Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials (GETI)

Càlcul de la petjada de carboni de l'estructura de l'edifici H de l'ETSEIB

MEMÒRIA

Autor: Josep Torró Martínez
Director/a: Xavier Centelles Soler
Convocatòria: 02/2023

Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona

Resum

El projecte té com a objectiu determinar i analitzar la petjada de carboni de l'estructura de l'edifici H de l'ETSEIB, que va ser construït durant els anys 1959-1964 a Barcelona, amb Robert Terradas i Via com a arquitecte del projecte.

Per situar al lector, en un primer punt de la memòria es fa un breu resum de la informació històrica de l'ETSEIB on s'inclou la cronologia dels estudis d'enginyeria Industrial a Barcelona i una breu biografia de l'arquitecte català Robert Terradas i Via.

En el següent punt, es presenten totes les característiques de l'eina de càlcul utilitzada. S'introdueix 'The Institution of Structural Engineers', institució anglesa d'enginyers estructurals que proporciona eines i recursos per afrontar reptes actuals com el canvi climàtic, una de les eines que proporciona aquesta institució i que s'utilitza en aquest projecte és 'The Structural Carbon Tool'. En aquest mateix apartat, es detallen els principis fonamentals de càlcul i la interfície de l'eina utilitzada.

Seguidament, es realitzen una sèrie de càlculs estructurals de l'edifici H de l'ETSEIB. En aquest apartat, es realitza el càlcul de l'estructura metàl·lica de les dues torres i l'edifici d'unió, i el càlcul estructural del formigó i acer armat de l'edifici H, amb l'ajut de la memòria de càlculs del projecte original.

Amb les dades estructurals obtingudes i l'eina de càlcul esmentada, es porta a terme el càlcul de la petjada de carboni amb materials convencionals i amb materials sostenibles. Seguidament, es realitza un estudi comparatiu entre els dos escenaris contemplats, s'obté que amb l'elecció de materials sostenibles es redueix la petjada de carboni al llarg del cicle de vida de l'edifici en un 40% aproximadament.

Finalment, es conclou que l'elecció de materials i pràctiques de construcció sostenibles són passos crucials cap a la construcció d'un futur més sostenible i la reducció de la petjada de carboni a la indústria de la construcció. També es comenta la importància de dissenyar i construir amb una perspectiva a llarg termini, centrant-se en la durabilitat dels materials per augmentar la vida útil dels edificis i, d'aquesta manera, reduir l'impacte ambiental associat a la construcció de nous edificis.

Resumen

El proyecto tiene como objetivo determinar y analizar la huella de carbono de la estructura del edificio H de la ETSEIB, que fue construido durante los años 1959-1964 en Barcelona, con Robert Terradas y Vía como arquitecto del proyecto.

Para situar al lector, en un primer punto de la memoria se hace un breve resumen de la información histórica de la ETSEIB donde se incluye la cronología de los estudios de ingeniería Industrial en Barcelona y una breve biografía del arquitecto catalán Robert Terradas y Vía.

En el siguiente punto, se presentan todas las características de la herramienta de cálculo utilizada. Se introduce 'The Institution of Structural Engineers', institución inglesa de ingenieros estructurales que proporciona herramientas y recursos para afrontar retos actuales como el cambio climático, una de las herramientas que proporciona esta institución y que se utiliza en este proyecto es 'The Structural Carbon Tool'. En este mismo apartado, se detallan los principios fundamentales de cálculo y la interfaz de la herramienta utilizada.

Seguidamente, se realizan una serie de cálculos estructurales del edificio H de la ETSEIB. En este apartado, se realiza el cálculo de la estructura metálica de las dos torres y el edificio de unión, y el cálculo estructural del hormigón y acero armado del edificio H, con la ayuda de la memoria de cálculos del proyecto original.

Con los datos estructurales obtenidos y la herramienta de cálculo mencionada, se lleva a cabo el cálculo de la huella de carbono con materiales convencionales y con materiales sostenibles. Seguidamente, se realiza un estudio comparativo entre los dos escenarios contemplados, se obtiene que con la elección de materiales sostenibles se reduce la huella de carbono a lo largo del ciclo de vida del edificio en un 40% aproximadamente.

Finalmente, se concluye que la elección de materiales y prácticas de construcción sostenibles son pasos cruciales hacia la construcción de un futuro más sostenible y la reducción de la huella de carbono a la industria de la construcción. También se comenta la importancia de diseñar y construir con una perspectiva a largo plazo, centrándose en la durabilidad de los materiales para aumentar la vida útil de los edificios y, de este modo, reducir el impacto ambiental asociado a la construcción de nuevos edificios.

Abstract

The project aims to determine and analyse the carbon footprint of the structure of the ETSEIB H building, which was built during the years 1959-1964 in Barcelona, with Robert Terradas and Via as architect of the project.

To place the reader, at the first point of memory a brief summary of the historical information of the ETSEIB includes the chronology of the studies of industrial engineering in Barcelona and a short biography of the Catalan architect Robert Terradas i Via.

At the next point, all the features of the calculation tool used are presented. The Institution of Structural Engineers, an English institution of structural engineers that provides tools and resources to address current challenges such as climate change, is one of the tools provided by this institution and used in this project is The Structural Carbon Tool. In this same section, the fundamental principles of calculation and the interface of the tool used are detailed.

A series of structural calculations of the ETSEIB H building are then carried out. In this section, the calculation of the metal structure of the two towers and the junction building is performed, and the structural calculation of the concrete and armed steel of the H building, with the aid of the calculation memory of the original project.

With the structural data obtained and the calculation tool mentioned, the calculation of the carbon footprint is carried out with conventional materials and with sustainable materials. A comparative study between the two contemplated scenarios follows, with the choice of sustainable materials reducing the carbon footprint over the building's life cycle by approximately 40%.

Finally, it is concluded that the choice of sustainable construction materials and practices are crucial steps towards building a more sustainable future and reducing the carbon footprint in the construction industry. The importance of designing and building with a long-term perspective is also discussed, focusing on the durability of materials to increase the lifespan of buildings and thus reduce the environmental impact associated with the construction of new buildings.

Contingut

RESUM 3

RESUMEN 4

ABSTRACT 5

CONTINGUT 7

LLISTAT DE FIGURES I TAULES 9

1. PREFACI 13

1.1. Origen del projecte i motivació ... 13

2. INTRODUCCIÓ 14

2.1. Objectius del projecte ... 15

2.2. Abast del projecte ... 15

3. INFORMACIÓ HISTÒRICA DE L'ETSEIB 17

3.1. Cronologia dels estudis d'enginyeria Industrial a Barcelona fins a l'actual ETSEIB ... 17

3.2. Robert Terradas i Via (1916-1976) ... 26

4. EINA DE CÀLCUL 28

4.1. The Institution of Structural Engineers ... 28

4.2. Metodologia de càlcul ... 29

4.2.1. Product stage - Factor de carboni A1-A3 ... 32

4.2.2. Construction process stage - Factor de carboni A4-A5 ... 33

4.2.3. Factor de carboni B ... 35

4.2.4. Factor de carboni C ... 36

4.2.5. Emissió total A-C ... 37

4.2.6. Factor de carboni D ... 38

4.3. The Structural Carbon Tool ... 39

5. CÀLCULS ESTRUCTURALS DE L'EDIFICI H DE L'ETSEIB 44

5.1. Estructura metàl·lica de les dues torres principals ... 44

5.1.1. Jàsseres metàl·liques - Zona aularis ... 45

5.1.2. Bigues de reforç - Zona aularis ... 45

5.1.3. Pilars - Zona aularis ... 46

5.2. Estructura metàl·lica de la Zona d'unió del cos d'aules ... 49

5.2.1. Jàsseres metàl·liques - Zona unió cos aules ... 50

5.2.2. Bigues de reforç - Zona unió cos aules ... 50

5.2.3. Pilars - Zona unió cos aules ... 51

5.3. Càlcul estructural del formigó i acer armat de l'edifici H 54
5.3.1. Llosa principal o Solera 55
5.3.2. Lloses - Zona aularis 55
5.3.3. Lloses - Zona unió cos aules 56

6. DADES I RESULTATS DE 'THE STRUCTURAL CARBON TOOL' __57

6.1. Project Info 57
6.1.1. Gross Internal Area (GIA) 57
6.1.2. Project Value 57
6.1.3. Design life 59
6.2. Pestanya d'amidaments 60
6.2.1. Materials Estàndard 60
6.2.2. Materials Sostenibles 62
6.3. Estudi comparatiu 64

7. PLANIFICACIÓ _____ 66

8. ESTUDI ECONÒMIC _____ 67

9. ESTUDI AMBIENTAL _____ 68

10. ESTUDI SOCIAL I D'IGUALTAT DE GÈNERE _____ 70

11. CONCLUSIONS _____ 71

12. AGRAÏMENTS _____ 72

13. BIBLIOGRAFIA _____ 73

Llistat de figures i taules

Figures

Figura 2.1 Distribució dels edificis de l'ETSEIB

Figura 3.1 Convent de Sant Sebastià

Figura 3.2 Universitat literària – Actual seu de la Universitat de Barcelona

Figura 3.3 Antiga fàbrica Batlló y Batlló

Figura 3.4 Edifici del rellotge a l'antiga fàbrica Batlló y Batlló

Figura 3.5 Edifici actual de l'ETSEIB

Figura 3.6 Robert Terradas i Via

Figura 4.1 Logo de la institució IStructE

Figura 4.2 Impacte potencial d'un enginyer estructural

Figura 4.3 a) Etapes del cicle de vida. Exemple de divisió del percentatge d'emissions dels mòduls A1–C4, utilitzant dades d'exemple tenint en compte tots els elements d'un edifici per a un edifici residencial a escala mitjana. b) Mòduls addicionals definits per a projectes d'infraestructures personalitzats

Figura 4.4 Pestanya de benvinguda de 'The Structural Carbon Tool'

Figura 4.5 Nomenclatura i descripció de les pestanyes

Figura 4.6 Interfície de la informació del projecte

Figura 4.7 Informació estructural en la pestanya d'amidaments

Figura 4.8 Informació resum de les emissions de carboni

Figura 4.9 Informació comparativa entre projectes

Figura 4.10 Valoracions i dades comparatives entre projectes

Figura 4.11 Pestanya 'Lifecycle Material Data'

Figura 5.1 Estructura d'una de les torres principals

Figura 5.2 Jàssera metàl·lica dels aularis

Figura 5.3 Bigues de reforç en les torres de la zona d'aules

Figura 5.4 Pilar planta baixa, 1a i 2a

Figura 5.5 Pilar planta 3a, 4a, 5a i 6a

Figura 5.6 Pilar planta 7a, 8a, 9a, 10a i 11a

Figura 5.7 Estructura de l'edifici d'unió

Figura 5.8 Jàsseres metàl·liques d'unió

Figura 5.9 Dimensionament de les càrregues de l'edifici

Figura 6.1 Pestanya Project Info

Figura 6.2 Pestanya d'amidaments amb materials estàndard

Figura 6.3 Resultats amb materials estàndard

Figura 6.4 Pestanya d'amidaments amb materials sostenibles

Figura 6.5 Resultats amb materials sostenibles

Figura 6.6 Comparativa de resultats

Taules

Taula 5.1 Estructura metàl·lica Edifici H

Taula 5.2 Relacions de Llum/Gruix de lloses de formigó en funció de la càrrega i suports

Taula 5.3 Resum de dades estructurals de l'edifici H

Taula 6.1 Càlcul del GIA de l'edifici H

Taula 6.2 Pressupost Edifici H

Taula 6.3 Vida útil d'un edifici segons l'Eurocodi UNE

Taula 7.1 Diagrama de Gantt del projecte

1. Prefaci

1.1. Origen del projecte i motivació

Aquest projecte neix com una resposta a la creixent preocupació mundial pel canvi climàtic i la necessitat de reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle. L'augment de les temperatures globals, els patrons climàtics imprevisibles i els esdeveniments climàtics extrems són alguns dels molts senyals que donen lloc a la necessitat d'abordar aquest problema de manera efectiva. La comunitat científica, juntament amb líders mundials i organitzacions internacionals, ha centrat els seus esforços en desenvolupar estratègies per mitigar el canvi climàtic i limitar els seus impactes.

La construcció d'edificis és responsable d'una gran quantitat d'emissions de gasos d'efecte hivernacle, sobretot les emissions de CO_2, amb la qual cosa, és important avaluar i reduir aquestes emissions. En l'actualitat, la petjada de carboni és una mesura cada vegada més rellevant per avaluar l'impacte ambiental dels processos i activitats humanes, i la construcció d'edificis no és una excepció.

La realització d'aquest projecte busca contribuir a la comprensió dels impactes ambientals de la construcció d'edificis, i fomentar l'adopció de pràctiques més sostenibles i respectuoses amb el medi ambient. A més, es vol estudiar i aplicar una metodologia de càlcul per a avaluar la petjada de carboni en l'edifici H de l'ETSEIB.

En resum, l'origen i motivació d'aquest projecte venen donats per la necessitat d'abordar els impactes ambientals de la construcció d'edificis, així com la necessitat de proporcionar eines i coneixements útils per a aquells que treballen en aquest àmbit. Amb el càlcul de la petjada de carboni d'un edifici i l'avaluació d'estratègies per reduir aquestes emissions, aquest projecte busca contribuir a una construcció més sostenible i a la preservació del medi ambient.

2. Introducció

En ple segle XXI el canvi climàtic és una de les principals preocupacions arreu del món. Les emissions massives de gasos d'efecte hivernacle, causades principalment per l'ús d'energies fòssils i altres activitats industrials, han donat lloc a canvis devastadors en el nostre planeta com l'augment abrupte de la temperatura mitjana de la Terra, entre altres. Ara més que mai, som conscients que el canvi climàtic és una amenaça immediata per la nostra societat, economia i ecosistema. La comunitat internacional ha respost amb urgència establir objectius i acords per abordar aquesta crisi.

Aquest projecte es situa en el marc dels Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) de les Nacions Unides i de l'Acord de París, que estableixen un full de ruta global per combatre el canvi climàtic. L'ODS 13, titulat "Acció pel Clima" i plasmat a l'Agenda 2030, fa una crida urgent a implementar mesures immediates destinades a reduir els efectes del canvi climàtic. Aquest objectiu demana una resposta immediata i un ferm compromís amb la preservació de l'entorn natural.

L'Acord de París, adoptat el 2015 durant la COP21 (21ª Conferencia de les Parts de la Convenció del Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic), estableix un marc global per limitar l'escalfament global a menys de 2 graus Celsius i, preferiblement, a 1,5 graus Celsius respecte dels nivells preindustrials. Això requereix esforços significatius per reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, un compromís que arriba a totes les indústries, inclosa la construcció.

En el context de la construcció, la petjada de carboni es defineix com la quantitat de gasos d'efecte hivernacle que s'emeten a l'atmosfera durant tot el cicle de vida d'un edifici, des de la seva construcció fins a la seva demolició i posterior eliminació de residus. Això inclou les emissions associades amb l'extracció, transport i producció dels materials de construcció, el transport dels materials, la construcció, ús i manteniment de l'edifici, l'enderroc i la gestió de residus.

La petjada de carboni en la construcció és significativa deguda a la gran quantitat d'energia i recursos que es requereix per construir i mantenir edificis, així com l'impacte que tenen els edificis sobre el medi ambient. S'estima que el sector de la construcció és responsable del 40% de les emissions de gasos d'efecte hivernacle a escala global, i que la construcció i l'ús d'edificis representen una part important de la petjada de carboni de les ciutats i països.

L'estudi i càlcul de la petjada de carboni d'un edifici és essencial per entendre l'impacte ambiental de l'edifici i per identificar oportunitats per reduir la seva petjada de carboni al llarg de tot el seu cicle de vida. Això pot incloure l'elecció de materials de construcció amb menor impacte ambiental, el disseny i la construcció d'edificis més eficients en termes energètics, l'ús d'energies renovables, la implementació de pràctiques de manteniment i gestió sostenibles, entre moltes altres mesures.

2.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal del projecte és dur a terme el càlcul de la petjada de carboni de l'edifici H de l'ETSEIB per tal d'avaluar l'impacte ambiental que té l'edifici en qüestió i proposar escenaris per reduir la seva petjada de carboni.

Altres objectius importants són:

- Recerca d'informació sobre l'estructura de l'ETSEIB incloent plànols, amidaments, forjats, entre altres.
- Realitzar el càlcul estructural necessari, a partir de la informació trobada, per determinar l'impacte ambiental de l'edifici
- Estudi i aplicació d'una metodologia de càlcul d'impacte ambiental en la construcció, aplicat a l'edifici H de l'ETSEIB.
- Estudi de selecció de materials en funció de la petjada de carboni i plantejament de diferents escenaris de fi de vida del projecte.

2.2. Abast del projecte

Aquest treball té com a objectiu fer una estimació de les emissions de CO_2 associades a l'estructura de l'edifici H de l'ETSEIB en tot el seu cicle de vida.

Degut a la gran extensió de l'edifici de l'ETSEIB es limita el treball i el càlcul de la petjada de carboni a l'Edifici H, ja que aquest és el més gran i representatiu de l'ETSEIB.

Figura 2.1 Distribució dels edificis de l'ETSEIB [1]

A la Figura 2.1 es pot veure l'edifici H, en el que centrarem aquest projecte, i la resta d'edificacions que queden fora de l'abast d'aquest treball, que serien els edificis de laboratoris i l'edifici administratiu.

Un altre límit fixat en aquest treball és el càlcul de les estimacions de les emissions de CO_2 només té en compte els elements de l'estructura de l'edifici H. No es tenen en compte els tancaments, el mobiliari i els dels diferents serveis que té l'edifici H.

Els elements de l'estructura de l'edifici H que sí que s'han tingut en compte en el càlcul de les estimacions de les emissions de CO_2 són els següents: Jàsseres metàl·liques, pilars metàl·lics, lloses de formigó armat de la planta baixa i de la resta de plantes i coberta, i bigues de reforç metàl·liques.

3. Informació històrica de l'ETSEIB

3.1. Cronologia dels estudis d'enginyeria Industrial a Barcelona fins a l'actual ETSEIB

L'enginyeria industrial a Barcelona no sempre s'ha impartit a l'actual edifici de Diagonal 647. En aquest apartat es mostren les dates, els fets polítics i socials, i els diferents edificis que ens han portat fins a l'actual seu, l'ETSEIB.

1850: El Reial Decret del 4 de setembre de 1850 estableix la primera organització dels ensenyaments tècnics industrials a Espanya. Crea tres Escoles industrials d'ampliació a Barcelona, Sevilla i Vergara i una superior o central a Madrid (Real Instituto Industrial de Madrid).

1851: L'Ordre Reial del 24 de març de 1851 funda l'Escola Industrial Barcelonesa, que inaugura el seu primer curs oficial a la Llotja de Barcelona l'1 d'octubre de 1851. L'Escola s'instal·la a l'antic convent de Sant Sebastià, molt proper a la Llotja.

Figura 3.1 Convent de Sant Sebastià [2]

1855: El Decret del 20 de maig de 1855 estableix el Pla orgànic per a les escoles que imparteixen ensenyaments industrials. Les escoles d'ampliació passen a denominar-se Escoles professionals i en elles es cursen tres anys d'estudi com a aspirant a Enginyer Industrial (els dos anys que queden per obtenir el títol s'han de cursar al Real Instituto Industrial de Madrid).

