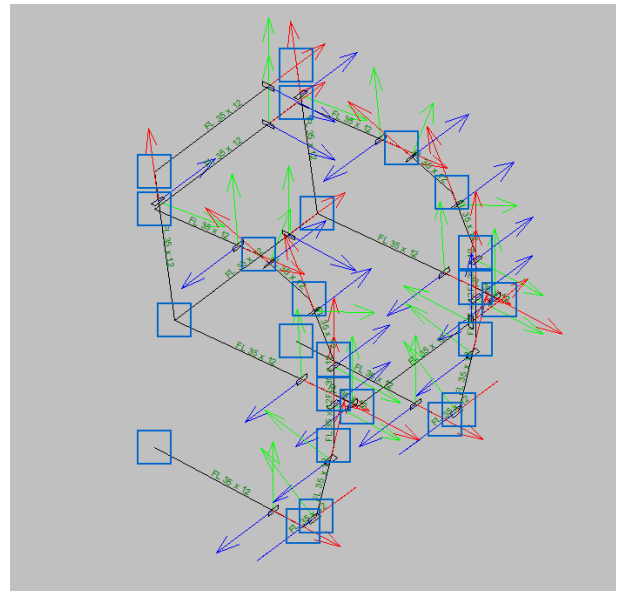


Fig. 94: Cadira Brno amb les barres rectangulars descrites

Es van dur a terme modificacions als nusos inferiors de les potes, substituint-los per suports articulats mòbils en les potes davanteres i per suports articulats fixos en les posteriors, a diferència dels nusos rígids utilitzats en les altres unions.

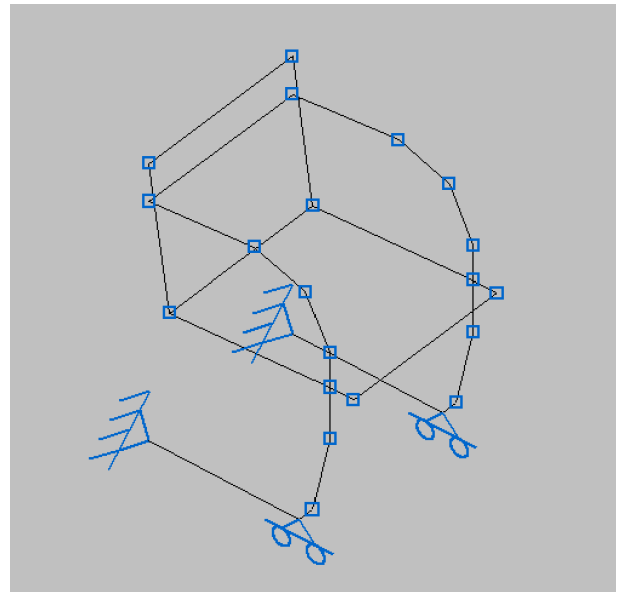


Fig. 95: Model de la cadira Brno

A continuació s'introdueixen les hipòtesis esmentades anteriorment:

Hipòtesi 1:

- $1 \text{ KN} / (0,5 \text{ m} \times 0,54 \text{ m}) = 3,7 \text{ KN/m}^2$; $3,7 \text{ KN/m}^2 \times 0,25 \text{ m} = 0,93 \text{ KN/m} \approx 1 \text{ KN/m}$. Sent l'àmbit de càrrega 0,27 metres.

- $0,25 \text{ KN} / (0,5 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}) = 1,25 \text{ KN/m}^2$; $1,25 \text{ KN/m}^2 \times 0,25 \text{ m} = 0,31 \text{ KN/m} \approx 0,4 \text{ KN/m}$. Sent l'àmbit de càrrega 0,25 metres.

Hipòtesi 2:

- $1 \text{ KN} / (0,5 \text{ m} \times 0,54 \text{ m}) = 3,7 \text{ KN/m}^2$; $3,7 \text{ KN/m}^2 \times 0,25 \text{ m} = 0,93 \text{ KN/m} \approx 1 \text{ KN/m}$. Sent l'àmbit de càrrega 0,27 metres.

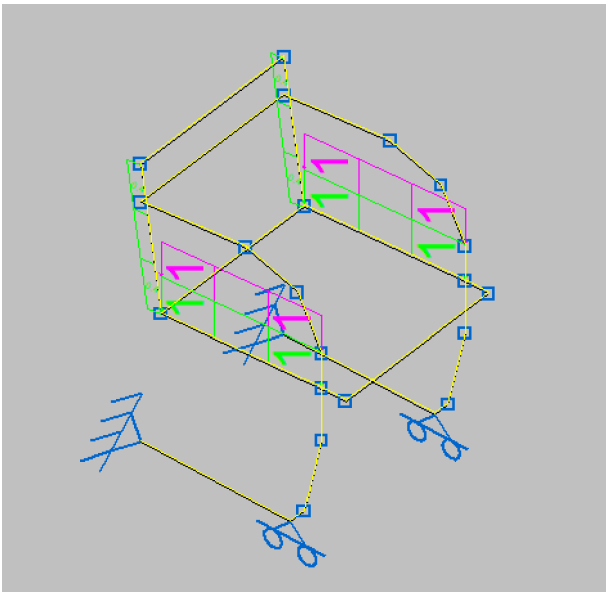


Fig. 96: Cadeira Brno amb les hipòtesis

Amb les càrregues aplicades es comprovarà si els elements prèviament seleccionats són capaços de suportar els esforços corresponents.

- Barres amb secció circular:

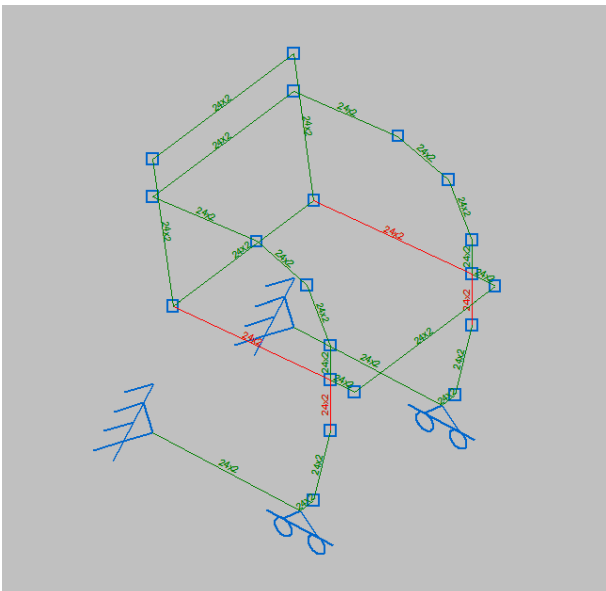


Fig. 97: No compliment de la cadira Brno amb barres circulars

Realitzada la verificació corresponent, es pot concloure que les barres tubulars, amb una secció circular de 24x2 mil·límetres no són suficients per a resistir els esforços aplicats; és necessari redimensionar les barres.

mentonar les barres.

Per tal de complir amb els requisits de resistència, s'ha decidit utilitzar barres amb una secció de 28x3 mil·límetres, assegurant així que totes les barres compleixen les exigències estructurals. Per tant, ja podem obtenir les envoltants d'esforços.

