

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA CUBIERTA PARA LA PLAZA VON SIEMENS

Alumno/Alumna: López García, Sergio

Director/Directora: Macareno Ramos, Luis María

Curso: 2017-2018

Fecha: 19 de junio del 2018

Resumen

El principal objetivo de este trabajo es el estudio de las posibles cubiertas que se podrían diseñar para la plaza Von Siemens, ubicada en el interior del edificio de la Escuela de Ingeniería de Bilbao.

Se trata de un proyecto basado en el Código Técnico de Edificación (CTE) y llevado a cabo sobre dicho edificio, inaugurado en el año 1960. Para ello, se analizarán los diferentes materiales aptos para su construcción y se estudiarán las múltiples cargas que aparecerían en esta estructura.

Ayudado por la aplicación software de ingeniería CYPE y habiendo recopilado la suficiente información, se ha desarrollado el trabajo expuesto a continuación.

Laburpena

Lan honen helburu nagusia Von Siemens enparantzako diseinatu daitezkeen estalki posibleen ikerketa da, Bilboko Ingeniaritza Eskolaren barnealdean kokatuta.

Eraikuntza-Kode Teknikoan (EKT) oinarritzen den proiektu bat da eta 1960an zabaldu zen aipatutako eraikinaren gainean eraman da Aurrera. Horri ekiteko, eraikuntzarako beharrezkoak diren materialak eta egitura horretan ager litezkeen karga ezberdinak aztertuko dira.

Ingenieritzak "Cype Software"-az lagunduta eta beharrezko informazioa bilduta, jarraian aurkeztutako lana garatu dut

Abstract

The main objective of this work is the study of possible roofs which could be designed in the Von Siemens square, located in the interior of the building of the Faculty of Engineering in Bilbao.

It is a project based on the Technical Code for Buildings (TCB) and carried out on the mentioned building, inaugurated in 1960. For this, different possible materials will be analyzed and the multiple loads which would appear in this structure will be studied.

Aided by CYPE engineering software application and having collected sufficient information, the work exhibited below has been developed.

PALABRAS CLAVE: Cercha, carga, cubierta, acero, vidrio, correa, cubierta ligera.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
LABURPENA.....	1
ABSTRACT	1
1. LISTA DE FIGURAS/TABLAS/ACRÓNIMOS.....	5
2. INTRODUCCIÓN	8
3. OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	8
4. CONTEXTO Y UBICACIÓN DEL PROYECTO	8
5. BENEFICIOS APORTADOS POR EL PROYECTO	11
6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	12
6.1 POSIBLES MATERIALES CONSTRUCTIVOS.....	12
6.1.1 Acero.....	12
.....	13
6.1.2 Aluminio.....	13
6.1.3 Madera	13
.....	14
6.1.4 Vidrio.....	14
6.1.5 Policarbonato	14
6.2 DISEÑOS ESTRUCTURALES POSIBLES.....	15
6.2.1 Entramado de vigas	15
6.2.2 Estructura compuesta de cerchas planas o espaciales.....	16
6.2.3 Estructura compuesta de cables	17
7. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.....	19
7.1 MODELO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA SELECCIONADA	20
7.1.1 Cerchas principales.....	21
7.1.2 Cerchas transversales	22
.....	23
7.1.3 Correas.....	23
7.1.4 Cerramiento	24
7.1.5 Otros elementos	24
7.2 UNIONES.....	24
7.2.1 Unión articulada Cercha-Durmiente	24
7.2.2 Unión deslizante Cercha- Durmiente.....	25
7.3 MATERIALES ELEGIDOS	25
7.4 ESTUDIO DE LAS ACCIONES	26
7.4.1 Peso propio (PP)	26
7.4.2 Carga muerta (CM).....	26
7.4.3 sobrecarga de uso (SC).....	27
7.4.4 Viento (Q _e).....	27
7.3.5 Nieve (N).....	28

7.3.6 Acciones térmicas (T)	28
7.5. RESULTADOS	29
.....	29
7.5.1 Hipótesis A: Peso de la estructura	30
7.5.2 Hipótesis B: Máxima succión en los apoyos	30
7.5.3 Hipótesis C: Máxima presión en los apoyos	31
7.5.4 Hipótesis D: Mayor flecha a succión	31
7.5.5 Hipótesis E: Mayor flecha a presión	32
7.5.6 Hipótesis F: Máxima dilatación	33
7.5.7 Hipótesis G: Máxima contracción	33
7.5.8 Hipótesis H: Desigualdad de reacciones en los apoyos	34
7.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS	35
7.6.1 Comprobación de aguante de la estructura universitaria bajo carga máxima transmitida	35
7.6.2 Reparto del peso total de la cubierta	37
7.6.3 Flecha máxima	38
8. METODOLOGÍA	38
8.1 CÁLCULO DE LAS ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN	38
8.1.1 Peso propio y carga muerta	38
8.1.2 Sobrecarga de uso	40
.....	40
8.1.3 Viento	40
8.1.4 Nieve	44
8.1.5 Acciones térmicas	44
8.1.6 Combinación de las acciones	45
8.2 MÉTODO DE CÁLCULO DE LAS CERCHAS, CORREAS Y DEL CERRAMIENTO	46
8.2.1 Cálculo de cerchas	46
8.2.2 Cálculo de las correas	47
8.2.3 Cálculo del espesor del cerramiento	50
8.4 MEDIOS UTILIZADOS	52
8.4.1 CYPE	52
9. DESCRIPCIÓN DE TAREAS. GANTT	57
10. PRESUPUESTO/DESCARGO DE GASTOS	61
11. CONCLUSIONES	63
12. FUENTES DE INFORMACIÓN	64
13. ANEXO I: NORMATIVA APLICABLE	66
14. ANEXO II: PLANOS	68
14.1 PLANOS DE PLANTA DE LA CUBIERTA	68
14.2 CERCHA PRINCIPAL	70
.....	73
14.3 CERCHA TRANSVERSAL	74
.....	74

*Diseño y cálculo de una cubierta
para la plaza Von Siemens*

1. Lista de Figuras/Tablas/Acrónimos

FIGURAS

Figura 1 .Plano de la escuela de Ingeniería de Bilbao [11].	9
Figura 2 .Maqueta digital de la Escuela de Ingenieros de Bilbao.	9
Figura 3. Área plaza Von Siemens [12]	10
Figura 4. Dimensiones de la plaza Von Siemens y distancia entre pilares de la fachada en metros.	10
Figura 5 .Histórico de precipitación total anual en Bilbao. [13].	11
Figura 6 .Cubierta de patio de CEIP en madera.	14
Figura 7 .Viga bajo carga puntual.	15
Figura 8 .Distribución tensional en la sección una viga.	15
Figura 9 .Polideportivo cubierto del colegio Ntra. Sra. de Begoña de Bilbao.	16
Figura 10 .Ejemplo de celosía o cercha plana.	16
Figura 11. Tipos de cerchas.	17
Figura 12 .Construcción en celosía [14].	17
Figura 13 .Distribución de cargas de un cable y deformación del edificio al que está conectado.	18
Figura 14 .Ejemplo de una cubierta ligera tensada por cables y soportada perimetralmente por postes [14].	18
Figura 15. Estructura metálica de la solución final	19
Figura 16. Boceto a mano de la distribución de cerchas y correas que conforman la cubierta sobre la plaza Von Siemens.	20
Figura 17 .Cercha principal tipo Warren con montantes de 44 metros de largo.	21
Figura 18. Cercha principal de 44 metros de luz y detalle de sus uniones visto en 3D por CYPE.	22
Figura 19. Cercha transversal.	23
Figura 20. Cercha transversal y detalle de su unión visto en 3D en CYPE	23
Figura 21. Correa sustentada en tres apoyos bajo una carga lineal q	23
Figura 22. Ejemplo real de unión articulada [3].	24
Figura 23. Ejemplo de apoyo elastomérico.	25
Figura 24. Apoyo elastomérico [3].	25
Figura 25. Futura cubierta de vidrio laminado del Museo Vasco de Bilbao.	26
Figura 26. Esquema del vidrio laminado [9].	26
Figura 27. Disposición de las dos hipótesis de viento	27
Figura 28. Zonas de carga de viento en cubierta plana [1].	27
Figura 29. Zonas de carga de viento y cercha bajo estudio [1].	28
Figura 30. Distribución lineal de carga en una cercha en el caso Viento C.	28
Figura 31. Zonas de carga de viento y cerchas bajo estudio.	28
Figura 32. Distribución lineal de carga en una cercha en el caso Viento A.	28
Figura 33. Datos aportados en cada hipótesis	29

Figura 34. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis A.	30
Figura 35. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis B.	31
Figura 36. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis C	31
Figura 37. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis D.	32
Figura 38. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis E.	33
Figura 39. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis F.	33
Figura 40. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis G.	34
Figura 41. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis H.	34
Figura 42. Diagrama del pilar del edificio.....	35
Figura 43. Cargas transmitidas por la cubierta a los pilares de la fachada del edificio C en sus apoyos y cargas transmitidas al suelo.....	36
Figura 44. Cargas transmitidas por la cubierta a los pilares de la fachada del edificio A en sus apoyos.....	36
Figura 45. Valor básico de la velocidad del viento [1].....	41
Figura 46. Presiones ejercidas por el viento en construcciones diáfnas [1].....	42
Figura 47. Las direcciones de viento aplicadas con los huecos de la plaza redondeados. ...	43
Figura 48. Situación de la cubierta con el viento C.....	43
Figura 49. Situación de la cubierta con viento A.....	43
Figura 50. Isotermas de la temperatura anual máxima del aire (T_{max} en °C) [1].....	45
Figura 51. Cercha diseñada de 44 metros de luz.....	46
Figura 52. Cercha en estudio bajo cargas puntuales en el caso de viento A en la zona G....	47
Figura 53. Área tributaria de un nudo de la cercha.....	47
Figura 54. Diagrama de momentos flectores de una viga con 2 vanos.....	48
Figura 55. Distribución de cargas en la cubierta y sus respectivas áreas.....	48
Figura 56. Distancia entre correas.....	49
Figura 57. Cerramiento sobre correas.....	50
Figura 58. Panel de control en CYPE.....	52
Figura 59. Herramienta “Nudo”.....	53
Figura 60. Herramienta “Barra”.....	54
Figura 61. Herramienta “Carga”.....	55
Figura 62. Herramienta “Cálculo”.....	55
Figura 63. Opción “Reacciones”.....	56
Figura 64. Opción “Esfuerzos”.....	56
Figura 65. Duración de las tareas.....	59
Figura 66. Diagrama de Gantt.....	60
Figura 67. Descargo del presupuesto.....	62

TABLAS

Tabla 1: Características mecánicas mínimas de los aceros UNE EN 10025 [1].....	13
Tabla 2. Resumen de medición de la cercha principal de 44 metros de luz.....	21
Tabla 3. Resumen de medición de la cercha transversal de 6,4 metros de luz.....	22
Tabla 4. Datos en la hipótesis A.....	30
Tabla 5. Datos en la hipótesis B.....	30
Tabla 6. Datos en la hipótesis C.....	31
Tabla 7. Datos en la hipótesis D.....	32
Tabla 8. Datos en la hipótesis E.....	32
Tabla 9. Datos en la hipótesis F.....	33
Tabla 10. Datos en la hipótesis G.....	34
Tabla 11. Datos en la hipótesis H.....	34
Tabla 12. Porcentaje del peso total de cada elemento estructural.....	37
Tabla 13. Porcentaje del peso de cada elemento estructural teniendo en cuenta el cerramiento.....	37
Tabla 14. Pesos específicos aparentes de materiales de construcción [1].....	39
Tabla 15. Valores característicos de la sobrecarga de uso [1].....	40
Tabla 16. Valores del coeficiente de exposición [1].....	41
Tabla 17. Valores del coeficiente eólico en cubierta plana [1].....	42
Tabla 18. Valores del coeficiente de presión interior C_{pi} [1].....	42
Tabla 19. Acción del viento en función de la zona de la cubierta.....	44
Tabla 20. Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas [1].....	44
Tabla 21. Coeficientes parciales de seguridad (γ) [1].....	45
Tabla 22. Coeficientes de simultaneidad (Ψ) [1].....	46
Tabla 23. Perfil de la correa según el momento resistente.....	49
Tabla 24. Perfiles de correa tipo Z [10].....	50
Tabla 25. Descargo de gastos.....	61

ACRÓNIMOS

TFG: Trabajo de Fin de Grado

UPV/EHU: Universidad del País Vasco/ Euskal Herriko Unibertsitatea

CTE: Código Técnico de la Edificación

DB: Documento Básico

DB-SE-AE: Documento Básico de Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación

DB-SE-A: Documento Básico de Seguridad Estructural. Acero

2. Introducción

Este documento de nombre “*Diseño y cálculo de una cubierta para la plaza Von Siemens*” propone un diseño para cubrir la plaza Von Siemens de la Escuela de Ingenieros de Bilbao. Se trata de alcanzar una solución que sea compatible con el edificio de dicha escuela y al mismo tiempo satisfaga ciertas condiciones impuestas por el Código técnico de la edificación, en adelante, CTE.

3. Objetivo y alcance del proyecto

El objetivo de este proyecto es estudiar y diseñar una estructura que sirva como cubierta para la plaza Von Siemens de la facultad de ingeniería de Bilbao, así como decidir los materiales que serían utilizados en dicha construcción. Para ello, se propondrán diferentes alternativas estructurales de las cuales se elegirá una atendiendo a las características propias de la plaza y del edificio colindante, a las acciones sobre la estructura, a los materiales disponibles y al coste del proyecto.

Habiendo analizado el emplazamiento descrito anteriormente y aportado los beneficios de la posible construcción de una cubierta, se pasará a describir los principales requerimientos impuestos por el CTE en materia de seguridad estructural y acciones actuantes. Mediante CYPE se hará el cálculo estructural de las diferentes alternativas y de ahí de extraerá de información necesaria para dar con la solución final.

Dependiendo del comportamiento de las diferentes estructuras ideadas y su coste, se llevará a cabo la selección de la cubierta más beneficiosa, aportando sus respectivos resultados técnicos. Tras un análisis de estos resultados se argumentará si la cubierta elegida es válida o no.

4. Contexto y ubicación del proyecto

La actual Escuela de Ingeniería de Bilbao nace a comienzos del año 2016 como resultado de la fusión de 4 antiguas escuelas de la UPV/EHU:

- Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao (fundada en 1.897)
- Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao (fundada en 1.942)
- Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Minas y Obras Públicas (fundada en 1.913)
- Escuela Técnica Superior de Náutica y Máquinas Navales (fundada en 1.739)

Este trabajo se centrará en lo que antes era el edificio de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao. Dicho complejo se encuentra situado en la zona de San Mamés, junto al campo de fútbol, la sede de EiTB y la estación de autobuses (Termibús) y se compone de

7 edificios, descritos de la A a la G. Los edificios fueron construidos en distintas épocas según las necesidades de la escuela. Los primeros en ser inaugurados fueron los actuales A, D y C en el año 1960. Posteriormente y de forma cronológica, se añadieron el Aula Magna, el edificio G y en 2006, el edificio B y F. Hoy en día, esta escuela se encuentra en uso por unos 5000 estudiantes y alrededor de 700 docentes.

Pues bien, la cubierta en cuestión se ubicaría sobre la ya mencionada plaza Von Siemens. Se trata de una plaza interior delimitada por los siguientes edificios (Figura 1):

- Edificio A situado frente a la explanada del estadio de San Mamés, Avenida Urquijo
- Edificio G situado en la calle Luis Briñas
- Edificio C situado en la calle Juan Antonio Zunzunegui.

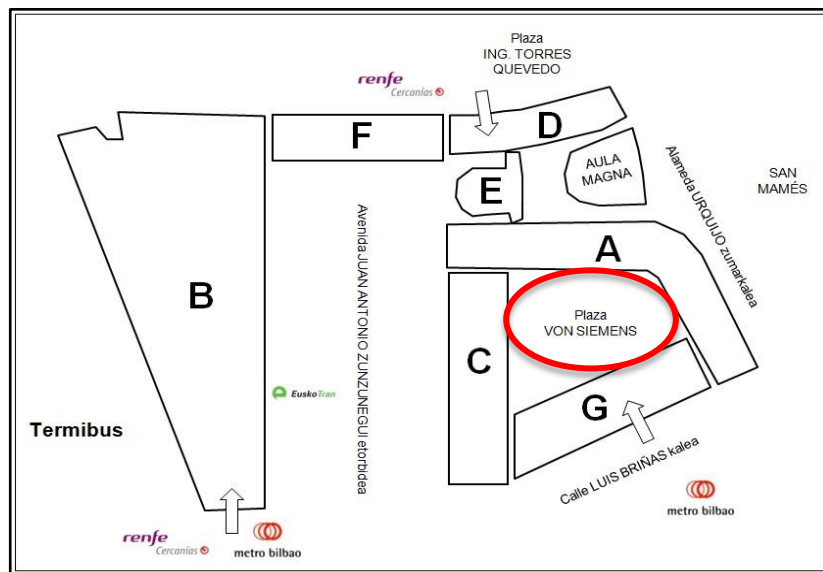


Figura 1 .Plano de la escuela de Ingeniería de Bilbao [11].



Figura 2 .Maqueta digital de la Escuela de Ingenieros de Bilbao.

El área analizada (plaza Von Siemens) posee aproximadamente 1200 m² y se caracteriza por ser un polígono irregular de cuatro lados, tal y como se muestra en la figura 3.

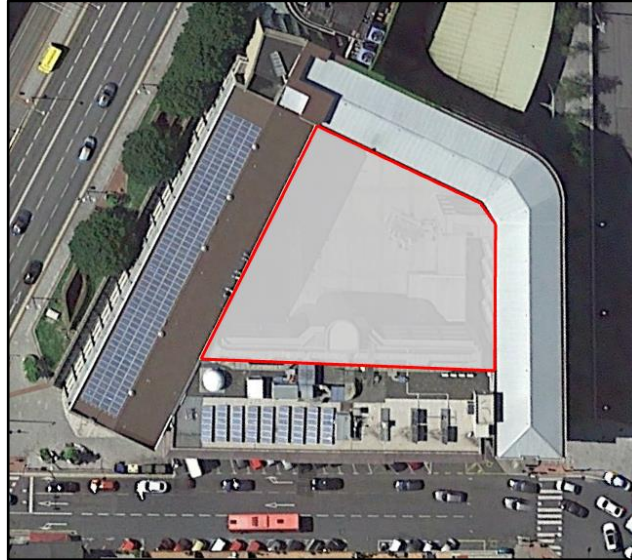


Figura 3. Área plaza Von Siemens [12]

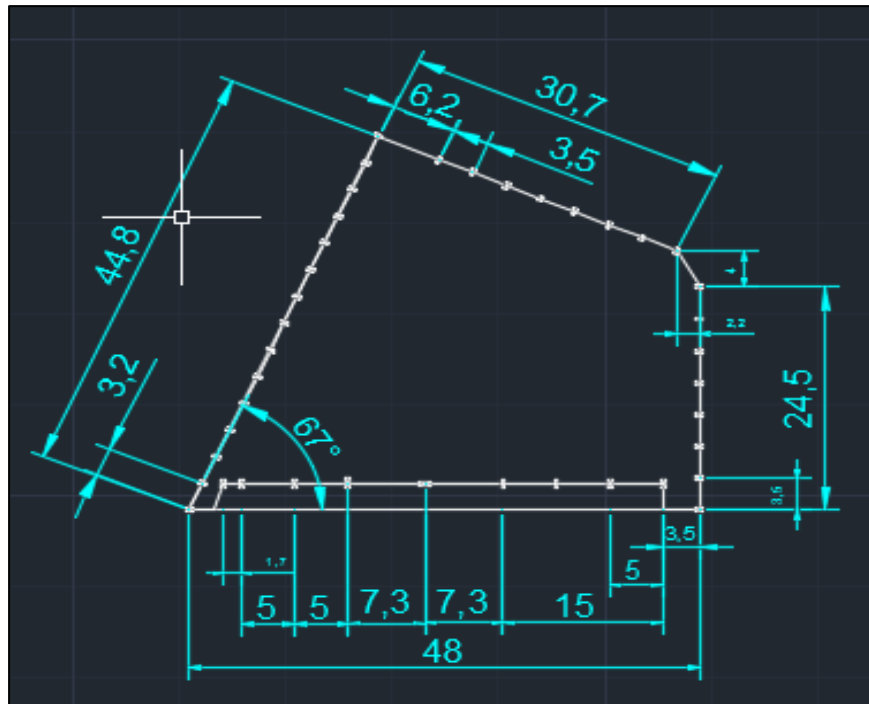


Figura 4. Dimensiones de la plaza Von Siemens y distancia entre pilares de la fachada en metros.

Como ya se ha expuesto, la escuela de ingeniería de Bilbao es un conglomerado de edificios datados de distintas épocas. En este caso, los edificios a analizar serían los edificios A, C y G los cuales fueron en su mayoría construidos de hormigón armado. En este contexto y

debido a la dificultad que entrañaría un estudio minucioso sobre el estado y aguante de las estructuras, se propondrán una serie de estructuras de cubierta lo más ligeras posibles y sin apoyos en la cota cero de la plaza, con el único propósito de perjudicar lo menos posible el buen comportamiento de las estructuras ya mencionadas. De dichos diseños se acabará eligiendo uno.

5. Beneficios aportados por el proyecto

Las diferentes ventajas que podría aportar la construcción de una cubierta en la plaza Von Siemens de Bilbao son varias.

La ubicación de esta trabajo, Bilbao, se caracteriza por ser una de las ciudades españolas con más precipitaciones totales anuales. Concretamente llueve una media anual de 1300 mm o l/m², con más de 130 días de precipitación al año. Por tanto, la puesta en marcha de este proyecto daría lugar a un espacio libre de precipitaciones.

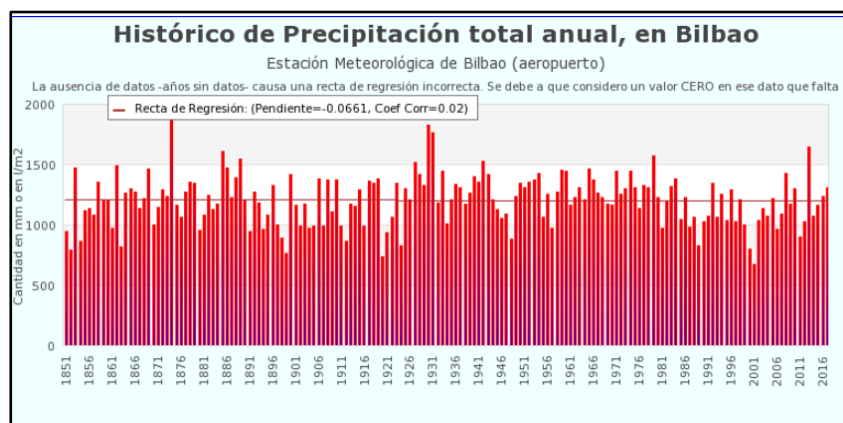


Figura 5. Histórico de precipitación total anual en Bilbao. [13]

Por consiguiente, una plaza Von Siemens cubierta podría servir como zona de relax y ubicación de numerosas exposiciones, presentaciones, certámenes o espectáculos, tanto académicos como lúdicos, sin importar la climatología dada.