1855: Es creen les Escoles professionals de València i Gijón. La segona rep el nom d'Escuela Profesional de Industria.

1857: La Llei d'Instrucció Pública (llei Moyano) del 10 de setembre fusiona l'ensenyament industrial professional (o d'ampliació) i el superior, creant els estudis superiors d'enginyers industrials, i declara Superiors a totes les Escoles Industrials. L'Escola de Barcelona comença a denominar-se Escola Superior Industrial de Barcelona. L'ensenyament elemental desapareix com a estudi independent i es transfereix als instituts de segona ensenyança en forma "d'ensenyaments d'aplicació a les professions industrials".

1860: Tanquen les Escuelas de Gijón i Vergara.

1861: S'expedeixen a Barcelona els primers títols superiors en les especialitats Mecànica i Química (Enginyers Mecànics i Enginyers Químics).

1865: Tanca l'Escola de València. L'Escola de Barcelona es denomina Escola d'Enginyers Industrials de Barcelona.

Reforma acadèmica de 1865: abolició de l'obligació de cursar les assignatures a la facultat citada.

1866: Tanca l'Escola de Sevilla.

1867: Desapareix també el Real Instituto Industrial de Madrid. A partir d'aquest moment, i durant trenta-dos anys, l'Escola d'Enginyers Industrials de Barcelona és l'única d'aquestes característiques a Espanya.

1868: L'Escola d'Enginyers Industrials de Barcelona posa en marxa, en horari nocturn, ensenyament per a obrers.

1868: Inici del sexenni revolucionari. El Decret del 21 d'octubre de 1868 promulga la llibertat docent, per la qual s'autoritza la fundació lliure de centres d'ensenyament.

Reforma de pla d'estudis de 1866: de nou, 3 primers cursos a la Facultat de Ciències.

1869: Un altre decret autoritza les diputacions provincials i els ajuntaments a fundar lliurement amb fons propis tota mena d'establiments d'ensenyament.

1871: El Conservatorio de Artes de Madrid crea l'Escuela de Artes y Oficios nocturna per a obrers. Servirà de model a aquelles que es crearan a Espanya durant la Restauració.

1873: Es crea l'Escola Lliure Provincial d'Arts i Oficis de Barcelona, agregada a l'Escola d'Enginyers Industrials de Barcelona i sostinguda per la Diputació provincial. A finals d'any, l'Escola es trasllada a la Universitat literària.

Figura 3.2 Universitat literària – Actual seu de la Universitat de Barcelona [3]

1886: L'Escuela de Artes y Oficios de Madrid obté la categoria de Central i es creen set Escuelas de Artes y Oficios nocturnes, sostingudes per l'Estat, a Alcoi, Almeria, Béjar, Gijón, Logronyo, Santiago i Vilanova i La Geltrú, amb la intenció "d'instruir mestres de taller, contramestres, maquinistes i artesans".

1886 – 1900: Les Escoles d'Arts i Oficis canvien successivament de nom: Escoles d'Arts i Indústries, primer, i Escoles Superiors d'Arts i Indústries, després.

1989: Es crea l'Escuela de Ingenieros Industriales de Bilbao, la qual cosa posa fi a l'etapa de soledat de la de Barcelona.

1895: El Reial Decret del 20 d'agost estableix el Pla d'estudis que es podrà cursar a l'Escuela Superior de Artes e Industrias de Madrid i que possibilita l'obtenció del títol de perit mecànic – electricista.

1900: El Ministeri de Foment, del qual depenien els centres, es divideix en dos: Ministeri d'Instrucció Pública i Belles Arts i el Ministeri d'Agricultura, Indústria, Comerç i Obres Públiques.

1900: La Diputació Provincial de Barcelona, l'Ajuntament de la ciutat, l'Escola d'Enginyers Industrials, Foment del Treball Nacional i altres corporacions locals promouen a

Barcelona, amb la denominació d'Escola Industrial, la creació del Centre General d'Ensenyament Tècnic en el qual es completarà l'ensenyament industrial de manera que puguin verificar-se els estudis, des dels més elementals fins aquells necessaris per obtenir el títol d'Enginyer.

1901: Es crea l'Escuela Central de Ingenieros Industriales Madrid. En aquests moments, és la tercera en la seva categoria de tot Espanya.

1901: El Reial Decret del 17 d'agost de 1901 estableix els eixos de la reforma dels ensenyaments industrials (reforma de Romanones). Organitza els ensenyaments tècnics especialitzats en estudis elementals i superiors d'indústries. Els primers s'imparteixen als Instituts provincials i donen la possibilitat d'obtenir el certificat de Pràctic industrial; els segons es cursen a les noves Escoles Superiors d'Indústries. El Reial Decret crea Escuelas Superiores de Industrias a Alcoi, Béjar, Cartagena, Gijón, Las Palmas de Gran Canaria, Madrid, Terrassa, Vigo i Vilanova i la Geltrú. A les noves escoles s'atorguen, arribats els casos, els certificats de Mecànic, Electricista, Metal·lurgista assajador, Químic o Aparellador, títols que donen dret a exercir les professions respectives i a matricular-se a les Escoles Superiors d'Enginyers Industrials. A l'exposició del Reial Decret a la Reina regent pot llegir-se: "Amb la creació de les escoles elementals i superiors d'indústries es mira de formar pràctics i perits ben instruïts en totes les particularitats de la tècnica industrial i acostumats a la pràctica dels tallers".

1902: El Reial Decret de 14 de setembre aprova el nou reglament de l'Escola.

Pla d'estudis de 1902: examen d'ingrés, 5 anys de carrera i revàlida. Unificació de la titulació d'enginyeria industrial, malgrat que les especialitats no desapareixen.

1904: Es crea l'Escola Industrial de Barcelona mitjançant Reial Decret del 30 de març de 1904 del Ministeri d'Instrucció Pública i Belles Arts. La representació i administració d'aquest Centre General d'Ensenyament Tècnic és responsabilitat del Patronat de l'Escola Industrial, dintre del qual estan representades les principals entitats barcelonines vinculades amb el desenvolupament econòmic i industrial. A banda de Foment del Treball Nacional, hi participaven l'Associació d'Enginyers Industrials, la Cambra de Comerç, la Societat Econòmica d'Amics del País de Barcelona, el Sindicat d'Exportadors de Vins, l'Ajuntament i la Diputació de Barcelona.

1908: L'11 de març de 1908 el rei Alfons XIII visita el conjunt d'edificis i solars de Can Batlló, als quals s'instal·laria l'Escola Industrial de Barcelona.

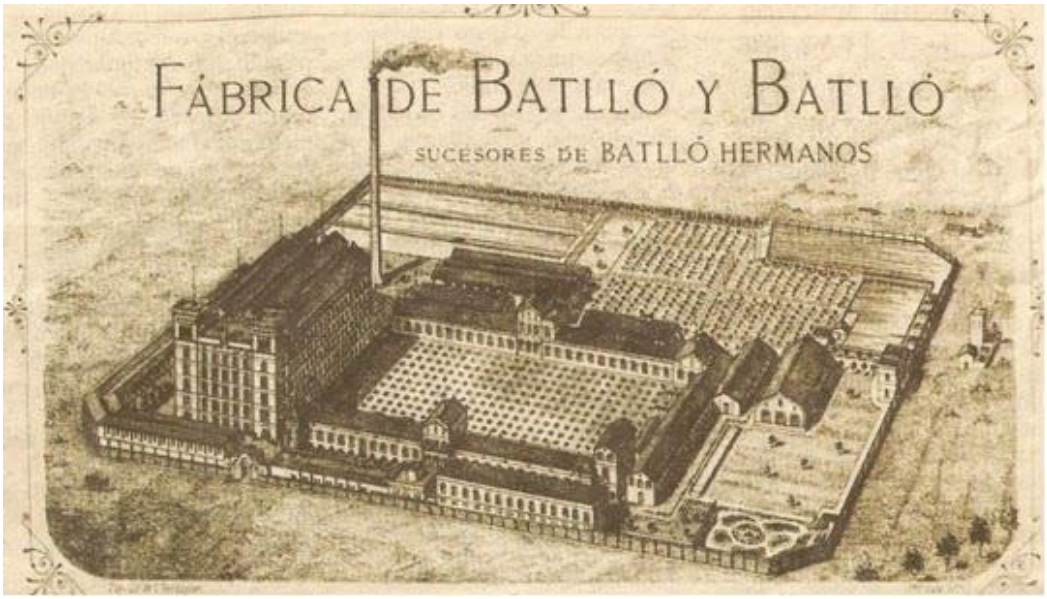


Figura 3.3 Antiga fàbrica Batlló i Batlló [4]

1909: El Centre General d'Ensenyament Tècnic crea l'Escola d'Indústries Tèxtils a la qual es van impartir les primeres classes de l'Escola Industrial de Barcelona.

1910: La Mancomunitat de Catalunya, presidida per Prat de la Riba, reconverteix el Centre en Universitat Industrial. Crea el Laboratori d'Estudis Superiores de Química (més endavant Institut de Química Aplicada).

1911: Es creen l'Escola Superior d'Agricultura i l'Escola de Directors d'Indústries Tèxtils. Els títols de directors d'Indústries eren atorgats per la Universitat Industrial de Barcelona als diplomats a les seves escoles tècniques de l'edifici del carrer Urgell. Malgrat que al 1901 l'Estat ja havia regulat els ensenyaments tècnics professionals amb el títol oficial de Perit, el Patronat de la Universitat Industrial no va considerar necessari atorgar-los, tal era la confiança en la qualitat dels professionals que formava.

1913: L'Escola d'Arts i Oficis esdevé l'Escola del Treball, independent de l'Escola d'enginyeria industrial.

1914: A finals d'aquest any, l'Escola d'Enginyers de Barcelona es prepara pel trasllat a l'edifici de la Universitat Industrial, que no arriba a produir-se efectivament perquè s'està germinant un seriós conflicte de competències entre aquesta escola i la Diputació provincial.

1915: La Diputació provincial de Barcelona es declara partidària de la intervenció, mitjançant els Patronats, de totes les escoles que sosté o ajuda a sostenir, i entre les quals es troba l'Escola d'Enginyers de la ciutat.

1916: Creació de l'Escola de Directors d'Indústries Químiques.

1916: Al març, el claustre de l'Escola d'Enginyers de Barcelona sol·licita la plena incorporació de l'Escola a l'Estat.

1917: L'Escola depèn de l'Estat exclusivament.

1918: Un Reial Decret del 18 d'abril incorpora l'Escola d'Enginyers a l'Estat, i s'acaba d'aquesta manera la dependència d'aquests com la Diputació de Barcelona.

1919: Creació de l'Institut d'Electricitat i Mecànica Aplicades. També es crea l'Escola d'Indústries Mecàniques i es completen els ensenyaments de totes les especialitats tècniques industrials de l'època.

1922: Creació del Laboratori General d'Assaigs i Condicionament.

1923: 13 de setembre, cop d'estat militar de Primo de Rivera.

1924 Estatut de Formació Professional. Dependència del Ministeri de Treball i separació dels altres centres d'ensenyament universitaris de Barcelona.

Pla d'estudis de 1924: ingrés, 6 anys de carrera i revàlida.

1927: El 30 d'octubre, Alfons XIII inaugura la nova seu de l'Escola d'Enginyers de Barcelona a l'edifici del rellotge situat al recinte de l'antiga fàbrica Batlló del carrer Urgell. L'Escola d'Enginyers va romandre al recinte de l'Escola Industrial de Barcelona fins al 1964.

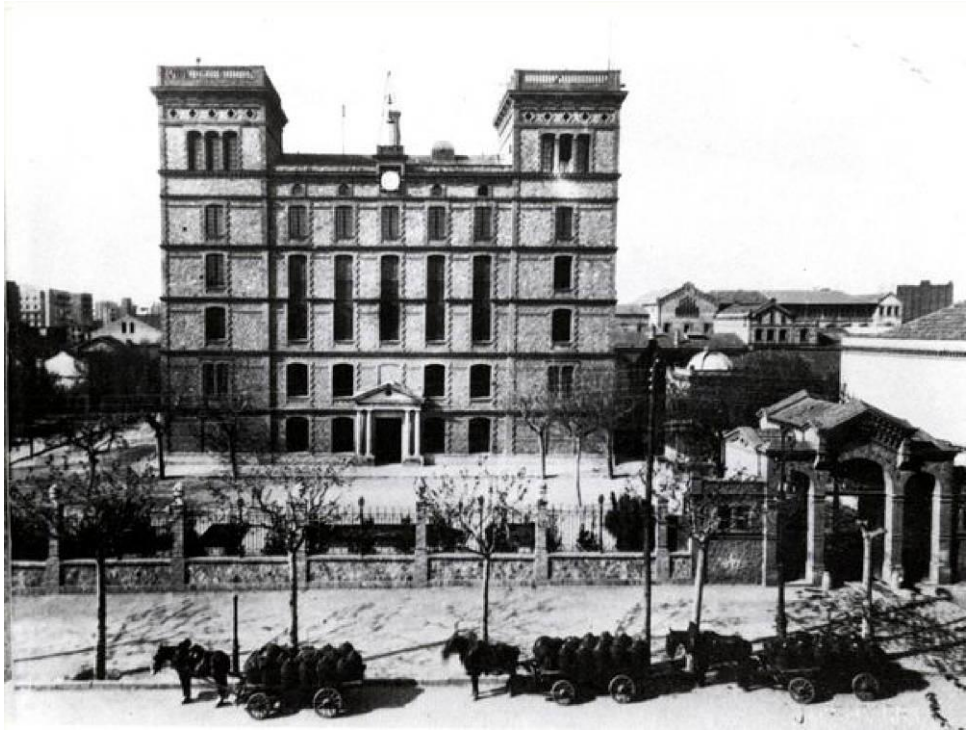


Figura 3.4 Edifici del rellotge a l'antiga fàbrica Batlló i Batlló [5]

1928: Reforma dels ensenyaments tècnics. Dependència del Ministeri d'Economia.

1931: Reforma dels ensenyaments tècnics. Dependència del Ministeri d'Instrucció Pública.

1936: (agost) L'Escola, sota la dependència de la Generalitat de Catalunya, en el marc del Consell de l'Escola Nova Unificada. Els laboratoris de l'Escola depenen de la Comissió d'Indústries de Guerra de la Generalitat i, posteriorment, de la Subsecretaria d'Armament de l'Exèrcit de la República.

1939: (gener) Entrada de les tropes franquistes a Barcelona. Comissió depuradora del personal científic del Laboratori General d'Assaigs i Investigació.

Un cop acabada la guerra civil, la Diputació Provincial de Barcelona torna a fer-se càrrec de l'Escola Industrial de Barcelona. Amb la pèrdua de les llibertats civils, polítiques i culturals de Catalunya, l'Escola comença el període més fosc i gris de la seva història que va perllongar-se fins a la dècada dels setanta.

1940: Unificació de les tres escoles d'enginyeria industrial existents (Barcelona, Bilbao i Madrid). L'escola de Barcelona passa a anomenar-se ESCUELA ESPECIAL DE INGENIEROS INDUSTRIALES. ESTABLECIMIENTO DE BARCELONA.

1947: L'escola de Barcelona recobra el grau de centre independent.

Pla d'estudis de 1948: amb les intensificacions Mecànica, Elèctrica, Química i Tèxtil.

1955: Reforma del sistema d'ingrés a l'Escola, de 1955.

Càtedres especials (a partir de 1955 fins a 1966), per tal d'incloure ensenyaments punters no inclosos dins els plans d'estudi vigents. Es crearan les càtedres especials d'Enginyeria nuclear 'Ferran Tallada', d'ampliació d'estudis 'Esteve Terradas', de matemàtiques pures i aplicades 'Paulino Castells', de plàstics, d'humanitats, d'ampliació d'enginyeria química industrial 'Antoni Ferran', de construcció 'Fèlix Cardellac', i d'estadística fonamental 'Artigas Sanz'.

1957: Pla d'estudis de 1957: 2 anys d'ingrés, 5 anys de carrera i projecte de final de carrera. Especialitats: Mecànica, Acústica i Òptica, Electricitat, Tècniques energètiques, Química, Metal·lúrgia i Tèxtil. Dins del marc de la Llei d'ensenyaments tècnics.

1959: Inici de les obres de l'actual edifici de l'ETSEIB.

- Anys de construcció: 1959-1964
- Situació: Av. diagonal, 647
- Arquitecte: Robert Terradas Via
- Característiques: Estructura metàl·lica, edifici rellevant de l'entrada per la Diagonal a la ciutat.

1964: Trasllat de l'Escola a la seu de la Diagonal 647. Pla d'estudis de 1964: 5 anys de duració, amb les especialitats de Mecànica, Electricitat, Tècniques energètiques, Química, Metal·lúrgia, Tèxtil i Organització industrial.

Figura 3.5 Edifici actual de l'ETSEIB [6]

1968: Creació de l'Institut Politècnic Superior de Barcelona, que agrupa les escoles d'enginyeria industrial de Barcelona i Terrassa, d'arquitectura de Barcelona i d'enginyeria agrònoma de Lleida.

1971: El març de 1971, es constituí la Universitat Politècnica de Barcelona, que inicialment estava formada per les escoles tècniques superiors d'Enginyers Industrials de Barcelona (ETSEIB) i de Terrassa (ETSEIAT), l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB) i alguns instituts d'investigació. El mateix any 71, es crea l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Telecomunicació (ETSETB).

1972: S'incorporaren a la Universitat Politècnica de Barcelona les escoles universitàries d'Enginyeria Tècnica Industrial de Terrassa (EUETIT, posteriorment EET, i actualment part de l'ESEIAAT) i la de Vilanova i la Geltrú (actual EPSEVG), l'Escola Universitària d'Arquitectura Tècnica de Barcelona (actual EPSEB) i l'Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica de Mines de Manresa (actualment EPSEM).

1977: Catalanització del nom de la universitat i de l'Escola, anomenades Universitat Politècnica de Barcelona i ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERS INDUSTRIALS DE BARCELONA, respectivament.

1983: Llei de Reforma Universitària, que comporta l'estructuració universitària en unitats departamentals.

1984: La UPB adopta el nom vigent: Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

1998: Canvi darrer del nom de l'Escola amb finalitats d'inclusió de gènere, que des d'aleshores s'anomena ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA INDUSTRIAL DE BARCELONA.

3.2. Robert Terradas i Via (1916-1976)

Figura 3.6 Robert Terradas i Via [7]

Robert Terradas i Via va ser un destacat arquitecte català amb una influència destacada en l'arquitectura del segle XX. Va néixer a Barcelona el 1 de novembre de 1916 i va deixar una empremta significativa en el camp de l'arquitectura i l'educació.

Fill de l'enginyer, físic i matemàtic Esteve Terradas i Illa, i de Maria Lluïsa Via Freixas, Robert Terradas va mostrar una profunda passió per l'arquitectura des de ben jove. Després de completar els seus estudis a l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB), va obtenir el títol d'arquitecte el 1942 i posteriorment el de doctor l'any 1963.

La seva dedicació a l'educació va estar present durant tota la seva carrera. Va ser professor a l'ETSAB i va ser nomenat catedràtic numerari de "Projectes Arquitectònics de 4t curs" l'any 1954. A més, va assumir el càrrec de director de l'ETSAB, liderant la institució de 1954 a 1963. Durant aquests anys com a director, va conèixer Jordi Adroer Iglesias, amb qui va establir una relació de treball que es va convertir en una col·laboració professional i una profunda amistat.