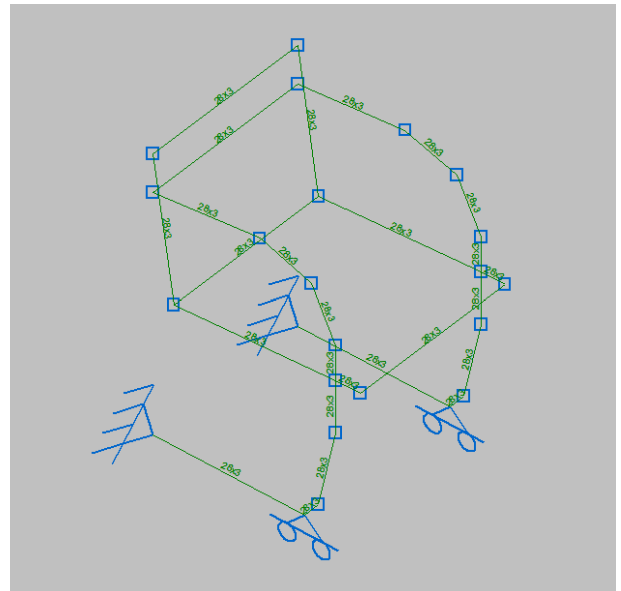


Fig. 98: Cadeira Brno amb barres circulars comprovada

- Barres amb secció rectangular:

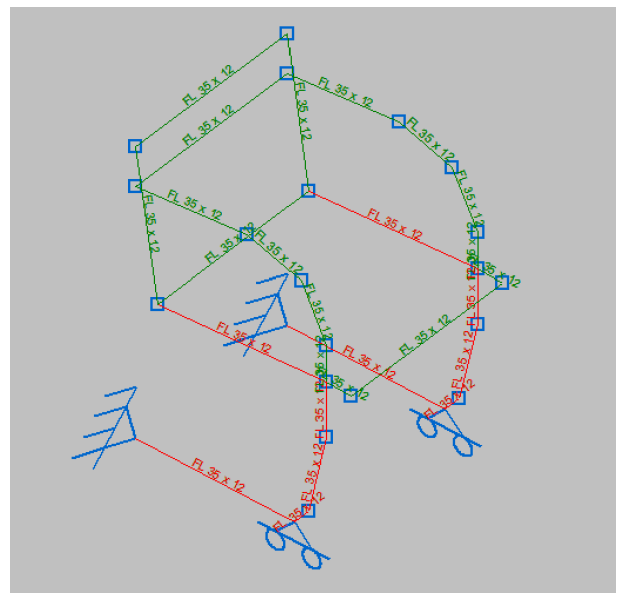


Fig. 99: No compliment de la cadira Brno amb barres rectangulars

Realitzada la verificació corresponent, es pot concloure que les barres de tipus pletina, amb una secció rectangular de 35x2 mil·límetres no són suficients per a resistir els esforços aplicats; és necessari redimensionar les barres.

Per tal de complir amb els requisits de resistència, s'ha decidit utilitzar barres amb una secció de 40x16 mil·límetres, assegurant així que totes les barres compleixen les exigències estructurals. Per tant, ja podem obtenir les envoltants d'esforços.

7.5.2. Envoltants d'esforços (2B, ii)

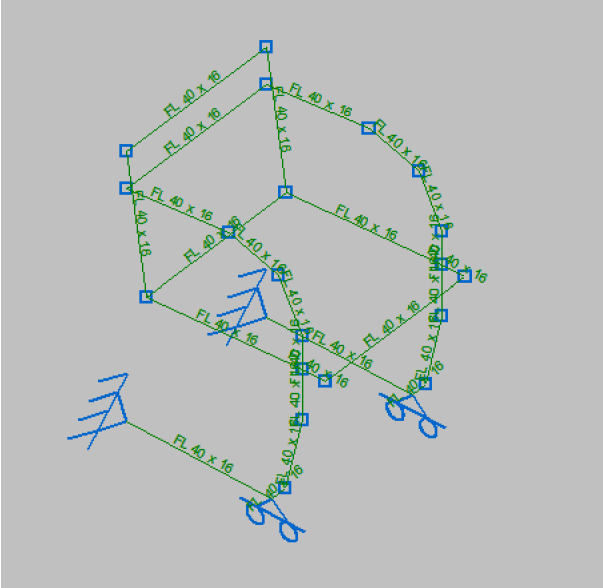


Fig.100: Cadeira Brno amb barres rectangulars comprovada

Deformada:

- Hipòtesi 1:

Enllaç vídeo: <https://www.instagram.com/p/DBTYdHptcaEgECpJCyOtq64hfOnd6I-3BAN1lI0/?hl=es>

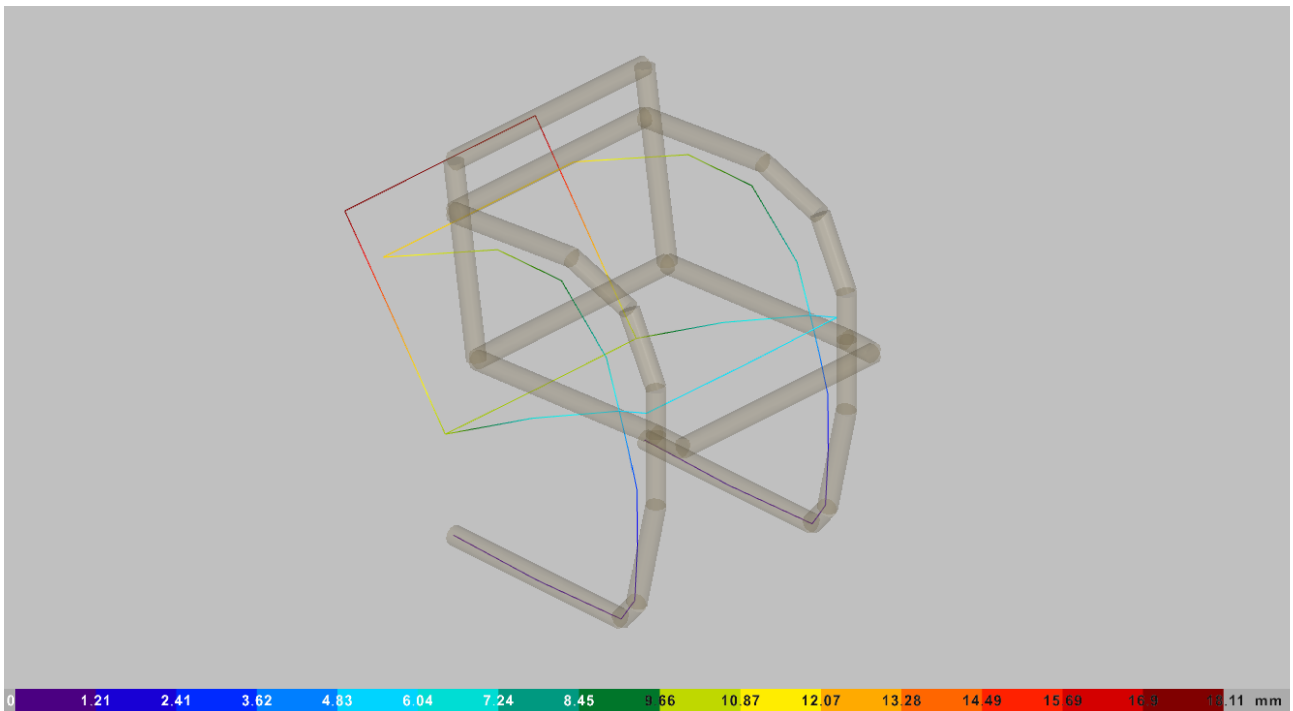


Fig. 105: Deformada de la hipòtesi 1 de la cadira Brno amb barres circulars

- Hipòtesi 2:

Enllaç vídeo: <https://www.instagram.com/p/DBTYhXxNriq1jFXRNPfZT54QbvUypZXsAbYY->