Por otro lado, la realización de este trabajo también aporta una serie de beneficios a nivel académico-personal. Ciertamente, el estudio y la redacción de un TFG contribuye a mi mejora académica ya que me aporta conocimientos acerca de cómo se debe ejecutar y organizar un trabajo de este tipo. He podido aprender a utilizar CYPE y saber cómo se calculan las acciones sobre las edificaciones.

6. Análisis de alternativas

En este apartado se describen las diferentes alternativas que hay en cuanto a materiales constructivos y en cuanto a soluciones estructurales que se pueden elegir a la hora de proyectar una cubierta como la descrita anteriormente.

6.1 Posibles materiales constructivos

En cuanto a los materiales disponibles para la construcción de la estructura y recubrimiento de la cubierta, destacan los siguientes:

6.1.1 Acero

Se denomina acero a aquellos productos ferrosos con una cantidad de carbono comprendida entre 0,05 y 1,7%. Actualmente es un material muy arraigado y con gran presencia mundial en todo tipo de ámbitos y sectores industriales. El acero constructivo posee una serie de ventajas y desventajas que a continuación se explican:

Ventajas:

- Alta resistencia mecánica y reducido peso propio puesto que las secciones necesarias son muy reducidas. Es un buen recurso en aquellos casos en los que el peso propio sea parte importante de la carga total como por ejemplo en una nave industrial donde suele haber grandes luces.
- Fácil y rápido de montar y transportar.
- De fácil prefabricado. Los elementos se pueden fabricar en un taller y ser ensamblados posteriormente en obra.
- Precio asequible (entre 0,6 y 2.5 Euros/kg).

Desventajas:

- Sensibilidad a la corrosión.
- Sensibilidad frente al fuego. Las características propias del acero disminuyen a medida que aumenta la temperatura.
- Alta flexibilidad. En estructuras de acero hace falta limitar las deformaciones producidas.

Los aceros más comunes son S235, S275, S355 siendo el número el límite elástico en MPa. Del mismo modo los aceros representados en el CTE son los siguientes:

Tabla 1: Características mecánicas mínimas de los aceros UNE EN 10025 [1].

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura del ensayo Charpy °C
	Tensión de límite elástico f_y (N/mm ²)			Tensión de rotura f_u (N/mm ²)	
	t ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	3 ≤ t ≤ 100	
S235JR					20
S235J0	235	225	215	360	0
S235J2					-20
S275JR					20
S275J0	275	265	255	410	0
S275J2					-20
S355JR					20
S355J0	355	345	335	470	0
S355J2					-20
S355K2					-20 ⁽¹⁾
S450J0	450	430	410	550	0

⁽¹⁾ Se le exige una energía mínima de 40J.

6.1.2 Aluminio

Siendo uno de los metales más abundantes del mundo, el aluminio mezclado con otros metales da lugar a aleaciones de gran utilidad. Se trata de un material con las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Ligero
- Alta resistencia
- Resistente a la corrosión
- Gran durabilidad
- 100% reciclable.

Desventajas:

- Caro. Se trata de un material más caro que el acero.
- Requiere procesos especiales para ser soldado. La soldadura en aluminio puede no ser muy resistente.
- Muy maleable. En el caso de construcciones, el uso del aluminio deriva en grandes deformaciones, más incluso que el acero.

6.1.3 Madera

Actualmente la madera está volviendo a ser un material a tener en cuenta en la construcción. En muchos casos la madera sustituye al acero en estructuras de grandes luces debido a las siguientes propiedades que la constituyen:

Ventajas:

- Barato de fabricar, transportar e instalar en obra
- Ligera. Posee una buena relación resistencia/ peso y por tanto, permite salvar grandes luces.
- Comportamiento predecible ante el fuego. La pérdida de sección es constante y la capa carbonizada actúa como aislante natural.

Desventajas:

- Sensible al medio externo. Aumenta o disminuye fácilmente de sección con variaciones en la humedad.
- Vulnerable a agentes externos. Su durabilidad puede no ser tan alta como el acero o el aluminio.
- Combustible.



Figura 6 .Cubierta de patio de CEIP en madera

6.1.4 Vidrio

El vidrio es un material amorfo y compuesto de silicatos de calcio, sodio o plomo, altamente utilizado en multitud de instalaciones y edificios. No se trata de un producto utilizado estructuralmente sino para encerramientos pues es totalmente transparente y permite aprovechar la luz natural. En la mayoría de ocasiones el vidrio se utiliza como fachada o para cerrar cubiertas.

Ventajas:

- Transparente
- No se oxida
- Resistente a la climatología. Soporta fuertes vientos, lluvia y nieve sin cambiar de forma.
- Posee baja dilatación térmica. Estable ante cambios drásticos de temperaturas.

Desventajas:

- Muy pesado
- Coste relativamente alto. Los costes de producción son caros.
- Muy rígido y frágil. Se trata de un material que apenas se deforma ante cargas y posee una rotura repentina.
- Absorbe el calor y actúa como invernadero. No es buen material en climas cálidos.

6.1.5 Policarbonato

Se trata de un producto cada vez más utilizado en la construcción sobre todo de lucernarios, cubiertas y ventanas ligeras. Por tanto, se trataría de un material comparable al vidrio en cuanto a cerramientos se refiere.

Ventajas:

- Muy Ligero
- Flexible
- Barato
- Transparente
- Resistente

Desventajas:

- Resistencia baja a productos químicos
- Quebradizo, susceptible a fisuras por esfuerzos
- Alto grado de expansión térmica.

6.2 Diseños estructurales posibles

En este apartado se pretende exponer una serie de posibles soluciones estructurales para la construcción de la cubierta en cuestión. Habrá que tener en cuenta que dicha cubierta deberá salvar una luz de 44 metros y puesto que los edificios colindantes no fueron calculados para soportar otro tipo de estructuras, ésta ha de ser lo más ligera posible. A continuación se detallan varias propuestas.

6.2.1 Entramado de vigas

Las vigas son elementos estructurales que trabajan fundamentalmente a flexión, compuesto por tensiones a tracción y compresión. Estos elementos tienen una dimensión dominante (longitud o luz) frente a las demás (ancho y canto). Las tensiones se dan en la parte inferior o superior de la sección.

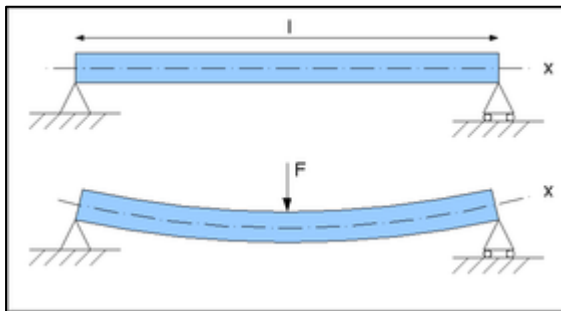


Figura 7 .Viga bajo carga puntual.

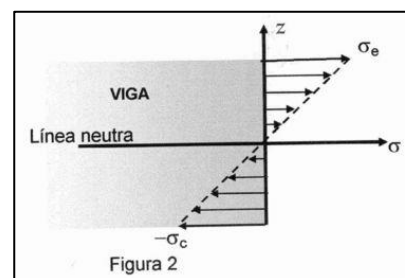


Figura 8 .Distribución tensional en la sección una viga.

Dependiendo del material usado y de las secciones de la viga, ésta podrá salvar diferentes luces. El acero, el hormigón armado y la madera suelen ser materiales muy utilizados en el diseño de vigas. Sin embargo, en este caso dichas vigas tendrían que poseer una longitud aproximada de 40 metros lo cual requeriría de grandes secciones y por tanto, mayor inercia para poder soportar todas las cargas y evitar la rotura de la pieza. Mayores

secciones de viga implican un incremento sustancial del peso de la estructura resultante y por ende, una mayor carga que el edificio universitario tendría que soportar.



Figura 9 .Polideportivo cubierto del colegio Ntra. Sra. de Begoña de Bilbao

6.2.2 Estructura compuesta de cerchas planas o espaciales

Las cerchas son estructuras en estado simultáneo de esfuerzos de tracción y compresión. Dichas estructuras están compuestas de multitud de barras rectas conectadas entre sí y que pueden ser de diferentes tipos de perfiles (desde tubulares a perfiles en doble T). Las cargas externas que actúan sobre la cercha se transmiten a los nudos y éstos a su vez las transfieren a las barras en forma únicamente de compresión o tracción y finalmente, llegan a los soportes.

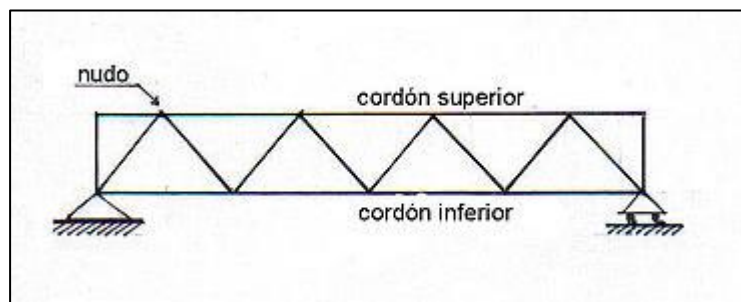


Figura 10 .Ejemplo de celosía o cercha plana.

Sin embargo, la compresión trae consigo el riesgo de pandeo de las barras y por tanto una rotura súbita de la estructura. A pesar de ello, se trata de una solución ligera, económica y resistente para poder salvar grandes luces. Dependiendo de los materiales constructivos y el tipo de cercha, estas estructuras pueden llegar a soportar un rango de luces de hasta 100 metros.

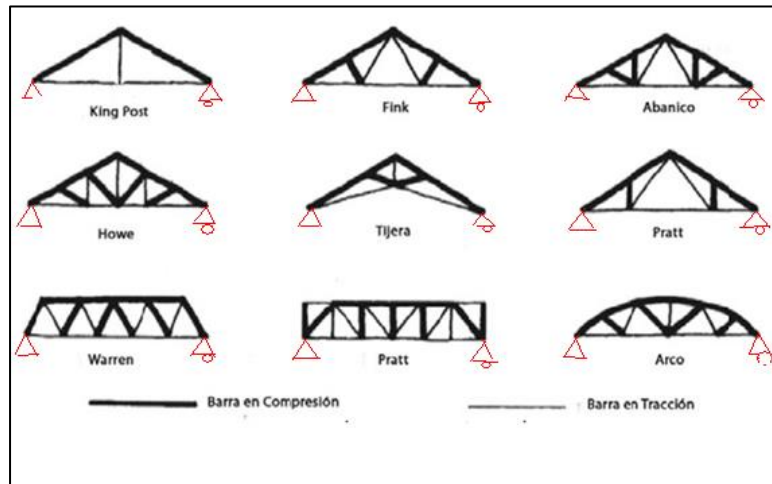


Figura 11. Tipos de cerchas.



Figura 12. Construcción en celosía [14].

Del mismo modo, las cerchas se dividen en dos tipos: planas y espaciales. Las cerchas espaciales suelen ser útiles para cubrir grandes luces y a la vez, evitar el pandeo lateral que pueda surgir en el conjunto de la estructura. Se trata de un producto normalmente prefabricado y económico.

6.2.3 Estructura compuesta de cables

Los cables o varillas son elementos que trabajan a tracción y poseen una alta flexibilidad debido a su reducida sección transversal. Por otro lado, un cable no constituye una pieza autoportante a menos que cuente con una estructura secundaria que aguante su empuje.

Aunque un entramado de cables tensados posee gran ligereza y resistencia, necesitarían de medios que absorbiesen los esfuerzos y los transmitieran al edificio principal. Estos esfuerzos transmitidos al edificio universitario podrían ser tanto de flexión como de compresión o tracción y por consiguiente, podrían dar lugar a un escenario en el cual dicho edificio estuviese muy solicitado.

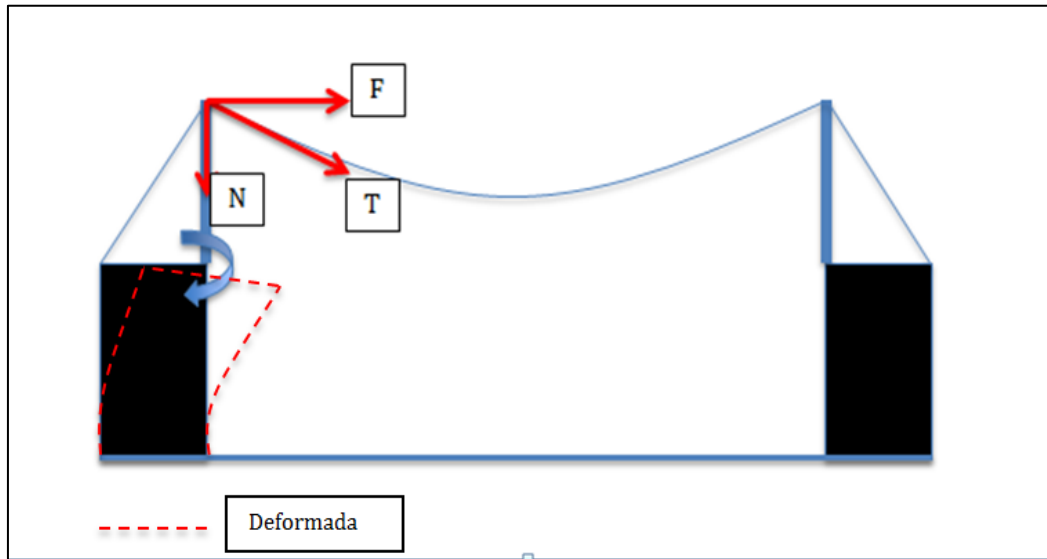


Figura 13 .Distribución de cargas de un cable y deformación del edificio al que está conectado.



Figura 14 .Ejemplo de una cubierta ligera tensada por cables y soportada perimetralmente por postes [14].

7. Descripción de la solución propuesta

A continuación se expone la solución adoptada para la construcción de la cubierta. Se describirá su diseño estructural y los materiales elegidos así como, las diferentes acciones preponderantes en el cálculo de dicha cubierta. Se finalizará con la presentación de los resultados y su consiguiente análisis.

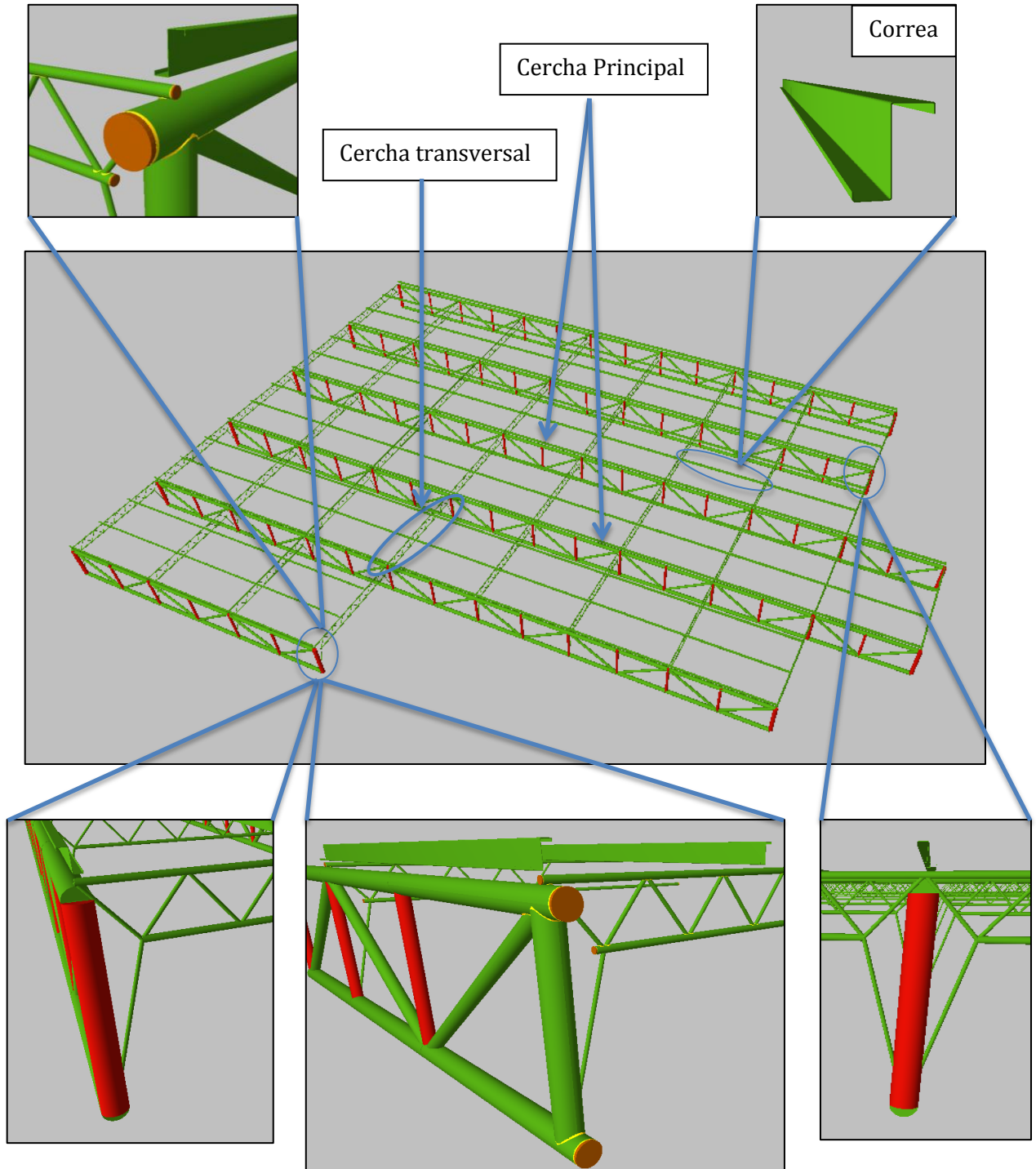


Figura 15. Estructura metálica de la solución final

7.1 Modelo estructural de la cubierta seleccionada

La cubierta seleccionada estaría compuesta por cerchas planas tipo Warren. La solución adoptada se compondría de una serie de cerchas, denominadas “principales”, las cuales se apoyarían sobre un durmiente dispuesto en la estructura de la escuela, y otro tipo de cerchas, denominadas “transversales”, las cuales se apoyarían sobre las anteriores. Además, y con el propósito de sustentar el cerramiento de la cubierta, se añadirían las correas. Lo descrito anteriormente queda ilustrado en la figura 16.

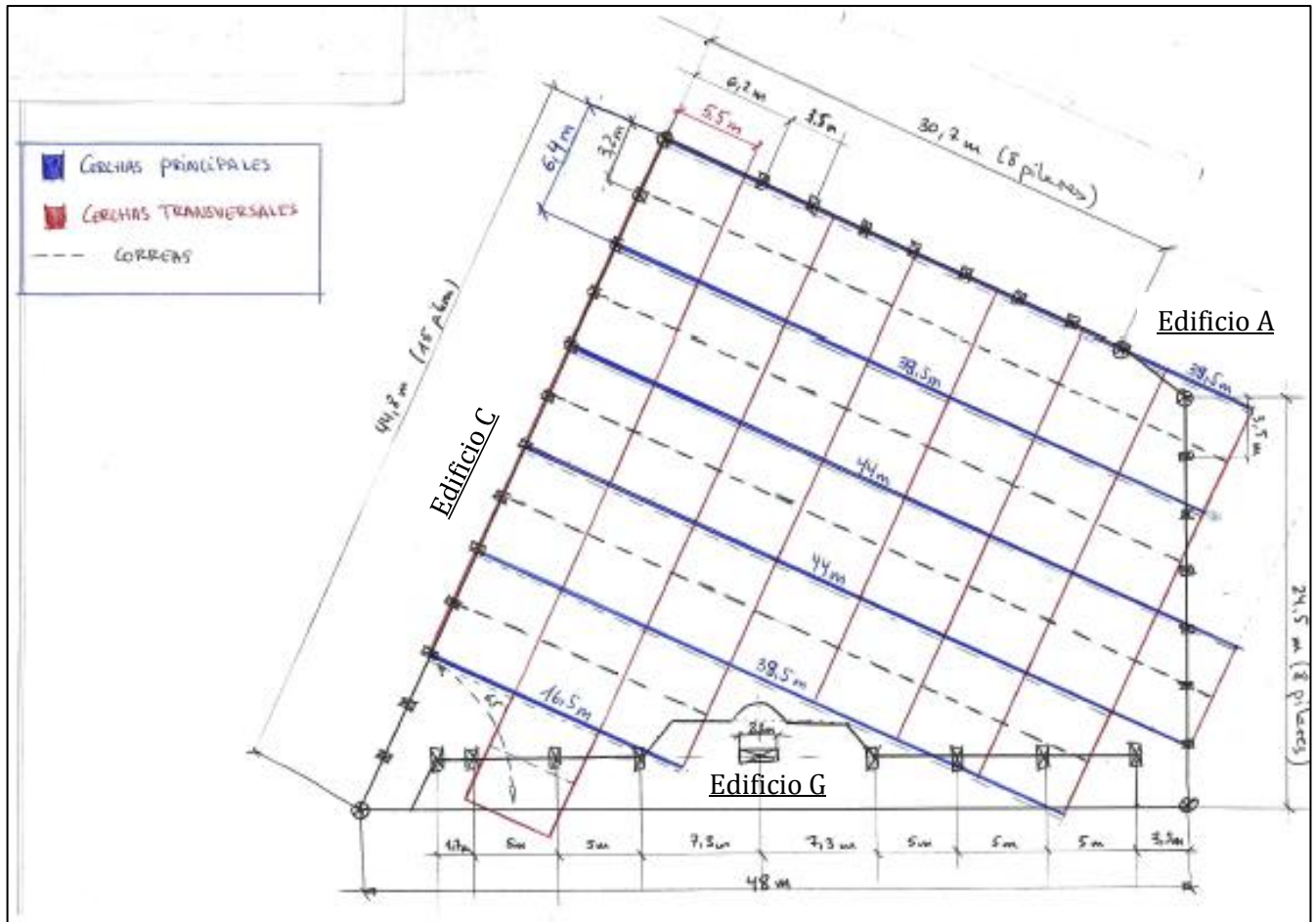


Figura 16. Boceto a mano de la distribución de cerchas y correas que conforman la cubierta sobre la plaza Von Siemens.