La influència de Robert Terradas no es va limitar només a l'àmbit acadèmic. Va contribuir significativament a l'arquitectura de Barcelona i altres localitats amb una sèrie d'obres notables. Algunes de les seves creacions més conegudes inclouen els edificis del Reial Club de Polo, l'Escola Suïssa, l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (1964), el Col·legi de Metges (1975) i la Facultat de Filosofia i Lletres. També va deixar la seva empremta en l'arquitectura industrial amb les fàbriques de Punto Blanco

i Thoisa a Igualada, així com a la construcció d'edificis religiosos com l'església de Sant Pere i Sant Pau al Prat de Llobregat (1966).

Robert Terradas va ser un home de família, casat amb Carme Muntañola i pare de dues filles i dos fills, entre ells els arquitectes Robert i Esteve Terradas i Muntañola. La seva influència va transcendir generacions i va contribuir al desenvolupament de la professió d'arquitecte.

Tràgicament, Robert Terradas va morir de manera sobtada el juny de 1976 mentre compartia els seus coneixements amb alumnes de batxillerat de l'IES de Falset. Malgrat la seva partida prematura, el seu llegat perdura en les seves obres, la seva influència en l'educació i la seva contribució a l'arquitectura catalana. L'any 2000, el Col·legi d'Arquitectes de Catalunya va dedicar-li una exposició en reconeixement de la seva empremta inestimable en aquest camp.

4. Eina de càlcul

4.1. The Institution of Structural Engineers

'The Institution of Structural Engineers' és la institució líder en el camp de l'enginyeria estructural al Regne Unit. Fundada l'any 1908, es dedica principalment a avançar en la professió de l'enginyer estructural i a promoure l'excel·lència en el disseny, construcció i seguretat de les estructures que configuren l'entorn construït. L'organització té un paper vital a l'hora d'unir professionals, fomentar la col·laboració i l'intercanvi de coneixements, i proporcionar eines i recursos als enginyers estructurals per afrontar els reptes en constant canvi del disseny i la construcció.

The Institution of StructuralEngineers

Figura 4.1 Logo de la institució IStructE [8]

Una de les aportacions més significatives d'aquesta institució és el seu compromís amb la investigació i el desenvolupament de pràctiques innovadores i sostenibles en el camp de l'enginyeria estructural. A través de normatives actualitzades, cursos de formació i esdeveniments especialitzats, busca millorar la seguretat i la qualitat en la construcció d'edificis i estructures, així com promoure solucions que minimitzin l'impacte ambiental.

En aquest treball, hem utilitzat 'The Structural Carbon Tool', el qual és una eina de càlcul proporcionada per 'The Institution of Structural Engineers' per avaluar la petjada de carboni en un edifici.

La finalitat d'aquesta eina de càlcul és ajudar els enginyers a fer estimacions de les emissions de carboni per a projectes estructurals. Els càlculs realitzats en aquesta eina segueixen els principis de càlcul de carboni proporcionats per la publicació de l'IStructE 'How To Calculate Embodied Carbon' [9]. Les perspectives obtingudes mitjançant aquesta eina permeten comparar el carboni incorporat entre projectes estructurals, així com indicar com les opcions de tipus, especificació i quantitat de material que poden afectar el carboni incorporat estimat per a un projecte.

Aquesta eina està recolzada per l'experiència i el coneixement de la institució, ens ha permès realitzar una anàlisi detallada de les emissions de CO_2 associades amb el cicle de vida de l'estructura de l'edifici H de l'ETSEIB. Mitjançant la incorporació de la metodologia i els enfocaments desenvolupats per aquesta institució, s'ha abordat el repte

de quantificar i comprendre l'impacte ambiental de manera rigorosa i fonamentada.

La utilització d'eines i recursos provinents d'una institució reconeguda com 'The Institution of Structural Engineers' reforça la qualitat i la credibilitat del nostre treball, alineant-nos amb les millors pràctiques en enginyeria estructural i sostenibilitat.

Abans d'entrar de ple en com es calcula el carboni incorporat en l'eina de càlcul utilitzada, l'IStructE fa èmfasis l'escala d'impacte que les nostres activitats professionals en la construcció tenen sobre el clima. Actualment, el camp de la construcció d'edificis representa al voltant del 40% de les emissions de CO_2 en tot el món. Canvis profunds a través del disseny, la construcció, l'ús i la reutilització d'edificis i infraestructures són necessaris si volem tenir-ne alguna possibilitat proporcionar un entorn sostenible per a les generacions actuals i futures.

La Figura 4.2 contextualitza l'escala d'oportunitats que té l'enginyer estructural mitjà per reduir les emissions de carboni en comparació amb l'impacte que pot tenir el ciutadà mitjà fent un canvi significatiu conscient del medi ambient en les seves vides personals.

Figura 4.2 Impacte potencial d'un enginyer estructural [9]

4.2. Metodologia de càlcul

El principi fonamental del càlcul de les emissions de carboni es basa en el producte de la quantitat de cada material per un factor de carboni que representa els mòduls del cicle de vida del projecte.

$$Quantitat\ de\ material\ (kg) \times Factor\ de\ carboni\ (kgCO_2e/kg) = Emissió\ de\ carboni(kgCO_2e)$$

Eq 4.1 Principi fonamental

Com és evident, la quantitat de material utilitzat en el projecte de construcció és un dels factors clau en les emissions de carboni. Les quantitats dels diferents materials de

l'estructura de l'edifici es determinen en l'apartat 5. Càlculs estructurals de l'edifici H de l'ETSEIB.

L'altre punt clau en les emissions de carboni són els factors de carboni. A continuació, es detallen tots els factors de carboni que fa servir l'eina de càlcul i de quina forma representen el cicle de vida de l'edifici.

Es defineixen els $kgCO_2e$ com les emissions equivalents de diòxid de carboni, sovint anomenades "carboni" per abreujar. Aquesta mesura considera altres emissions de gasos d'efecte hivernacle a més del diòxid de carboni, expressant-los en termes de CO_2 normalitzats pel seu potencial d'escalfament global.

Diferenciem quatre etapes del cicle de vida:

1. Product stage. La fase del producte correspon als mòduls A1–A3. Aquesta fase té en compte els $kgCO_2e$ alliberats durant l'extracció, processament, fabricació (inclosa la prefabricació de components o elements) i transport de materials entre aquests processos. El contingut reciclat d'un producte afecta el $kgCO_2e$ alliberat als mòduls A1-A3. Tot i això, tant si es recicla un cop acabada la seva vida útil com si no, l'impacte que té A1–A3 en el projecte no es veu afectat, ja que això es té en compte al mòdul D.

2. Construction process stage. La fase del procés de construcció correspon als mòduls A4 i A5. Aquesta fase té en compte els $kgCO_2e$ alliberats durant el transport de materials i productes al terreny de construcció, l'ús d'energia a causa de les diferents activitats en la construcció i el $kgCO_2e$ associat a la producció, transport i processament al final de la vida útil dels materials residuals in situ.

3. Use stage. La fase d'ús correspon als mòduls B1–B7. Aquesta fase té en compte els $kgCO_2e$ alliberats a causa de l'ús, manteniment, reparació, substitució, renovació, energia i aigua operativa mentre l'edifici està en ús. El mòdul B4 (substitució) és sovint el focus de l'etapa d'ús en què es considera el carboni incorporat.

4. End of life stage. L'etapa de final de vida correspon als mòduls C1–C4. Aquesta fase té en compte els $kgCO_2e$ alliberats durant la clausura, desmuntatge, demolició, transport de materials, tractament de residus i eliminació de materials.

Hi ha un mòdul addicional més enllà del cicle de vida que pretén oferir una visió més àmplia del seu impacte ambiental:

5. Mòdul D. Beneficis i càrregues més enllà del cicle de vida. Això estima els beneficis o les càrregues netes de $kgCO_2e$ més enllà del cicle de vida del projecte associat a:

- Reciclatge de materials, per exemple, ús de ferralla d'acer (en lloc de ferro verge) en la fabricació d'acer en projectes futurs

- Energia recuperada dels materials, per exemple, energia generada per la incineració de productes de fusta

- Reutilització total de materials/productes en comparació amb la pràctica estàndard que substituiria

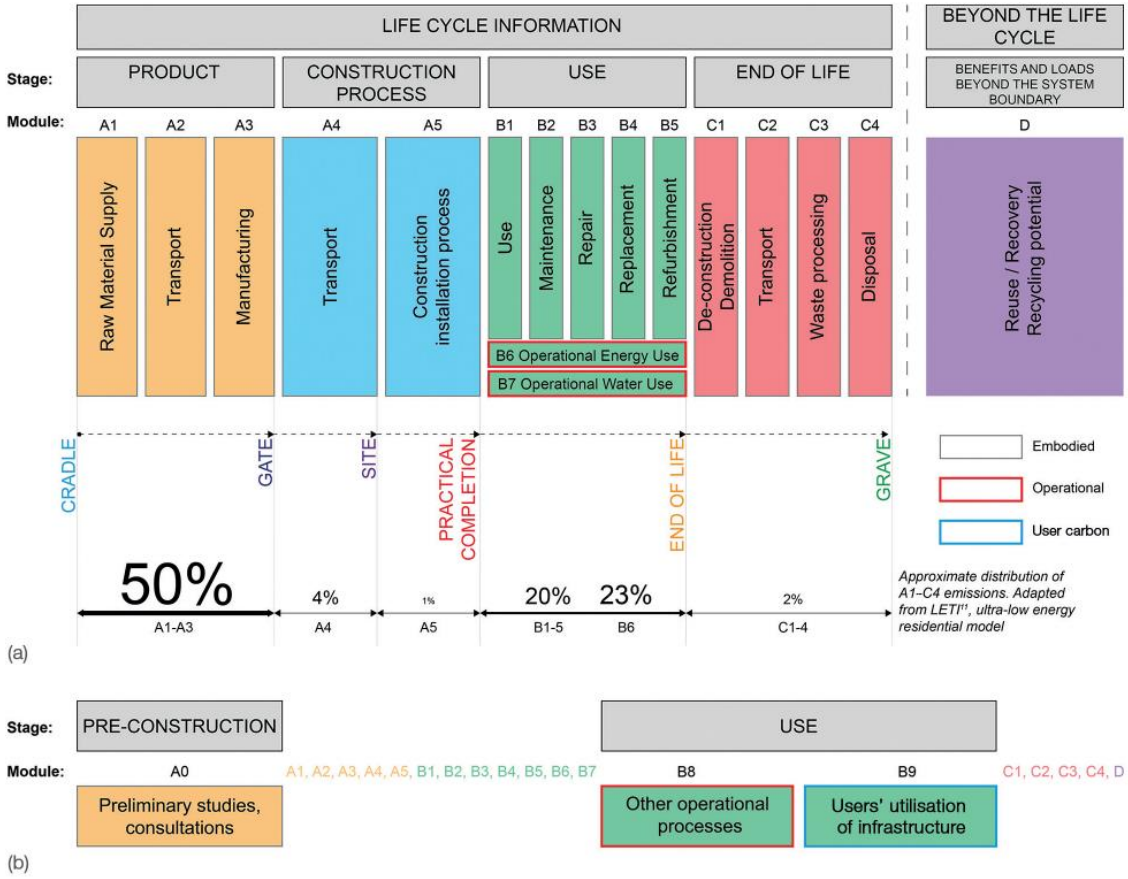


Figura 4.3 a) Etapes del cicle de vida. Exemple de divisió del percentatge d'emissions dels mòduls A1–C4, utilitzant dades d'exemple tenint en compte tots els elements d'un edifici per a un edifici residencial a escala mitjana. b) Mòduls addicionals definits per a projectes d'infraestructures personalitzats [9]

En resum, els principals mòduls de carboni són els següents:

- A1: extracció dels materials de construcció

- A2: transport d'aquests materials

- A3: fabricació i tractament d'aquests materials per a tindre un producte ja llest per a la construcció

- A4: transport d'aquests nous materials de construcció

- A5: construcció de l'edifici
- B: ús de l'edifici
- C1: enderroc de l'edifici
- C2: transport de material i residus
- C3: gestió de residus
- C4: eliminació de residus
- D: beneficis i càrregues més enllà del cicle de vida

4.2.1. Product stage - Factor de carboni A1-A3

El factor de carboni entre A1–A3 depèn de:

- Lloc on es construirà el projecte
- Ubicació on s'han d'extreure i fabricar els productes/components
- L'especificació del material

És molt probable que els mòduls A1 (extracció), A2 (transport) i A3 (fabricació i tractament de materials) constitueixin la major part del carboni incorporat del cicle de vida d'un projecte ja que aquesta fase és la que té un impacte ambiental més elevat.

L'emissió total de CO_2 dels mòduls A1-A3 es calcula de la següent manera:

$$EC_{A13} = \sum_{i=1}^{n} \left(Q_i \cdot ECF_{A13,i} \right)$$

EC_{A13}: Emissió total de CO_2 (mòduls A1-A3) [$kgCO_2$]

Q_i: Quantitat de cada material [kg]

$ECF_{A13,i}$: Factor d'emissió de CO_2(A1-A3) de cada material [$kgCO_2e/kg$]

Eq 4.2 Emissió de carboni A1-A3

Per al factor d'emissió de la fase del producte (A1-A3) s'utilitzen els valors per defecte que proposa el manual 'How To Calculate Embodied Carbon' [9].

4.2.2. Construction process stage - Factor de carboni A4-A5

És probable que el mòdul A4, corresponent al transport de materials de construcció a l'obra, representi un percentatge modest de carboni incorporat estructural al llarg del cicle de vida d'un projecte d'edificació. Per a obra civil pesada, les emissions del mòdul A4 poden ser més importants.

L'emissió de CO_2 del mòdul A4 es calcula de la següent manera:

$$EC_{A4} = \sum_{i=1}^{n} \left(Q_i \cdot ECF_{A4,i}\right)$$

Emissió de CO_2 en el transport a l'obra [$kgCO_2$]

Factor d'emissió de CO_2 en el transport a obra [$kgCO_2e/kg$]

Eq 4.3 Emissió de carboni A4

El factor d'emissió A4 depèn de dos factors, el mètode de transport de materials (TEF_i) i la distància de transport d'aquests materials (TD_i).

$$ECF_{A4,i} = TD_i \cdot TEF_i$$

Eq 4.4 Factor d'emissió de carboni A4

Els valors estipulats de la distància de transport segons origen TD_i [km] són els següents:

- Local: 50 km (carretera)
- Nacional: 300 km (carretera)
- Fabricació europea: 1500 km (carretera)
- Global: 10.000 km (mar)+200 km (carretera)

Els valors per defecte del factor d'emissió TEF_i [$gCO_2e/kg/km$] segons el mètode de transport són els següents:

- Amb camió: 0,10650
- Amb vaixell: 0,01614

- Amb avió: 0,59943

- Amb tren: 0,02556

Normalment, el mòdul A5 (construcció de l'edifici) representa un percentatge petit, però no insignificant, de carboni al llarg del cicle de vida d'un projecte d'edificació.

L'emissió de CO_2 del mòdul A5 té en compte diferents factors i es calcula com la suma de dues emissions en el procés de construcció, les emissions per malbaratament de material i les emissions per activitats durant la construcció:

Emissions durant el procés de construcció [kgCO_2]

Emissions per activitats a l'obra [kgCO_2]

$$EC_{A5} = EC_{A5w} + EC_{A5a}$$

Emissions per malbaratament de material a l'obra [kgCO_2]

Eq 4.5 Emissió total de carboni A5

Les emissions per malbaratament de material durant el procés de construcció (EC_{A5w}) segueix l'estructura típica de càlcul d'emissió de carboni, la qual és un producte de la quantitat de material pel factor de carboni corresponent.

$$EC_{A5w} = \sum_{i=1}^{n} \left(Q_i \cdot ECF_{A5w,i}\right)$$

Eq 4.6 Emissió per malbaratament de material durant la construcció

El factor de carboni $ECF_{A5w,i}$ s'obté a partir del càlcul següent:

$$ECF_{A5w,i} = WF_i \cdot \left(ECF_{A13,i} + ECF_{A4,i} + ECF_{C2,i} + ECF_{C34,i}\right)$$

Eq 4.7 Factor de carboni per malbaratament de material durant la construcció

WF_i: Factor de rebuig: indica el % de material que arriba a l'obra però no s'utilitza.

$ECF_{A13,i}$: Factor corresponent al carboni alliberat durant la fase producte (A1–A3).

$ECF_{A4,i}$: Factor d'emissions pel transport de materials a l'arribada (A4) de l'obra.

$ECF_{C2,i}$: Factor d'emissions pel transport de materials a la retirada (C2) de l'obra.

$ECF_{C34,i}$: Factor de carboni corresponent a les emissions alliberades per la gestió i l'abocament dels residus (C3-C4).

En canvi, les emissions per activitats durant la construcció (EC_{A5a}) no segueix l'estructura típica de càlcul d'emissió de carboni i es calcula com:

$$EC_{A5a} = CAEF \cdot \frac{PC}{100.000\ €}$$

Eq 4.8 Emissió per activitats durant la construcció

El CAEF és el factor d'emissions per activitats de construcció i té estipulat els següents valors:

- 700 $kgCO_2e$ (per cada 100.000 €), si es té en compte només l'estructura de l'edifici, com és el nostre cas.
- 1.400 $kgCO_2e$ (per cada 100.000 €), si es té en compte la infraestructura de l'edifici sencer.

El PC és el cost del projecte que es pot trobar a l'apartat 6.1.2 Project Value

Finalment, l'emissió total de CO_2 dels mòduls A1-A5 serà la suma d'emissions de la fase del producte (A1-A3) i la fase de construcció (A4 i A5).

$$EC_{A15} = EC_{A13} + EC_{A4} + EC_{A5}$$

Eq 4.9 Emissió total de carboni A1-A5

4.2.3. Factor de carboni B

És probable que els mòduls B1-B5 (mòduls d'ús) representin un percentatge molt petit, i de vegades insignificant, de carboni estructural incorporat al llarg del cicle de vida.

Per a projectes d'infraestructura amb una vida útil de disseny de referència de 100-120 anys aproximadament, és possible que s'hagin de substituir components individuals vàries vegades, cosa que pot augmentar l'impacte del carboni a través de majors emissions de l'etapa B. El mòdul B4 (substitució) és normalment el focus de l'etapa d'ús a les avaluacions de carboni incorporades en aquests casos.

Les orientacions sobre els mòduls d'ús són les següents:

- El mòdul B1 (ús) és generalment insignificant per als materials estructurals
- Existeixen molt poques dades per als mòduls B2 (manteniment) i B3 (reparació) i en projectes estructurals representen un percentatge petit de les emissions de carboni
- En un projecte purament estructural, com és el cas d'aquest projecte, el mòdul B4 (substitució) representa un percentatge petit d'emissions de carboni per la poca necessitat de substitució
- El mòdul B5 (reforma) fa referència als canvis d'ús previst, definits a l'inici del projecte

Aquest projecte té en compte l'estructura de l'edifici H de l'ETSEIB. Al no tractar-se d'un projecte on es té en compte tota la infraestructura i serveis que proporciona l'edifici, els mòduls d'ús representen un percentatge insignificant de les emissions de carboni al llarg del cicle de vida.