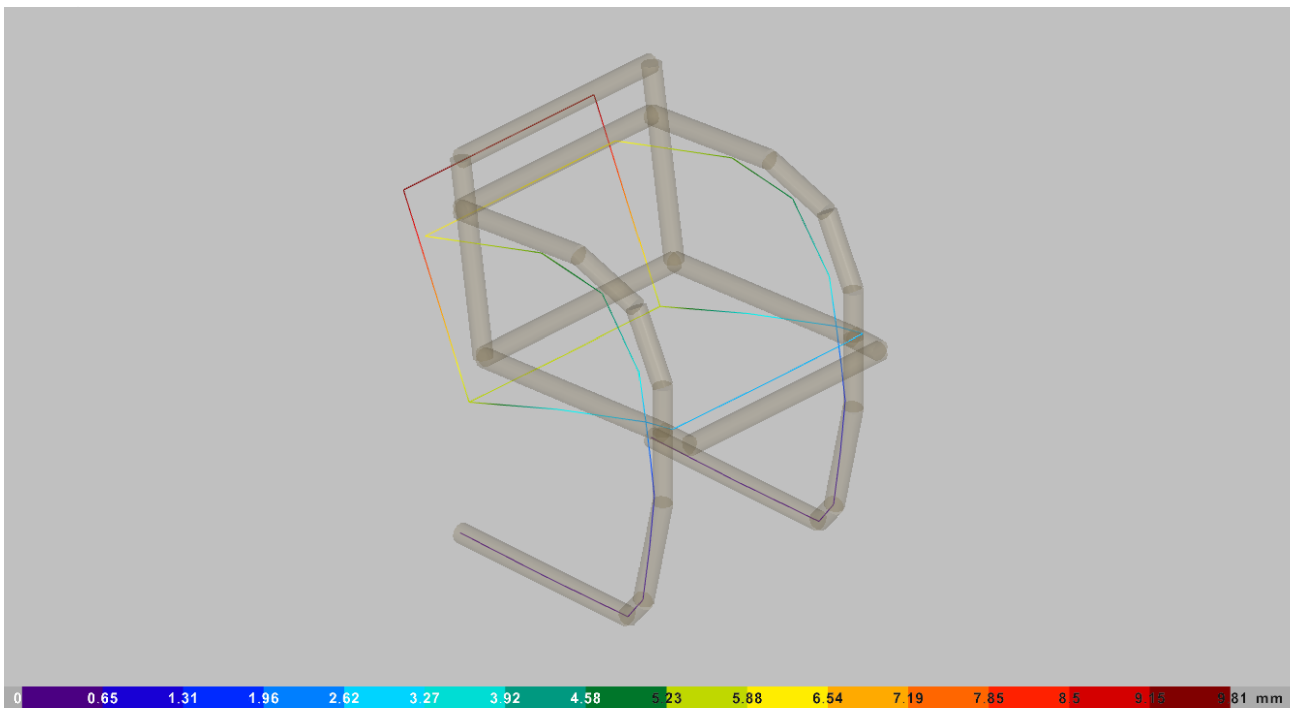


Fig. 106: Deformada de la hipòtesi 2 de la cadira Brno amb barres circulars

Axials:

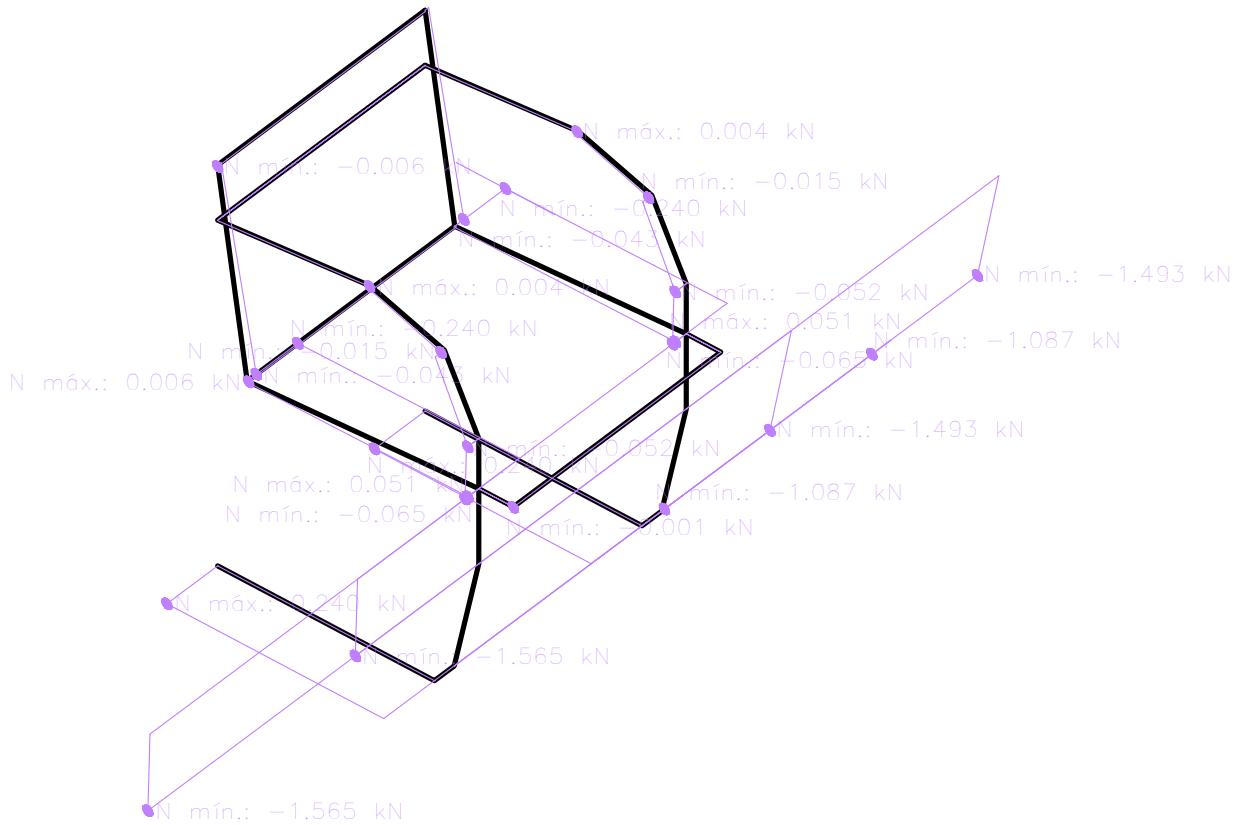


Fig. 107: Envoltant d'axials de la cadira Brno amb secció rectangular

Tallants en Y:

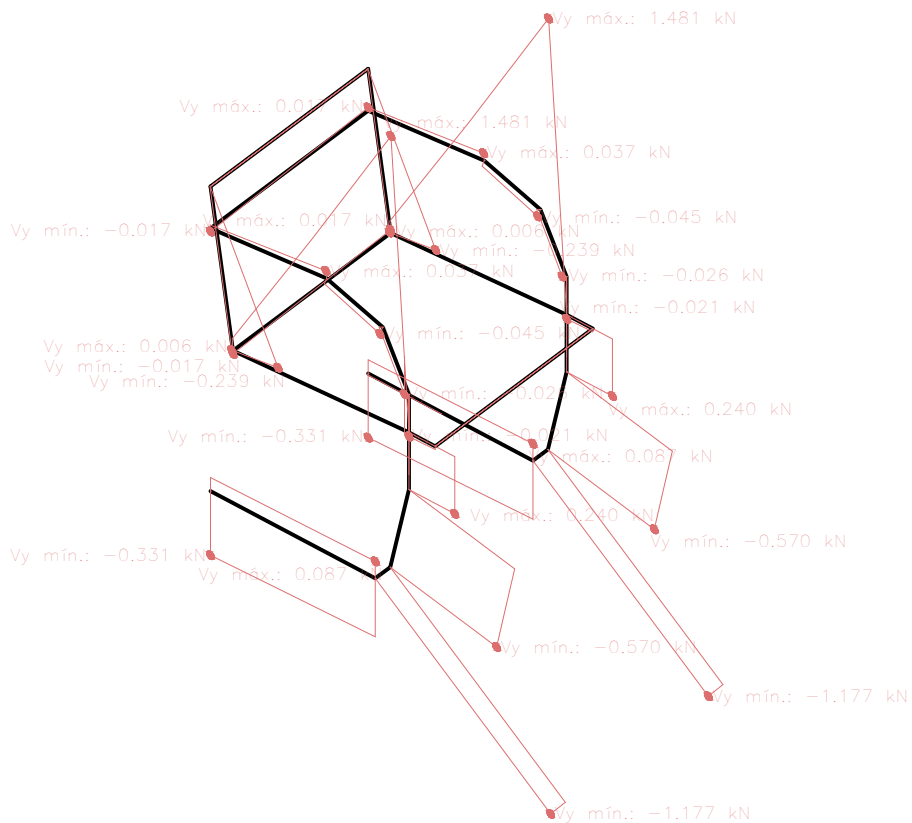


Fig. 108: Envoltant de tallants en Y de la cadira Brno amb secció rectangular

Moemnts en Z:

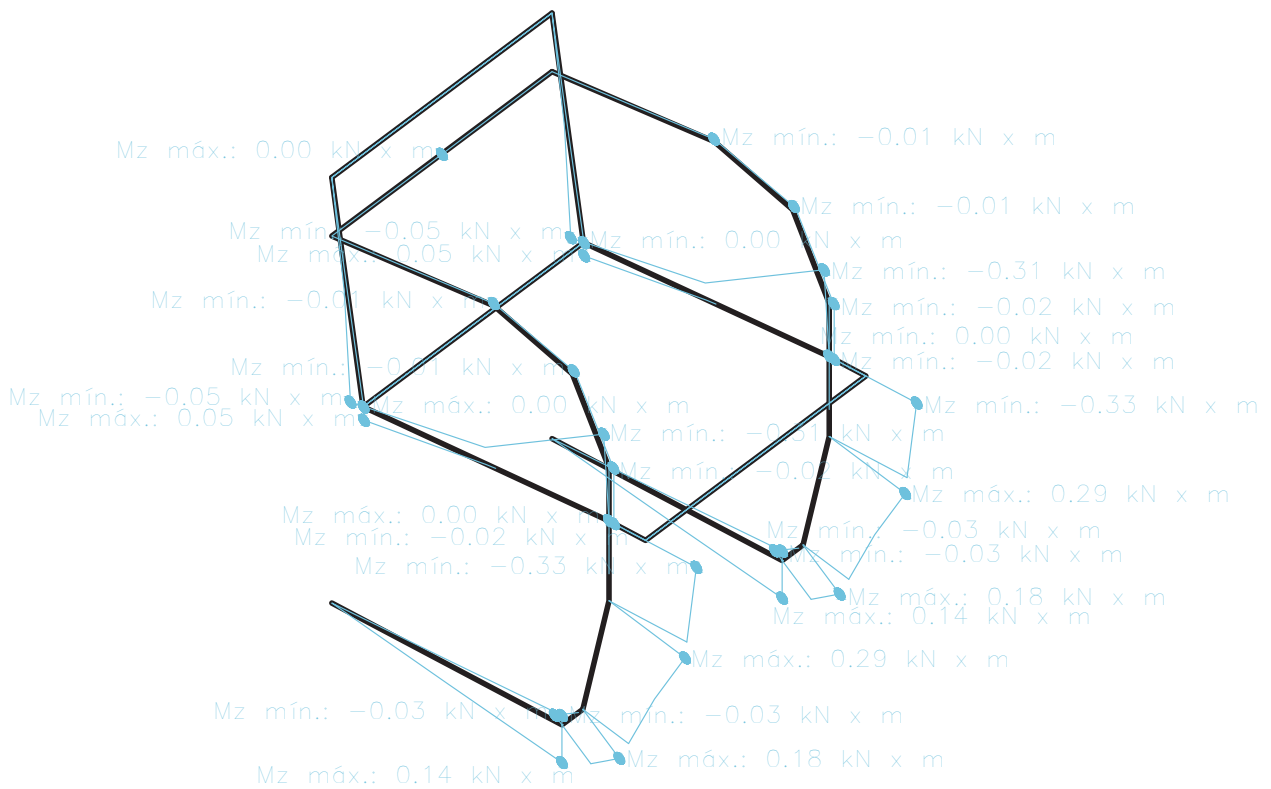


Fig. 109: Envoltant de moments en Z de la cadira Brno amb secci\u00f3 rectangular

Tensions:

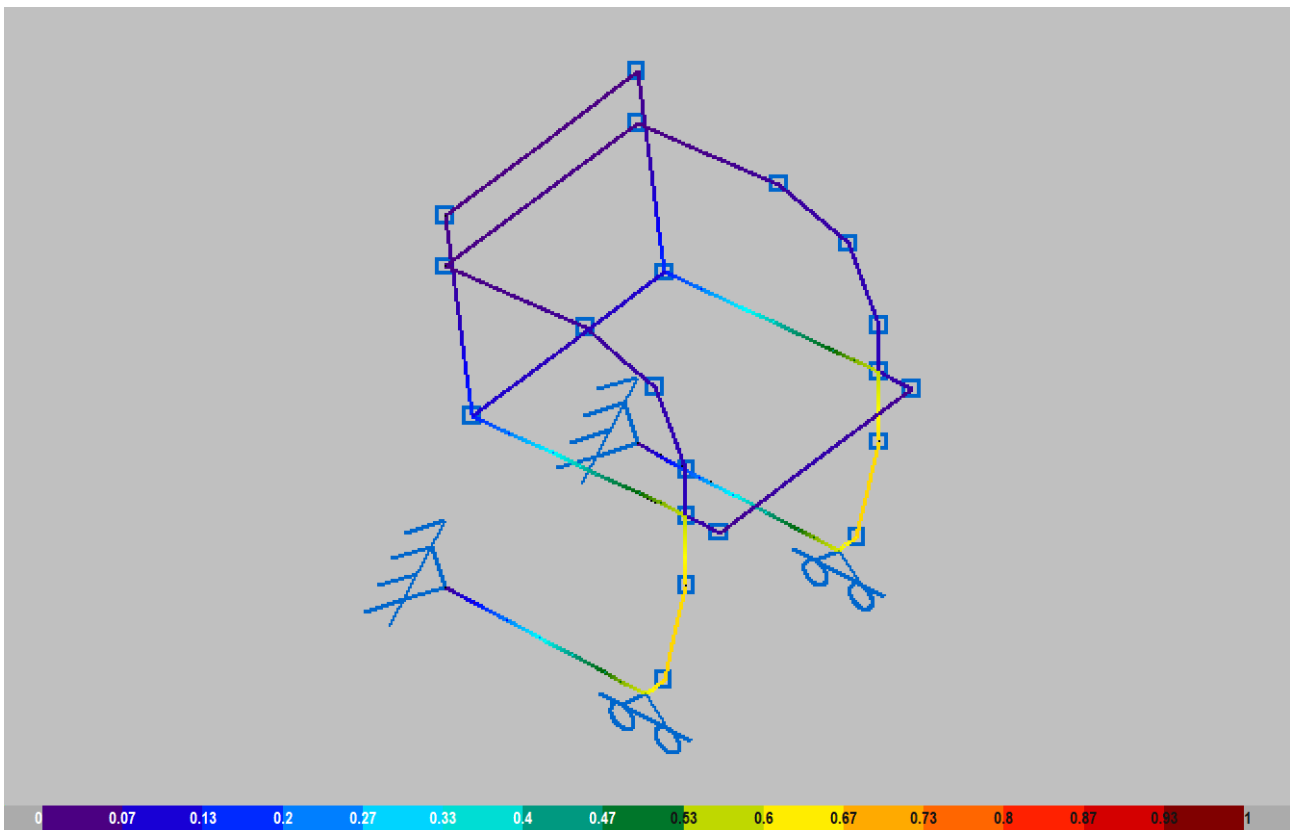


Fig. 110: Tensions de la cadira Brno amb secci\u00f3 rectangular. Els valors estan compresos entre zero i el valor m\u00e0xim de la tensi\u00f3

Deformada:

- Hipòtesi 1:

Enllaç vídeo: <https://www.instagram.com/p/DBTYypYNAL9BLOb8yqUCFVz3pc6h2oN-5Loii2w0/?hl=es>