Se ha elegido una cubierta de cerchas porque éstas son ligeras, económicas y a la vez, permiten salvar grandes luces (en este caso una luz máxima de 44 metros).

La forma de la plaza Von Siemens es otra de las cuestiones a tener en cuenta ya que su irregularidad hace difícil la puesta en marcha de un diseño homogéneo y barato, de cerchas con una misma longitud dispuestas en paralelo (disposición típica de naves industriales). No obstante, la cubierta diseñada se basa en esa misma disposición pero con celosías de distintas longitudes y diseño tipo Warren. Se trata pues de una solución sencilla de fabricar, poco costosa, fácil de trasladar y montar en obra y ligera.

7.1.1 Cerchas principales

Tal y como se ha podido ver en la figura 16, hay un total de 6 cerchas principales dispuestas paralelamente cada 6,4 metros, de forma perpendicular a la fachada del edificio C y de distintas longitudes:

- 2 cerchas principales de 44 metros
- 3 cerchas principales de 38,5 metros
- 1 cercha principal de 16,5 metros.

Se tratan de cerchas de 1,8 metros de canto, simplemente apoyadas en sus extremos (sin transmisión de momentos), conformadas por perfiles de sección tubular tal y como se muestra en las figuras 15 y 17, y con una masa de 202,31 Kg por metro lineal (8901,52 Kg / 44 metros), como muestra la Tabla 2. En este caso, la elección de un perfil tubular CHS es debido a su gran resistencia en relación a su peso.

El perfil tubular es un tipo de sección de alta resistencia y peso ligero que permite construir conjuntos espaciales con uniones bastante simples asegurando la convergencia en el centro del nudo de los ejes de todas las barras.

Los perfiles huecos poseen misma inercia respecto a todos los ejes y además, a igualdad de sección, tienen mayor radio de giro mínimo, lo cual resulta muy favorable en piezas comprimidas. A pesar de su menor resistencia a flexión y mayor coste que los perfiles convencionales (IPE, IPN...), los perfiles huecos resultan una buena solución en el diseño de una cercha para una cubierta ligera como la representada en la figura 15.

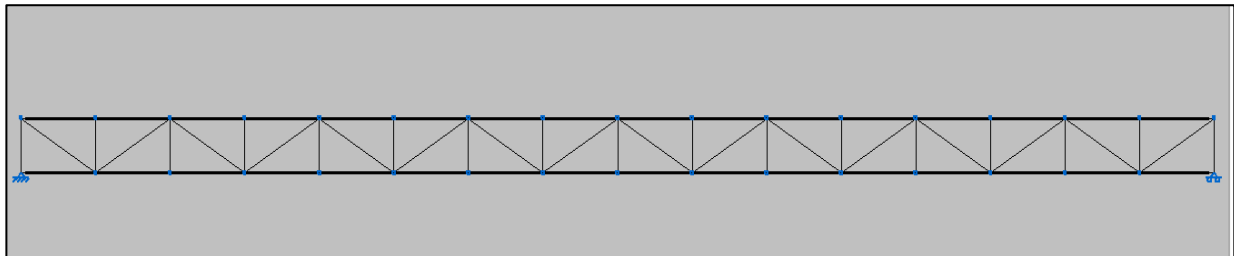


Figura 17 .Cercha principal tipo Warren con montantes de 44 metros de largo.

Tabla 2. Resumen de medición de la cercha principal de 44 metros de luz.

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	Tubo circular	219.1 x 15.9	88.000			0.893			7011.70		
			219.1 x 7.9	3.600			0.019			148.13		
			141.3 x 7.1	52.587			0.157			1235.70		
			141.3 x 5.6	27.000			0.064			506.00		
					171.187			1.134			8901.52	
								1.134			8901.52	

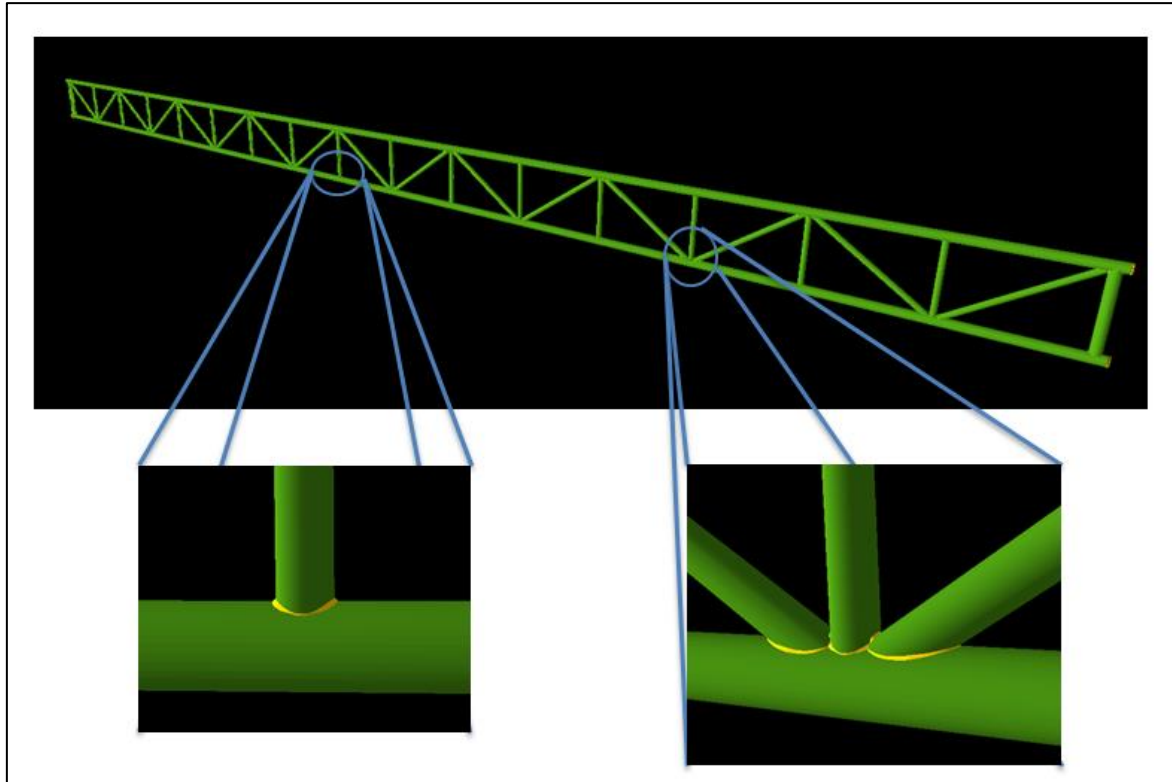


Figura 18. Cercha principal de 44 metros de luz y detalle de sus uniones visto en 3D por CYPE.

7.1.2 Cerchas transversales

Las cerchas transversales de esta cubierta tendrían una longitud de 6,4 metros y un canto de 0,5 metros. Son un total de 39 cerchas transversales a fabricar, todas de tipo Warren sin montantes y conformadas por perfiles tubulares CHS. Tal y como se muestra en la Tabla 3, una cercha transversal pesaría 109,49 Kg, es decir, 17,11 Kg el metro lineal.

Tabla 3. Resumen de medición de la cercha transversal de 6,4 metros de luz

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m ³)	Serie (m ³)	Material (m ³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	Tubo circular	60.30 x 4.8	6.400			0.005			42.05		
			33.4 x 4.6	10.245			0.004			33.47		
			60.30 x 4.4	5.600			0.004			33.97		
					22.245			0.014		109.49		
						22.245		0.014			109.49	

Dichas cerchas transversales son las encargadas de absorber las cargas debidas a las acciones, tanto permanentes como variables, sobre la cubierta y transferirlas a su vez a las cerchas principales. Se tratan de celosías simplemente apoyadas cada 5.5 metros sobre las cerchas mencionadas anteriormente y sirven de apoyo a las correas.

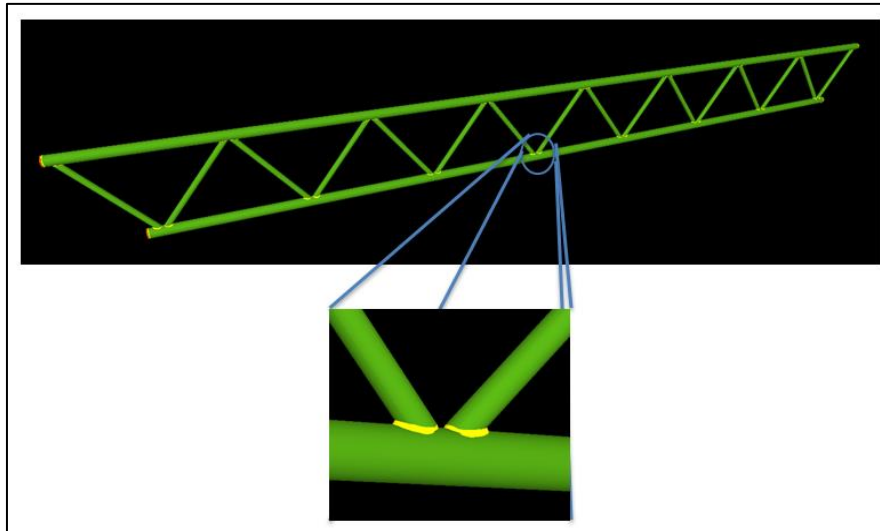


Figura 19. Cercha transversal.

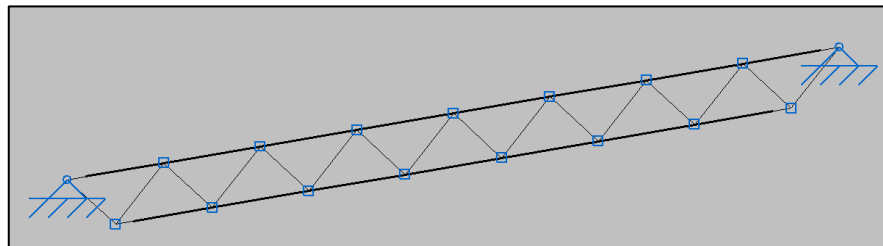


Figura 20. Cercha transversal y detalle de su unión visto en 3D en CYPE

7.1.3 Correas

Las correas son elementos estructurales a flexión que soportan el cerramiento de la cubierta. Normalmente suelen ser perfiles tipo I o de chapa plegada. En este caso son correas de chapa plegada tipo Z de 11 metros de longitud apoyados sobre las cerchas transversales perpendicularmente cada 3,2 metros. La elección de las correas se ha basado en dos parámetros: la carga sobre la correa y la distancia entre apoyos. En este caso la distancia entre apoyos es de 5,5 metros y la carga total por unidad de longitud actuante en la hipótesis más desfavorable es de 8 kN/m.

Se utilizarán un total de 37 correas tipo Z de 200 mm de canto y 3 mm de espesor con un peso de 8,82 Kg/metro.

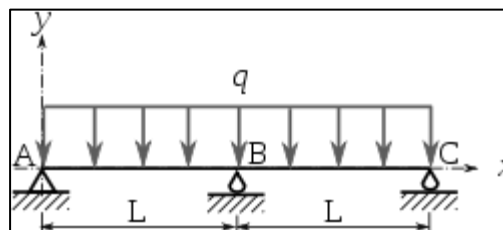


Figura 21. Correa sustentada en tres apoyos bajo una carga lineal q.

7.1.4 Cerramiento

El cerramiento de la cubierta estará compuesto por planchas de vidrio laminado, apoyadas sobre las correas, de 3,2 metros de largo por 2,75 metros de ancho y un espesor de 25 mm. Más adelante se detalla el porqué de la elección de vidrio laminado como material de cerramiento.

7.1.5 Otros elementos

En este apartado cabe destacar dos elementos:

Por un lado, la barra diagonal que une los cordones inferiores de las celosías principales y transversales (Figura 15). Este elemento tiene como objetivo evitar el pandeo lateral del cordón inferior de la cercha principal cuando sobre ésta actúen esfuerzos de compresión debido a la succión de la cubierta. El perfil a utilizar en este elemento es de tipo tubular CHS de 60,3 mm de diámetro y 4,8 mm de espesor.

Y por otro lado el durmiente. Su único objetivo es el reparto de las cargas transmitidas por las distintas celosías entre los múltiples pilares de la fachada de los edificios A y C. De esta manera se consigue que una porción pequeña de la carga transmitida se reparta entre los pilares contiguos al pilar donde la cercha se apoya. Se instalarán 2 perfiles HE 400 B en cajón soldado de 16 metros cada uno en los pilares de la fachada interior del edificio C y un solo perfil HE 240 B en doble cajón soldado de 24,5 metros sobre los pilares de la fachada del edificio A, de tal manera que haya una inclinación del 0,4 %.

7.2 Uniones

Mediante este capítulo se pretende definir los tipos de uniones que se utilizarán en esta cubierta a modo cualitativo, sin cálculos.

7.2.1 Unión articulada Cercha-Durmiente

Esta unión estará compuesta por una pieza de acero moldeado que permita libertad de giro. Aunque se trata de una resolución costosa, las grandes cargas que se transmiten por la celosía al durmiente, hacen necesario la instalación de este tipo de unión.

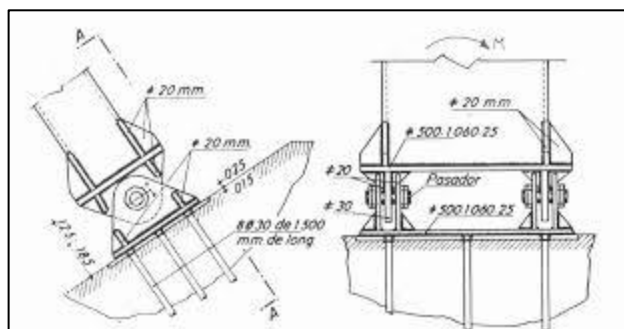


Figura 22. Ejemplo real de unión articulada [3].

7.2.2 Unión deslizante Cercha- Durmiente

En este caso, la unión será un simple apoyo elastomérico constituido por placas de goma. Dicho apoyo está compuesto de láminas de acero adheridas a la goma. Debido a la elasticidad de la ésta, se permite el desplazamiento horizontal de la cercha respecto al durmiente con amplias ventajas técnicas y económicas respecto a las sustentaciones tradicionales como puede ser el apoyo de rodillos.



Figura 23. Ejemplo de apoyo elastomérico.

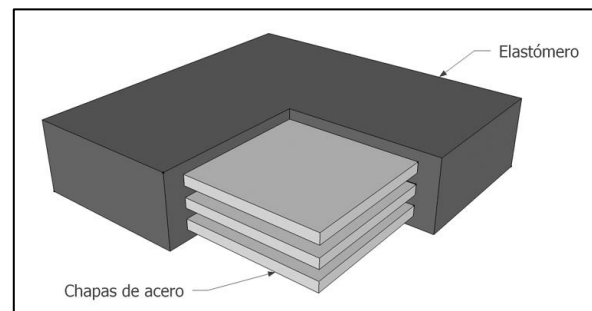


Figura 24. Apoyo elastomérico [3].

7.3 Materiales elegidos

Los principales materiales constructivos de este proyecto son el acero y el vidrio.

La estructura de la cubierta, es decir, el conjunto de cerchas principales, transversales y correas estará conformado por acero laminado S275JR. La elección de este material se basa principalmente en los siguientes puntos:

- Se trata de un material constructivo altamente resistente y flexible.
- Relativamente económico (en torno a 1,8 Euros/Kg).
- Material fácil de soldar en las múltiples uniones presentes en las cerchas.
- De fácil prefabricado. Las cerchas pueden fabricarse en un taller y posteriormente, ser colocadas en obra.

En cuanto al cerramiento de la cubierta, ésta estará compuesta de placas de vidrio laminado como ya se ha propuesto anteriormente en el apartado 6.1.4. El vidrio laminado está formado por 2 o más capas de float unidas entre sí por la interpolación de una o varias láminas de Poly Vinil Butiral (PVB). De este modo las propiedades del vidrio se unen a las propiedades del PVB (elasticidad, adherencia al vidrio, resistencia al impacto). Por ende, ante un impacto sobre el vidrio laminado, la película de PVB absorberá la energía del choque al mismo tiempo que mantiene su adherencia al vidrio. Así los trozos de vidrio no se desprenden y el conjunto se mantiene en el marco.

Por tanto, haber optado por este producto se basa en las siguientes razones:

- Por seguridad. Ante un impacto, este tipo de vidrio se rompe en trozos pequeños y no se desprende.
- Se trata de un material más resistente al impacto y a la flexión que un vidrio convencional.
- Material transparente, de baja dilatación térmica y de fácil mantenimiento.
- Se trata de un tipo de un material relativamente pesado. En este caso, se trata de una carga pesada ventajosa ya que, ésta operaría del lado de la seguridad contrarrestando la posible succión de la cubierta.

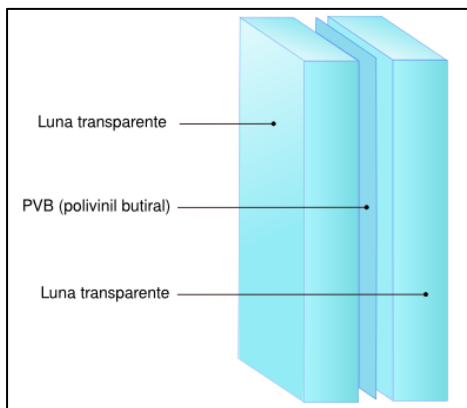


Figura 26. Esquema del vidrio laminado [9].

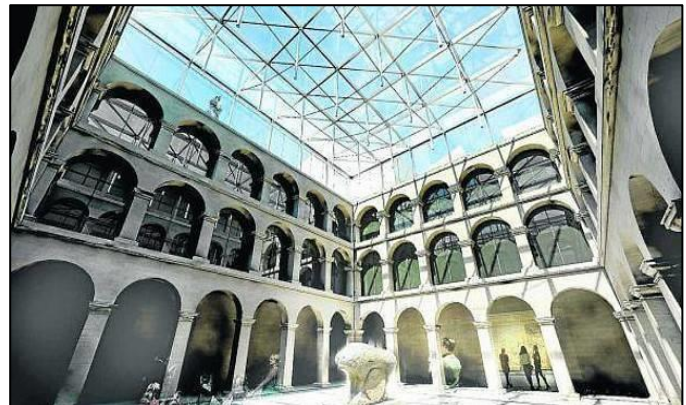


Figura 25. Futura cubierta de vidrio laminado del Museo Vasco de Bilbao.

7.4 Estudio de las acciones

A continuación se describen las diferentes acciones sobre la cubierta y sus valores. El cálculo de éstas se expone en el capítulo 8.

7.4.1 Peso propio (PP)

Se trata de una carga permanente sobre la cubierta. En el caso de la cubierta propuesta, el peso específico aparente del acero dado por el CTE es de 78 kN/m^3 . La estructura de celosías (Principales y transversales) pesa un total de 48,78 toneladas y el conjunto de las correas aporta otras 3,62 toneladas, siendo el peso propio de la estructura de la cubierta un total de 52,4 toneladas.

7.4.2 Carga muerta (CM)

La carga muerta (acción permanente) de esta cubierta se compone únicamente del cerramiento de vidrio posado sobre la estructura de cerchas y correas. En esta cubierta, el vidrio laminado posee un peso por unidad de superficie de 50 kg/m^2 distribuido a lo largo de una superficie total de 1160 m^2 .

7.4.3 sobrecarga de uso (SC)

La sobrecarga de uso, de tipo variable, en el caso de una cubierta con una categoría de uso G1 es de una carga uniforme de $0,4 \text{ kN/m}^2$. Sin embargo, en este tipo de cubiertas el CTE detalla que la sobrecarga de uso no es concomitante con el resto de acciones variables y por tanto, no haría falta considerarla actuante con otras cargas variables como la nieve o el viento.

7.4.4 Viento (Q_e)

La acción del viento es de tipo variable con gran influencia en el diseño y cálculo de la cubierta. Este tipo de acción actúa de diferente forma dependiendo de la zona de la cubierta (F, G, H, I) tal y como se puede ver en la figura 28. Con el propósito de diseñar una cercha lo más garantista posible, se adoptan dos hipótesis de dirección del viento: una hipótesis con el viento entrando por el edificio C y otra con el viento entrando por el edificio A (figura 27).

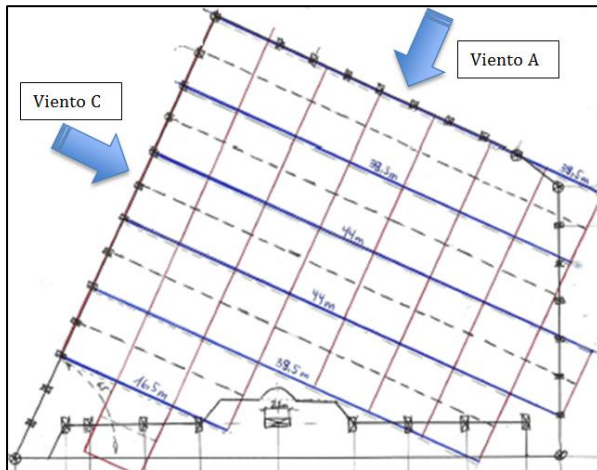


Figura 27. Disposición de las dos hipótesis de viento

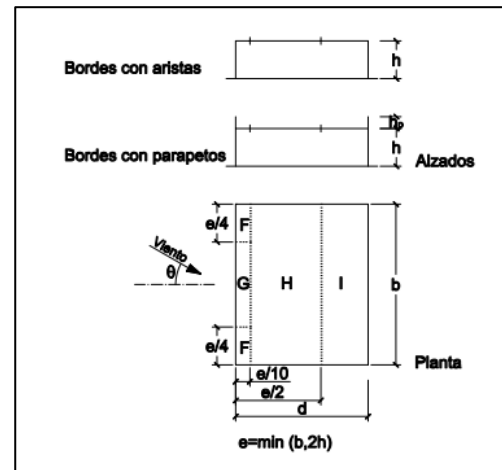


Figura 28. Zonas de carga de viento en cubierta plana [1].