4.2.4. Factor de carboni C

Normalment, els mòduls C1-C4 representen un petit percentatge de carboni incorporat estructural sobre el cicle de vida, tret que s'utilitzin productes de fusta, el qual no és el cas de l'estructura de l'edifici H de l'ETSEIB.

Factor de carboni C1

Aquest factor fa referència a les emissions en la demolició de l'edifici. Com és evident com més gran sigui l'edifici més emissions de CO_2 s'emetran en el procés, aquesta és la raó per la qual es té en compte el GIA (Gross Internal Area).

De forma aproximada, el càlcul de les emissions de carboni que fan referència a l'enderroc de l'edifici és el següent:

$$EC_{C1} = 3{,}4\ kgCO_2e/m^2 \cdot GIA\ (m^2)$$

Equació 4.10 Emissió de carboni C1

Factor de carboni C2

Aquest factor fa referència les emissions emeses durant el transport de materials després de l'enderroc de l'edifici. Es calcula com les emissions de transport A4 però aquest factor és més petit, ja que és probable que les instal·lacions de processament o eliminació de deixalles siguin locals i les distàncies de transport siguin més curtes.

Els valors del factor C2, que fa referència al transport de materials a la planta de gestió de residus, són els següents:

- Reutilització/reciclatge in situ (0 km): 0 $kgCO_2e/kg$
- Reutilització/reciclatge a planta (50 km): 0,005 $kgCO_2e/kg$
- Abocador/incineració (50 km): 0,005 $kgCO_2e/kg$

Factors de carboni C3 i C4

Aquests factors fan referència al processament (C3) i eliminació de deixalles (C4). Els factors de carboni per al processament de residus per a la seva reutilització, reciclatge i eliminació sovint s'agrupen ja que els dos escenaris són mútuament excloents.

Per a materials que no siguin de fusta, es considera un factor de carboni C3-C4 de 0,013 $kgCO_2e/kg$ de residus.

4.2.5. Emissió total A-C

L'emissió total de CO_2 (EC_{AC}) haurà de tindre en compte tots els factors i emissions de carboni corresponents a cada fase de les diferents etapes del cicle de vida d'un edifici.

Finalment, obtenim l'emissió total de CO_2 al llarg de tot el cicle de vida de l'edifici.

$$EC_{AC} = EC_{A15} + \sum_{i=1}^{n} \left[Q_i \cdot \left(ECF_{B4,i} + ECF_{C2,i} + ECF_{C34,i} \right) \right] + EC_{C1}$$

Eq 4.11 Emissió total de carboni A-C

EC_{A15}: Emissions de carboni de la fase del producte i la fase de construcció.

Q_i : Quantitat de material a considerar en kg.

$ECF_{B4,i}$: Factor d'emissions per la substitució de materials (B4) en la fase d'ús de l'edifici.

$ECF_{C2,i}$: Factor d'emissions pel transport de materials a la retirada (C2) de l'obra.

$ECF_{C34,i}$: Factor de carboni corresponent a les emissions alliberades per la gestió i l'abocament dels residus (C3-C4).

EC_{C1}: Emissions de carboni alliberades durant la fase de demolició (C1) de l'edifici.

4.2.6. Factor de carboni D

El mòdul D representa els beneficis (+) o càrregues (-) estimades dels materials i components més enllà de l'EoL ('End of Life' o fi del cicle de vida útil) de l'actiu construït considerat. Proporciona una bona mètrica de circularitat, un atribut clau per permetre la descarbonització en el sector de la construcció.

El càlcul de les emissions del Mòdul D requereix quantificar la diferència d'emissions entre la utilització de materials recuperats (mitjançant la reutilització, el reciclatge o la incineració) i la producció d'un producte funcionalment equivalent amb pràctiques estàndard i mitjanes del mercat. L'equació següent representa aquesta diferència d'emissions per a la reutilització i el reciclatge:

$$ECF_{D,i} = ECF_{A13,secondary\ product} - ECF_{A13,substituted\ product}$$

Eq 4.12 Factor de carboni D

$ECF_{D,i}$: Factor de carboni dels beneficis (reducció d'emissions) o càrregues (augment de les emissions) d'un producte més enllà de l'EoL del projecte.

$ECF_{A13,secondary\ product}$: Factor de carboni A1–A3, per a un producte que es beneficia de la reutilització o el reciclatge del producte utilitzat en el projecte.

$ECF_{A13,substituted\ product}$: Factor de carboni A1–A3 estàndard de mercat, per al tipus de producte en qüestió.

Com s'ha comentat, el mòdul D fa referència als impactes de l'ús futur del material després de l'EoL. Millorar aquest mòdul dona lloc a pràctiques que consumeixen menys carboni que en els casos estàndards, per exemple, la fabricació d'acer a partir d'un 100% d'acer de ferralla (producte secundari) té emissions de carboni A1–A3 més baixes que la fabricació d'acer amb un 80% de ferro verge i un 20% d'acer de ferralla (producte substituït). Per tant, els impactes del mòdul D estan dictats pels escenaris d'EoL per a cada material o component; ja sigui reutilització, reciclatge (com l'acer), incineració (com la fusta) o abocador.

Cal comentar que els escenaris d'EoL són incerts per a la majoria de materials, ja que es relacionen amb accions realitzades en algun moment del futur llunyà, per tant, els impactes del mòdul D també poden ser incerts. Per exemple, el benefici del mòdul D per incinerar fusta per produir energia dependrà de quants avenços s'hagin fet en la descarbonització de la xarxa elèctrica en el moment en què es produeixi la incineració.

Tot i això, els impactes del mòdul D sempre s'han de considerar, almenys, qualitativament, ja que encara que la part més representativa de les emissions es

concentren en els mòduls A1-A5, s'ha de considerar si el disseny és reutilitzable o reciclable més enllà de l'EoL del projecte.

L'emissió de CO_2 del mòdul D es calcularia de la següent manera:

$$EC_D = \sum_{i=1}^{n} (Q_i \cdot ECF_{D,i})$$

$ECF_{D,i}$ → Factor d'emissió D de cada material [$kgCO_2e/kg$]

EC_D → Emissió total de CO_2 (mòdul D) [$kgCO_2$]

Q_i → Quantitat de cada material [kg]

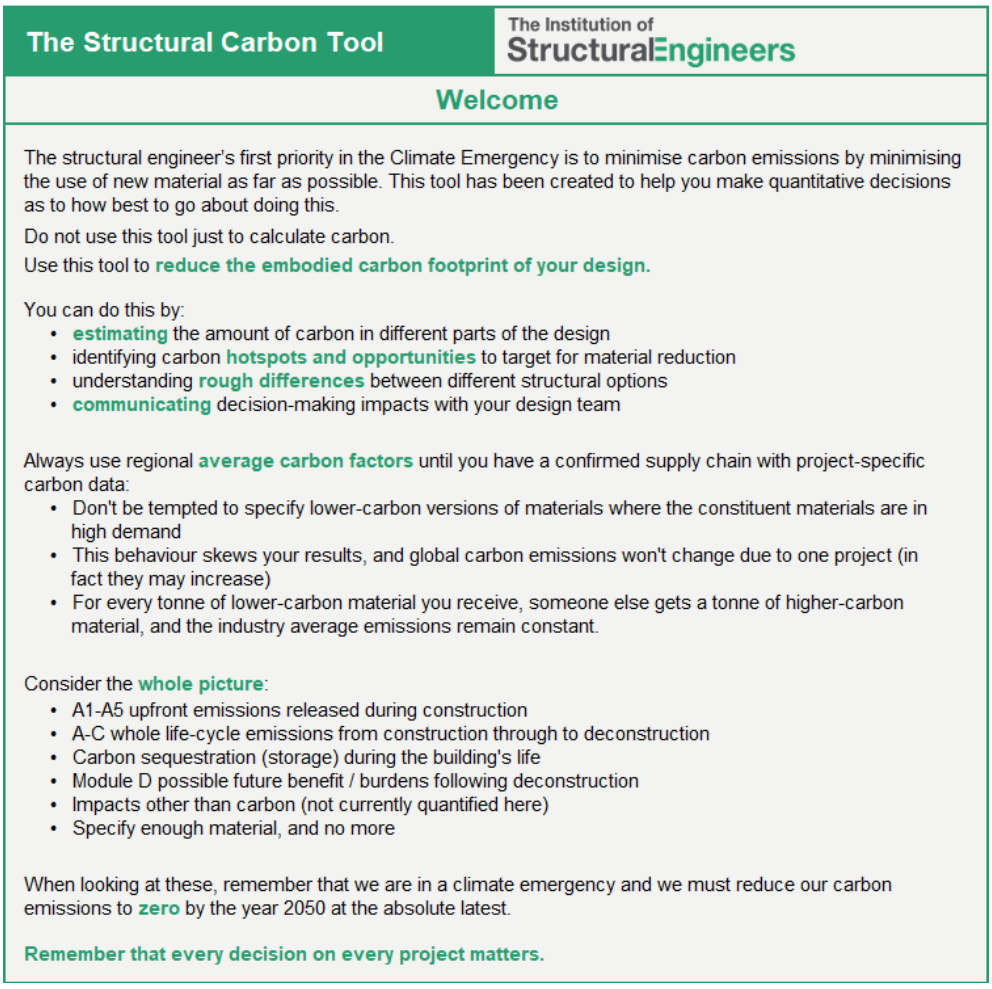
Eq 4.13 Emissió de carboni mòdul D

4.3. The Structural Carbon Tool

En aquest apartat, es detalla la interfície de l'eina de càlcul i les diferents prestacions i opcions que ens ofereix.

El primer que trobem en l'eina de càlcul 'The Structural Carbon Tool' és la pestanya de benvinguda. En aquesta pestanya, s'incideix en la importància de reduir les emissions de carboni en la construcció i com aquesta eina pot ajudar els enginyers estructurals a prendre decisions quantitatives per aconseguir aquest objectiu. Es destaca la necessitat de disminuir les emissions de carboni abans de l'any 2050 en el context de la crisi climàtica en el que ens trobem.

També es donen una sèrie de recomanacions, com l'ús de factors de carboni estàndard si no es té informació específica dels materials o assegurar-se de tenir en compte tots els aspectes de les emissions del cicle vida de l'edifici i els possibles beneficis o càrregues futures més enllà del cicle de vida útil.



The Structural Carbon Tool | The Institution of StructuralEngineers

Welcome

The structural engineer's first priority in the Climate Emergency is to minimise carbon emissions by minimising the use of new material as far as possible. This tool has been created to help you make quantitative decisions as to how best to go about doing this.

Do not use this tool just to calculate carbon.

Use this tool to **reduce the embodied carbon footprint of your design.**

You can do this by:

- **estimating** the amount of carbon in different parts of the design
- identifying carbon **hotspots and opportunities** to target for material reduction
- understanding **rough differences** between different structural options
- **communicating** decision-making impacts with your design team

Always use regional **average carbon factors** until you have a confirmed supply chain with project-specific carbon data:

- Don't be tempted to specify lower-carbon versions of materials where the constituent materials are in high demand
- This behaviour skews your results, and global carbon emissions won't change due to one project (in fact they may increase)
- For every tonne of lower-carbon material you receive, someone else gets a tonne of higher-carbon material, and the industry average emissions remain constant.

Consider the **whole picture**:

- A1-A5 upfront emissions released during construction
- A-C whole life-cycle emissions from construction through to deconstruction
- Carbon sequestration (storage) during the building's life
- Module D possible future benefit / burdens following deconstruction
- Impacts other than carbon (not currently quantified here)
- Specify enough material, and no more

When looking at these, remember that we are in a climate emergency and we must reduce our carbon emissions to **zero** by the year 2050 at the absolute latest.

Remember that every decision on every project matters.

Figura 4.4 Pestanya de benvinguda de 'The Structural Carbon Tool'

A la Figura 4.5 s'indiquen i descriuen breument les pestanyes de l'eina utilitzada.

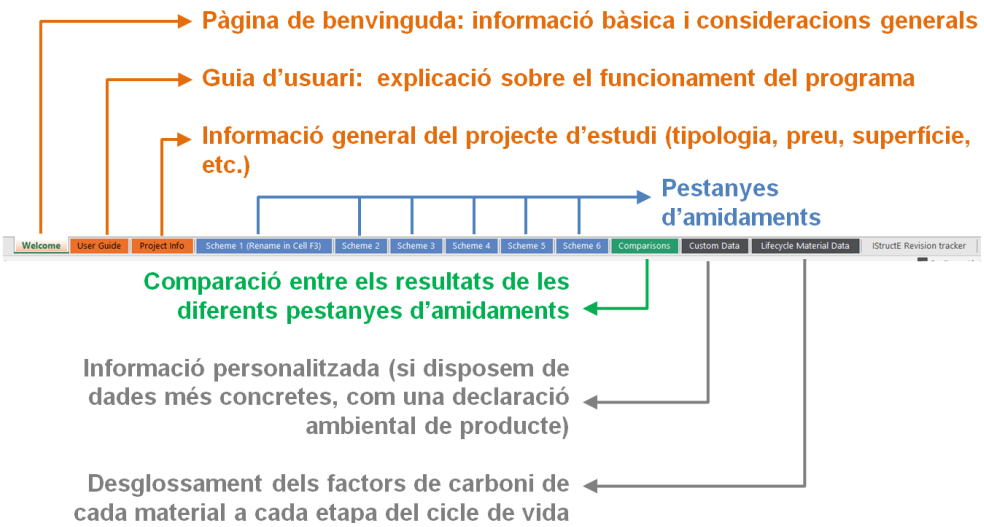


Figura 4.5 Nomenclatura i descripció de les pestanyes

En la pestanya d'informació del projecte s'indiquen camps com el valor monetari del projecte en lliures o el GIA (Gross Internal Area), entre altres.

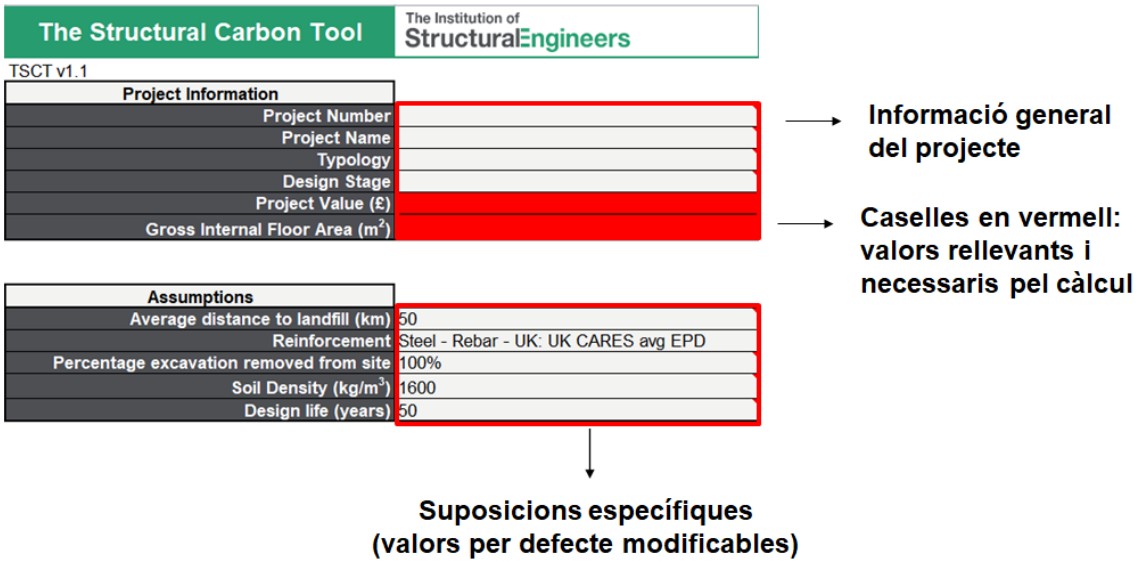


Figura 4.6 Interfície d'informació del projecte

En la Figura 4.7 veiem la pestanya d'amidaments d'un projecte d'exemple. Aquesta conté la informació estructural del nostre edifici. S'ha d'indicar el tipus i especificació de material, l'element estructural i la quantitat de material en kg o m3 de l'element en qüestió.

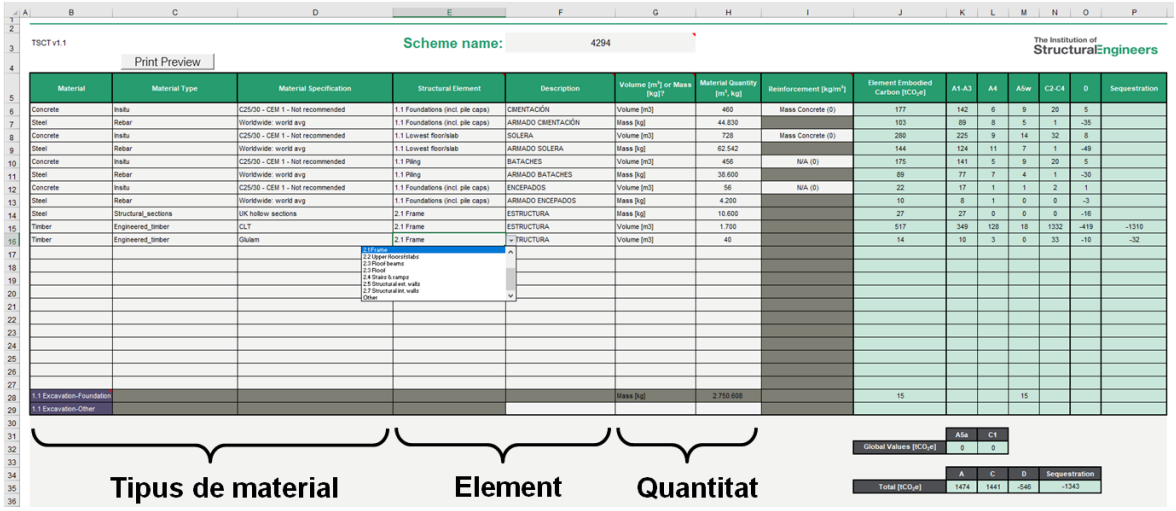


Figura 4.7 Informació estructural en la pestanya d'amidaments

En la mateixa pestanya d'amidaments, també tenim una sèrie d'informació de les emissions de carboni del nostre projecte, així com una qualificació energètica, un resum de les emissions de carboni del projecte i un desglossament per partides.