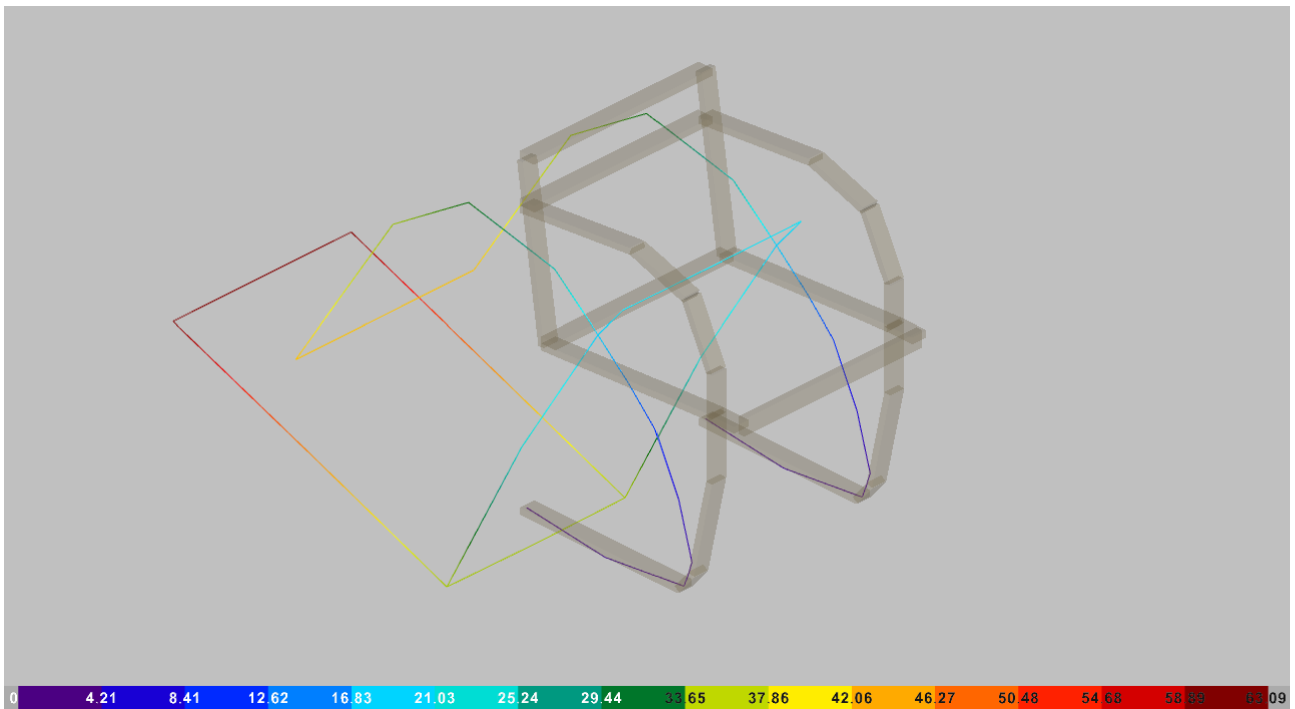


Fig. 111: Deformada de la hipòtesi 1 de la cadira Brno amb barres rectangulars

- Hipòtesi 2:

Enllaç vídeo: <https://www.instagram.com/p/DBTY2wctoZ5ID6vY6fDYM7aQMaw9tI2Ulx6u-j00/?hl=es>

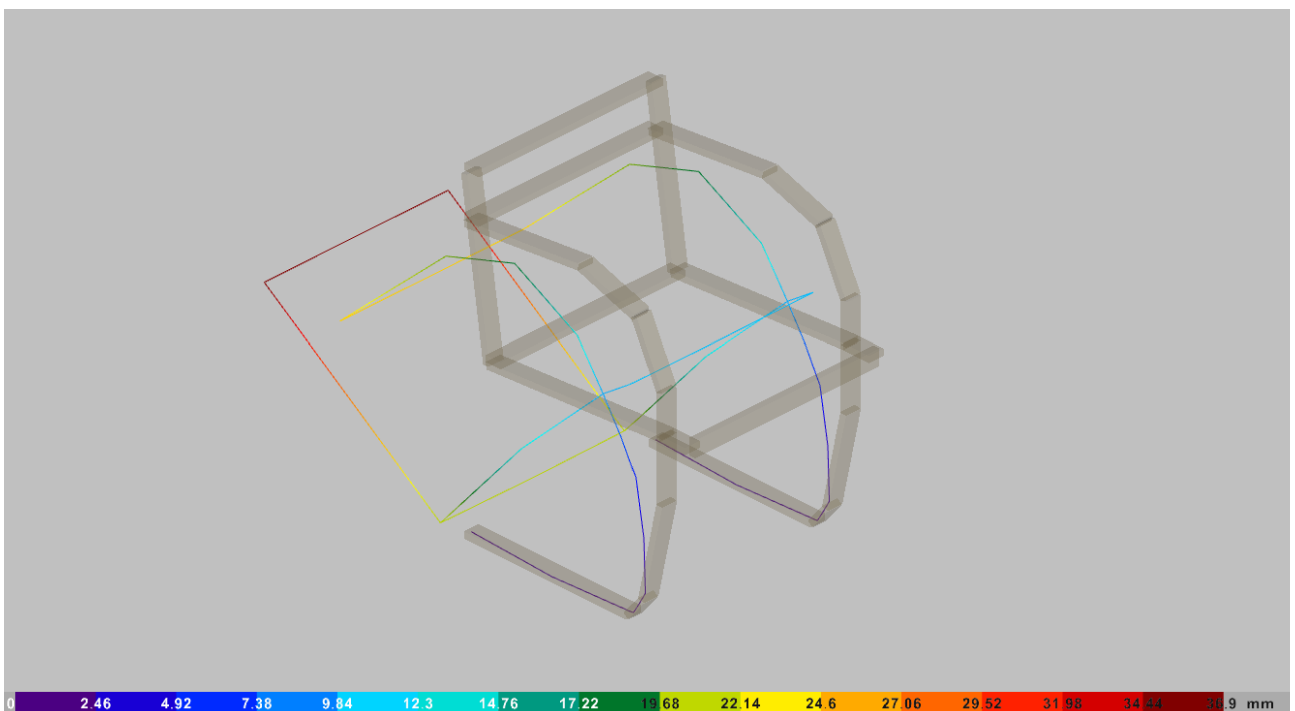


Fig. 112: Deformada de la hipòtesi 2 de la cadira Brno amb barres rectangulars

7.5.3. Anàlisi dels resultats (2B, ii)

La cadira presenta una estructura en voladís que distribueix els esforços estructurals principalment a les potes davanteres, que actuen com a suport principal. En termes d'esforços axials, aquests es concentren a les potes frontals, ja que són les encarregades de sostenir la major part del pes de l'usuari. La configuració de la cadira fa que les forces generades pel pes es transmeten des del seient i el respalller cap a les unions amb les potes, de manera que es distribueixen de forma equilibrada per mantenir l'estructura estable sense sobrecarregar punts específics.

Pel que fa als esforços tallants, aquests es concentren en les zones de contacte entre el seient i les potes. La força del pes transforma aquestes àrees en punts de màxima concentració d'esforços tallants, que augmenten a mesura que descendeixen cap a la base de les potes. Aquesta configuració permet que les potes transmeten els esforços generats, contribuint a l'estabilitat de la cadira, especialment a la base, que ha de suportar la totalitat de la càrrega.

Respecte als moments, aquests es concentren principalment a la unió entre el respalller i les potes. Quan l'usuari es recolza al respalller, es genera un moment significatiu que provoca una flexió cap enrere. Aquest moment es distribueix a través de les potes davanteres, que transmeten gran part de la força de flexió, mantenint així l'estabilitat general de l'estructura. La distribució dels moments en aquest disseny en voladís permet que l'estructura suporti els esforços de flexió sense deformacions excessives, concentrant les càrregues de manera equilibrada.

En aquesta cadira amb estructura en voladís, observem dues situacions de càrrega i deformació. En la primera hipòtesi, on el pes es distribueix tant sobre el seient com sobre el respalller, la deformació es distribueix per tota l'estructura de la cadira. En aquesta configuració, el seient experimenta una compressió cap avall, mentre que el respalller es veu sotmés a un moment que causa una flexió cap enrere. Aquesta força addicional sobre el respalller provoca una deformació significativa en la unió entre el seient i el respalller, ja que aquest és el punt en què els esforços de tracció i compressió s'acumulen. En conseqüència,

la cadira presenta una flexió global, amb una inclinació marcada en les potes que transmeten la major part del pes i estableixen l'estructura. En la segona hipòtesi, quan el pes es concentra exclusivament sobre el seient, la deformació es localitza en aquesta àrea, mentre que el respalller experimenta una flexió menor que en la hipòtesi 1. En aquest cas, el pes aplicat sobre el seient genera una força que es distribueix per tota l'estructura de la cadira, fet que es deu a com és la composició d'aquesta.