Las cargas de viento por unidad de superficie en la hipótesis de viento por el edificio C y dependiendo de si la zona I se encuentra a succión o a presión son:

- $Q_{ec}(G, I \text{ a succión}) = -2,03 \text{ kN/m}^2$
- $Q_{ec}(H, I \text{ a succión}) = -1,44 \text{ kN/m}^2$
- $Q_{ec}(I \text{ succión}) = -0,84 \text{ kN/m}^2$
- $Q_{ec}(G, I \text{ a presión}) = -1,32 \text{ kN/m}^2$
- $Q_{ec}(H, I \text{ a presión}) = -0,72 \text{ kN/m}^2$
- $Q_{ec}(I \text{ presión}) = 0,36 \text{ kN/m}^2$

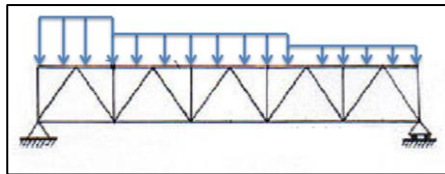


Figura 30. Distribución lineal de carga en una cercha en el caso Viento C.

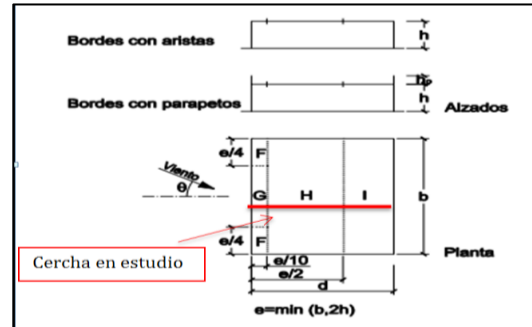


Figura 29. Zonas de carga de viento y cercha bajo estudio [1].

Las cargas de viento por unidad de superficie en la hipótesis de viento por el edificio A y dependiendo de si la cercha en cuestión se encuentra en la zona G, H o I y si la zona I está a succión o presión (dicha zona determina el coeficiente de presión interior a considerar), son:

- $Q_{ea}(G, I \text{ a succión}) = -2,03 \text{ kN/m}^2$
- $Q_{ea}(H, I \text{ a succión}) = -1,44 \text{ kN/m}^2$
- $Q_{ea}(I \text{ succión}) = -0,84 \text{ kN/m}^2$
- $Q_{ea}(G, I \text{ a presión}) = -0,6 \text{ kN/m}^2$
- $Q_{ea}(H, I \text{ a presión}) = 0 \text{ kN/m}^2$
- $Q_{ea}(I \text{ presión}) = 1,08 \text{ kN/m}^2$

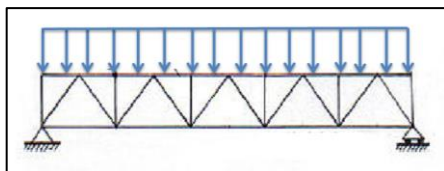


Figura 32. Distribución lineal de carga en una cercha en el caso Viento A.

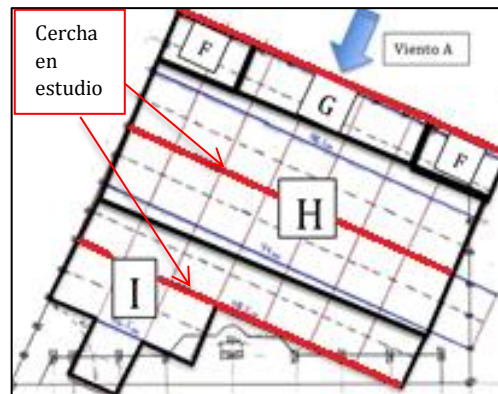


Figura 31. Zonas de carga de viento y cerchas bajo estudio.

7.3.5 Nieve (N)

Teniendo en cuenta la situación de la cubierta (Bilbao) y su inclinación (cubierta plana, es decir, inclinación menor de 5 grados), la carga por unidad de superficie es de $0,3 \text{ kN/m}^2$.

7.3.6 Acciones térmicas (T)

Teniendo en cuenta el mapa de temperaturas máximas y mínimas dado por el CTE, Bilbao, perteneciente a la zona 1, posee una temperatura máxima de 45°C y una temperatura mínima de -7°C . Además, se debe tener en cuenta la radiación solar, que en este caso es de $+10^\circ\text{C}$. Siendo la temperatura de referencia 20°C , las variaciones máximas y mínimas (ΔT) son $+35^\circ\text{C}$ y -27°C respectivamente.

7.5. Resultados

Como ya se habrá podido apreciar en el apartado 7.4, hay un número alto de cargas actuantes sobre la cubierta. Este hecho da lugar a multitud de combinaciones de carga, cada una de ellas con características propias. Sin embargo, en este capítulo no se plasmarán todas, sino unas pocas, es decir, aquellas con mayor interés en lo que a **reacciones en los apoyos, flechas, desplazamientos y axil** se refieren. Las situaciones destacadas son las siguientes:

- A. Peso de la estructura: Peso propio + Carga muerta.
- B. Máxima succión en los apoyos: Peso propio + Carga muerta + Viento A sobre la zona G cuando la zona I está a succión ($Q_{ea(G, I \text{ a succión})}$).
- C. Máxima presión en los apoyos: Peso propio + Carga muerta + Viento A sobre la zona I cuando la zona I está a presión ($Q_{ea(I \text{ presión})}$) + Nieve.
- D. Mayor flecha a succión: Peso propio + Carga muerta + Viento A sobre la zona G cuando la zona I está a succión ($Q_{ea(G, I \text{ a succión})}$) + Temperatura máxima.
- E. Mayor flecha a presión: Peso propio + Carga muerta + Viento A sobre la zona I cuando la zona I está a presión ($Q_{ea(I \text{ presión})}$) + Nieve + Temperatura mínima.
- F. Máxima dilatación: Peso propio + Carga muerta + Temperatura Máxima.
- G. Máxima contracción: Peso propio + Carga muerta + Viento A sobre la zona G cuando la zona I está a succión ($Q_{ea(G, I \text{ a succión})}$) + Temperatura mínima.
- H. Desigualdad de cargas en los apoyos: Peso propio + Carga muerta + Viento C sobre cuando la zona I está a succión.

Se aportarán los resultados de la cercha principal de mayor luz (44 metros) puesto que es el conjunto estructural de mayor importancia en toda la cubierta y de la que más información se extrae. Los datos que se describirán para cada hipótesis (A-H) serán los que se aprecian en la siguiente figura 33:

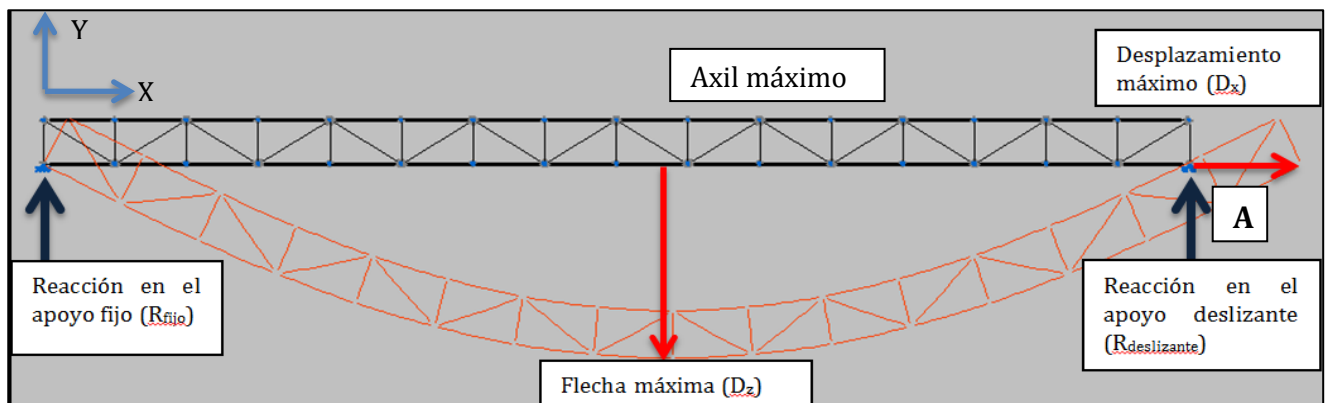


Figura 33. Datos aportados en cada hipótesis

Antes de comenzar describiendo cada hipótesis, es importante detallar las envolventes (rango de valores) de cada dato mencionado en la figura anterior:

- Las reacciones en el apoyo fijo estarán comprendidas entre -15,46(succión) y 19,97 toneladas.

- Las flechas estarán comprendidas entre -106(hacia abajo) y 98,85 milímetros.
- Los desplazamientos del punto A estarán comprendidos entre -37,93(contracción) y 43,35 milímetros.

7.5.1 Hipótesis A: Peso de la estructura

Lo interesante de este caso, es ver las reacciones y deformaciones que la cubierta sufre en ausencia de cualquier acción variable, es decir, solo con su propio peso y el cerramiento de vidrio.

Tabla 4. Datos en la hipótesis A

R_{fijo}	$R_{deslizante}$	D_z	D_x	Axil máximo
125 kN (12,5 toneladas)	125 kN (12,5 toneladas)	-79 mm	9,27 mm	754 kN (75,4 toneladas)

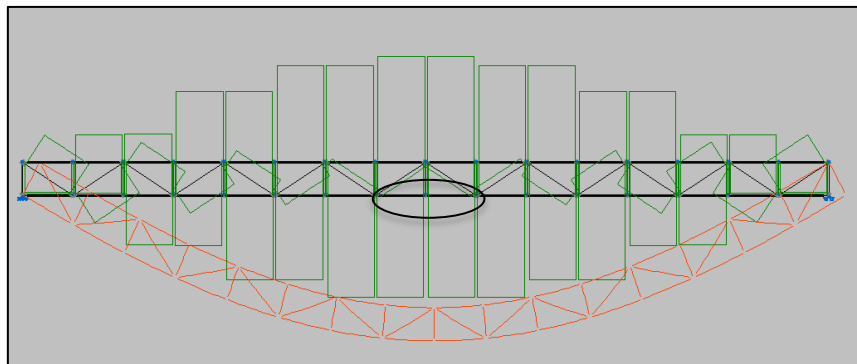


Figura 34. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis A.

7.5.2 Hipótesis B: Máxima succión en los apoyos

Este caso es de gran importancia puesto que es aquel donde se da la mayor succión de la cubierta y por tanto, donde aparece la mayor reacción a succión en los apoyos.

Tabla 5. Datos en la hipótesis B

R_{fijo}	$R_{deslizante}$	D_z	D_x	Axil máximo
-154,6 kN (-15,6 toneladas)	-154,6 kN (-15,6 toneladas)	98,835 mm	-11,65 mm	-944,5 kN (94,45 toneladas)

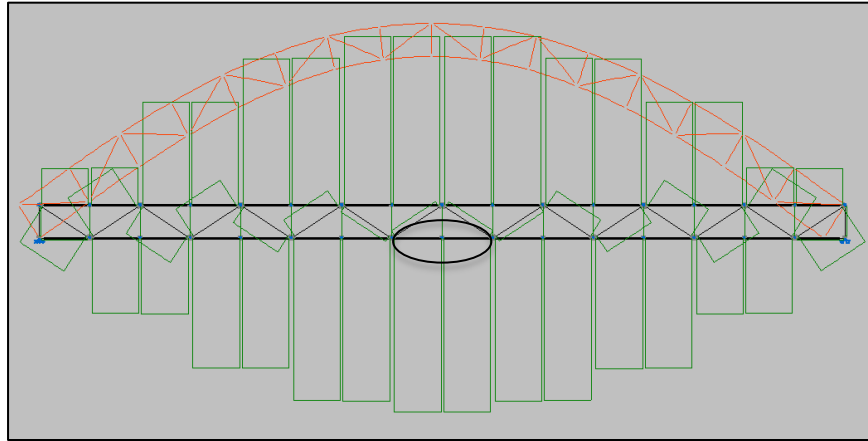


Figura 35. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis B.

7.5.3 Hipótesis C: Máxima presión en los apoyos

Esta hipótesis es de gran interés ya que, es aquel donde se dan las mayores reacciones a presión en los apoyos, es decir, la hipótesis donde tiene lugar la mayor presión sobre la cubierta.

Tabla 6. Datos en la hipótesis C

R_{fijo}	$R_{deslizante}$	D_z	D_x	Axil máximo
199,7 kN (19,97 toneladas)	199,7 kN (19,97 toneladas)	-105,96 mm	12,45 mm	1008 kN (100,8 toneladas)

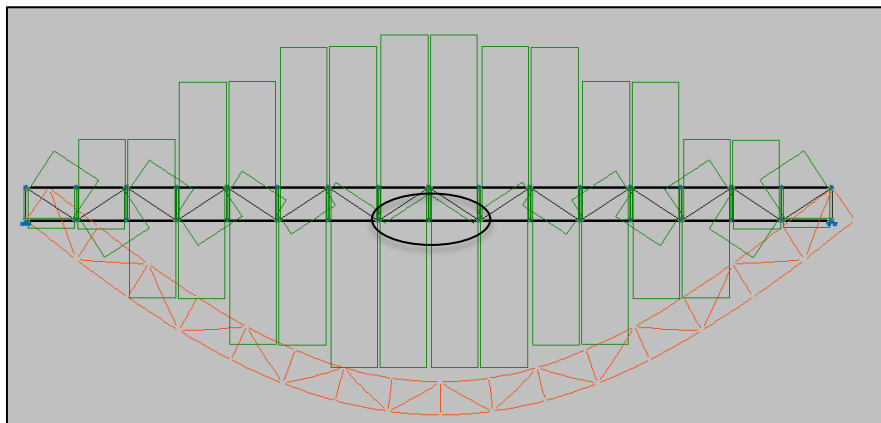


Figura 36. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis C

7.5.4 Hipótesis D: Mayor flecha a succión

Se trata de un caso de gran relevancia pues es aquel donde se encuentra la flecha más grande a succión que se da en todas las hipótesis de carga. Esta flecha máxima es de 98,85 mm.

Tabla 7. Datos en la hipótesis D

R_{fijo}	$R_{deslizante}$	D_z	D_x	Axil máximo
154,6 kN (15,6 toneladas)	154,6 kN (15,6 toneladas)	98,85 mm	22,4 mm	-946,2 kN (-94,62 toneladas)

Como ya se sabe, esta hipótesis es la misma que la hipótesis B, solo que habiendo añadido la acción térmica máxima. Esta es la razón por la que la flecha máxima es ligeramente superior a la de la hipótesis B.

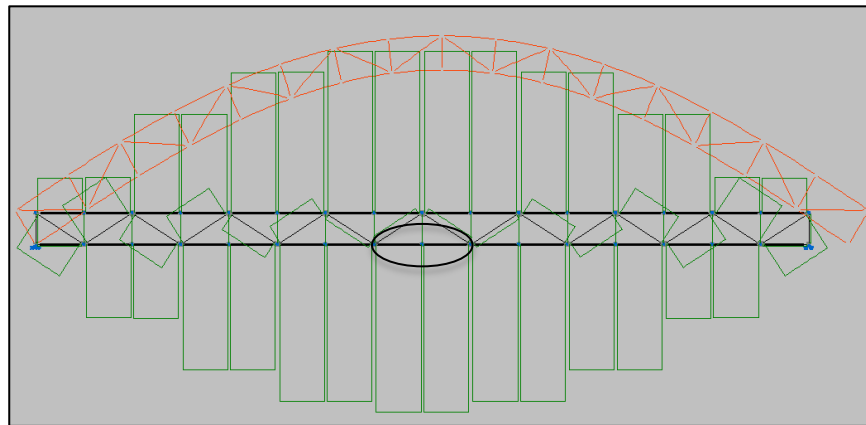


Figura 37. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis D.

7.5.5 Hipótesis E: Mayor flecha a presión

En este caso, como en el anterior, se da la mayor flecha pero a presión. Se trataría de una hipótesis C solo que añadiendo la acción térmica mínima, lo cual da lugar a una mayor deformación.

Tabla 8. Datos en la hipótesis E

R_{fijo}	$R_{deslizante}$	D_z	D_x	Axil máximo
199,7 kN (19,97 toneladas)	199,7 kN (19,97 toneladas)	-106 mm	-13,85 mm	1009,3 kN (100,93 toneladas)

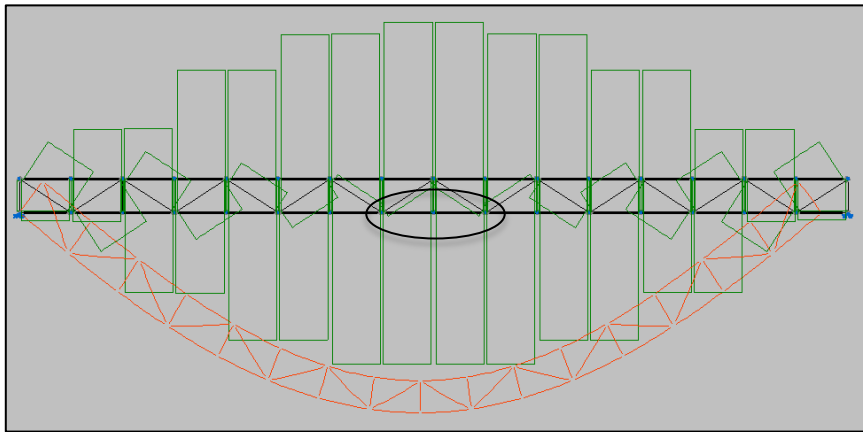


Figura 38. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis E.

7.5.6 Hipótesis F: Máxima dilatación

En este caso, tiene lugar la mayor dilatación de la cercha y por tanto, el mayor deslizamiento del apoyo deslizante. Esto es debido a la acción de la temperatura máxima.

Tabla 9. Datos en la hipótesis F

R_{fijo}	$R_{\text{deslizante}}$	D_z	D_x	Axil máximo
125 kN (12,5 toneladas)	125 kN (12,5 toneladas)	-80 mm	43,35 mm	749,5 kN (74,95 toneladas)

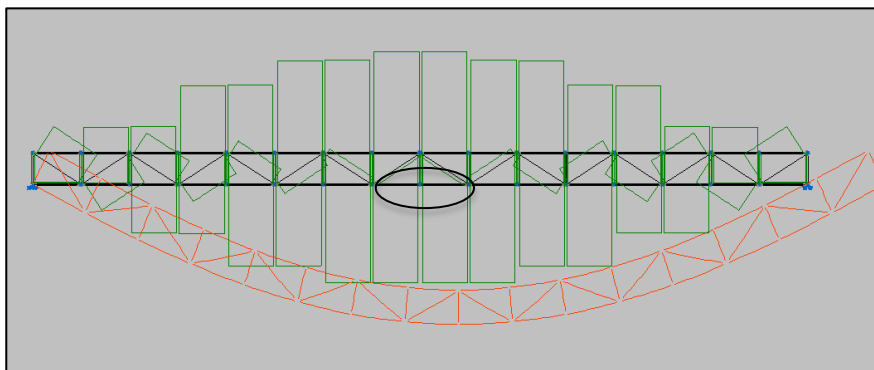


Figura 39. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis F.

7.5.7 Hipótesis G: Máxima contracción

Es en este caso en el cual se da la mayor contracción de la cercha principal y por ende, de la cubierta. Este hecho es sobre todo debido a la acción de la temperatura mínima y la succión del viento sobre la cubierta.

Tabla 10. Datos en la hipótesis G

R_{fijo}	$R_{deslizante}$	D_z	D_x	Axil máximo
-154,6 kN (-15,6 toneladas)	-154,6 kN (-15,6 toneladas)	98,82 mm	-37,93 mm	-943 kN (943 toneladas)

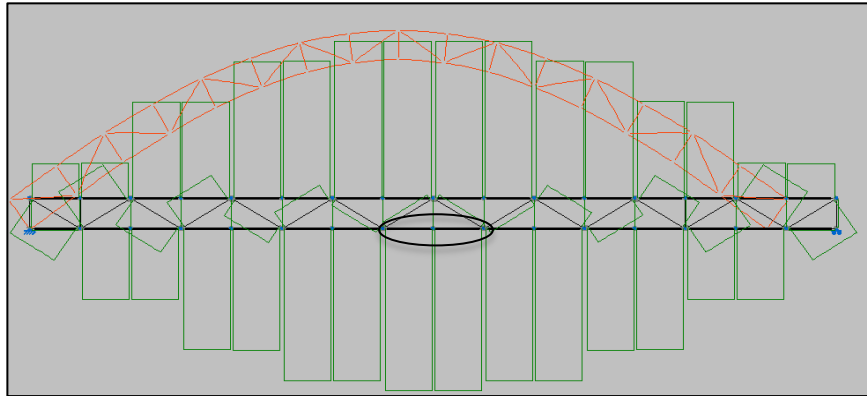


Figura 40. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis G.

7.5.8 Hipótesis H: Desigualdad de reacciones en los apoyos

Se ha añadido este caso por la única razón de ilustrar la deformación de la cubierta en caso de que el viento actúe por el edificio C. Como se dan diferentes cargas de viento a lo largo de la cercha principal, la flecha y el axil máximo dejarán de estar justo en el centro de la cercha y además, las reacciones en los apoyos diferirán una de otra.

Tabla 11. Datos en la hipótesis H

R_{fijo}	$R_{deslizante}$	D_z	D_x	Axil máximo
-60,5 kN (-6,05 toneladas)	-9,13 kN (-0,913 toneladas)	18 mm	-2,1 mm	-206,9 kN (-20,69 toneladas)

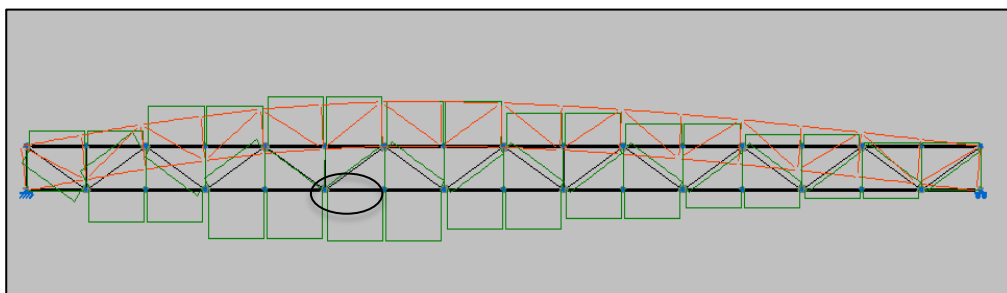


Figura 41. Deformada y diagrama de axiles (con el máximo redondeado) en la hipótesis H.