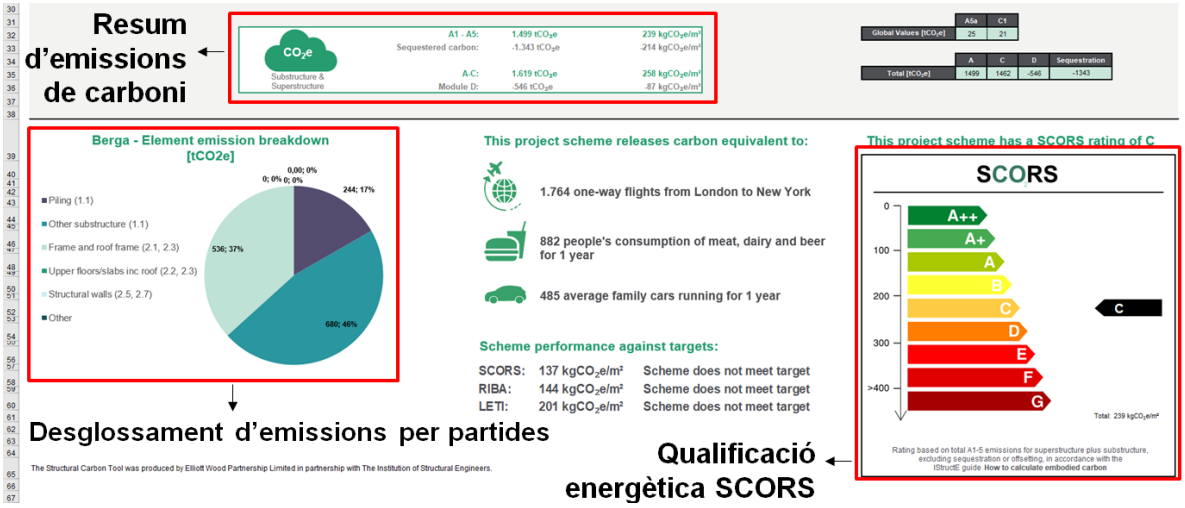


Figura 4.8 Informació resum de les emissions de carboni

En la pestanya de comparatives hi trobem diferents gràfics i dades comparant les emissions entre projectes de diferents formes com es pot veure en la Figura 4.9 i la Figura 4.10

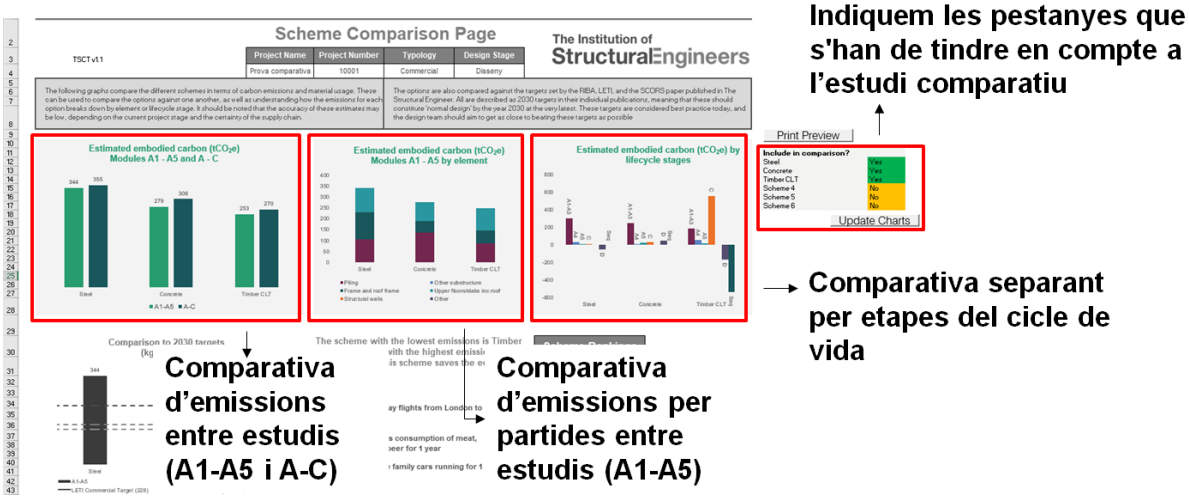


Figura 4.9 Informació comparativa entre projectes

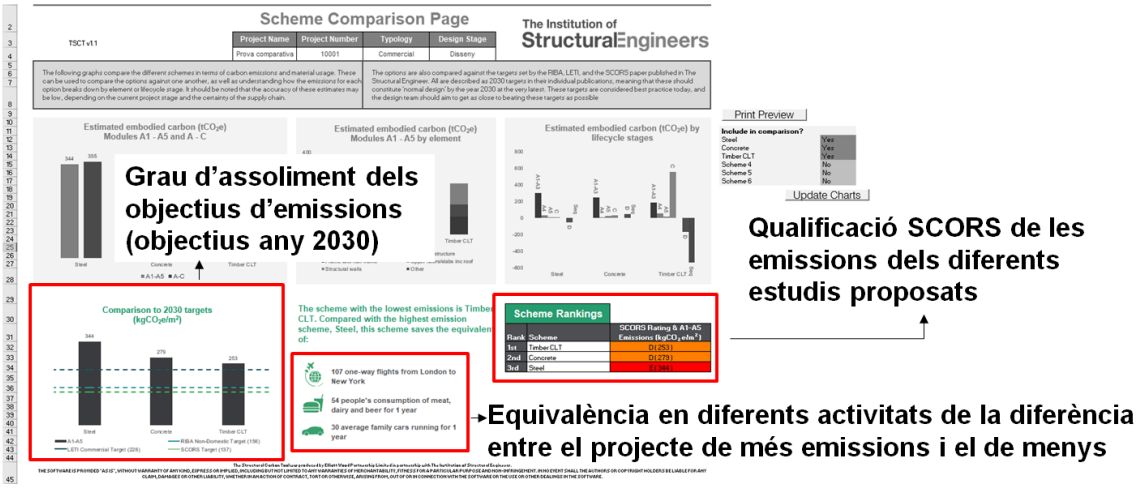


Figura 4.10 Valoracions i dades comparatives entre projectes

Seguidament, tenim la pestanya 'Custom Data', on podem crear de zero materials totalment personalitzats. Aquesta pestanya no s'utilitzarà ja que no disposem d'informació suficient dels materials empleats en la construcció de l'edifici ETSEIB.

Per acabar, la pestanya 'Lifecycle Material Data', és on hi ha tota la informació dels materials disponibles en l'eina de càlcul utilitzada. Aquesta base de dades és la que farem servir en aquest projecte ja que disposa d'una gran varietat de tipus i especificacions de materials.

Com podem veure en la Figura 4.11, la pestanya 'Lifecycle Material Data' conté tota la informació requerida per al càlcul d'emissions de carboni segons el tipus de material i fins i tot, podem personalitzar aquesta taula si cal.

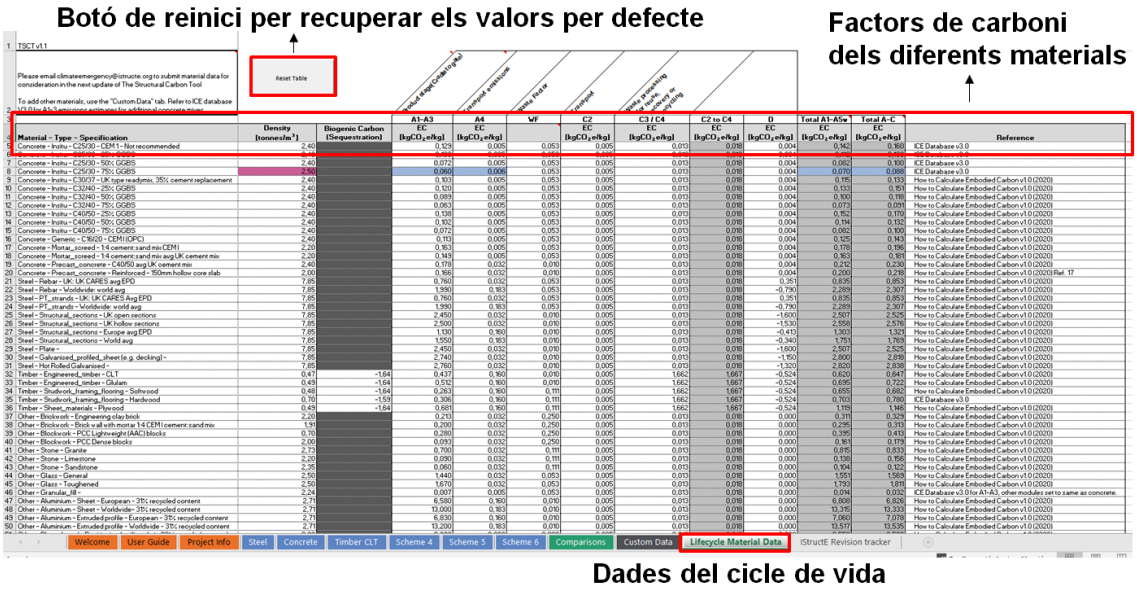


Figura 4.11 Pestanya 'Lifecycle Material Data'

5. Càlculs estructurals de l'edifici H de l'ETSEIB

L'edifici H de l'ETSEIB consta principalment de dues torres d'estructura metàl·lica connectades entre elles per un edifici d'unió que uneix el cos de les aules.

- Les torres principals tenen una amplada de 12,4m i una llargada de 57,6m cadascuna.
- L'edifici d'unió de les torres té una amplada de 19,2m i una llargada de 12,8m.

5.1. Estructura metàl·lica de les dues torres principals

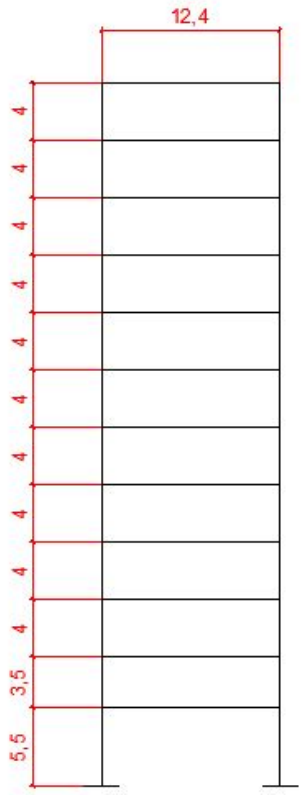


Figura 5.1 Estructura d'una de les torres principals

L'estructura metàl·lica de cadascuna de les torres consta de planta baixa, 11 plantes més coberta amb una alçada que varia en algunes plantes com es pot veure en la Figura 5.1.

Cada planta consta d'un sistema de pòrtics modulats amb estructura metàl·lica que estan separats 6,4m entre ells. Hi ha 9 pòrtics modulars per planta de 12,4 d'amplada i 6,4m de llargada, donant la llargada total de les torres que és de 57,6m.

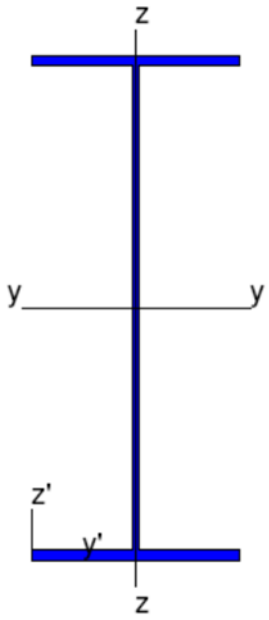
Aquests pòrtics consten de jàsseres comunes de 12,4m i 6,4m de llargada, a més de

bigues de reforç per donar estabilitat a l'estructura.

L'estructura de les torres que fa referència a la zona d'aularis consta dels següents elements:

- Jàsseres metàl·liques - Zona aularis
- Bigues de reforç - Zona aularis
- Pilars - Zona aularis

5.1.1. Jàsseres metàl·liques - Zona aularis



La jàssera metàl·lica de la zona de les aules està formada per una ànima de 700x10mm i unes ales de 300x15mm unides amb cordó de soldadura. La secció de cada jàssera comuna és de:

$$S = (700 * 10) + 2 * (300 * 15) = 16000\ mm^2 = 0{,}016\ m^2$$

Ja que cada planta consta de 9 mòduls de pòrtics, hi ha 10 jàsseres de 12,4m de llargada i 18 de 6,4m, respectivament. Per planta, obtenim que les jàsseres comunes conformen un volum de:

$$V = 10 * (S * 12{,}4) + 18 * (S * 6{,}4) = 3{,}8272\ m^3$$

Realitzant el càlcul pertinent, tenint en compte que hi ha 11 plantes i dues torres, obtenim un volum de les jàsseres comunes de la zona d'aularis de:

$$V_{tot} = 2 * 12 * V = 91{,}853\ m^3$$

Figura 5.2 Jàssera metàl·lica dels aularis

5.1.2. Bigues de reforç - Zona aularis

A la memòria de càlculs aquestes bigues de reforç no consten enlloc, però una de les fotografies fetes durant l'aixecament de les dues torres, s'aprecia com les jàsseres tenen bigues per tal de reforçar l'ànima i evitar-ne l'abonyegament, concretament hi ha 10 bigues de reforç per cada jàssera de 12,4m, és a dir, les bigues de reforç tenen una llargada de 6,4m.

Ja que aquestes bigues no consten en la memòria de càlculs però s'han de comptabilitzar, s'ha cregut que el més raonable és que tinguin un perfil IPN 80.

Figura 5.3 Bigues de reforç en les torres de la zona d'aules [10]

En definitiva, cada mòdul de pòrtics té 10 bigues de reforç IPN 80 (5,95 kg/m). Hi ha 9 mòduls de pòrtics per planta i 2 torres d'onze plantes de la zona d'aules.

El càlcul de la massa d'acer corresponent a les bigues de reforç de la zona d'aularis és el següent:

$$M_{tot} = (5{,}95 * 6{,}4) * 10 * 9 * 12 * 2 = 82.253\ kg$$

5.1.3. Pilars - Zona aularis

Hi ha 20 pilars per planta a la zona de les torres d'aularis. La secció dels pilars canvia depenent de la planta en la qual estiguin, per aquesta raó ho separarem segons la secció.

Pilars planta baixa, 1a i 2a

Els pilars estan formats per quatre perfils L 150x15, dues plaques de 320x20, i dues més de 428x20. Aquests perfils estan units amb cordó de soldadura formant un cantell total de 500mm.

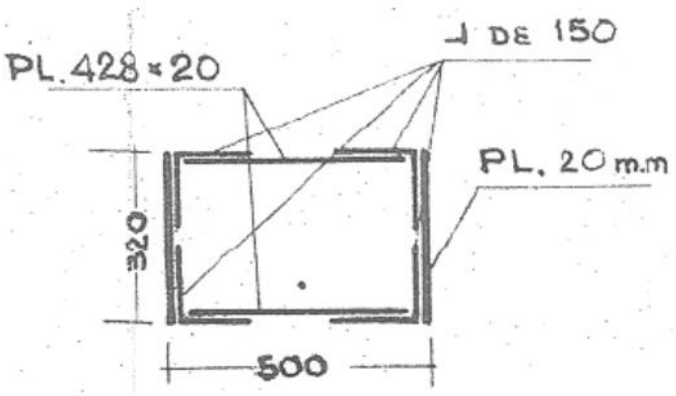


Figura 5.4 Pilar planta baixa, 1a i 2a [11]

El càlcul de la secció dels pilars és el següent:

$S = 4 * (150 * 15) + 2 * (320 * 20) + 2 * (428 * 20) = 38920\ mm^2 = 0{,}03892\ m^2$

La planta baixa té una alçada de 5,5m. D'aquesta manera, tenint en compte que hi ha dues torres de zona d'aules, el càlcul del volum dels pilars de la planta baixa és el següent:

$V_0 = 20 * (5{,}5 * S) * 2 = 8{,}5624\ m^3$

La planta 1 té una alçada de 3,5m. Tenint en compte que hi ha dues torres de zona d'aules, el càlcul del volum dels pilars de la planta 1 és el següent:

$V_1 = 20 * (3.5 * S) * 2 = 5{,}4488\ m^3$

La planta 2 té una alçada de 4m. Tenint en compte que hi ha dues torres de zona d'aules, el càlcul del volum dels pilars de la planta 2 és el següent:

$V_2 = 20 * (4 * S) * 2 = 6{,}2272\ m^3$

Pilars planta 3a, 4a, 5a i 6a

Els pilars estan formats per quatre perfils L 150x15, dues plaques de 320x20, i dues més de 328x20. Aquests perfils estan units amb cordó de soldadura formant un cantell total de 400mm.

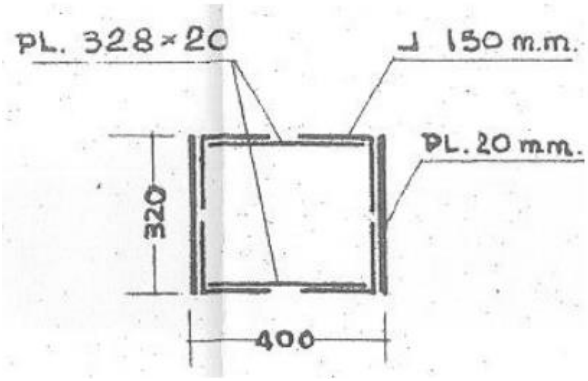


Figura 5.5 Pilar planta 3a, 4a, 5a i 6a [11]

El càlcul de la secció dels pilars és el següent:

$$S = 4 * (150 * 15) + 2 * (320 * 20) + 2 * (328 * 20) = 34920\ mm^2 = 0{,}03492\ m^2$$

Ja que les plantes 3, 4, 5 i 6 tenen la mateixa alçada (4m) i els pilars d'aquestes tenen la mateixa secció podem ajuntar el càlcul d'una manera senzilla.

Aquestes plantes tenen una alçada de 4m. D'aquesta manera, tenint en compte que hi ha dues torres de zona d'aules, el càlcul del volum dels pilars de les plantes 3,4,5 i 6 és el següent:

$$V_{3,4,5,6} = 20 * (4 * S) * 4 * 2 = 22{,}349\ m^3$$

Pilars planta 7a, 8a, 9a, 10a i 11a

Els pilars estan formats per quatre perfils L 150x12, dues plaques de 320x15, i dues més de 272x15. Aquests perfils estan units amb cordó de soldadura formant un cantell total de 330mm.

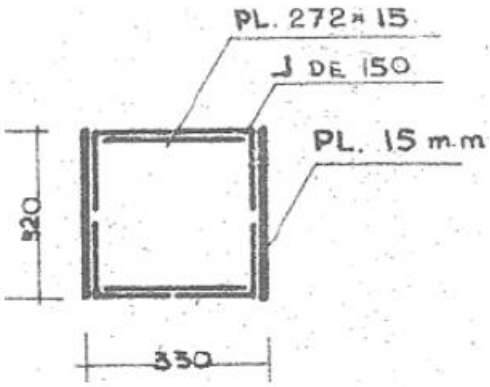


Figura 5.6 Pilar planta 7a, 8a, 9a, 10a i 11a [11]

El càlcul de la secció dels pilars és el següent:

$$S = 4 * (150 * 12) + 2 * (320 * 15) + 2 * (272 * 15) = 24960\ mm^2 = 0{,}02496\ m^2$$

Ja que les plantes 7, 8, 9, 10 i 11 tenen la mateixa alçada (4m) i els pilars d'aquestes tenen la mateixa secció podem ajuntar el càlcul com hem fet anteriorment.

Aquestes plantes tenen una alçada de 4m. D'aquesta manera, tenint en compte que hi ha dos torres de zona d'aules, el càlcul del volum dels pilars de les plantes 7,8,9,10 i 11 és el següent:

$$V_{7,8,9,10,11} = 20 * (4 * S) * 5 * 2 = 19{,}968\ m^3$$

El volum total dels pilars de les dos torres de la zona d'aularis és el següent:

$$V_{tot} = \sum_{i=0}^{11} V_i = V_0 + V_1 + V_2 + V_{3,4,5,6} + V_{7,8,9,10,11} = 62{,}555\ m^3$$

5.2. Estructura metàl·lica de la Zona d'unió del cos d'aules

L'edifici d'unió de les torres té una amplada de 19,2m i una llargada de 12,8m, té estructura metàl·lica, consta de 11 plantes més coberta i una alçada que varia en algunes plantes com es pot veure en la Figura 5.7.