Cal destacar que aquesta cadira es va realitzar en dues versions diferents. La primera es va dissenyar amb un tub de secció circular i la segona versió utilitza un tub de secció plana. És important mencionar que en la versió amb secció circular, la deformació és molt menor en comparació amb la de secció rectangular, ja que la inèrcia de la secció circular és considerablement superior a la de la secció plana, cosa que proporciona una major resistència a la flexió i a les deformacions sota càrrega.

7.6. Comparació dels resultats

En l'anàlisi comparativa de les cadires dissenyades per Ludwig Mies van der Rohe, es poden identificar diferents configuracions estructurals que influeixen directament la distribució d'esforços, la resistència i la deformació de cada cadira sota la càrrega d'una persona.

En primer lloc, és important mencionar la cadira menjador, ja que segueix un disseny tradicional amb quatre potes, proporcionant una distribució de càrregues molt més uniforme que en les altres cadires. En aquesta cadira, els esforços axials es distribueixen entre totes quatre potes, fet que permet suportar càrregues pesades amb una deformació mínima. D'aquesta manera, a diferència de les cadires en voladís, la cadira menjador presenta una menor concentració de moments i esforços tallants, ja que cada pota assumeix una part del pes de l'usuari, evitant concentracions d'esforç en punts concrets. Aquesta configuració la fa especialment adequada per a entorns com el menjador, on la resistència i la durabilitat són essencials. A més, el disseny amb quatre potes proporciona una resistència estructural superior i una menor deformació sota càrrega, fent-la ideal per a espais on es requereix estabilitat i robustesa.

Per una banda, tenim les cadires en voladís, caracteritzades per no tenir potes posteriors, fet que implica que tot el pes de l'usuari recaiga sobre les potes davanteres. Aquestes cadires mostren una concentració d'esforços axials, moments i forces tallants en les potes frontals, especialment en els punts de connexió amb el seient i el respall. Aquesta disposició estructural fa que el respall experimenti una flexió cap enrere quan l'usuari s'hi recolza, creant una deformació significativa en la unió entre el seient i el respall, ja que és on s'acumulen els esforços de tracció i compressió. Així, les cadires en voladís requereixen un reforç addicional en les potes frontals per garantir l'estabilitat de l'estructura i minimitzar la deformació sota càrrega.

A continuació, tenim les cadires amb barres intersectades, que presenten una configuració en forma de tisora o X. Aquesta disposició permet una distribució més equilibrada de les càrregues, evitant concentracions excessives de tensió en punts específics i reduint els moments i esforços

tallants en comparació amb les cadires en voladís. La intersecció de les barres no només proporciona estabilitat addicional sinó que també actua com a punt de reforç que ajuda a mantenir la rigidesa estructural sota càrrega, disminuint la deformació de l'estructura. Aquest tipus de cadira és menys propens a deformar-se en zones localitzades i ofereix una resistència millorada, especialment en entorns on el moviment i l'ús constant poden generar esforços addicionals.

Cal comparar també les cadires amb tub de secció circular respecte a les dissenyades amb tub de secció plana. La diferència en les seccions afecta la resistència a la deformació: la versió amb secció circular té una inèrcia més gran que la de secció plana, cosa que redueix la deformació sota càrrega, perquè la inèrcia més gran ofereix una resistència superior als esforços de flexió. Aquesta variació estructural és important, ja que fa que la versió amb secció circular siga més resistent i menys propensa a deformar-se, mentre que la versió amb secció plana és més vulnerable a la flexió davant càrregues similars.

Finalment, s'ha de comentar la diferència de materials que hi ha entre les cadires de Ludwig Mies van der Rohe, les cadires en voladís i les de barres intersectades utilitzen acer, ja que aquest material proporciona una alta resistència a la tracció i a la compressió, característiques essencials per suportar les càrregues concentrades i moments que es generen en dissenys en voladís o estructures amb forma de X. L'acer, gràcies a la seua rigidesa i capacitat de mantenir la forma sota càrrega, evita deformacions i permet crear estructures més esveltes sense comprometre l'estabilitat. En canvi, la cadira menjador està construïda en fusta, un material més flexible i lleuger. Gràcies a la configuració de quatre potes que distribueixen les càrregues de manera uniforme, pot suportar la càrrega de manera eficient sense requerir la resistència superior de l'acer.

A continuació, es presenta una taula resum comparativa que permetrà visualitzar i analitzar de manera clara i ordenada les dades més rellevants de cada una de les cadires estudiades.

Cadira	Material	Tipus de secció	Moment màxim	Deformació màxima HIP1	Deformació màxima HIP2
De menjador	Fusta	Quadrada (5x5 cm)	0,13 kN·m	3,46 mm	1,32 mm
MR10	Acer	Circular (28x3 mm)	0,42 kN·m	25,35 mm	16,07 mm
Tugendhat	Acer	Rectangular (35x16 mm)	0,15 kN·m	52,69 mm	26,14 mm
Barcelona	Acer	Rectangular (35x16 mm)	0,29 kN·m	8,24 mm	7,86 mm
Brno (C)	Acer	Circular (28x3 mm)	0,29 kN·m	18,11 mm	9,81 mm
Brno (R)	Acer	Rectangular (40x16 mm)	0,33 kN·m	63,09 mm	36,9 mm

- Cadira de menjador: aquesta cadira destaca per la seua baixa deformació gràcies a la configuració clàssica de quatre potes. Aquest disseny distribueix uniformement les càrregues sobre cada pota, reduint els esforços concentrats i limitant la deformació global. Tot i que la fusta té una rigidesa inferior a la de l'acer, aquesta estructura tradicional compensa amb una estabilitat excepcional i és ideal per a entorns domèstics amb càrregues moderades.

- Cadira MR10: aquesta cadira en voladís destaca per la seua rigidesa i resistència. L'ús de barres circulars aporta una elevada inèrcia, limitant la deformació i garantint una estructura més estable davant les càrregues. Això la converteix en una solució funcional i estètica en un únic element.

- Cadira Tugendhat: tot i que el seu moment màxim és inferior al de la MR10, les deformacions màximes són molt més altes. Això es deu a la utilització de barres amb secció rectangular, que tenen una inèrcia menor, augmentant així la susceptibilitat a deformar-se sota càrrega. Encara que, la seua configuració amb dues barres tangents, permet una millor distribució dels esforços.

- Cadira Barcelona: Amb un moment màxim intermedi, respecte a les altres cadires, i deformacions moderades, aquesta cadira equilibra estètica i funcionalitat. Aquesta configuració en X de les seues potes, impedeix que l'estructura cedisca davant forces aplicades. Les barres rectangulars ofereixen una resistència acceptable en entorns on les càrregues no són extremes, mantenint l'elegància pròpia del seu disseny.

- Cadira Brno (amb secció circular), presenta deformacions moderades. La seua configuració circular li confereix una millor rigidesa que el model rectangular.

- Cadira Brno (amb secció rectangular), mostra un moment màxim lleugerament superior que a la cadira amb versió circular, però amb deformacions molt elevades, evidenciant les limitacions estructurals de les barres rectangulars en càrregues elevades.

8. Conclusions

Aquest Treball Fi de Grau ha permés aprofundir en el comportament estructural de diverses cadires dissenyades per Ludwig Mies van der Rohe, examinant la interacció entre forma i funció en el seu disseny i la selecció de materials. L'anàlisi estructural realitzada demostra que la tria de materials, especialment entre acer i fusta, i la configuració estructural (estructura de fusta, estructura amb una barra (1B), estructura amb dues barres tangents (2B, t), estructura amb dues barres amb una intersecció (2B, i) o estructura amb dues barres amb dues interseccions (2B, ii)) influeixen de manera decisiva en la distribució de càrregues, la resistència a la deformació i la durabilitat de cada model.

Els resultats obtinguts indiquen que l'acer és ideal per a dissenys en voladís i estructures amb barres interseccionades, on les càrregues es concentren en punts específics i exigeixen un material amb alta resistència a la tracció i la compressió. L'ús de seccions circulars o planes en aquestes estructures també té un impacte important: les seccions circulars ofereixen una resistència superior a la deformació, mentre que les seccions planes, encara que estèticament atractives, són més vulnerables sota càrrega.