7.6 Análisis de resultados

Habiendo extraído los resultados del apartado 7.5, los análisis expuestos a continuación pretenden dar respuesta a varias cuestiones. Por un lado, estudiar si esta estructura es capaz de instalarse y construirse sin perjudicar su entorno y por otro lado, examinar si sus características técnicas cumplen el CTE.

7.6.1 Comprobación de aguante de la estructura universitaria bajo carga máxima transmitida

Con este apartado se pretende conocer y determinar si la estructura de la universidad, concretamente los pilares de las fachadas interiores de los edificios A y C, podrán soportar la carga máxima transmitida por el conjunto de la cubierta. Puesto que no se conocen los datos técnicos de dichos pilares, se partirá de una supuesta armadura y de ahí se verificará si la estructura universitaria aguanta las cargas transmitidas por la cubierta. Se conoce del pilar sus dimensiones (35x60cm) y se supone su armadura de 16 barras de acero B500S de diámetro 20 mm y un tipo de hormigón HA-25/B/20/IIa.

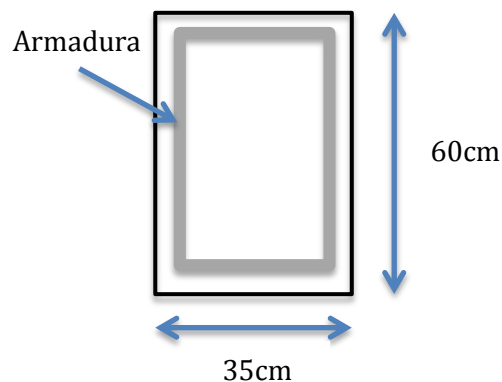


Figura 42. Diagrama del pilar del edificio

- Capacidad mecánica del hormigón (U_c)= 3500 kN = 350 toneladas
- Capacidad mecánica de la armadura (U)=2184 kN = 218,4 toneladas

Como se ha podido exponer en el apartado 7.5, las cargas máximas transmitidas en los apoyos de solo una cercha principal son 19,97 toneladas y 15,46 toneladas a succión. Además suponiendo un forjado de hormigón de 30cm de canto y área tributaria de 11 m² por pilar, y añadiendo una sobrecarga de uso de 5 kN/m², se tiene que el pilar del piso 3 y del piso -1 soportan 18,9 y 70,4 toneladas respectivamente, tal y como se aprecia en las figuras 43 y 44.

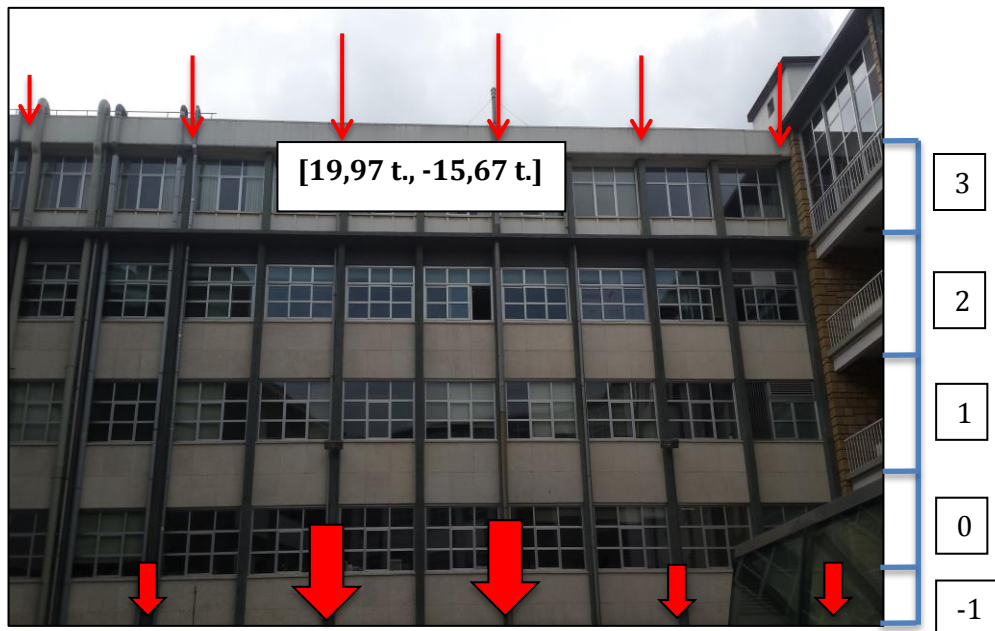


Figura 43. Cargas transmitidas por la cubierta a los pilares de la fachada del edificio C en sus apoyos y cargas transmitidas al suelo

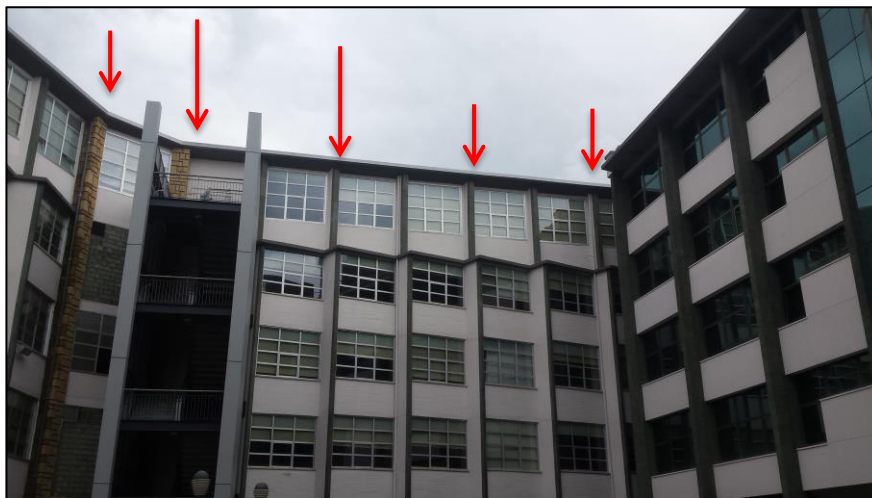


Figura 44. Cargas transmitidas por la cubierta a los pilares de la fachada del edificio A en sus apoyos

En el caso de máxima carga a compresión transmitida (19,97 t.):

Partiendo de la base de que el hormigón aguanta excepcionalmente bien las cargas a compresión y que su capacidad mecánica es bastante alta, se puede decir que el conjunto del edificio de la universidad no sufriría daños importantes cuando la cubierta transmita cargas a compresión.

En el caso de máxima succión transmitida (-15,67 t.):

En este caso actuaría la armadura de acero del pilar, puesto que es la propia armadura la que absorbe la tracción debida a la succión, y sería sobre todo el pilar del piso 3 el más afectado. Por otro lado, el forjado sustentado por dicho pilar actuaría de contrapeso y reduciría el efecto de la succión. A pesar de ello y a falta de información más detallada sobre la armadura y la distribución de cargas y momentos flectores en el conjunto del edificio, no se puede asegurar a ciencia cierta que dicho pilar del piso 3 no vaya a sufrir daños tales como la fisuración.

En lo expuesto anteriormente no se ha tenido en cuenta el efecto del durmiente, cuyo objetivo es un mejor reparto de las cargas a lo largo de todos los pilares de la fachada. Si se tuviese en cuenta dicho elemento, la sollicitación de los pilares sería incluso menor.

Por otro lado, tampoco se ha tenido en cuenta el pandeo del pilar ya que su esbeltez geométrica es menor a 10 y según el código EHE-08, no sería necesario su cálculo.

7.6.2 Reparto del peso total de la cubierta

A continuación se pretende reflejar el porcentaje del peso total que aporta cada elemento estructural de la cubierta. Los elementos a tener en cuenta serán los siguientes:

- Cerchas principales
- Cerchas transversales
- Correas

Posteriormente, también se tendrá en cuenta el peso del cerramiento de vidrio.

Tabla 12. Porcentaje del peso total de cada elemento estructural

	Peso (kg)	% del peso total
Cerchas Principales	44508,2	85
Cerchas transversales	4270,11	8,15
Correas	3589,7	6,85
Total	52368	100

Tabla 13. Porcentaje del peso de cada elemento estructural teniendo en cuenta el cerramiento

	Peso (kg)	% del peso total
Cerchas principales	44508,2	40,3
Cerchas transversales	4270,11	3,9
Correas	3589,7	3,25
Cerramiento (vidrio)	58000	52,55
Total	110368	100

Con lo anterior se pretende exponer la importancia que tiene cada elemento en el conjunto de la estructura de acero. Se puede ver cómo las correas, que aparentemente parecen ligeras y de poca importancia, llegan a aportar casi el 7% del peso total. Por otro lado, si se tiene en cuenta el cerramiento de vidrio, ésta supera el 52% del peso total de la cubierta, superando incluso al conjunto de las cerchas principales. Este hecho es debido al alto peso de este material, lo cual contrarresta la succión, y al gran espesor escogido en las placas de vidrio.

7.6.3 Flecha máxima

Con este apartado se quiere analizar si la flecha máxima que aparece en la cubierta cumple con el CTE. Dicho documento expone que para este tipo de estructuras, la flecha no puede superar $L/300$ siendo L la longitud de la cercha.

Tomando como ejemplo la cercha de 44 metros de luz, la flecha máxima permitida es de 0,147 metros o 14,7 centímetros. Del apartado 7.5 se sabe que la flecha máxima de esta cubierta es de 10,6 centímetros, siendo ésta menor a los 14,7 centímetros permitidos. Por tanto, cumple con el CTE.

8. Metodología

Este capítulo tiene como objetivo detallar cómo se han hallado las acciones actuantes sobre la cubierta así como, el método mediante el cual se han diseñado las diferentes celosías y el cerramiento. Más adelante también se especifican las diferentes tareas que se han llevado a cabo en este proyecto, las cuales quedarán descritas en un diagrama Gantt y se finalizará con una descripción de los medios utilizados para la realización de dicho proyecto.

8.1 Cálculo de las acciones en la edificación

A continuación se describe la obtención de las acciones sobre la cubierta descritas en el apartado 7.4. Como ya se sabe, sobre la cubierta propuesta actúan dos tipos de cargas:

- **Permanentes:** Peso propio y carga muerta del cerramiento
- **Variables:** sobrecarga de uso, viento, nieve y las acciones térmicas.

8.1.1 Peso propio y carga muerta

La estructura de la cubierta está compuesta en su totalidad de acero con un peso específico aproximado de 78 kN/m^3 (tabla 14).

Tabla 14. Pesos específicos aparentes de materiales de construcción [1]

Materiales y elementos	Peso específico aparente kN/m ³	Materiales y elementos	Peso específico aparente kN/m ³
Materiales de albañilería		Madera	
Arenisca	21,0 a 27,0	Aserrada, tipos C14 a C40	3,5 a 5,0
Basalto	27,0 a 31,0	Laminada encolada	3,7 a 4,4
Calizas compactas, mármoles	28,0	Tablero contrachapado	5,0
Diorita, gneis	30,0	Tablero cartón gris	8,0
Granito	27,0 a 30,0	Aglomerado con cemento	12,0
Sienita, diorita, pórfido	28,0	Tablero de fibras	8,0 a 10,0
Terracota compacta	21,0 a 27,0	Tablero ligero	4,0
Fábricas		Metales	
Bloque hueco de cemento	13,0 a 16,0	Acero	77,0 a 78,5
Bloque hueco de yeso	10,0	Aluminio	27,0
Ladrillo cerámico macizo	18,0	Bronce	83,0 a 85,0
Ladrillo cerámico perforado	15,0	Cobre	87,0 a 89,0
Ladrillo cerámico hueco	12,0	Estaño	74,0
Ladrillo silicocalcáreo	20,0	Hierro colado	71,0 a 72,5
Mampostería con mortero		Hierro forjado	76,0
de arenisca	24,0	Latón	83,0 a 85,0
de basalto	27,0	Plomo	112,0 a 114,0
de caliza compacta	26,0	Zinc	71,0 a 72,0
de granito	26,0	Plásticos y orgánicos	
Sillería		Caucho en plancha	17,0
de arenisca	26,0	Lámina acrílica	12,0
de arenisca o caliza porosas	24,0	Linóleo en plancha	12,0
de basalto	30,0	Mástico en plancha	21,0
de caliza compacta o mármol	28,0	Poliestireno expandido	0,3
de granito	28,0	Otros	
Hormigones y morteros		Adobe	16,0
Hormigón ligero	9,0 a 20,0	Asfalto	24,0
Hormigón normal ⁽¹⁾	24,0	Baldosa cerámica	18,0
Hormigón pesado	> 28,0	Baldosa de gres	19,0
Mortero de cemento	19,0 a 23,0	Papel	11,0
Mortero de yeso	12,0 a 28,0	Pizarra	29,0
Mortero de cemento y cal	18,0 a 20,0	Vidrio	25,0
Mortero de cal	12,0 a 18,0		

El peso de una cercha principal de 44 metros es de 8901,52 kg (tabla 2), con lo que el peso de las cerchas principales por unidad de longitud es:

$$8901,52 \text{ kg} / 44 \text{ m} = 202,31 \text{ kg/m}$$

Hay un total de 220 metros de cerchas principales y por consiguiente, el peso total de estos elementos estructurales es:

$$202,31 \text{ kg/m} \cdot 220 \text{ m} = 44.508,2 \text{ kg}$$

Por otro lado, hay un total de 39 cerchas transversales con un peso unitario de 109,49 kg (tabla 3), lo cual da lugar a un peso añadido de 4270,11 kg.

Otro elemento a tener en cuenta, son las correas. En esta estructura hay un total de 407 metros de correas (37 correas de 11 metros cada uno) con una masa por unidad de longitud de 8,82 kg/m. Esto da como resultado un peso debido a este elemento estructural de 3589,7 kg.

Dicho esto, el peso propio total de la estructura de acero es de 52,4 toneladas.

En cuanto al cerramiento de la cubierta (carga muerta), ésta tiene un peso de 50 kg/m². La cubierta cubre una superficie de 1160 m². Por consiguiente, la carga muerta del cerramiento (vidrio) es de 58 toneladas.

Peso total de la cubierta: **110,4 toneladas** →

95,2 kg/m²
Cubierta ligera

8.1.2 Sobrecarga de uso

La cubierta propuesta es de tipo G1 y agrupada dentro de las cubiertas sobre correas (sin forjado) tal y como se aprecia en la tabla 15. La sobrecarga de uso es por tanto, una carga uniforme de 0,4 kN/m² pero no concomitante con el resto de acciones variable.

Tabla 15. Valores característicos de la sobrecarga de uso [1]

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁶⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

8.1.3 Viento

La acción del viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, q_e puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p \quad (8.1)$$

siendo:

- q_b la presión dinámica del viento.
- C_e el coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. Se determina de acuerdo con lo establecido en la tabla 16.
- C_p el coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los

bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión. Su valor se establece en las tablas 17 y 18.

El valor de la presión dinámica (q_b) es, respectivamente de 0,42 kN/m² , 0,45 kN/m² y 0,52 kN/m² para las zonas A, B y C del mapa de la figura . Bilbao se encuentra en la zona C, con lo que la **presión dinámica (q_b) es 0,52 kN/m²**



Figura 45. Valor básico de la velocidad del viento [1]

La cubierta sobre la plaza Von Siemens se encuentra a una altura de 20 metros y en una zona urbana. Según la tabla 16, un grado de aspereza IV a una altura de 20 metros, posee un **coeficiente de exposición (c_e) de 2,3**.

Tabla 16. Valores del coeficiente de exposición [1]

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Para el cálculo del coeficiente eólico, hace falta tener en cuenta la forma de la cubierta (tabla 17) y ver si existen aperturas dentro de la plaza Von Siemens (tabla 18).

Tabla 17. Valores del coeficiente eólico en cubierta plana [1]

h_p/h	A (m ²)	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$			
		F	G	H	I
Bordes con aristas	≥ 10	-1,8	-1,2	-0,7	0,2 -0,2
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	0,2 -0,2
0,025	≥ 10	-1,6	-1,1	-0,7	0,2 -0,2
	≤ 1	-2,2	-1,8	-1,2	0,2 -0,2
Con parapetos	≥ 10	-1,4	-0,9	-0,7	0,2 -0,2
	≤ 1	-2,0	-1,6	-1,2	0,2 -0,2
0,10	≥ 10	-1,2	-0,8	-0,7	0,2 -0,2
	≤ 1	-1,8	-1,4	-1,2	0,2 -0,2

Al haber dos direcciones de viento en el cálculo de esta acción, y como la zona I puede trabajar tanto a succión como a presión (tabla 17), por cada dirección de viento habrá 2 casos: Uno con la zona I a succión y otro con la zona I a presión.

Por otro lado, la puerta de entrada al edificio G se considera como un hueco dentro de la plaza (figura 47) y en consecuencia, hace falta sumar el coeficiente de presión interior (tabla 18) al coeficiente eólico (tabla 17).

Tabla 18. Valores del coeficiente de presión interior C_{pi} [1]

Esbeltez en el plano paralelo al viento	Área de huecos en zonas de succión respecto al área total de huecos del edificio										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
≤ 1	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5
≥ 4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3

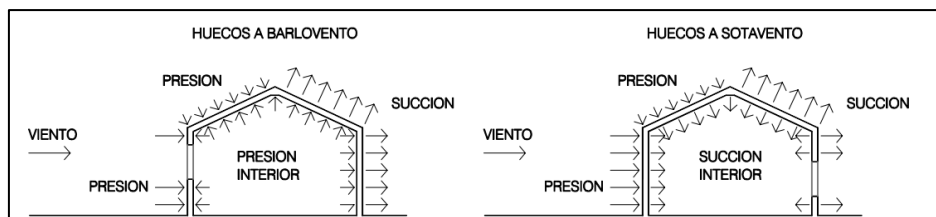


Figura 46. Presiones ejercidas por el viento en construcciones diáfanas [1].



Figura 47. Las direcciones de viento aplicadas con los huecos de la plaza redondeados.

- Viento C con la zona I a presión: $C_{pi} = 0,1$
 - o $C_p(\text{zona G}) = -1,2 + 0,1 = -1,1$
 - o $C_p(\text{zona H}) = -0,7 + 0,1 = -0,6$
 - o $C_p(\text{zona I}) = 0,2 + 0,1 = 0,3$
 - o
- Viento C con la zona I a succión: $C_{pi} = -0,5$
 - o $C_p(\text{zona G}) = -1,2 - 0,5 = -1,7$
 - o $C_p(\text{zona H}) = -0,7 - 0,5 = -1,2$
 - o $C_p(\text{zona I}) = -0,2 - 0,5 = -0,7$

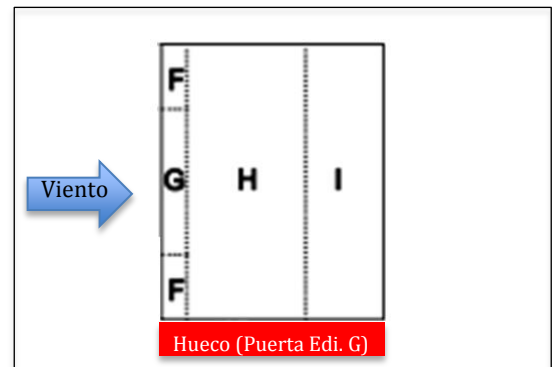


Figura 48. Situación de la cubierta con el viento C

- Viento A con la zona I a presión: $C_{pi} = 0,7$
 - o $C_p(\text{zona G}) = -1,2 + 0,7 = -0,5$
 - o $C_p(\text{zona H}) = -0,7 + 0,7 = 0$
 - o $C_p(\text{zona I}) = 0,2 + 0,7 = 0,9$
- Viento A con la zona I a succión: $C_{pi} = -0,5$
 - o $C_p(\text{zona G}) = -1,2 - 0,5 = -1,7$
 - o $C_p(\text{zona H}) = -0,7 - 0,5 = -1,2$
 - o $C_p(\text{zona I}) = -0,2 - 0,5 = -0,7$

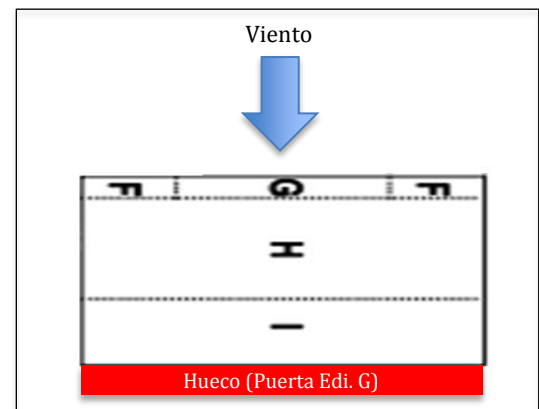


Figura 49. Situación de la cubierta con viento A

Aplicando la expresión 8.1, se hallan un total de 12 cargas de viento:

Tabla 19. Acción del viento en función de la zona de la cubierta

	Viento C Zona I a presión	Viento C Zona I a succión	Viento A Zona I a presión	Viento A Zona I a succión
Q_e Zona G (kN/m ²)	-1,32	-2,03	-0,6	-2,03
Q_e Zona H (kN/m ²)	-0,72	-1,44	0	-1,44
Q_e Zona I (kN/m ²)	0,36	-0,84	1,08	-0,84

8.1.4 Nieve

La acción de la nieve queda descrita por la siguiente ecuación:

$$Q_n = \mu \cdot S_k \quad (8.2)$$

siendo:

- μ coeficiente de forma de la cubierta. Para cubiertas con inclinación menor o igual a 30°, este valor es 1. La cubierta propuesta es plana y por tanto, $\mu=1$.
- S_k el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según la tabla 20.

$$Q_n = 0,3 \text{ kN/m}^2$$

Tabla 20. Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas [1]

Capital	Altitud m	S_k kN/m ²	Capital	Altitud m	S_k kN/m ²	Capital	Altitud m	S_k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas- tián/Donostia	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	1.000	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	10	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Sevilla	1.090	0,9
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	0	0,4
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	950	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	550	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	550	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Orense / Ourense	130	0,4	Valencia/València	690	0,2
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	520	0,4
Coruña / A Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,4	Vitoria / Gasteiz	650	0,7
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	210	0,4
Gerona / Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	0	0,5
Granada	690	0,5	Pamplona/Iruña	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

8.1.5 Acciones térmicas

En el caso de Bilbao, la temperatura mínima descrita por el CTE es de -7°C y la temperatura máxima es de 45°C (figura 50). A esta temperatura máxima hace falta añadir

un aumento de 10°C debido a la radiación. Siendo la temperatura de referencia de la estructura 20°C, los **incrementos térmicos (ΔT) máximos y mínimos son 35 y -27 respectivamente.**

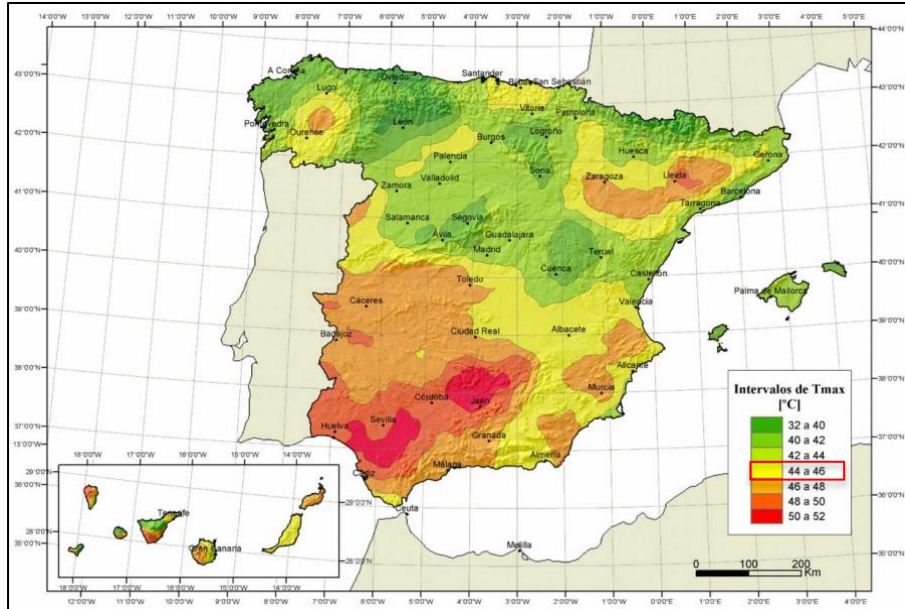


Figura 50. Isotermas de la temperatura anual máxima del aire (T_{max} en °C) [1]

8.1.6 Combinación de las acciones

Según lo estipulado en el CTE, el valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondientes a una situación persistente o transitoria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión 8.3:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (8.3)$$

Es decir, considerando la actuación simultánea de:

- Todas las acciones permanentes, en valor de cálculo ($\gamma_G \cdot G_K$), incluido pretensado;
- una acción variable cualquiera, en valor de cálculo ($\gamma_Q \cdot G_K$), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;
- el resto de las acciones variables, en valor de cálculo de combinación ($\gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot G_K$).