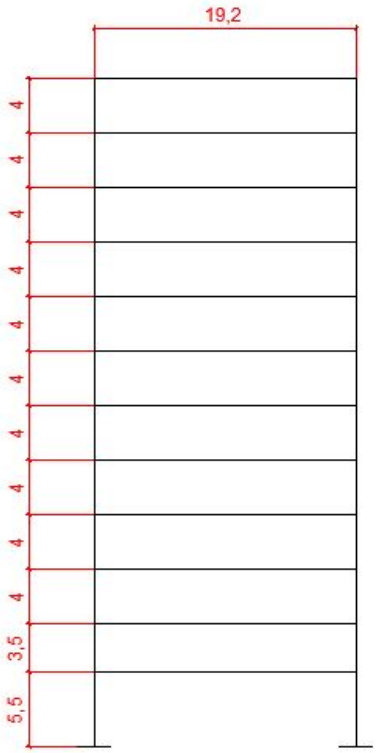


Figura 5.7 Estructura de l'edifici d'unió

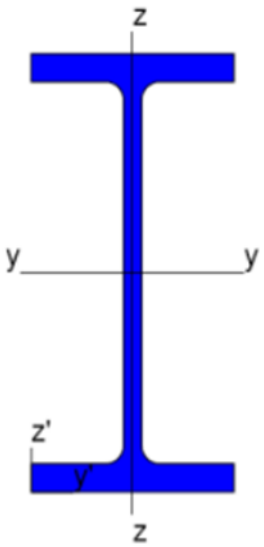
Seguint amb l'estructura de pòrtics utilitzada en les torres, obtenim que cada planta té 3 jàsseres comunes d'una llargada de 19,2m separades entre elles 6,4m. Per tant, cada planta de l'edifici d'unió està format 2 mòduls de pòrtics modulars de 19,2m de llargada per 6,4m d'amplada.

Anàlogament, a l'edifici de les torres, els pòrtics de l'edifici d'unió també consten de bigues de reforç per donar estabilitat a l'estructura.

L'estructura de l'edifici d'unió d'aules consta dels següents elements:

- Jàsseres metàl·liques - Zona unió cos aules
- Bigues de reforç - Zona unió cos aules
- Pilars - Zona unió cos aules

5.2.1. Jàsseres metàl·liques - Zona unió cos aules



Tal com consta en la memòria de càlculs, les jàsseres utilitzades en l'edifici d'unió tenen un perfil IPN 120 (11,2 kg/m).

Com s'ha comentat, cada planta consta 2 mòduls de pòrtics modulars de 19,2m de llargada per 6,4m d'amplada, és a dir, hi ha 3 jàsseres metàl·liques de 19,2m de llargada per planta.

Tenint en compte que hi ha onze plantes, el càlcul de la massa d'acer de les jàsseres metàl·liques de la zona d'unió és el següent:

$$M_{tot} = (11{,}2 * 19{,}2) * 3 * 12 = 7.741{,}4\ kg$$

Figura 5.8 Jàsseres metàl·liques d'unió

5.2.2. Bigues de reforç - Zona unió cos aules

Anàlogament a les bigues de reforç de la zona d'aularis, aquestes bigues no consten a la memòria de càlculs però són totalment necessàries per donar estabilitat a l'estructura, s'ha cregut que el més raonable és que tinguin un perfil IPN 80.

En la memòria de càlculs es comenta que les jàsseres de l'edifici d'unió són continues de 12 trams amb una llum de 1,6m de llum.

Sabem que hi ha 3 jàsseres de 19,2m de llargada per planta i la llargada de l'edifici és de 19,2m de llargada, dividint 19,2m entre 1,6m de llum entre bigues de reforç obtenim un valor de 12.

És a dir, en cada pòrtic s'han de col·locar 11 bigues de reforç per tal d'obtenir els 1,6m de llum.

Tenint en compte que hi ha dos pòrtics per planta, obtenim que hi ha un total de 22 bigues de reforç per planta i aquestes tenen una llargada de 6,4m.

En definitiva, cada planta té 22 bigues de reforç IPN 80 (5,95 kg/m) i l'edifici d'unió té 11 plantes. El càlcul de la massa d'acer de les bigues de reforç de la zona d'unió és el següent:

$M_{tot} = (5{,}95 * 6{,}4) * 22 * 12 = 10.053\ kg$

5.2.3. Pilars - Zona unió cos aules

Hi ha 4 pilars extra per planta en l'edifici d'unió. Tant les seccions com les alçades dels pilars són iguals en la zona d'aularis com en la zona d'unió, realitzem el càlcul d'una manera simplificada ja que es tracta del mateix procediment canviant simplement el nombre de pilars per planta.

Pilars planta baixa, 1a i 2a

Recuperem el càlcul de la secció:

$S = 4 * (150 * 15) + 2 * (320 * 20) + 2 * (428 * 20) = 38920\ mm^2 = 0{,}03892\ m^2$

La planta baixa té una alçada de 5,5m. El càlcul del volum d'acer dels pilars de la planta baixa de l'edifici d'unió és el següent:

$V_0 = 4 * (5{,}5 * S) = 0{,}85624\ m^3$

La planta 1 té una alçada de 3,5m. El càlcul del volum d'acer dels pilars de la planta 1 de l'edifici d'unió és el següent:

$V_1 = 4 * (3.5 * S) = 0{,}54448\ m^3$

La planta 2 té una alçada de 4m. El càlcul del volum d'acer dels pilars de la planta 2 de l'edifici d'unió és el següent:

$V_2 = 4 * (4 * S) = 0{,}62272\ m^3$

Pilars planta 3a, 4a, 5a i 6a

Recuperem el càlcul de la secció:

$$S = 4 * (150 * 15) + 2 * (320 * 20) + 2 * (328 * 20) = 34920\ mm^2 = 0{,}03492\ m^2$$

Ja que les plantes 3, 4, 5 i 6 tenen la mateixa alçada (4m) i els pilars d'aquestes tenen la mateixa secció podem ajuntar el càlcul d'una manera senzilla.

Aquestes plantes tenen una alçada de 4m. El càlcul del volum d'acer dels pilars de les plantes 3, 4, 5 i 6 de l'edifici d'unió és el següent:

$$V_{3,4,5,6} = 4 * (4 * S) * 4 = 2{,}2349\ m^3$$

Pilars planta 7a, 8a, 9a, 10a i 11a

Recuperem el càlcul de la secció:

$$S = 4 * (150 * 12) + 2 * (320 * 15) + 2 * (272 * 15) = 24960\ mm^2 = 0{,}02496\ m^2$$

Ja que les plantes 7, 8, 9, 10 i 11 tenen la mateixa alçada (4m) i els pilars d'aquestes tenen la mateixa secció podem ajuntar el càlcul com hem fet anteriorment.

Aquestes plantes tenen una alçada de 4m. El càlcul del volum d'acer dels pilars de les plantes 7, 8, 9,10 i 11 de l'edifici d'unió és el següent:

$$V_{7,8,9,10,11} = 4 * (4 * S) * 5 = 1{,}9968\ m^3$$

El volum total dels pilars de l'edifici d'unió de la zona d'aules és el següent:

$$V_{tot} = \sum_{i=0}^{11} V_i = V_0 + V_1 + V_2 + V_{3,4,5,6} + V_{7,8,9,10,11} = 6{,}2555\ m^3$$

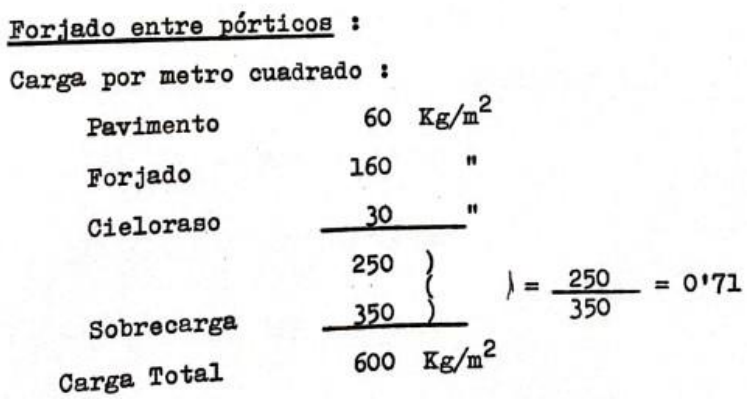
En la Taula 5.1 podem observar una taula resum de l'estructura metàl·lica de l'edifici H, és a dir, les dues torres de la zona d'aularis i l'estructura de l'edifici d'unió del cos d'aules.

		Descripció	Longitud (m)	Secció (mm2)	Volum unitari (m3)	Massa unitaria (Kg)	Unitats per planta	Nombre de plantes del edifici H	Nombre de torres simetriques	Volum a considerar d'aquest element (m3)	Massa a considerar d'aquest element (Kg)
Zona aularis	Jàssera comuna a totes les plantes. Jàssera dels aularis.	Aquesta està formada per una ànima 700x10mm i unes ales de 300x15 mm unides amb cordó de soldadura, constituint així un cantell total de 730mm.	12,4	16000	0,1984		10	12	2	47,616	
	Jàssera comuna a totes les plantes. Jàssera dels aularis.	Aquesta està formada per una ànima 700x10mm i unes ales de 300x15 mm unides amb cordó de soldadura, constituint així un cantell total de 730mm.	6,4	16000	0,1024		18	12	2	44,2368	
	Bigues de reforç. Zona aularis	IPN 80 de 5,95 Kg/m	6,4			38,08	90	12	2		82252,8
	Pilar planta baixa	Està format per quatre perfils L 150x15, dues plaques de 320x20, i dues més de 428x20, amb un cantell total de 500mm.	5,5	38920	0,21406		20	1	2	8,5624	
	Pilar planta 1a	Està format per quatre perfils L 150x15, dues plaques de 320x20, i dues més de 428x20, amb un cantell total de 500mm.	3,5	38920	0,13622		20	1	2	5,4488	
	Pilar planta 2a	Està format per quatre perfils L 150x15, dues plaques de 320x20, i dues més de 428x20, amb un cantell total de 500mm.	4	38920	0,15568		20	1	2	6,2272	
	Pilar planta 3a, 4a, 5a i 6a	Està format per quatre perfils L 150x15, dues plaques de 320x20, i dues més de 328x20, amb un cantell total de 400mm.	4	34920	0,13968		20	4	2	22,3488	
	Pilar planta 7a, 8a, 9a, 10a i 11a	Està format per quatre perfils L 150x12, dues plaques de 320x15, i dues més de 272x15, amb un cantell total de 330mm.	4	24960	0,09984		20	5	2	19,968	
Zona unió cos aules	Jàssera unió cos aules	IPN 120 de 11,2 Kg/m	19,2			215,04	3	12	1		7741,44
	Bigues de reforç. Zona unió cos aules	IPN 80 de 5,95 Kg/m	6,4			38,08	22	12	1		10053,12
	Pilar planta baixa	Està format per quatre perfils L 150x15, dues plaques de 320x20, i dues més de 428x20, amb un cantell total de 500mm.	5,5	38920	0,21406		4	1	1	0,85624	
	Pilar planta 1a	Està format per quatre perfils L 150x15, dues plaques de 320x20, i dues més de 428x20, amb un cantell total de 500mm.	3,5	38920	0,13622		4	1	1	0,54488	
	Pilar planta 2a	Està format per quatre perfils L 150x15, dues plaques de 320x20, i dues més de 428x20, amb un cantell total de 500mm.	4	38920	0,15568		4	1	1	0,62272	
	Pilar planta 3a, 4a, 5a i 6a	Està format per quatre perfils L 150x15, dues plaques de 320x20, i dues més de 328x20, amb un cantell total de 400mm.	4	34920	0,13968		4	4	1	2,23488	
	Pilar planta 7a, 8a, 9a, 10a i 11a	Està format per quatre perfils L 150x12, dues plaques de 320x15, i dues més de 272x15, amb un cantell total de 330mm.	4	24960	0,09984		4	5	1	1,9968	

Taula 5.1 Estructura Edifici H

5.3. Càlcul estructural del formigó i acer armat de l'edifici H

El primer que hem de tindre en compte a l'hora de calcular el formigó és la càrrega total de l'edifici. Aquesta càrrega total consta en la memòria de càlculs de l'arquitecte del projecte i la determina com es pot veure en la Figura 5.9.


Forjado entre pórticos :

Carga por metro cuadrado :

Pavimento	60	Kg/m²
Forjado	160	"
Cieloraso	30	"
	250	
Sobrecarga	350	
Carga Total	600	Kg/m²

$= \frac{250}{350} = 0'71$

Figura 5.9 Dimensionament de les càrregues de l'edifici [11]

L'arquitecte Robert Terradas va determinar que la càrrega total és de $600\,kg/m^2$ que equival a $6\,kN/m^2$.

Per a realitzar el càlcul del gruix de les lloses de formigó prenem com a referència els estudis de l'enginyer civil Alasdair N Beal. Dels seus estudis extrèiem la següent taula:

total dead & imposed load (unfactored)	slab					flat slab	
	1-way simply supported	1-way continuous	cantilever	2-way simply supported	2-way continuous	no drops	drops
5kN/m²	29	39	11	33	45	36	40
10kN/m²	25	34	10	29	40	32	35
20kN/m²	22	30	8	25	36	28	31

Taula 5.2 Relacions de Llum/Gruix de lloses de formigó en funció de la càrrega i tipus de suports [12]

Ja que no sabem quins suports tenen les lloses de formigó, suposarem el cas més desfavorable, és a dir, l'unidireccional únicament recolzat (1-way simply supported). Interpolant linealment s'obté el valor de 28,2 per la càrrega de $6\,kN/m^2$, amb la qual cosa Llum/Gruix=28,2

Tenim que la distància entre pòrtics és de 6,4m de manera que el gruix de la llosa és de:

$$Gruix = \frac{Llum}{28{,}2} = \frac{6{,}4\ m}{28{,}2} = 0{,}227m = 227mm$$

Aquest valor sembla prou raonable, tot i això, per estar segurs i donar un cert marge, apliquem un coeficient de seguretat de 1,5, i obtenim un gruix final de 341 mm.

Per la solera, és a dir, la capa de formigó que es posa al terra de la planta baixa, considerem que el més raonable és utilitzar el mateix valor.

Un cop obtingut el gruix comú per a totes les lloses determinem les dimensions d'aquestes. Les diferents lloses que tenim en l'edifici H són:

- Llosa principal o Solera
- Lloses - Zona aularis
- Lloses - Zona unió cos aules

5.3.1. Llosa principal o Solera

En primer lloc, es determinen les dimensions de la solera, és a dir, la llosa principal de la planta baixa de l'edifici H. Les dimensions de l'edifici són aproximadament de 57,6m de llargada i 44m d'amplada, deixant un marge de 1m per costat obtenim una llosa de 59,6m de llargada i 46m d'amplada.

El càlcul del volum de la llosa principal és el següent:
$V_0 = 59{,}6 * 46 * 0{,}341 = 934{,}89\ m^3$

5.3.2. Lloses - Zona aularis

Les dimensions de les lloses de les plantes i de la coberta que corresponen als edificis de les torres de les zones d'aules són de 57,6m de llargada i 12,4m d'amplada.

El càlcul del volum unitari de la llosa corresponent a l'edifici de torres de les zones d'aules és el següent:
$V = 57{,}6 * 12{,}4 * 0{,}341 = 243{,}56\ m^3$

Com que hi ha 11 plantes (12 plans de lloses entre plantes) i dues torres d'aules, el volum total de les lloses corresponents a l'edifici de torres de les zones d'aules és de:
$V_1 = 12 * 2 * V = 5845{,}34\ m^3$

5.3.3. Lloses - Zona unió cos aules

Les dimensions de les lloses de les plantes i de la coberta que corresponen a l'edifici d'unió són de 12,4m d'amplada i 19,2m d'amplada.

El càlcul del volum unitari de la llosa corresponent a l'edifici d'unió és el següent:
$V = 12{,}8 * 19{,}2 * 0{,}341 = 83{,}804\ m^3$

Com que hi ha 11 plantes, hi haurà 12 lloses d'aquestes dimensions. El volum total de les lloses corresponents a l'edifici d'unió és de:
$V_2 = 12 * V = 1005{,}6\ m^3$

En definitiva, el volum de formigó a considerar serà la suma dels volums calculats. D'aquesta manera obtenim:
$V_{tot} = V + V_1 + V_2 = 7785{,}9\ m^3$

Per obtenir la massa d'acer armat total s'ha considerat l'aproximació de 125 Kg acer per cada m^3 de formigó. Amb aquest factor de conversió obtenim que la massa d'acer armat total és de:

$M_{tot} = 125 * V_{tot} = 973.234\ kg$

En la Taula 5.3 es mostra un resum de totes les dades estructurals de l'edifici H, incloent l'estructura metàl·lica tant de les dues torres com de l'edifici d'unió, i el càlcul estructural del formigó i acer armat.

Jàsseres metàl·liques - Zona Aularis	91,853	m3
Bigues de reforç - Zona Aularis	82253	Kg
Pilars - Zona Aularis	62,555	m3
Jàsseres metàl·liques - Zona Unió cos aules	7741,4	Kg
Bigues de reforç - Zona Unió cos aules	10053	Kg
Pilars - Zona Unió cos aules	6,2555	m3
Formigó Cimentació (Planta Baixa) - Edifici H	934,89	m3
Formigó (Plantes i cobertes) - Edifici H	6851	m3
Acer armat del formigó- Edifici H	973234	Kg

Taula 5.3 Resum de dades estructurals de l'edifici H

6. Dades i resultats de The Structural Carbon Tool

6.1. Project Info

Aquesta pestanya conté la informació general del projecte. Les caselles de Project Value i GIA són necessàries per als càlculs de la petjada de carboni posteriors.

6.1.1. Gross Internal Area (GIA)

Es defineix el GIA com l'àrea d'un edifici mesurada a la cara interna dels murs perimetrals a cada nivell de planta. És a dir, és la suma de les àrees dels terres de cada planta i la coberta, si aquesta és permanent. Un cop definit, el seu càlcul del GIA de l'edifici H de l'ETSEIB és força senzill.

Les dimensions de l'edifici H són les següents:

- Les torres principals tenen una amplada de 12,4m i una llargada de 57,6m cadascuna.

- L'edifici d'unió de les torres té una amplada de 19,2m i una llargada de 12,8m.

En la taula X s'indica de forma resumida el càlcul del GIA associat a l'edifici H de l'ETSEIB.

	GIA (m2)
Àrea 1 planta (57,6x12,4) - Zona Aularis	714,24
Àrea total (Planta Baixa+11 Plantes + 2 Torres) - Zona Aularis	18570,24
Àrea 1 planta (12,8x19,2) - Zona Unió	245,76
Àrea total (Planta Baixa+11 Plantes) - Zona Unió	3194,88
Gross Internal Area GIA (m2)	21765,12

Taula 6.1 Càlcul del GIA de l'edifici H

6.1.2. Project Value

El valor del projecte és una dada necessària en l'eina de càlcul 'The Structural Carbon Tool' ,per tant, s'ha de realitzar un càlcul aproximat del valor de la construcció estructural de l'edifici.

Primer de tot s'ha de comentar la rellevància d'aquesta dada en el càlcul de la petjada de carboni.