En canvi, la fusta, utilitzada en la cadira de menjador, ofereix una resposta estructural adequada en configuracions de quatre potes, on les càrregues es distribueixen de manera uniforme. La fusta proporciona una estètica càlida i una sensació de confort que s'adapta bé a entorns domèstics. La seua capacitat per suportar càrregues amb una deformació controlada la fa ideal per a espais on es prioritzen materials naturals i una estètica clàssica.

En conclusió, aquest estudi evidencia com el llegat de Mies van der Rohe en el disseny de mobiliari va més enllà de la forma visual per endinsar-se en l'enginyer estructural. La capacitat d'integrar estètica i funcionalitat mitjançant una selecció acurada de materials i configuracions innovadores permet que les seues cadires continuen sent rellevants en el disseny modern. Així, el treball posa de manifest la vigència de les aportacions de Mies al disseny de mobiliari, destacant la importància de la recerca de l'equilibri entre resistència, estètica i funcionalitat en cada peça.

9. Bibliografia

Arquine. (2013). Ejemplos ejemplares, <<https://arquine.com/ejemplos-ejemplares-crown-hall/>> (accés el 24 de juliol de 2024).

Ascensores Beltrán. (2019). Ascensores Beltrán, <<https://beltransl.com/noticias/el-peligro-de-superar-el-peso-maximo-recomendado-en-un-ascensor/#:~:text=La%20norma%20otorga%20a%20cada,rebasar%20varias%20veces%20el%201%3ADmite>> (accés el 25 de setembre de 2024).

Balcazar, C. (2009). Blogger, <<https://historiadindustrial.blogspot.com/>> (accés 26 de juliol de 2024).

Barba, J-J. (2014). Mtealocus <<https://www.metalocus.es/es/noticias/el-edificio-mas-importante-del-milenio-el-seagram>> (accés el 30 de juliol de 2024)

Barba, J-J. i Goicochea, A. (2019). Metalocus, <<https://www.metalocus.es/es/noticias/mies-van-der-rohe-maestro-y-ultimo-director-de-la-bauhaus>> (accés el 14 d'abril de 2024).

Barba, J-J. i Pérez, B. (2016). Mtealocus, <<https://www.metalocus.es/es/noticias/casa-tugendhat-por-ludwig-mies-van-der-rohe>> (accés el 29 de juliol de 2024).

Basset, L. (2014) RiuNet, <<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/38537/Tipolog%20de%20nudos%20y%20extremos%20de%20barra%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> (accés el 29 de setembre de 2024).

Batavia. (2017). Batavia, <<https://batavia.es/blog/mies-van-der-rohe-historia-y-obras/>> (accés el 3 d'abril de 2024).

Cohen, J-L. (2010). Mies van der Rohe, muebles y objetos, 1^a ed., Polígrafia, Barcelona.

De Pedro, I. (2022). Maderea, <<https://www.maderea.es/consideraciones-en-el-diseno-de-estructuras-de-madera/>> (accés el 10 de novembre de 2024).

Duque, K. (2012). ArchDaily, <<https://www.archdaily.cl/cl/02-169324/clasicos-de-arquitectura-casa-farnsworth-mies-van-der-rohe>> (accés el 6 de setembre de 2024).

Esperón, J-L. (2015). Historia del deiseño industrial, <<https://historia-diseno-industrial.blogspot.com/2015/07/mr.html>> (accés el 10 de novembre de 2024).

Esteve, R. (2021). Ramón Esteve, <<https://www.ramonesteve.com/la-fabricacion-del-interior/la-exposicion-de-stuttgart-y-la-silla-en-voladizo/>> (accés el 29 de juliol de 2024).

Fernández, A. (2019). La Vanguardia, <<https://www.lavanguardia.com/vida/junior-report/20190402/461427452366/bauhaus-dificios-arquitectura-patrimonio-humanidad.html>> (accés el 27 de juliol de 2024).

Gardinetti, M. (2012). Tecne, <<https://tecne.com/arquitectura/mies-revisitado-la-casa-farnsworth/>> (accés el 30 de juliol de 2024).

Harrouk, C. (2020). ArchDaily, <<https://www.archdaily.cl/cl/944630/instalacion-en-la-casa-farnsworth-presenta-muebles-originales-de-edith-farnsworth>> (accés el 6 de setembre de 2024).

Hendler, A. (2016). Clarín, <<https://www.clarin.com/arq/diseno/Deutscher-Werkbund-huella-imbor>>

nable-diseno_0_HJGngBtDml.html> (accés el 26 de juliol de 2024).

Hevia, G. (2008). ArchDaily, <<https://www.archdaily.cl/cl/02-8621/plataforma-en-viaje-neue-national-gallery-berlin-mies-van-der-rohe>> (accés el 31 de juliol de 2024).

Imaginario, A. (2021). Enciclopedia significados, <<https://www.significados.com/primer-guerra-mundial/>> (accés el 26 de juliol de 2024).

Knoll. (2024). Knoll. Exágono, <<https://exagono.es/knoll-resucita-la-legendaria-silla-tugendhat-disenada-por-mies-van-der-rohe/>> (accés el 28 de setembre de 2024).

Maurizo, P. (2021). Enciclopedia Iberoamericana, <<https://enciclopediaiberoamericana.com/bauhaus/>> (accés el 27 de juliol de 2024).

Nacions Unides. (2019). Exploramás. ¿Qué son los Objetivos de Desarrollo Sostenible?, <<https://www.exploramas.com/blog/que-son-objetivos-desarrollo-sostenible-ods/>> (accés el 2 d'abril de 2024).

Ramírez, A. (2019). El Confidencial, <https://www.elconfidencial.com/cultura/2019-08-15/lilly-reich-van-der-rohe-diseno-bauhaus_2171167/> (accés el 5 d'abril de 2024).

Rivero, J. (2016). Hypérbole, <<https://hyperbole.es/2016/01/mies-van-der-rohe-en-brno-casa-tugendhat-1928/>> (accés el 29 de juliol de 2024).

Sadurní, J.M. (2023). National Geographic, <https://historia.nationalgeographic.com.es/a/origenes-causas-y-efectos-primer-guerra-mundial-2_18350> (accés el 24 de juliol de 2024).

Slamova, J. (2016). Interpedia, <<https://interipedia.com/2016/12/09/silla-brno-de-mies-van-der-rohe-por-jarca-slamova/>> (accés 30 de setembre de 2024).

Toca, G. (2019). La Vanguardia, <<https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20190325/47309938540/la-bauhaus-en-5-claves.html>> (accés el 27 de juliol de 2024).

Vives, J. (2022a). La Vanguardia, <<https://www.lavanguardia.com/vida/junior-report/20220124/7979386/quien-fue-ludwig-mies-van-der-rohe.html>> (accés el 2 d'abril de 2024).

Vives, J. (2022b). La Vanguardia, <<https://www.lavanguardia.com/vida/junior-report/20220124/7997674/lilly-reich.html>> (accés el 5 d'abril de 2024).

Zuleta, G. (2011). ArchDaily, <<https://www.archdaily.cl/cl/02-69314/clasicos-de-arquitectura-el-pabellon-aleman-mies-van-der-rohe>> (accés el 29 de juliol de 2024).

10. Índex de figures

Figura 1: Quesada, D. (2020). Arquitectura y diseño, <https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/5-detalles-vida-mies-van-der-rohe-poco-conocidos-2_4527> (accés el 24 de juliol de 2024).

Figura 2: Eslava, J. (2023). El correo, <<https://www.elcorreo.com/xlsemanal/historia/primer-guerra-mundial-juan-eslava-galan.html>> (accés el 31 de juliol de 2024).

Figura 3: Pérez, B-E. (2016). Metalocus, <<https://www.metalocus.es/es/noticias/fabrica-de-turbinas-aeg-hito-de-la-industrializacion-por-peter-behrens>> (accés el 31 de juliol de 2024).

Figura 4: Dejtiar, F. (2018). ArchDaily, <<https://www.archdaily.cl/cl/902218/100-anos-de-bauhaus>> (accés el 31 de juliol de 2024).

Figura 5: Dimog, J. (2018). The link, <<https://thelink.berlin/2018/09/stuttgart-architektur-weissenhofsiedlung-weissenhofmuseum-haus-le-corbusier-pierre-jeanneret-massarbeit-der-moderne-neues-bauen-bauhaus-bauhaus100-werkbund-werkbundsiedlung-baden-wuerttemberg/>> (accés el 31 de juliol de 2024).