Los coeficientes se establecen en las tablas 21 y 22.

Tabla 21. Coeficientes parciales de seguridad (γ) [1]

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
		desestabilizadora	estabilizadora
Estabilidad	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Tabla 22. Coeficientes de simultaneidad (Ψ) [1]

Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes \leq 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

8.2 Método de cálculo de las cerchas, correas y del cerramiento

En este apartado se explicará de qué manera se han calculado las cerchas principales y transversales, así como las correas y el espesor del cerramiento de vidrio.

8.2.1 Cálculo de cerchas

Para conseguir un buen rendimiento estructural, habrá que optar por una relación entre la luz y el canto de la celosía de 10 a 15. Sin embargo, el diseño arquitectónico del edificio determina su geometría externa y gobierna la(s) pendiente(s) del cordón superior de la celosía. La elección entre un cordón inferior horizontal (por ejemplo, cuando hay que colocar cintas transportadoras suspendidas bajo el cordón) o un cordón inferior inclinado, viene determinada por el uso que se pretende dar al espacio interno, y la opción que permita liberar el mayor espacio posible. En la cubierta propuesta por este trabajo, ambos cordones serán paralelos y la inclinación de la cubierta vendrá dada por una diferencia de altura entre los apoyos de las cerchas. Esta inclinación será del 0,4%.

Para conseguir una disposición eficiente de los elementos de la celosía entre los cordones, se recomienda lo siguiente:

- La inclinación de los elementos diagonales, en relación a los cordones, deberá ser de entre 30° y 60°.
- Sólo se aplicarán cargas puntuales en los nudos.

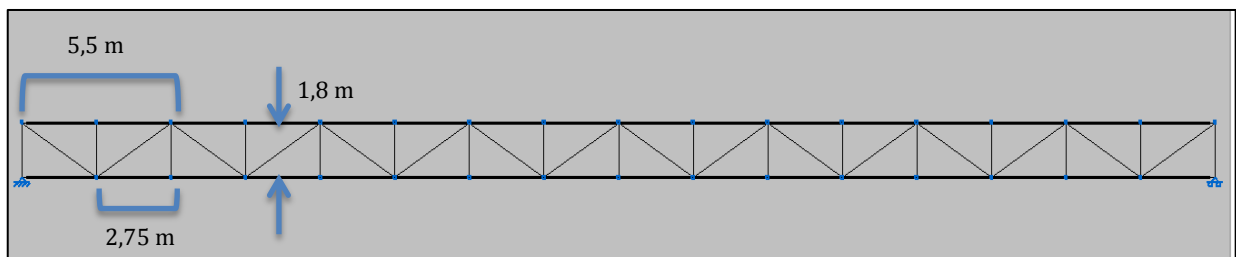


Figura 51. Cercha diseñada de 44 metros de luz

En el caso de la cercha diseñada para esta cubierta, figura 48, la inclinación de los elementos diagonales en relación a los cordones sería de aproximadamente 33,2 °, lo cual entra dentro del rango descrito anteriormente.

En cuanto a las cargas sobre la cercha, éstas se han aplicado de forma puntual en los nudos donde las cerchas transversales se apoyan en las cerchas principales (cada 5,5 metros), tal y como se aprecia en la figura 52.

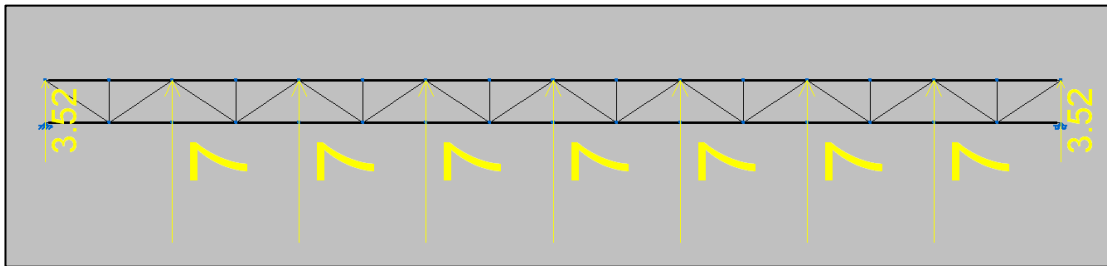


Figura 52. Cercha en estudio bajo cargas puntuales en el caso de viento A en la zona G

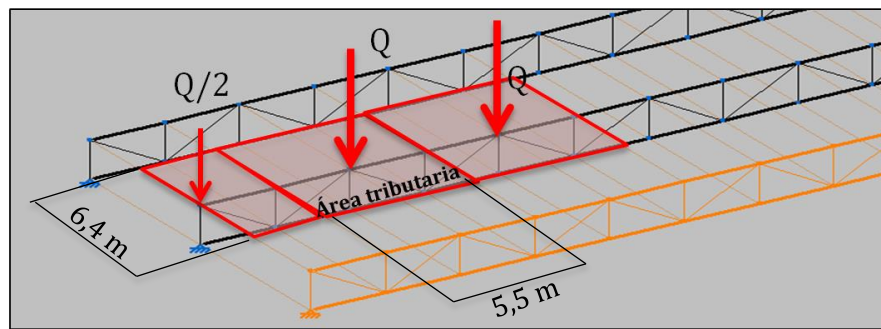


Figura 53. Área tributaria de un nudo de la cercha

Las figuras 52 y 53 describen el proceso que se ha llevado a cabo a la hora de aplicar las cargas en los nudos descritos. Conocidas las cargas por unidad de superficie de cada acción, basta con multiplicarlas por el área tributaria del nudo donde se va a aplicar y de este modo se obtienen las cargas puntuales actuantes en cada nudo.

8.2.2 Cálculo de las correas

Se trata de hallar el perfil óptimo para las correas las cuales tienen una longitud de 11 metros con dos vanos de 5,5 metros cada uno y soportan una carga uniforme q .

$$\text{El momento flector máximo: } M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8} \quad (8.4)$$

$$\text{La flecha máxima: } \delta_{max} = \frac{q \cdot L^4}{185 \cdot E \cdot I} \quad (8.5)$$

Donde :

- q : carga uniforme
- L : longitud del vano

- I: Momento de inercia de la viga
- E: Módulo elástico

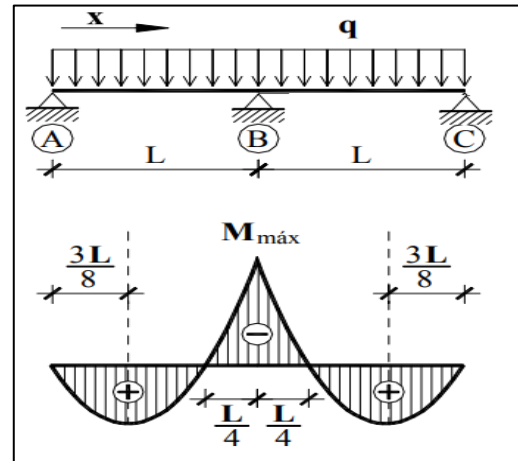


Figura 54. Diagrama de momentos flectores de una viga con 2 vanos.

Para encontrar el momento flector máximo M_{max} hace falta calcular primero la carga uniforme q . La acción térmica, la nieve y la sobrecarga de uso actúan del lado de la seguridad y por tanto, no se tendrán en cuenta en el estudio de la carga que soportan las correas. Ya que no se conoce todavía el peso propio de la correa, ésta no tomará parte tampoco en el cálculo y en consecuencia, solo se considerarán la carga permanente del cerramiento (q_{CM}) y la acción variable del viento (q_e).

- La carga del cerramiento (vidrio) es: $q_{CM} = 0,5 \text{ kN/m}^2$
- Puesto que existen diferentes zonas de carga en una cubierta, para hallar la carga del viento y no sobredimensionar la correa, se procederá a calcular una carga superficial media (figura 52): $q_{MEDIA} = \frac{4 \cdot (-2,03) + 16 \cdot (-1,44) + 24 \cdot (-0,84)}{4 + 16 + 24} = -1,2 \text{ kN/m}^2$

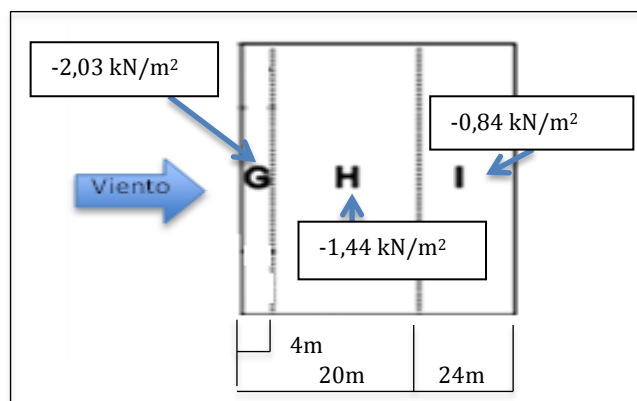


Figura 55. Distribución de cargas en la cubierta y sus respectivas áreas

Aplicando la expresión 8.3, se obtiene que la carga uniforme que soportaría la correa en las condiciones detalladas es: $q_{correa} = 0,8 \cdot (q_{CM}) + 1,5 \cdot (q_{MEDIA}) = -1,4 \text{ kN/m}^2$

Posteriormente, hace falta determinar la distancia entre correas (s). En el diseño de esta cubierta se proponen 3 medidas:

- $s_1 = 3,2$ m
- $s_2 = 2,134$ m
- $s_3 = 1,6$ m

Para cada distancia se calcula su respectiva carga por unidad de longitud: $q_L = q_{\text{correa}} \cdot s$

Con esta carga, se pasa a calcular el momento flector y aplicando la expresión 8.6, se obtienen los diferentes módulos resistentes (W).

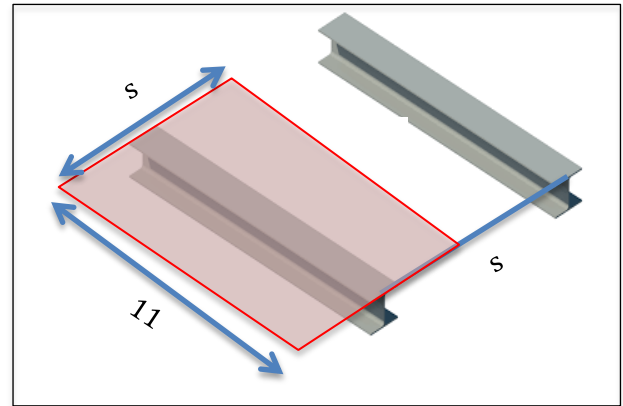


Figura 56. Distancia entre correas

$$\frac{\sigma_{max}}{\gamma} \geq \frac{M_{max} \cdot c}{I} = \frac{M_{max}}{W}$$

$$W \geq \frac{M_{max} \cdot \gamma}{\sigma_{max}} \quad (8.6)$$

Donde

- M_{max} es el momento flector máximo
- I es el momento de inercia
- c es la distancia desde la línea neutra al flanco inferior o superior de la correa
- W es el módulo resistente
- γ es el coeficientes de seguridad relativo a la plastificación del material ($\gamma = 1,05$ en aceros)
- σ_{max} es la tensión de límite elástico (En aceros S275 es 275 N/mm^2)

Tabla 23. Perfil de la correa según el momento resistente

	M_{max} (kN/m^2)	W (cm^3)	Perfil apropiado según tabla 21 (Fuente: www.teczone.es) (peso lineal de la correa)
S_1	15,7	60	ZF 200.3 (8,82 kg/m)
S_2	10,5	40	ZF 200.2 (5,96 kg/m)
S_3	7,9	30,2	ZF 175.2,5 (5,91 kg/m)

Finalmente, se ha escogido una distancia entre correas de 3,2 metros (s_1). A pesar de su mayor peso, si se elige la distancia mencionada, hará falta comprar menor número de correas, por consiguiente, un menor peso de la totalidad de las correas y finalmente, menor coste.

Comprobación de la flecha máxima:

- Condición según CTE : $\delta_{max} \leq L/250 = 5,5/250 = 22 \text{ mm}$

En el caso de la correa elegida: $\delta = 16,11 \text{ mm}$

Por tanto, la correa elegida cumple con el CTE.

Tabla 24. Perfiles de correa tipo Z [10]

	h mm	b1 mm	b2 mm	a1 mm	a2 mm	e mm	Área cm ²	Peso kg/ml	Respecto eje x-x			Respecto eje y-y			Posición C.G.	
									Ix cm ⁴	Wx cm ³	ix cm	Iy cm ⁴	Wy cm ³	iy cm	Yc cm	Xc cm
Z 19/48/100/55/23 x 2	100	55	48	23	19	2.0	4.57	3.59	71.20	13.69	3.95	33.80	6.63	2.72	5.20	4.99
Z 19/48/100/55/23 x 2.5						2.5	5.65	4.43	87.00	16.73	3.92	40.80	8.04	2.69	5.20	4.97
Z 19/48/100/55/23 x 3						3.0	6.71	5.26	102.10	19.61	3.90	47.30	9.35	2.66	5.20	4.94
Z 19/48/125/55/23 x 2	125	55	48	23	19	2.0	5.07	3.98	120.40	18.57	4.87	33.90	6.60	2.59	6.49	4.96
Z 19/48/125/55/23 x 2.5						2.5	6.27	4.93	147.60	22.75	4.85	40.90	8.00	2.55	6.49	4.94
Z 19/48/125/55/23 x 3						3.0	7.46	5.85	173.50	26.75	4.82	47.30	9.31	2.52	6.49	4.91
Z 19/48/150/55/23 x 2	150	55	48	23	19	2.0	5.57	4.37	185.50	23.89	5.77	33.90	6.57	2.47	7.76	4.94
Z 19/48/150/55/23 x 2.5						2.5	6.90	5.42	227.70	29.32	5.74	40.90	7.97	2.44	7.77	4.91
Z 19/48/150/55/23 x 3						3.0	8.21	6.44	268.30	34.54	5.72	47.40	9.27	2.40	7.77	4.89
Z 19/48/175/55/23 x 2	175	55	48	23	19	2.0	6.07	4.76	267.90	29.64	6.64	33.90	6.55	2.37	9.04	4.92
Z 19/48/175/55/23 x 2.5						2.5	7.52	5.91	329.40	34.44	6.62	41.00	7.95	2.33	9.04	4.89
Z 19/48/175/55/23 x 3						3.0	8.96	7.03	388.70	43.00	6.59	47.40	9.25	2.30	9.04	4.87
Z 23/70/200/80/23 x 2	200	80	70	23	23	2.0	7.59	5.96	466.50	45.46	7.84	94.60	12.36	3.53	10.26	7.14
Z 23/70/200/80/23 x 2.5						2.5	9.42	7.40	575.50	56.08	7.81	115.30	15.11	3.50	10.26	7.12
Z 23/70/200/80/23 x 3						3.0	11.24	8.82	681.60	66.41	7.79	134.80	17.73	3.46	10.26	7.09
Z 23/70/225/80/23 x 2	225	80	70	23	23	2.0	8.09	6.35	614.90	53.35	8.72	94.60	12.34	3.42	11.53	7.13
Z 23/70/225/80/23 x 2.5						2.5	10.05	7.89	759.20	65.86	8.69	115.30	15.08	3.39	11.53	7.10
Z 23/70/225/80/23 x 3						3.0	11.99	9.41	899.80	78.05	8.66	134.90	17.70	3.35	11.53	7.08
Z 23/70/250/80/23 x 2	250	80	70	23	23	2.0	8.59	6.74	788.50	61.66	9.58	94.70	12.32	3.32	12.79	7.12
Z 23/70/250/80/23 x 2.5						2.5	10.67	8.38	974.20	76.17	9.55	115.40	15.06	3.29	12.79	7.09
Z 23/70/250/80/23 x 3						3.0	12.74	10.00	1155.50	90.34	9.52	134.90	17.67	3.25	12.79	7.06
Z 23/70/275/80/23 x 2	275	80	70	23	23	2.0	9.09	7.13	989.00	70.39	10.43	94.70	12.30	3.23	14.05	7.10
Z 23/70/275/80/23 x 2.5						2.5	11.30	8.87	1222.70	87.01	10.40	115.40	15.04	3.20	14.05	7.08
Z 23/70/275/80/23 x 3						3.0	13.49	10.59	1450.90	103.25	10.37	135.00	17.65	3.16	14.05	7.05
Z 23/70/300/80/23 x 2	300	80	70	23	23	2.0	9.59	7.53	1217.90	79.55	11.27	94.70	12.29	3.14	15.31	7.09
Z 23/70/300/80/23 x 2.5						2.5	11.92	9.36	1506.40	98.38	11.24	115.40	15.02	3.11	15.31	7.07
Z 23/70/300/80/23 x 3						3.0	14.24	11.18	1788.60	116.80	11.21	135.00	17.63	3.08	15.31	7.04
Z 23/70/325/80/23 x 2	325	80	70	23	23	2.0	10.09	7.92	1476.80	89.12	12.10	94.70	12.28	3.06	16.57	7.08
Z 23/70/325/80/23 x 2.5						2.5	12.55	9.85	1827.40	110.27	12.07	115.40	15.01	3.03	16.57	7.06
Z 23/70/325/80/23 x 3						3.0	14.99	11.76	2170.70	130.98	12.03	135.00	17.61	3.00	16.57	7.03
Z 23/70/350/80/23 x 2	350	80	70	23	23	2.0	10.59	8.31	1767.10	99.12	12.92	94.70	12.27	2.99	17.83	7.08
Z 23/70/350/80/23 x 2.5						2.5	13.17	10.34	2187.60	122.69	12.89	115.50	14.99	2.96	17.83	7.05
Z 23/70/350/80/23 x 3						3.0	15.74	12.35	2599.60	145.79	12.85	135.10	17.59	2.93	17.83	7.02

8.2.3 Cálculo del espesor del cerramiento

Se quieren placas de vidrio de 3,2 x 2,75 metros. El espesor de las placas es desconocido.

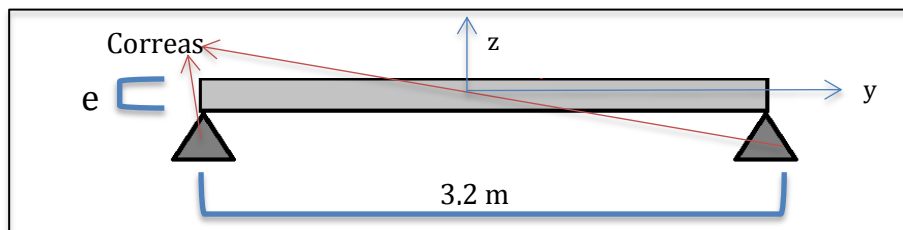


Figura 57. Cerramiento sobre correas

Suponiendo que la placa de vidrio se encuentra en una zona F de la cubierta (zona con mayor carga de viento) y conocido su peso (0,5 kN/m²), aplicando la ecuación 8.1, se obtiene que la carga que debería soportar esta placa es:

$$Q_{\text{cerramiento}} = 2,905 \text{ kN/m}^2 \text{ (succión)}$$

$$Q_{\text{cerramiento(lineal)}} = Q_{\text{cerramiento}} \cdot 2,75 \text{ m (ancho de placa)} = 8 \text{ kN/m}$$

Sabiendo que :

- El momento de inercia de esta placa es: $I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{3,2 \cdot e^3}{12}$
- Largo de la placa de vidrio, es decir, distancia entre correas: $L=3,2$ m
- Distancia del núcleo al extremo de la placa: $c = e/2$ m
- Coeficiente de seguridad elegido: $\gamma=1,5$
- La resistencia a tracción máxima del vidrio(σ) es 50 N/mm²

Aplicando las expresiones 8.4 y 8.6, se halla que el espesor mínimo del cerramiento de vidrio debe ser: **$e \geq 2,4$ cm.**

Como normalmente las placas de vidrio se venden con espesores predeterminados, se ha escogido por sencillez y seguridad un **espesor final de 2,5 cm.**

8.4 Medios utilizados

Los medios utilizados para la realización de este trabajo son básicamente 3:

- Un medidor láser
- Software para ingeniería CYPE
- Aplicación Microsoft Word

El medidor láser se ha empleado exclusivamente para la medición de la plaza Von Siemens. La distancia entre pilares, la altura de la fachada o las dimensiones de los pilares han sido medidas gracias a este utensilio. Por otro lado, mediante Microsoft Word se ha podido redactar este trabajo de fin de grado. El Software de ingeniería CYPE en cambio, ha tenido mayor importancia a lo largo de este proyecto y por ello, se habla más detalladamente de él en el siguiente apartado 8.4.1.