En aquest projecte amb un pressupost aproximat de 5.000.000 £, s'obté un resultat de la petjada de carboni en tot el cicle de vida de l'edifici (A-C) de $364\ kgCO_2e/m^2$com es pot veure en la Figura 6.3 Resultats amb materials estàndard. Si dupliquem el pressupost (10.000.000 £), és a dir, l'augmentem en un 100% del seu valor, obtenim unes emissions de carboni (A-C) de $366\ kgCO_2e/m^2$, el qual suposa una variació d'un 0,5% sobre el valor inicial.

És evident que, tot i ser una dada necessària, no és tant rellevant en el càlcul de les emissions de carboni. Per aquesta raó, i perquè no es disposa d'informació del pressupost original es prenen com a valors de referència els del TFG d'en Joan Sabaté Geladó: Anàlisis estructural de dos edificis metàl·lics: l'ETSEIB i la Facultat de Dret [1].

Tot i que es prenen aquests valors com una referència el pressupost s'ha adequat i personalitzat a les especificacions del projecte.

Partida	Total (€)
Estudis geotècnics	7.000
Comercial	6.000
Projecte executiu	65.000
Permisos d'administració	95.000
Terreny	1.500.000
Obres preliminars	550.000
Moviment de terres	670.000
Cimentacions	600.000
Estructura metàl·lica	570.000
Estructura de formigó armat	600.000
Impermeabilitzacions	30.000
Cobertes	80.000
Instal·lacions hidràuliques	120.000
Instal·lacions de gas	70.000
Equips	700.000
Senyalització	10.000
Imprevistos d'obra	100.000
Honoraris de l'arquitecte	50.000
Honoraris industrials	80.000
Honoraris del Project Manager	40.000
Preu Total	5.943.000

Taula 6.2 Pressupost Edifici H

El preu total del projecte corresponent a l'estructura de l'edifici és de 5.943.000 €, fent la conversió a lliures tenim un Project Value de 5093300 £.

6.1.3. Design life

Ja que no es disposa d'informació del disseny de vida útil de l'edifici en la memòria de càlcul, ens centrem al que diu la normativa. L'Eurocodi UNE 1990 estableix en la Taula 6.3 la vida útil de l'estructura d'un edifici.

Vida útil de cálculo indicativa

Categoría de vida útil de cálculo	Vida útil de cálculo indicativa	Ejemplos
1	10	Estructuras temporales (1)
2	10 a 50	Partes de estructuras reemplazables, por ejemplo: vigas de rodadura, aparatos de apoyo
3	15 a 30	Estructuras agrícolas y similares
4	50	Estructuras de edificios y otras estructuras comunes
5	100	Estructuras de edificios monumentales, puentes y otras estructuras de ingeniería civil.

(1) Estructuras o partes de estructuras que puedan desmontarse con la intención de volver a usarse no deberían considerarse como estructuras temporales.

Taula 6.3 Vida útil d'un edifici segons l'Eurocodi UNE [13]

L'ETSEIB entraria en la categoria 4 ja no entra en la categoria d'edifici monumental, per tant concloem que la vida útil de l'estructura de l'edifici ETSEIB ha de ser de 50 anys.

Amb els valors trobats i els valors per defecte que proporciona l'eina de càlcul omplim la pestanya 'Project Info' com es pot veure en la Figura 6.1.

The Structural Carbon Tool — The Institution of StructuralEngineers

TSCT v1.1

Project Information	
Project Number	1
Project Name	Edifici H
Typology	Education
Design Stage	Estudi
Project Value (£)	£5.093.300
Gross Internal Floor Area (m^2)	21765

Assumptions	
Average distance to landfill (km)	50
Reinforcement	Steel - Rebar - UK: UK CARES avg EPD
Percentage excavation removed from site	100%
Soil Density (kg/m^3)	1600
Design life (years)	50

Figura 6.1 Pestanya Project Info

6.2. Pestanya d'amidaments

L'edifici ETSEIB es va construir als anys 60, en aquella època no es tenia la informació que es té de l'impacte que suposa la construcció d'edificis i s'utilitzaven materials amb un alt impacte ambiental. Per aquesta raó es realitzaran dos estudis, un amb materials estàndard simulant d'alguna manera els materials utilitzats en la construcció de l'edifici ETSEIB, i l'altre amb materials més moderns i sostenibles reconeguts a nivell internacional.

6.2.1. Materials Estàndard

En aquesta pestanya d'amidaments es busca replicar el màxim possible els materials i el càlcul de la petjada de carboni que comporta la construcció de l'edifici H a nivell estructural.

Totes les jàsseres, bigues i pilars de l'estructura són d'acer per tant, seleccionarem 'Steel' com a material i 'Strcutural Sections' com al tipus de material. Es selecciona l'especificació del material 'World Avg.' ja que és l'opció més estàndard.

Pel que fa el formigó, es selecciona 'Concrete' com a material i 'Insitu' com al tipus de material ja que aquesta és la pràctica més utilitzada en construcció. En quan a l'especificació C25/30 és l'elecció més raonable amb la càrrega que ha de suportar. S'escull 25% GGBS, ja que altres opcions com 50% GGBS o 75% GGBS són opcions més sostenibles i segurament no es van utilitzar per la construcció de l'edifici ETSEIB.

L'acer armat també es coneix com 'rebar steel', d'aquesta manera hem de seleccionar 'Steel' en el material i 'Rebar' en el tipus. Es selecciona l'especificació del material 'Worldwide World Avg.' ja que és l'opció més estàndard.

Com ja s'ha comentat anteriorment, l'abast d'aquest projecte contempla la part estructural de l'edifici de l'ETSEIB. D'aquesta manera tots els elements del nostre projecte són elements estructurals de tipus 'Frame' menys el formigó. El terme 'Frame' fa referència a elements purament estructurals com és el nostre cas. Hi ha altres opcions com parets interiors i exteriors, escales, i altres elements que no formen part del nostre projecte.

Hem de diferenciar el formigó de cimentació de la planta baixa de les lloses de formigó que hi ha entre plantes i la coberta. D'aquesta manera el formigó de la planta baixa serà un element estructural de tipus 'Foundations' que vol dir cimentació i el formigó entre plantes serà de tipus 'Upper floors/slabs'.

Introduint la quantitat de matèria de cada element estructural corresponent amb les especificacions comentades la pestanya d'amidaments està completa.

Material	Material Type	Material Specification	Structural Element	Description	Volume [m³] or Mass [kg]?	Material Quantity [m³, kg]	Reinforcement [kg/m³]
Steel	Structural_sections	World avg	2.1 Frame	Jasseres metaliques - Zona Aularis	Volume [m3]	91,85	
Steel	Structural_sections	World avg	2.1 Frame	Bigues de reforç - Zona Aularis	Mass [kg]	82.253	
Steel	Structural_Sections	World avg	2.1 Frame	Pilars - Zona Aularis	Volume [m3]	62,56	
Steel	Structural_Sections	World avg	2.1 Frame	Jasseres metaliques - Zona Unio	Mass [kg]	7.741	
Steel	Structural_Sections	World avg	2.1 Frame	Bigues de reforç - Zona Unio	Mass [kg]	10.053	
Steel	Structural_Sections	World avg	2.1 Frame	Pilars - Zona Unio	Volume [m3]	6,256	
Concrete	Insitu	C25/30 - 25% GGBS	1.1 Foundations (incl. pile caps)	Formigó Cimentació (Planta Baixa) - Edifici H	Volume [m3]	934,9	Mass Concrete (0)
Concrete	Insitu	C25/30 - 25% GGBS	2.2 Upper floors/slabs	Formigó (Plantes i cobertes) - Edifici H	Volume [m3]	6.851	Mass Concrete (0)
Steel	Rebar	Worldwide: world avg	2.1 Frame	Acer armat del formigó - Edifici H	Mass [kg]	973.234	

Figura 6.2 Pestanya d'amidaments amb materials estàndard

Obtenim la taula de resultats que es pot veure en la Figura 6.3.

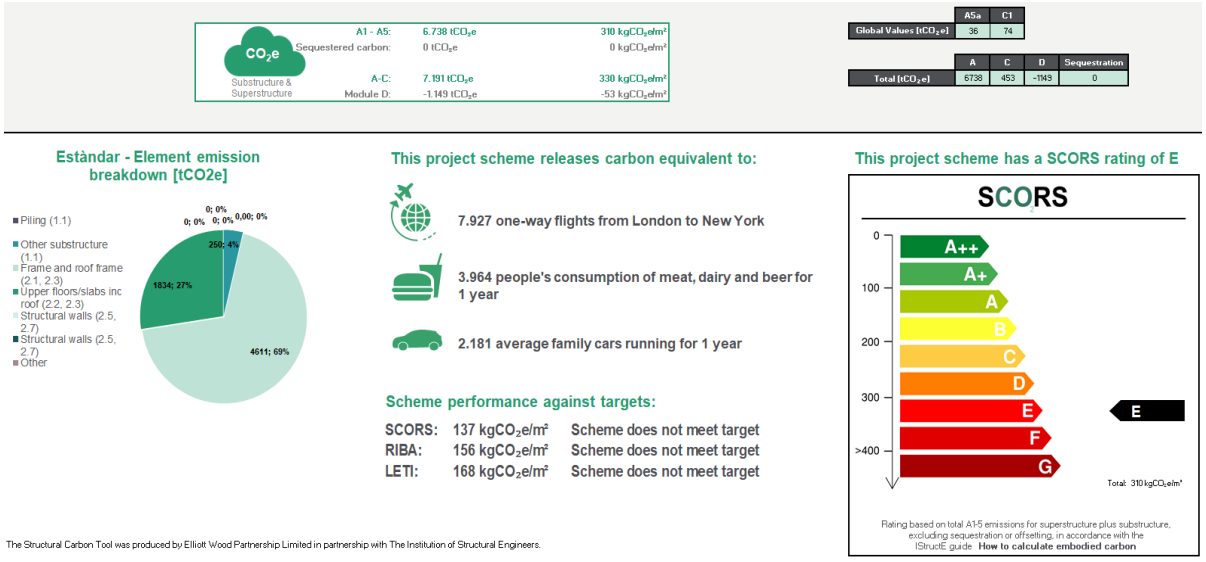


Figura 6.3 Resultats amb materials estàndard

Obtenim un total de $6738\ tCO_2e$, el que és equivalent a $310\ kgCO_2e/m^2$, en la fase de producte i construcció (A1-A5). Pel que fa el 'SCORS rating', eina que utilitza l'IStructE per fer una valoració ambiental d'un projecte basat en les emissions A1–A5 estimades, obtenim una qualificació E.

Pel que fa tot el cicle de vida de l'edifici H (A-C) obtenim un total de $7191\ tCO_2e$ o el que és el mateix, $330\ kgCO_2e/m^2$.

Per posar en perspectiva, la petjada de carboni total del projecte estudiat s'obtenen una sèrie de comparacions. La petjada de carboni total equival a:

- Realitzar 7927 vols d'anada de Londres a Nova York
- La consumició de 3964 persones de productes càrnics, làctics i cervesa durant un any
- L'ús de 2181 cotxes familiars durant un any

Pel que fa la valoració més enllà del cicle de vida, observem que també és força millorable.

Obtenim un mòdul D de $-1149\ tCO_2e$ o el que és el mateix $-53\ kgCO_2e/m^2$. Recordem que aquest mòdul representa els beneficis, si el mòdul és positiu i comporta una reducció d'emissions; o bé de càrregues, si el mòdul és negatiu la qual cosa comporta un augment d'emissions, com es mostra en aquest cas.

6.2.2. Materials Sostenibles

En aquesta pestanya d'amidaments es busca trobar l'opció més sostenible pel medi ambient. S'utilitzen materials amb un impacte ambiental reduït, però unes prestacions iguals o molt similars que compleixen amb les especificacions del projecte. Per tant, l'únic que canviarem de la pestanya d'amidaments serà l'especificació del material utilitzat.

Es reemplaça l'acer 'World Avg.' de jàsseres, bigues i pilars per acer 'Europe Avg. EPD'. Aquest material té el certificat EPD (Environmental Product Declaration), el qual, és un document verificat que proporciona informació transparent sobre l'impacte ambiental del producte durant tot el seu cicle de vida i es basa en normes Internacionals per detallar de manera fiable la petjada ambiental dels productes.

L'acer estructural 'Europe Avg. EPD' és una opció més sostenible i amb prestacions molt similars al 'World Avg.', utilitzat anteriorment.

Pel que fa el formigó, en comptes de C25/30 - 25% GGBS s'utilitza C25/30 - 75% GGBS. Aquest canvi no afecta a les prestacions del material ja que els dos tenen la mateixa resistència (30 N/mm^2).

El GGBS (Ground Granulated Blast Furnace Slag), o escòria granulada d'alts forns, és un subproducte de la indústria que es produeix al processar l'escòria resultant de la fabricació del ferro i acer en alts forns. Mitjançant una sèrie de processos, aquesta escòria dona com a resultat una pols fina que s'utilitza en la producció de formigó com a substitut parcial del ciment Portland, entre altres.

La diferència entre formigó 25% GGBS" i 75% GGBS radica en la quantitat de GGBS que s'utilitza com a reemplaçament del ciment en la mescla de formigó.

L'ús d'una proporció alta de GGBS (75% GGBS) en la mescla generalment es fa amb l'objectiu de millorar la sostenibilitat i reduir la petjada de carboni del formigó, ja que la producció de GGBS sol tenir un menor impacte ambiental menor en comparació amb la producció de ciment Portland.

D'aquesta manera, el formigó C25/30 - 75% GGBS té un menor impacte ambiental que C25/30 - 25% GGBS. Per aquesta raó escollim el formigó C25/30 - 75% GGBS en aquest estudi.

En quant a l'acer armat, escollirem l'acer 'UK CARES avg. EPD' en comptes del 'Worldwide World Avg.'. Aquest material té el certificat EPD i es tracta d'una alternativa més sostenible i amb prestacions molt similars.

Podem veure en la Figura 6.4 la pestanya d'amidaments amb els canvis pertinents a aquest estudi.

Material	Material Type	Material Specification	Structural Element	Description	Volume [m^3] or Mass [kg]?	Material Quantity [m^3, kg]	Reinforcement [kg/m^3]
Steel	Structural_sections	Europe avg EPD	2.1 Frame	Jasseres metaliques - Zona Aularis	Volume [m3]	91,85	
Steel	Structural_Sections	Europe avg EPD	2.1 Frame	Bigues de reforç - Zona Aularis	Mass [kg]	82.253	
Steel	Structural_Sections	Europe avg EPD	2.1 Frame	Pilars - Zona Aularis	Volume [m3]	62,56	
Steel	Structural_Sections	Europe avg EPD	2.1 Frame	Jasseres metaliques - Zona Unio	Mass [kg]	7.741	
Steel	Structural_Sections	Europe avg EPD	2.1 Frame	Bigues de reforç - Zona Unio	Mass [kg]	10.053	
Steel	Structural_Sections	Europe avg EPD	2.1 Frame	Pilars - Zona Unio	Volume [m3]	6,256	
Concrete	Insitu	C25/30 - 75% GGBS	1.1 Foundations (incl. pile caps)	Formigó Cimentació (Planta Baixa) - Edifici H	Volume [m3]	934,9	Mass Concrete (0)
Concrete	Insitu	C25/30 - 75% GGBS	2.2 Upper floors/slabs	Formigó (Plantes i cobertes) - Edifici H	Volume [m3]	6.851	Mass Concrete (0)
Steel	Rebar	UK: UK CARES avg EPD	2.1 Frame	Acer armat del formigó - Edifici H	Mass [kg]	973.234	

Figura 6.4 Pestanya d'amidaments amb materials sostenibles

En aquest estudi, obtenim uns resultats força diferents als de l'estudi amb materials estàndard.

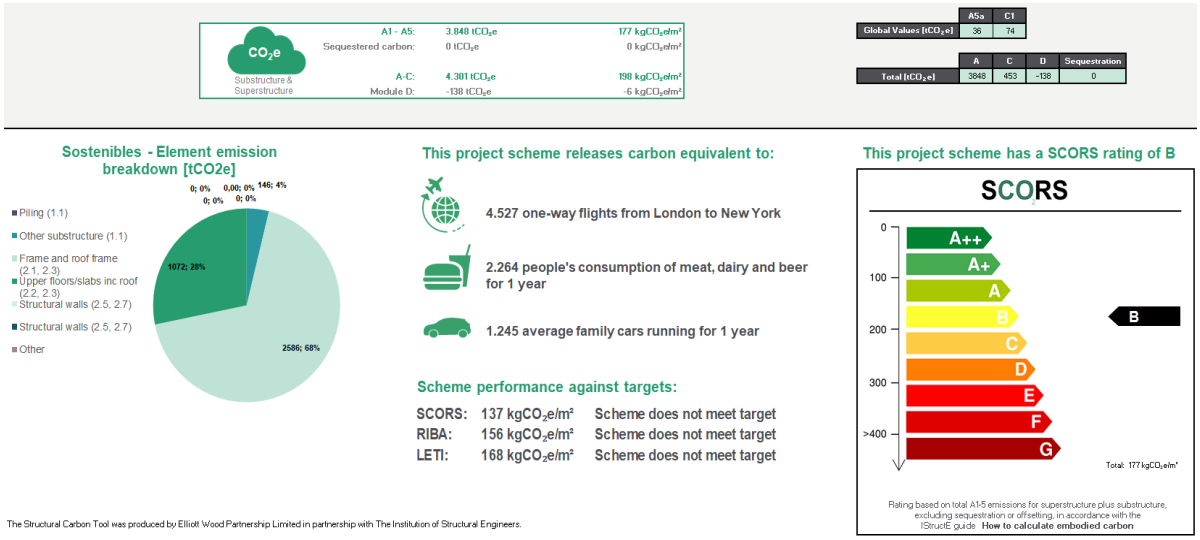


Figura 6.5 Resultats amb materials sostenibles

Obtenim un total de $3848\ tCO_2e$, el que és equivalent a $177\ kgCO_2e/m^2$, en la fase de producte i construcció (A1-A5). Pel que fa el 'SCORS rating', obtenim una qualificació B.

Pel que fa tot el cicle de vida de l'edifici H (A-C) obtenim un total de $4301\ tCO_2e$ o el que és el mateix, $198\ kgCO_2e/m^2$.

Per posar en perspectiva, la petjada de carboni total del projecte estudiat s'obtenen una sèrie de comparacions. La petjada de carboni total equival a:

- Realitzar 4527 vols d'anada de Londres a Nova York
- La consumició de 2264 persones de productes càrnics, làctics i cervesa durant un any
- L'ús de 1245 cotxes familiars durant un any

Pel que fa la valoració més enllà del cicle de vida, observem una millora força notable. Obtenim un mòdul D de $-138\ tCO_2e$ o el que és el mateix $-6\ kgCO_2e/m^2$. Aquest mòdul és més gran que el de l'estudi de materials estàndard, amb la qual cosa comporta una reducció d'emissions dels materials i components més enllà de l'EoL. Això ho hem aconseguit gràcies a una elecció més sostenible dels materials.

6.3. Estudi comparatiu

En la pestanya de comparacions obtenim un estudi comparatiu dels dos escenaris contemplats.