Figura 6: Esteve, R. (2021). Ramón Esteve, <<https://www.ramonesteve.com/en/manufacturing-the-interior/la-exposicion-de-stuttgart-y-la-silla-en-voladizo/>> (accés el 5 d'agost de 2024).

Figura 7: Zuleta, G. (2011). ArchDaily, <<https://www.archdaily.cl/cl/02-69314/clasicos-de-arquitectura-el-pabellon-aleman-mies-van-der-rohe>> (accés el 31 de juliol de 2024).

Figura 8: González, C. (2017). Casa Decor, <<https://casadecor.es/blog/ferias-y-exposiciones/pabellon-mies-van-der-rohe/>> (accés el 5 d'agost de 2024).

Figura 9: Stathaki, E. (2022). Wallpaper, <<https://www.wallpaper.com/architecture/ludwig-mies-van-der-rohes-villa-tugendhat-returns-to-form>> (accés el 31 de juliol de 2024).

Figura 10: García, P. (2021). DestinoChequia, <<https://destinochequia.com/articulos/la-villa-tugendhat-de-mies-van-der-rohe-y-otras-joyas-de-brno>> (accés el 5 d'agost de 2024).

Figura 11: García, J. (2016). CommoEstudio, <<https://commoestudio.com/2016/09/12/iconos-la-arquitectura-la-casa-farnsworth/>> (accés el 31 de juliol de 2024).

Figura 12: Gómez, R. (2014). WordPress, <<https://atmosferaysentido.wordpress.com/2014/11/15/el-interior-de-la-casa-farnsworth/>> (accés el 5 d'agost de 2024).

Figura 13: Vial, C. (2010). ArchDaily, <https://www.archdaily.cl/cl/02-43436/restauracion-mies-van-der-rohe-iit-crown-hall-krueck-sexton-architects?ad_campaign=normal-tag> (accés el 31 de juliol de 2024).

Figura 14: Pérez, A. (2014). ArchDaily, <<https://www.archdaily.cl/cl/02-364394/clasicos-de-arquitectura-seagram-building-mies-van-der-rohe>> (accés el 31 de juliol de 2024).

Figura 15: Harrouk, C. (2020). ArchDaily, <<https://www.archdaily.cl/cl/953814/david-chipperfield-renueva-la-nueva-galeria-nacional-de-berlin-de-mies-van-der-rohe>> (accés el 31 de juliol de 2024).

Figura 16: CIRCARQ. (2019). CIRCARQ, <<https://circularq.wordpress.com/2019/11/17/lilly-reich-1885-1947/>> (accés el 8 d'agost de 2024).

Figura 17: Conti, J. (2022). Il giornale dell'architettura, <<https://ilgiornaledellarchitettura.com/2022/12/13/leredita-di-lilly-reich-1885-1947/>> (accés el 8 d'agost de 2024).

Figura 18: Knoll. (2022). Limobel, <<https://limobelinwo.com/la-silla-barcelona-de-mies-van-der-rohe-y-lilly-reich/>> (accés el 9 d'agost de 2024).

Figura 19. Documentació pròpia.

Figura 20: Cohen, J-L. (2010). Mies van der Rohe, muebles y objetos, 1^a ed., Polígrafia, Barcelona.

Figura 21. Documentació pròpia.

Figura 22: Cohen, J-L. (2010). Mies van der Rohe, muebles y objetos, 1^a ed., Polígrafia, Barcelona.

Figura 23: Cohen, J-L. (2010). Mies van der Rohe, muebles y objetos, 1^a ed., Polígrafia, Barcelona.

Figura 24: Cohen, J-L. (2010). Mies van der Rohe, muebles y objetos, 1^a ed., Polígrafia, Barcelona.

Figura 25: Knoll. (2024). Pamono, <<https://www.pamono.es/butaca-mr-lounge-con-reposabrazos-de-ludwig-mies-van-der-rohe-para-knoll-international-a-os-80>> (accés el 16 de setembre de 2024).

Figura 26: Cohen, J-L. (2010). Mies van der Rohe, muebles y objetos, 1^a ed., Polígrafia, Barcelona.

Figura 27: Knoll. (2024). PaletteParlor, <<https://www.paletteandparlor.com/products/mies-van-der-rohe-mr-adjustable-chaise-lounge>> (accés el 16 de setembre de 2024).

Figura 28. Documentació pròpia.

Figura 29: Exágono. (2024). Exágono, <<https://exagono.es/knoll-resucita-la-legendaria-silla-tugendhat-disenada-por-mies-van-der-rohe/>> (accés el 17 de setembre de 2024).

Figura 30. Documentació pròpia.

Figura 31. Documentació pròpia.

Figura 32. Documentació pròpia.

Figura 33: ConstruMat.(2019). ConstruMat, <<https://www.construmat.com/arquitectura-y-dise-no-sin-barreras/>> (accés el 17 de setembre de 2024).

Figura 34. Documentació pròpia.

Figura 35. Documentació pròpia.

Figura 36. Documentació pròpia.

Figura 37. Documentació pròpia.

Figura 38. Documentació pròpia.

Figura 39. Documentació pròpia.

Figura 40. Documentació pròpia.
Figura 41. Documentació pròpia.
Figura 42. Documentació pròpia.
Figura 43. Documentació pròpia.
Figura 44. Documentació pròpia.
Figura 45. Documentació pròpia.
Figura 46. Documentació pròpia.
Figura 47. Documentació pròpia.
Figura 48. Documentació pròpia.
Figura 49. Documentació pròpia.
Figura 50. Documentació pròpia.
Figura 51. Documentació pròpia.
Figura 52. Documentació pròpia.
Figura 53. Documentació pròpia.
Figura 54. Documentació pròpia.
Figura 55. Documentació pròpia.
Figura 56. Documentació pròpia.
Figura 57. Documentació pròpia.
Figura 58. Documentació pròpia.
Figura 59. Documentació pròpia.
Figura 60. Documentació pròpia.
Figura 61. Documentació pròpia.
Figura 62. Documentació pròpia.
Figura 63. Documentació pròpia.
Figura 64. Documentació pròpia.
Figura 65. Documentació pròpia

Figura 66. Documentació pròpia.
Figura 67. Documentació pròpia.
Figura 68. Documentació pròpia.
Figura 69. Documentació pròpia.
Figura 70. Documentació pròpia.
Figura 71. Documentació pròpia.
Figura 72. Documentació pròpia.
Figura 73. Documentació pròpia.
Figura 74. Documentació pròpia.
Figura 75. Documentació pròpia.
Figura 76. Documentació pròpia.
Figura 77. Documentació pròpia.
Figura 78. Documentació pròpia.
Figura 79. Documentació pròpia.
Figura 80. Documentació pròpia.
Figura 81. Documentació pròpia.
Figura 82. Documentació pròpia.
Figura 83. Documentació pròpia.
Figura 84. Documentació pròpia.
Figura 85. Documentació pròpia.
Figura 86. Documentació pròpia.
Figura 87. Documentació pròpia.
Figura 88. Documentació pròpia.
Figura 89. Documentació pròpia.
Figura 90. Documentació pròpia.
Figura 91. Documentació pròpia.

Figura 92. Documentació pròpia.

Figura 93. Documentació pròpia.

Figura 94. Documentació pròpia.

Figura 95. Documentació pròpia.

Figura 96. Documentació pròpia.

Figura 97. Documentació pròpia.

Figura 98. Documentació pròpia.

Figura 99. Documentació pròpia.

Figura 100. Documentació pròpia.

Figura 101. Documentació pròpia.

Figura 102. Documentació pròpia.

Figura 103. Documentació pròpia.

Figura 104. Documentació pròpia.

Figura 105. Documentació pròpia.

Figura 106. Documentació pròpia.

Figura 107. Documentació pròpia.

Figura 108. Documentació pròpia.

Figura 109. Documentació pròpia.

Figura 110. Documentació pròpia.

Figura 111. Documentació pròpia.

Figura 112. Documentació pròpia.