8.4.1 CYPE

Se trata de un programa de cálculo de estructuras diseñado por *CYPE Ingenieros S.A.* Aunque este software cubre múltiples funciones tales como el cálculo de presupuestos, precios, estructuras de hormigón o cimentaciones, en este proyecto se ha empleado CYPE 3D. Se trata de un programa especialmente adaptado para las estructuras de nudos y barras, que conforman las estructuras típicas en edificación. Es utilizado para el cálculo de proyectos tridimensionales de barras con perfiles de acero, aluminio o madera.

A continuación se detallan varias herramientas que conforman dicho programa.

Panel de control

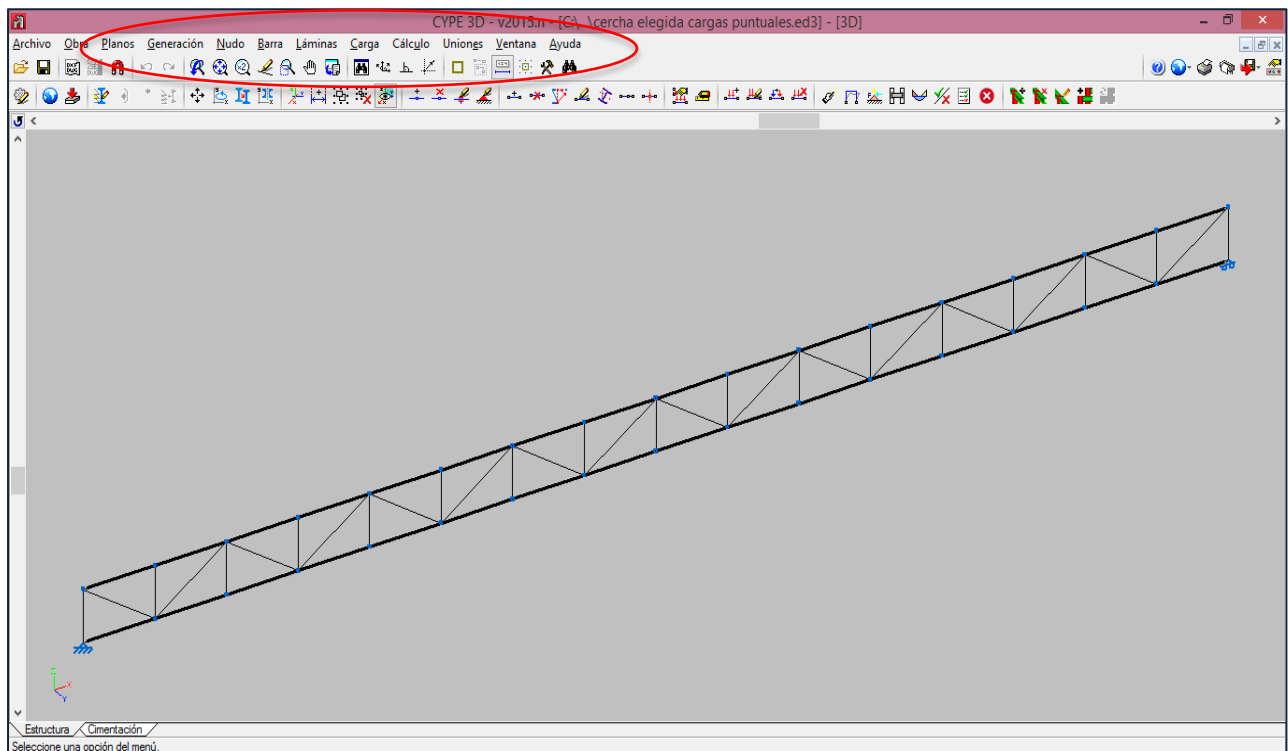


Figura 58. Panel de control en CYPE

En el panel de control de este programa hay múltiples herramientas:

- Nudo: Sirve para la generación de nudos en el plano.
- Barra: Se emplea para generar barras que unan dos o más nudos.
- Láminas: Permiten diseñar superficies de cargas que pueden distribuirse en una o dos direcciones.
- Cargas: Aquí es donde se añaden las diferentes cargas del proyecto. Pueden ser puntuales, lineales o superficiales. Se puede añadir paños de cargas y también reflejar múltiples hipótesis de carga.
- Cálculo: Calcula los esfuerzos en cada elemento.
- Uniones: Permite añadir, editar o borrar uniones, así como generarlas o dimensionarlas.

En las siguientes imágenes se detallan varias de las herramientas ya mencionadas.

Nudo

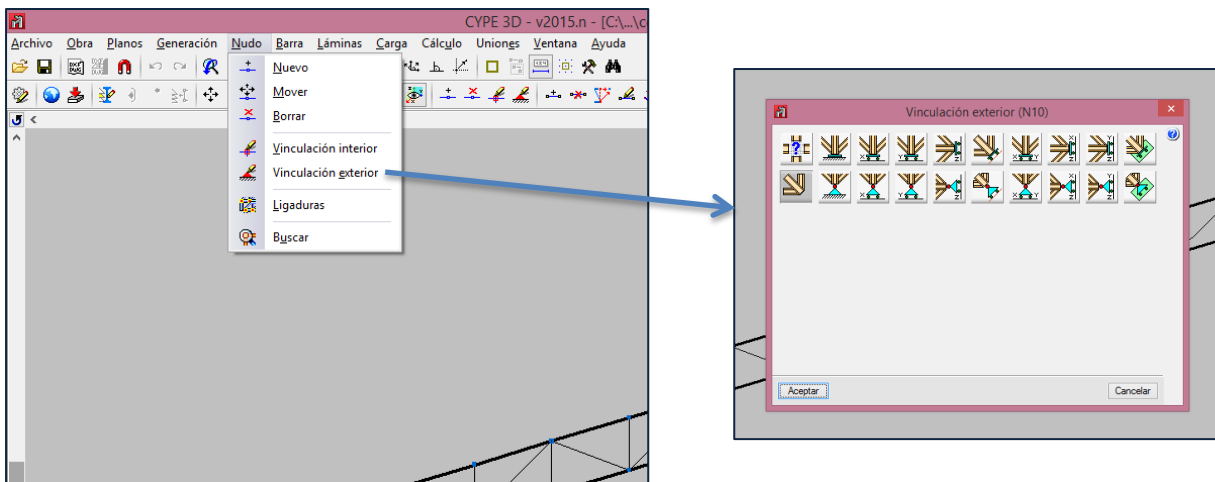


Figura 59. Herramienta “Nudo”

Como se puede ver esta herramienta permite plasmar, mover o borrar nudos pero también elegir el tipo de nudo a emplear (Articulado, empotrado, deslizante...).

Barra

La herramienta “Barra” permite no solo disponer barras entre dos nudos sino también, elegir el tipo de perfil que dicha barra debe tener. Además se puede determinar la flecha límite o el coeficiente de pandeo que esa barra debe cumplir.

Del mismo modo, se pueden agrupar barras que el usuario quiera para así simplificar la elección de perfiles y no ir de una en una, por ejemplo.

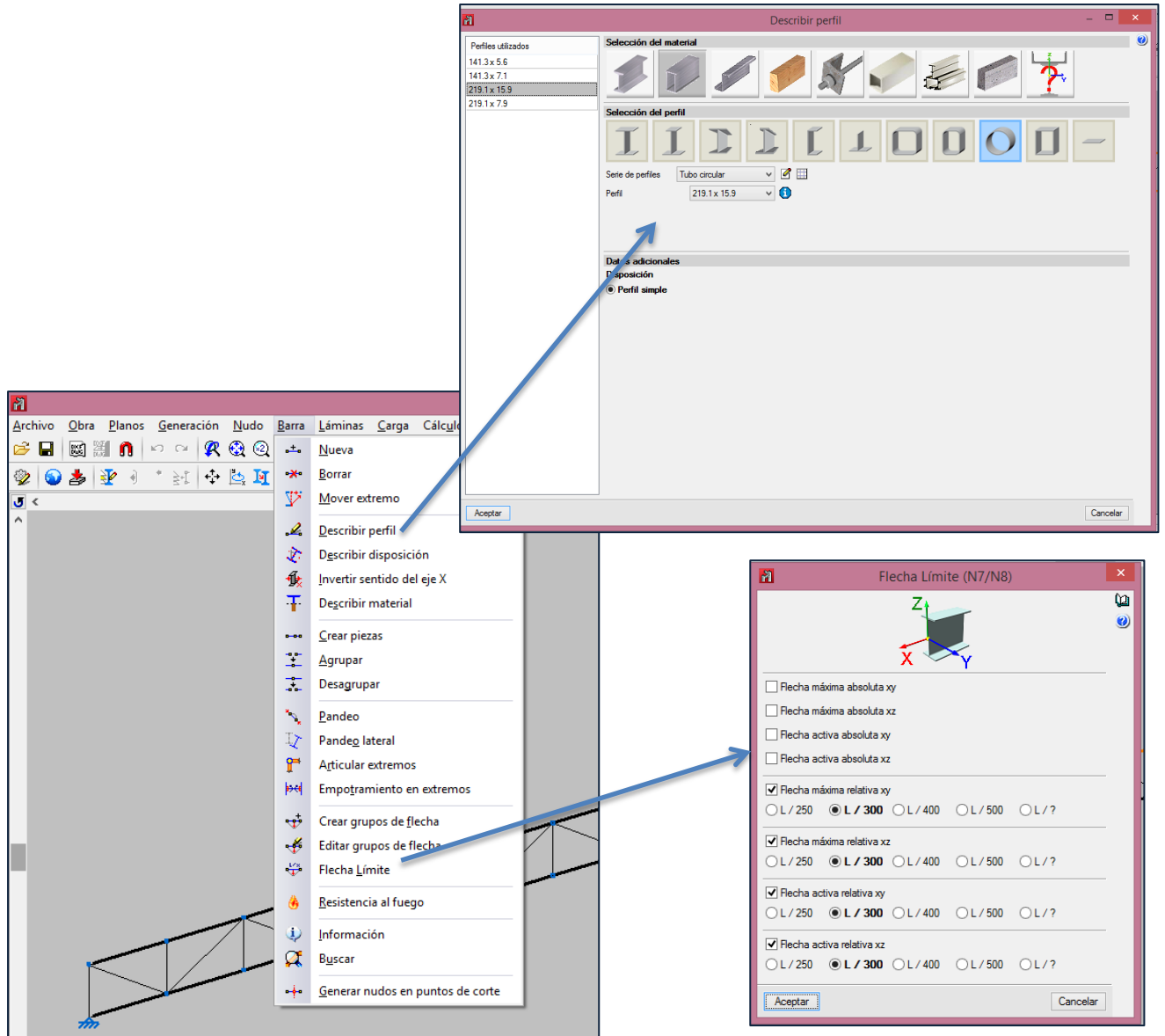


Figura 60. Herramienta "Barra"

Carga

Esta herramienta permite establecer cargas puntuales, lineales y superficiales al igual que incluir paños.

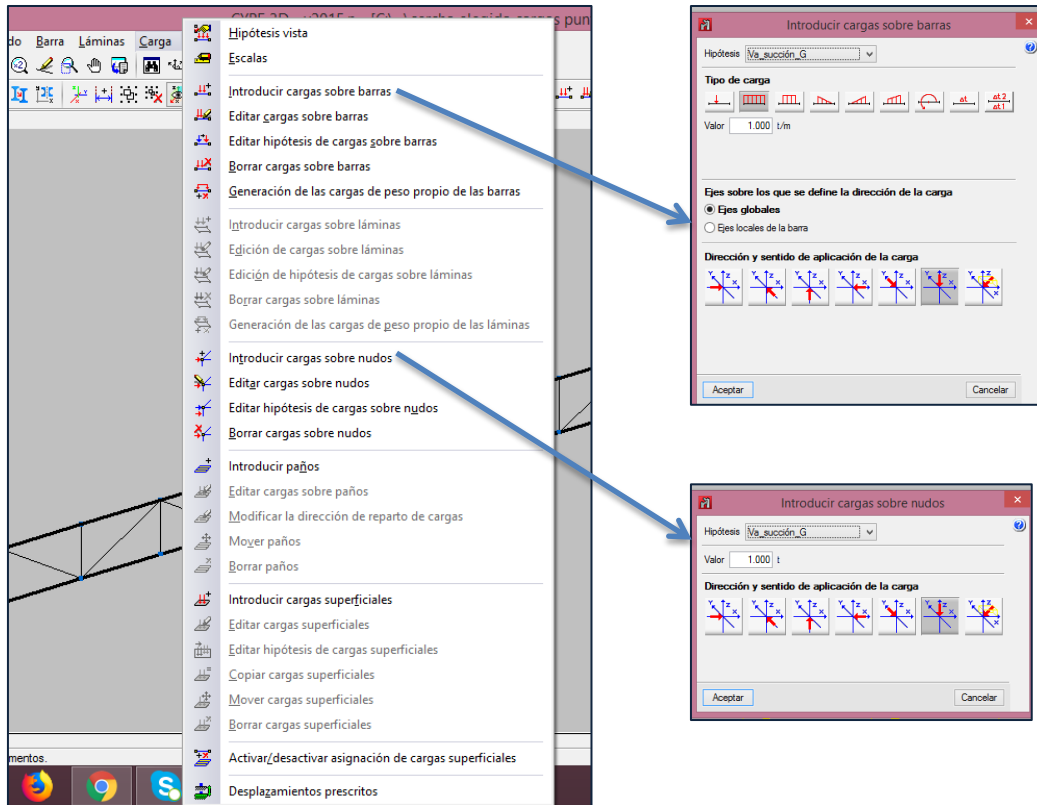


Figura 61. Herramienta “Carga”

Cálculo

Esta es de las herramientas más importantes y utilizadas ya que calcula los esfuerzos de los elementos de la estructura diseñada. Va más allá e incluso destaca aquellos elementos que no cumplen con la norma o están en rotura.

Mediante las pestañas “Reacciones” o “Desplazamientos” se puede conocer los diferentes esfuerzos que aguanta cada elemento o la deformada dependiendo de cada hipótesis de carga.

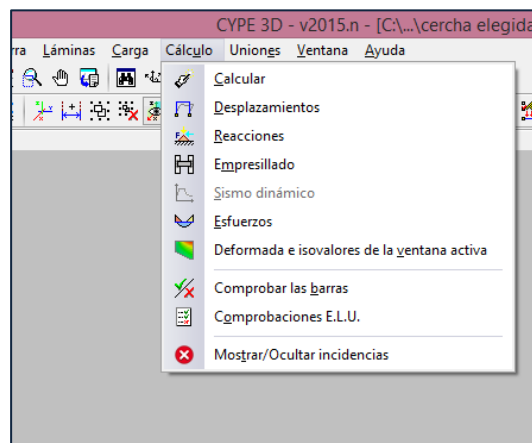


Figura 62. Herramienta “Cálculo”

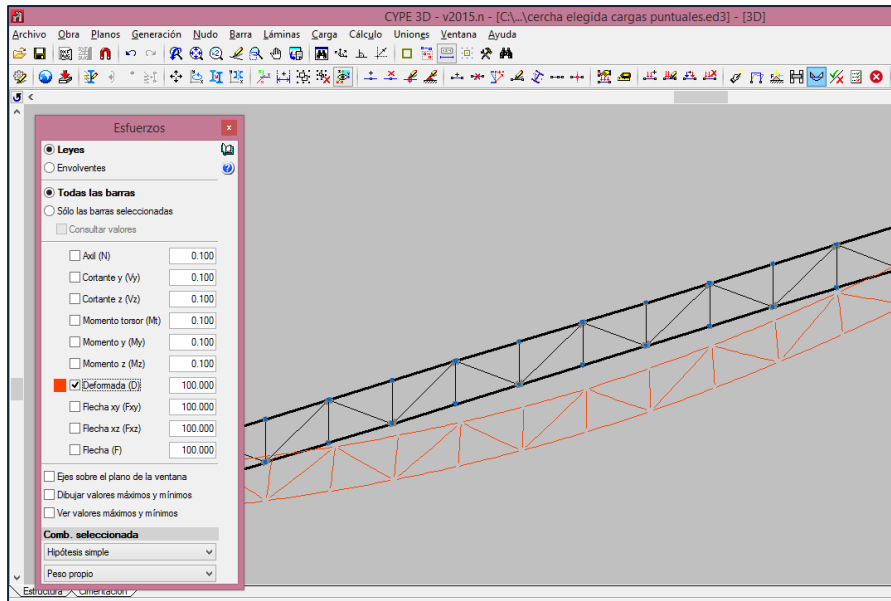


Figura 63. Opción “Reacciones”

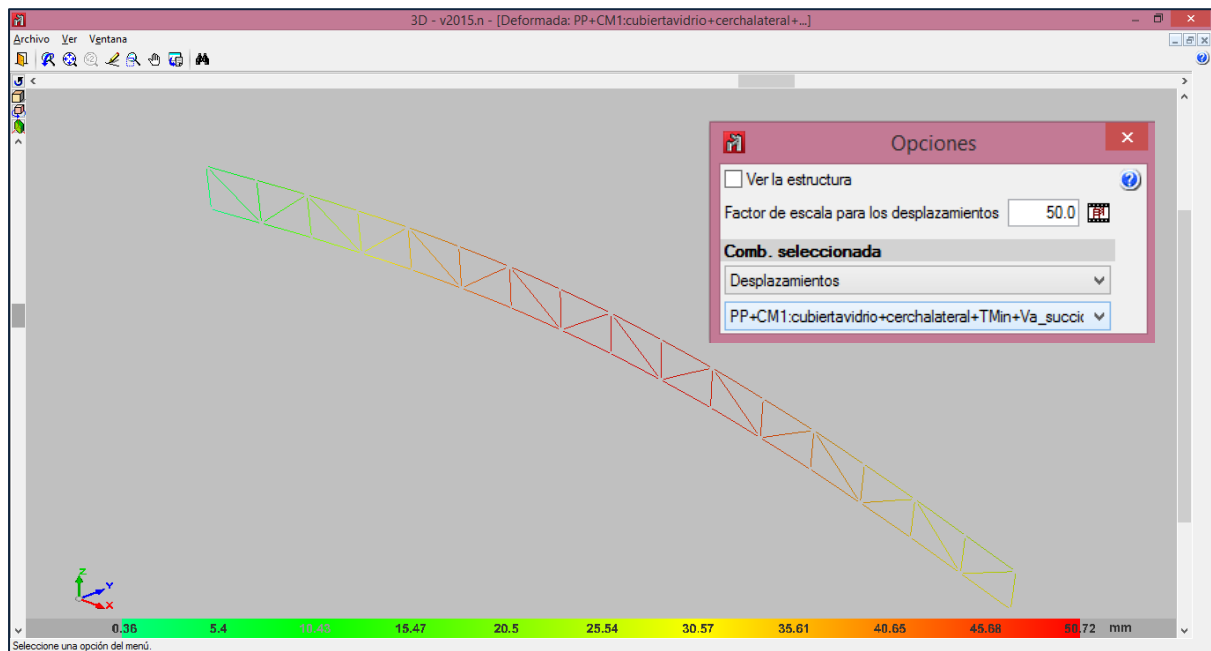


Figura 64. Opción “Esfuerzos”

9. Descripción de tareas. Gantt

El siguiente apartado describe los pasos que se han seguido para la realización de este proyecto desde los primeros bocetos e ideas, pasando por el cálculo de las diferentes alternativas hasta llegar a la propuesta final. En el diagrama de Gantt añadido más adelante quedan detalladas con mejor precisión los tiempos de cada tarea. Dichas tareas se han agrupado en 6 grupos de trabajo y se han definido los hitos. El responsable de todas las tareas ha sido Sergio López García, supervisado a su vez por Luís María Macareno Ramos. El proyecto se ha llevado a cabo entre el 1 de marzo y el 19 de junio, fecha de finalización.

1. Cuestiones Previas

1.1 Fijación del tema: El alumno ha propuesto varios temas de los cuales tras varias deliberaciones, se ha elegido uno.

Carga de trabajo: 2 horas

Duración: 1 día

1.2 Formación en CYPE: el alumno ayudado por video tutoriales de Youtube y por su tutor, se familiarizará con el programa CYPE para así poner a diseñar la cubierta.

Carga de trabajo: 35 horas

Duración: 12 días

1.3 Lectura de CTE: El alumno leerá el CTE y subrayará aquello que crea que es importante para el proyecto y hará un resumen.

Carga de trabajo: 30 horas

Duración: 12 días

HITO 1: Formación previa finalizada

2. Recopilación de datos

2.1 Búsqueda de información: El alumno, mediante internet o libros académicos, extraerá la suficiente información acerca de materiales de construcción y tipos de estructuras.

Carga de trabajo: 12 horas

Duración: 7 días

2.2 Toma de medidas y reportaje fotográfico: Ayudado por un metro láser, se procederá a medir aquellas dimensiones de la plaza Von Siemens que sean necesarias. Además, se tomarán las fotos necesarias del entorno.

Carga de trabajo: 1 hora

Duración: 1 día

3. Análisis de Alternativas

3.1 Diseño de alternativas: con la información recabada, se procede al diseño de diferentes tipos de cubiertas con sus respectivos materiales.

Carga de trabajo: 7 horas

Duración: 5 días

3.2 Estudio de su comportamiento: Mediante CYPE, se simulan los distintos diseños y se analiza su comportamiento, describiendo las ventajas y desventajas.

Carga de trabajo: 24 horas

Duración: 7 días

HITO 2: *Elección del tipo estructural para la cubierta*

4. Cálculo estructural de la elección final

4.1 Cálculo de las solicitaciones: Mediante la información del CTE DB-SE-AE, se determinan las diferentes acciones actuantes sobre la cubierta.

Carga de trabajo: 6 horas

Duración: 3 días

4.2 Cálculo y diseño de las cerchas principales y transversales por CYPE: En esta tarea se diseñará primero la cercha principal y se le añadirán las diferentes cargas. Tras ello, se diseñará la cercha transversal y se le añadirán las cargas.

Carga de trabajo: 24 horas

Duración: 6 días

4.3 Comprobación de su resistencia: En este caso se cerciora de que las cerchas diseñadas cumplen con la normativa y resisten las cargas. Además, se intentan optimizar los perfiles, sin sobrepasar su resistencia.