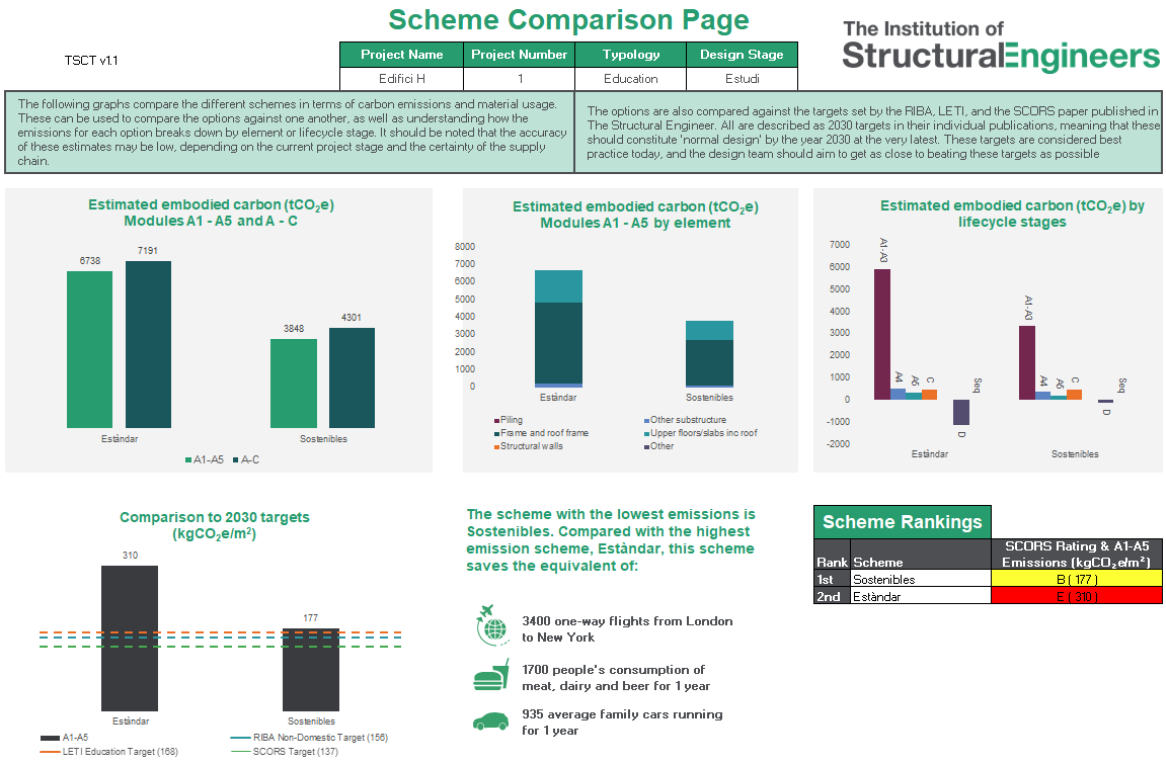


Figura 6.6 Comparativa de resultats

Veiem que les emissions de carboni totals amb materials sostenibles en la fase de producte i construcció (A1-A5) es redueixen considerablement. Concretament, reduïm d'un valor de $6738\ tCO_2e$ a $3848\ tCO_2e$, aconseguint una reducció de $2890\ tCO_2e$, la qual correspon a un 42,9% de reducció sobre el total. En aquesta fase, en l'estudi amb materials estàndard obtenim $310\ kgCO_2e/m^2$ amb una qualificació SCORS E, mentre que amb materials sostenibles obtenim $177\ kgCO_2e/m^2$ amb una qualificació SCORS B.

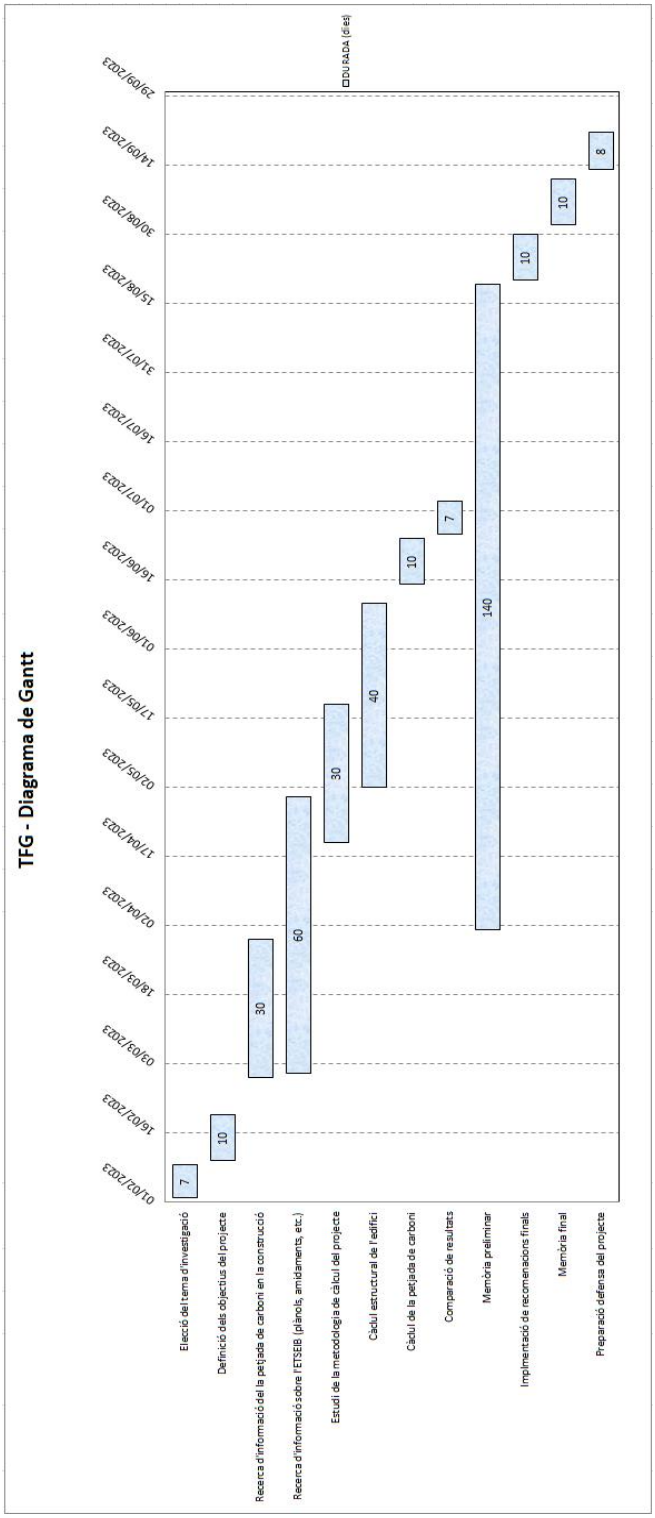
Pel que fa tot el cicle de vida de l'edifici H (A-C) obtenim un total de $7191\ tCO_2e$, mentre que amb materials sostenibles obtenim un total de $4301\ tCO_2e$, aconseguint una reducció molt notable.

Per posar en perspectiva la reducció de petjada de carboni entre els estudis realitzats, s'obtenen una sèrie de comparacions. La reducció de la petjada de carboni total equival a:

- Realitzar 3400 vols d'anada de Londres a Nova York
- La consumició de 1700 persones de productes càrnics, làctics i cervesa durant un any
- L'ús de 935 cotxes familiars durant un any

7. Planificació

En el següent diagrama de Gantt plasma la planificació que s'ha seguit en les diferents etapes del projecte.



Taula 7.1 Diagrama de Gantt del projecte

8. Estudi econòmic

L'estudi econòmic següent és una avaluació del cost del treball fet per l'estudiant en unitats monetàries d'euro.

El TFG del Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials de l'ETSEIB correspon a 12 crèdits ECTS, que s'estimen en una dedicació de 8 hores a la setmana.

Com es pot veure en la Taula 7.1 Diagrama de Gantt del projecte, aproximadament, el projecte comença el dia 1 de febrer i acaba el 21 de setembre. Aquest període de temps correspon a unes 33 setmanes de treball, amb una dedicació de 8 hores a la setmana, obtenim un total de 264 hores dedicades al projecte.

Realitzant l'aproximació de 15 €/h, obtenim un valor de 3960 € per les hores dedicades. Aplicant un 21% d'IVA assolim un valor total de 4761,60 €.

A Espanya, aproximadament, els subministres bàsics mensuals per una persona tenen un import de 90 € [14]. Aquests subministres inclouen l'aigua, llum, gas i servei d'internet, subministres totalment necessaris per la realització del projecte. La realització d'aquest projecte ha tingut una durada de 8 mesos, el que suposa un cost de subministraments de 720 €.

Durant la realització d'aquest projecte, s'ha realitzat un viatge a l'Arxiu Històric del COAC. La visita té un cost de 5 € i el viatge en metro a Barcelona d'anada i tornada té un cost de 4,80 € [15].

El cost del portàtil utilitzat per aquest projecte té un valor al mercat de 1200 €. Ja que, aproximadament, un ordinador s'amortitza linealment en 5 anys. Podem estimar que l'amortització anual és de 240 €. La realització d'aquest projecte té una durada de 8 mesos, amb la qual cosa l'ordinador té un cost amortitzable de 160 €.

Si sumen el cost de les hores dedicades, els subministres bàsics, el cost dels viatges i visites i l'amortització de l'ordinador, obtenim un cost total del treball de 5651,4 €.

9. Estudi ambiental

La realització d'aquest projecte implica moltes hores de treball davant de l'ordinador en el lloc de treball, el qual està endollat a la xarxa elèctrica. A més, durant el temps de treball davant de l'ordinador s'encén la llum de l'habitació o menjador durant les tardes i nits. Aproximadament, es calcula que això implica un consum elèctric addicional de 20 kWh de forma mensual.

Segons la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC), a España al 2022, l'equivalència entre la despesa elèctrica i la petjada de carboni és de 0,273 $kgCO_2e/kWh$ [16].

Ja que el període d'aquest projecte ha estat d'uns 8 mesos, això suposa unes emissions de carboni totals de 43,68 $kgCO_2e$.

Les hores de treball a casa també suposen un augment del consum de gas natural. Segons el Ministerio de Transición Ecológica, el gas natural té un factor d'emissió de 0,182 $kgCO_2e/kWh$ [17].

Les hores d'estada a casa realitzant el projecte comporten, aproximadament, un consum energètic addicional de 35 kWh al mes. El període d'aquest projecte ha estat de 8 mesos, això suposa unes emissions de carboni totals de 50,96 $kgCO_2$.

Al tractar-se d'un treball on no hi ha hagut cap tipus de construcció, muntatge o instal·lació, es tracta d'un projecte amb unes emissions de CO_2 força baixes en comparació a altres tipus de projectes. Tot i això, el simple fet d'estar treballant a casa amb uns subministres bàsics dona lloc a emissions de CO_2, en el nostre cas un total de 95 $kgCO_2e$.

Aproximadament, un arbre absorbeix 25 $kgCO_2$ mentre creix, per igualar les emissions de carboni en la realització d'aquest projecte s'haurien de plantar 4 arbres. Si per un simple projecte, de caràcter més aviat teòric, s'han de plantar 4 arbres per igualar la petjada de carboni, ens podem imaginar ràpidament la quantitat astronòmica d'arbres que s'haurien de plantar, per igualar les emissions dels habitatges d'una ciutat com Barcelona.

Com és evident, la participació en programes de reforestació o plantació d'arbres redueix aquest impacte ambiental. Una altra manera de reduir l'impacte ambiental, podria ser l'ús d'equips més eficients des del punt de vista energètic, com monitors de baix consum o l'ús de bombetes d'eficiència energètica.

En definitiva, és important ser conscients de l'impacte ambiental de les nostres activitats i esforçar-nos per reduir-lo sempre que sigui possible, a través de l'ús d'equips eficients energèticament, pràctiques d'estalvi energètic i de compensació d'emissions, com per exemple, la reforestació.

10. Estudi social i d'igualtat de gènere

Avaluar el treball des de la perspectiva de la discriminació de gènere i l'estatus social és un pas crucial per garantir que els projectes siguin inclusius i tinguin en compte els factors socials.

L'accés a la tecnologia utilitzada en els projectes pot no discriminar directament per raó de gènere, ja que és un recurs a l'abast de tothom. Tot i això, és rellevant considerar mesures per garantir que les persones de tots els nivells educatius, identitats de gènere i situació econòmica puguin accedir i beneficiar-se de les tecnologies implicades.

És fonamental avaluar si els equips que hi treballen tenen un equilibri de gènere. En aquest cas tant l'alumne com el director del projecte són homes. Normalment, en l'enginyeria hi ha una majoria d'homes respecte de dones. Si existeix un desequilibri, és important preguntar-se com es poden prendre mesures perquè l'enginyeria tingui una presència de gènere més igualitària.

S'ha intentat utilitzar un llenguatge inclusiu, no sexista i no androcèntric en totes les comunicacions relacionades amb el treball. L'ús d'un llenguatge i imatges inclusius ajuda a representar plenament tots els gèneres i promou la igualtat.

Les recomanacions del treball fan avançar la justícia social i la igualtat ja que donen lloc a un futur més sostenible del nostre planeta independentment de la classe social, raça o gènere.

Les publicacions relacionades amb el projecte inclouen els noms dels autors i autores, això garanteix una visibilitat i un reconeixement adequats per part de tots els implicats.

Aquest projecte contribueix a diferents Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS):

- Indústria, innovació i infraestructures (ODS 9)
- Ciutats i comunitats sostenibles (ODS 11)
- Consum i producció responsables (ODS 12)
- Acció climàtica (ODS 13)

11. CONCLUSIONS

Aquest projecte posa de manifest la importància i magnitud de la petjada de carboni en la construcció, i com aquesta es pot reduir amb una elecció de materials més sostenibles.

A través de la comparació entre materials sostenibles i convencionals, s'ha demostrat de manera concloent que l'elecció de materials més sostenibles redueix significativament la petjada de carboni al llarg del cicle de vida de l'estructura d'un edifici, en aquest cas l'ETSEIB. Cal destacar que els materials sostenibles escollits estan certificats per entitats internacionals de prestigi, donen unes prestacions molt similars als convencionals i són àmpliament disponibles avui dia en l'entorn de la construcció.

És important assenyalar que, si bé aquest estudi no aborda la fase d'ús de l'edifici i l'eficiència energètica, s'ha evidenciat que la fase de construcció també pot tenir un paper molt significatiu en la reducció de la petjada de carboni global. Això subratlla la necessitat de considerar el cicle de vida complet d'un edifici en prendre decisions sostenibles i no només centrar-se en l'eficiència energètica i la reducció del consum.

A més, aquest projecte també posa de manifest la importància del tipus de materials de construcció més enllà del cicle de vida del propi edifici construït. Es pot concloure, a través de l'estudi del mòdul D, que una elecció sostenible de materials també té efectes positius més enllà del cicle de vida d'un edifici, ja que els materials sostenibles tindran un impacte ambiental menor alhora de reutilitzar-los, reciclar-los o incinerar-los.

La importància de l'elecció de materials en el disseny de construcció s'ha posat de manifest en aquest projecte i s'ha evidenciat la seva rellevància. Tot i això, la construcció d'edificis nous comporta una petjada de carboni associada inevitable. És per això, que una idea interessant és augmentar la vida útil dels edificis reduint l'impacte ambiental en evitar la necessitat de construir nous edificis. Aquesta mesura subratlla la importància de dissenyar i construir amb una perspectiva a llarg termini, centrant-se en la durabilitat i eficiència dels materials.

En resum, aquest projecte emfatitza que l'elecció de materials i pràctiques de construcció sostenibles són passos crucials cap a la construcció d'un futur més sostenible i la reducció de la petjada de carboni a la indústria de la construcció.

12. Agraïments

En especial, m'agradaria agrair al director d'aquest projecte, el professor Xavier Centelles Soler, per tota l'ajuda i consells que m'ha anat donant durant tot el projecte final de grau.

Per acabar, m'agradaria agrair al Col·legi d'arquitectes de Catalunya per tota l'ajuda proporcionada a través de la documentació del seu Arxiu Històric.

13. Bibliografia

[1] JOAN SABATÉ GELADÓ. *Anàlisis estructural de dos edificis metàl·lics: l'ETSEIB i la Facultat de Dret.* TFG, UPC, 2010.

[2] BARCELOFILIA. Convent de Sant Sebastià. (1719-1920's). [https://barcelofilia.blogspot.com/2013/01/convent-de-sant-sebastia-1719-1909.html, consultat el 13 d'agost de 2023]

[3] BARCELONA FILM COMISSION. *Univeristat de Barcelona –Edificio Historico.* [https://www.bcncatfilmcommission.com/es/location/universitat-de-barcelona-edificio-historico, consultat el 15 d'agost de 2023]

[4] SUDOR, VAPOR Y LÁGRIMAS. PATRIMONIO INDUSTRIAL. *La fábrica "Can Batlló" y la Escola Industrial.* [https://chimevapor.wordpress.com/2009/03/20/la-fabrica-can-batllo-y-la-escola-industrial/, consultat el 15 d'agost de 2023]

[5] DIPUTACIÓ BARCELONA. *Edificio del reloj.* [https://www.diba.cat/es/web/recintes/edifici-del-rellotge1, consultat el 16 d'agost de 2023]

[6] WIKIPEDIA. *Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.* [https://ca.wikipedia.org/wiki/Escola_T%C3%A8cnica_Superior_d%27Enginyeria_Industrial_de_Barcelona, consultat el 25 de març de 2023]

[7] ARQUITECTURA CATALANA. *Robert Terradas i Via.* [https://www.arquitecturacatalana.cat/es/autores/robert-terradas-i-via, consultat el 22 de maig de 2023]

[8] THE INSTITUTION OF STRUCTURAL ENGINEERS. [https://www.istructe.org/, consultat el 15 d'abril de 2023]

[9] THE INSTITUTION OF STRUCTURAL ENGINEERS. *How to calculate embodied carbon V2. United Kingdom: 2022*

[10] ARXIU HISTÒRIC DEL COAC. *Projecte d'escola tècnica superior d'enginyers industrials. Fotografies de la construcció de l'ETSEIB.* Arxiu històric del Col·legi Oficial d'Arquitectes de Catalunya

[11] ARXIU HISTÒRIC DEL COAC. *Projecte d'escola tècnica superior d'enginyers industrials. Memòria de càlculs.* Arxiu històric del Col·legi Oficial d'Arquitectes de Catalunya

[12] ALASDAIR'S ENGINEERING PAGES. *Span/depth ratios for reinforced concrete slab design to BS8110.* [https://anbeal.co.uk/rcspandepth.html, consultat el 19 d'agost de 2023]

[13] EUROCÓDIGO UNE 1990. *Vida útil de cálculo, p.24* [https://es.slideshare.net/ssusercf2628/eurocodigo-une-en-19902003bases-para-el-calculo-estructuras, consultat el 3 de setembre de 2023]

[14] RASTREATOR. *¿Cuánto se paga al mes por los suministros básicos?* [https://www.rastreator.com/tarifas-energia/guias/factura-mes-suministros-basicos, consultat el 7 de setembre de 2023]

[15] TMB. *Bitllets i tarifes*. [https://www.tmb.cat/ca/tarifes-metro-bus-barcelona, consultat el 7 de setembre de 2023

[16] GENCAT. CAMBIO CLIMÁTICO. *Factor de emisión de la energía eléctrica: el mix eléctrico.* [https://canviclimatic.gencat.cat/es/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/, consultat el 7 de setembre de 2023]

[17] MINISTERIO DE TRANSICIÓN ECOLÓGICA. *Factores de emisión.* [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factoresemision_tcm30-479095.pdf, consultat el 7 de setembre de 2023]