Carga de trabajo: 4 horas

Duración: 3 días

4.4 Elección de la distancia entre correas: Se proponen posibles distancias entre correas y mediante un cálculo aproximado de las cargas que soportarán, se elige una de las distancias atendiendo a la seguridad y el coste.

Carga de trabajo: 3 horas

Duración: 3 días

HITO 3: *Cálculo estructural completo*

5. Análisis de resultados

5.1 Verificación del aguante de la estructura universitaria y comprobación de la flecha máxima: Suponiendo un pilar de hormigón y calculando su armadura, se ve si éste puede aguantar toda la carga transmitida por la cubierta.

Carga de trabajo: 6 horas

Duración: 5 días

HITO 4: *Comprobaciones completas*

6. Redacción de la memoria

6.1 Estudio de las conclusiones: Se exponen las conclusiones a las que se ha llegado y si este proyecto es posible o no.

Carga de trabajo: 5 horas

Duración: 3 días

6.2 Redacción del proyecto: Se expone en un documento todo lo diseñado, calculado y reflexionado.

Carga de trabajo: 60 horas

Duración: 12 días

HITO 5: *Fin del proyecto*

Cabe destacar en esta planificación de tareas que habrá una restricción de 15 días previos a la época de exámenes (marcados en rojo en el diagrama Gantt), en los cuales no se hará nada relacionado con el trabajo de fin de grado.

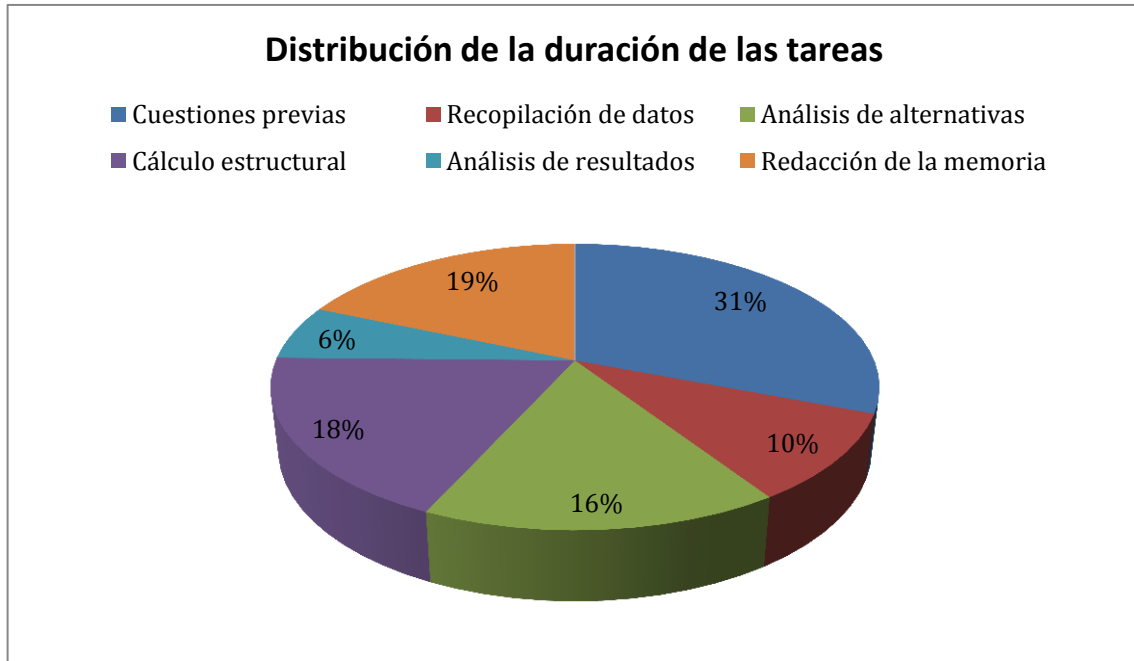


Figura 65. Duración de las tareas

De la gráfica anterior se puede ver como 31% de la duración del proyecto está relacionado con la formación previa en CYPE y la lectura del CTE. También es destacable el 16% relacionado con el análisis de alternativas ya que se trata de una tarea complicada de búsqueda de información y desgrane de todas las ventajas y desventajas de dichas alternativas.

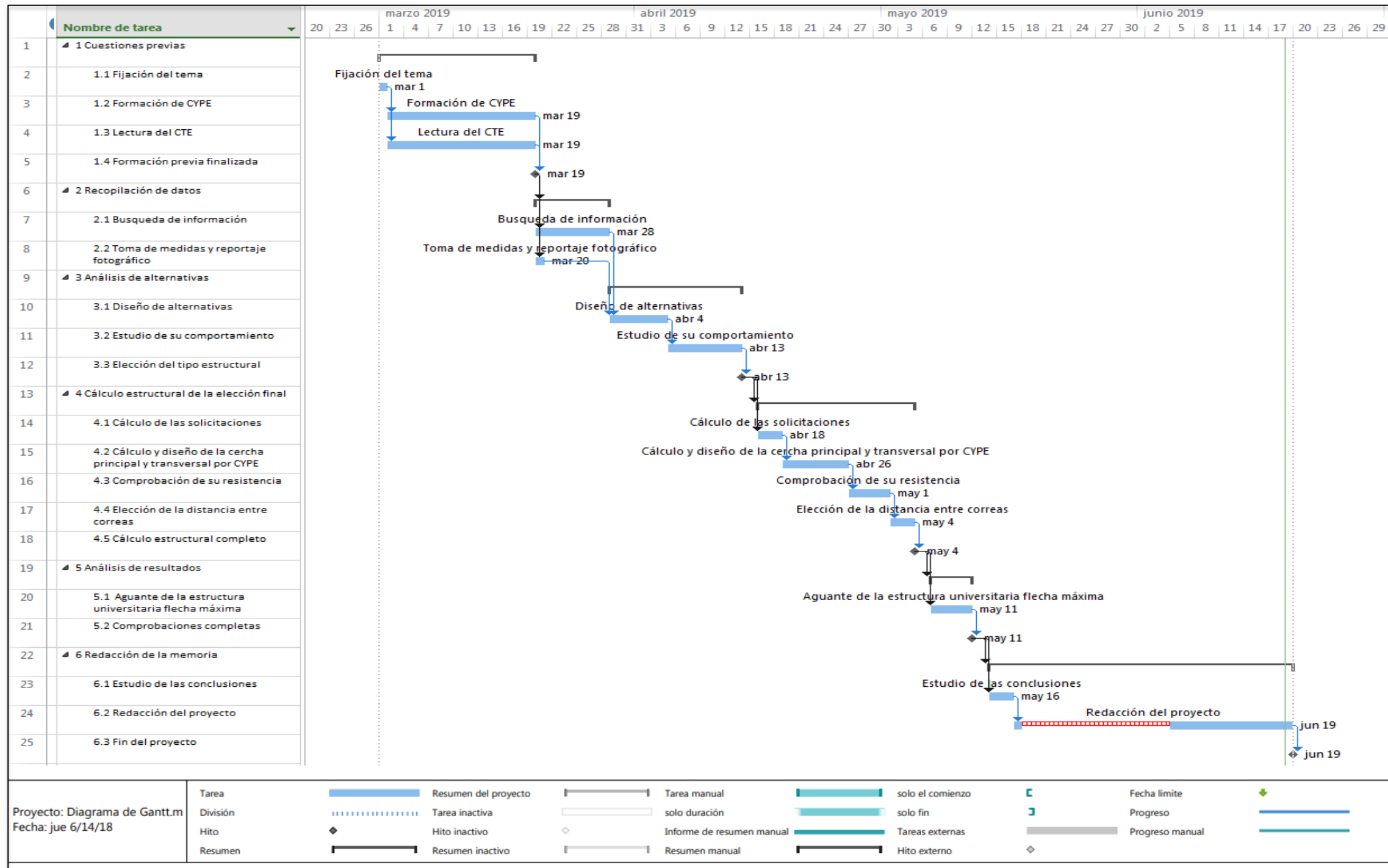


Figura 66. Diagrama de Gantt

10. Presupuesto/Descargo de gastos

En el apartado de presupuestos lo que se plasmará en realidad el descargo de gastos en la realización de este TFG.

Cabe destacar que este trabajo es meramente académico y por tanto, no se espera obtener rédito económico de él. Aunque este trabajo pudiera plasmar también otros aspectos constructivos tales como el proceso de montaje de la cubierta o un presupuesto global de obra, no se ha hecho por falta de información y porque no entra dentro de lo que es el proceso de “diseño” y “cálculo” de dicha cubierta.

Dicho esto, se recogerán a continuación solamente los gastos de ejecución de este trabajo.

Tabla 25. Descargo de gastos

HORAS INTERNAS				4.100,00
Concepto	Coste horario (€/h)	Horas	Coste total (€)	
Director TFG	60,00 €	15,00 €	900,00 €	
Autor TFG	20,00 €	160,00 €	3.200,00 €	
AMORTIZACIONES				275,94 €
Concepto	Coste horario (€/h)	Horas	Coste total(€)	
Ordenador	0,20 €	150,00 €	30,00 €	
Licencia CYPE	2,45 €	75,00 €	183,75 €	
Licencia AUTOCAD	10,94 €	6,00 €	16,94 €	
Licencia MSProject	3,00 €	2,00 €	5,00 €	
Licencia MSOffice	0,25 €	40,00 €	40,25 €	
GASTOS				170,00 €
Concepto				
Material de oficina			30,00 €	
Libros de consulta			40,00 €	
Varios			100,00 €	
SUBTOTAL				4.545,94 €
Costes indirectos				10%
TOTAL				5.000,53 €

En la sección “Horas Internas” se ha tenido en cuenta las horas empleadas tanto por el director de este TFG, Luís María Macareno Ramos, como por el autor, Sergio López García, en la realización de este trabajo. Se incluyen en el cálculo de las horas trabajadas actividades como la toma de medidas, la redacción del trabajo, el diseño y cálculo de la cubierta o la recopilación de información.

En el apartado de amortizaciones, se ha tomado una vida útil de un año en el cálculo de las amortizaciones de las licencias y se ha estimado su uso anual.

Por todo ello, la elaboración de este TFG supone un coste total de 5000,53 €

En la figura siguiente se muestra la importancia de cada uno de los apartados del presupuesto.

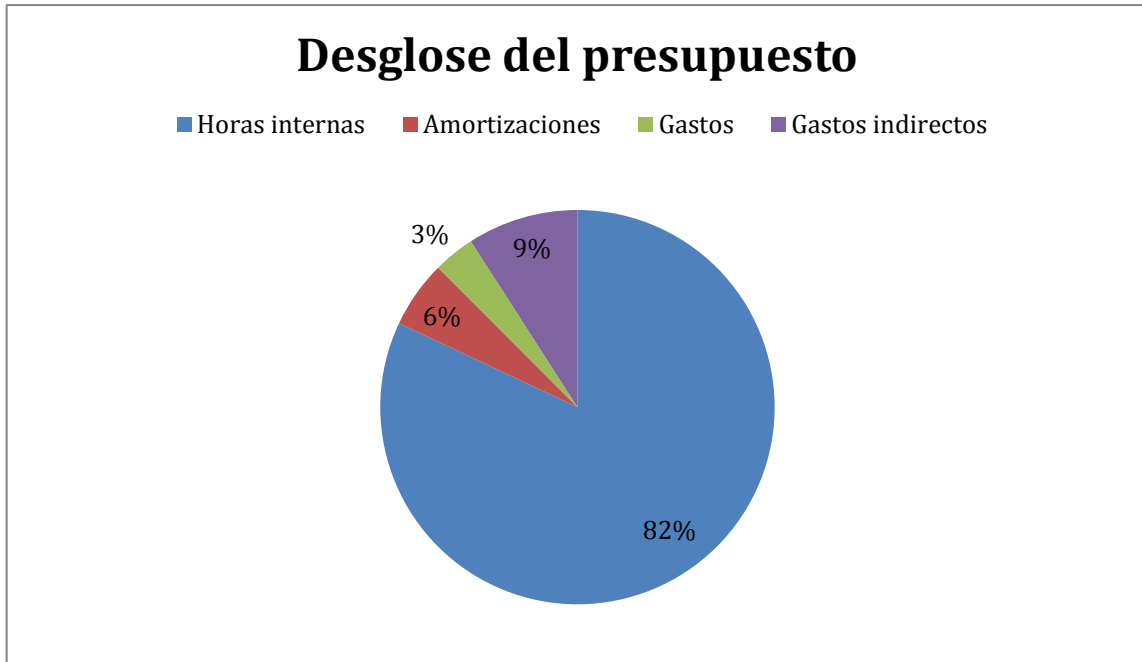


Figura 67. Descargo del presupuesto

Como se puede observar en la figura 63, la mayor parte del presupuesto se corresponde con las horas internas ya que supone el 82% de éste. Esto se debe a que se trata de un estudio y un cálculo que no contempla una aplicación práctica del mismo. Por otro lado las amortizaciones suponen solamente el 6% del total.

11. Conclusiones

Las principales premisas de este TFG eran el cálculo y diseño de una cubierta para la plaza Von Siemens respetando el Código Técnico de la Edificación (CTE). Habiendo expuesto las diferentes alternativas disponibles junto con sus ventajas y desventajas se ha llegado al resultado final. De él se puede concluir lo siguiente:

Se ha elegido una cubierta metálica ligera con cerramiento de vidrio laminado para mayor seguridad. Se trata de una cubierta cuya estructura principal está compuesta por cerchas de perfiles tubulares y 44 metros de luz máxima, cuyo peso es de 52,4 toneladas. Si se considera el cerramiento de vidrio, el peso total de la cubierta asciende a 110,4 toneladas. Siendo el área a cubrir de 1160 m², se puede concluir que el peso propio de la cubierta es de 95,2 kg/m².

Por otro lado, las reacciones máximas en los apoyos descritas en apartados anteriores no son tales como para afectar de forma crítica al conjunto de la estructura de hormigón de la Escuela de Ingenieros de Bilbao.

Se han realizado todas las comprobaciones de seguridad en cada barra de acuerdo con la normativa. Del mismo modo, las deformaciones estructurales que muestra esta cubierta son menores que los límites impuestos por el CTE en materia de seguridad estructural. Las simplificaciones que se hayan podido dar a lo largo de los cálculos de este trabajo han sido todos del lado de la seguridad, así como en el caso de las cargas o las acciones.

Se ha intentado proponer una cubierta simple de fabricar, transportar y montar, que sea a la vez esbelta, que posibilite la entrada de luz natural a la plaza Von Siemens y finalmente, esté compuesta de materiales fáciles y baratos de conseguir en el País Vasco como lo son el acero o el vidrio.

12. Fuentes de información

[1] CTE, Documento Básico, SE-AE. (Abril, 2009). Disponible en:
<http://www.codigotecnico.org/>

[2] CTE, Documento Básico, SE-A. (Enero, 2008). Disponible en:
<http://www.codigotecnico.org/>

[3] Argüelles Álvarez, R; Argüelles Bustillo, R; Argüelles Bustillo, JM; Arriaga Martitegui, F; Atienza Reales, JR.: *Estructuras de acero. Uniones y sistemas estructurales*, 2007.

[4] Losada Rodríguez, R; Rojí Chandro, E; Cuadrado Rojo, J; Orbe Mateo, A; Larrauri Gil, M.: *Fundamentos sobre sistemas y elementos estructurales en edificación*, ETSI Bilbao, 2010.

[5] Losada Rodríguez, R; Rojí Chandro, E; Cuadrado Rojo, J; Orbe Mateo, A.: *Teoría de Estructuras y Construcción. Primera parte: Conceptos estructurales. Transparencias de clase*, ETSI Bilbao, 2015.

[6] Apuntes de la asignatura *Proyectos de Ingeniería*, ETSI Bilbao ,2015.

[7] Maturana Orellana, A.: *Teoría de Estructuras y Construcción. Segunda Parte: Transparencias de clase*, ETSI Bilbao, 2016.

[8] Riera Hernández, P.E: *Diseño y cálculo de cubierta de nave industrial*, ETSI Bilbao, 2016.

[9] Propiedades mecánicas del vidrio. Disponible en:
<http://www.vitralba.com>

[10] Perfiles de correas. Disponible en:
<http://www.teczone.es>

[11] Universidad del País Vasco. Disponible en:
<https://www.ehu.eus>

[12] Mapa de Bilbao. Disponible en:
<https://www.google.es/maps>

[13] Precipitación anual en Bilbao. Disponible en:
<http://www.aemet.es>

[14] Estructuras de metal. Disponible en:
www.construmatica.com

13. ANEXO I: Normativa aplicable

El siguiente anexo pretende describir la normativa por la cual se rige este trabajo y en qué consiste.

La normativa fundamental que se aplica a este proyecto es el Código Técnico de la Edificación (CTE). El CTE es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad, en desarrollo de lo previsto en la disposición final segunda de la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.

El CTE se aplicará a las obras de edificación de nueva construcción, excepto a aquellas construcciones de sencillez técnica y de escasa entidad constructiva, que no tengan carácter residencial o público, ya sea de forma eventual o permanente, que se desarrollen en una sola planta y no afecten a la seguridad de las personas. Igualmente, el Código Técnico de la Edificación se aplicará también a intervenciones en los edificios existentes y su cumplimiento se justificará en el proyecto o en una memoria suscrita por técnico competente.

La posible inviabilidad o incompatibilidad de aplicación o las limitaciones derivadas de razones técnicas, económicas o urbanísticas se justificarán en el proyecto o en la memoria, según corresponda, y bajo la responsabilidad y el criterio respectivo del proyectista o del técnico competente que suscriba la memoria. En las intervenciones en edificios existentes el proyectista deberá indicar en la documentación del proyecto si la intervención incluye o no actuaciones en la estructura preexistente; entendiéndose, en caso negativo, que las obras no implican el riesgo de daño citado en el artículo 17.1,a) de la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.

El CTE contiene los denominados Documentos Básicos, en adelante DB, para el cumplimiento de las exigencias básicas del CTE. Estos Documentos, basados en el conocimiento consolidado de las distintas técnicas constructivas, contienen la caracterización de las exigencias básicas y su cuantificación, en la medida en que el desarrollo científico y técnico de la edificación lo permite, mediante el establecimiento de los niveles o valores límite de las prestaciones de los edificios o sus partes, y unos procedimientos cuya utilización acredita el cumplimiento de aquellas exigencias básicas, concretados en forma de métodos de verificación o soluciones sancionadas por la práctica.

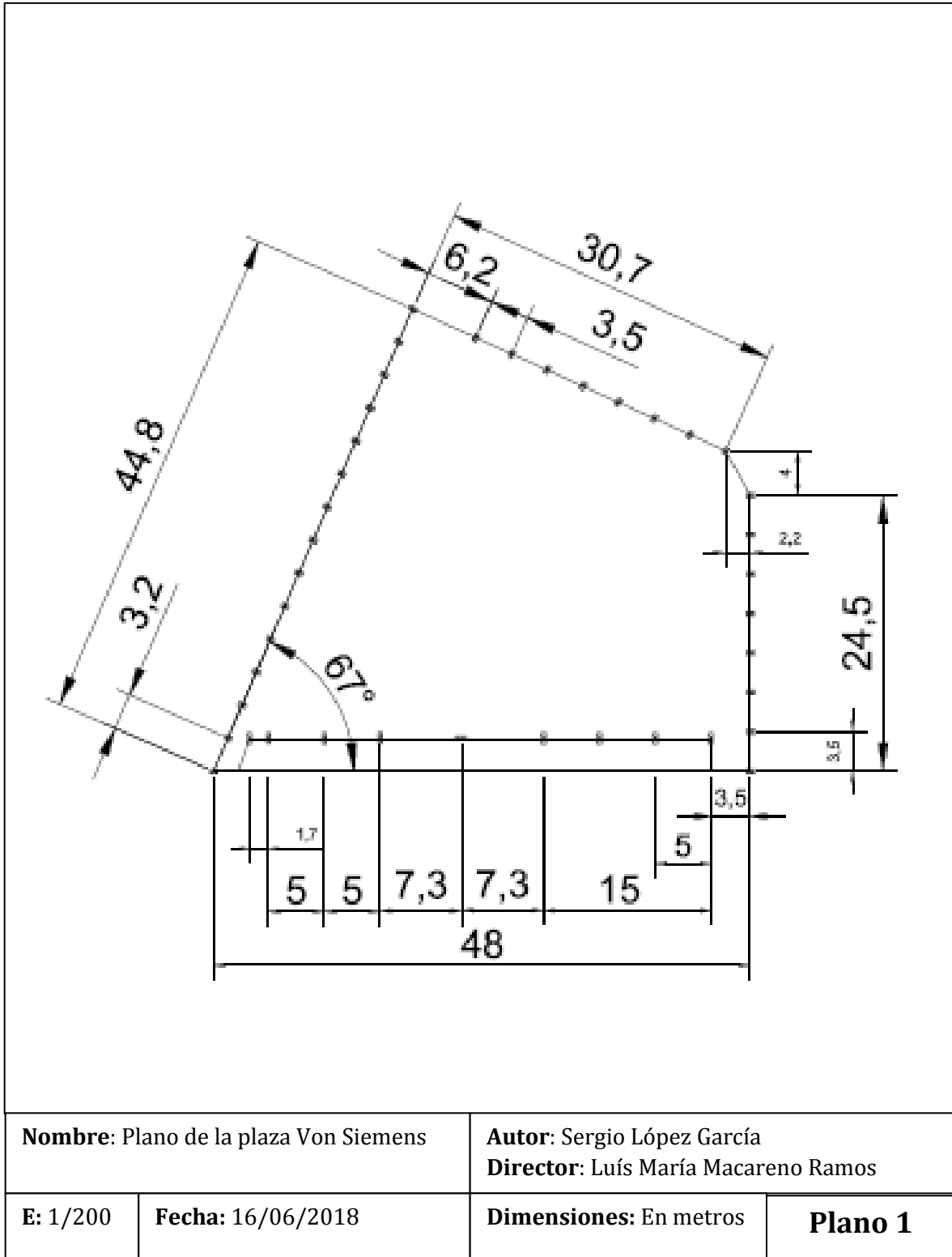
El objetivo del requisito básico "Seguridad estructural" consiste en asegurar que el edificio tiene un comportamiento estructural adecuado frente a las acciones e influencias previsibles a las que pueda estar sometido durante su construcción y uso previsto. Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, fabricarán, construirán y mantendrán de forma que cumplan con una fiabilidad adecuada las exigencias básicas que se establecen. Los Documentos Básicos "DB SE Seguridad Estructural", "DB-SE-AE Acciones en la edificación", "DBSE-C Cimientos", "DB-SE-A Acero", "DB-SE-F Fábrica" y "DB-SE-M Madera", especifican parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad

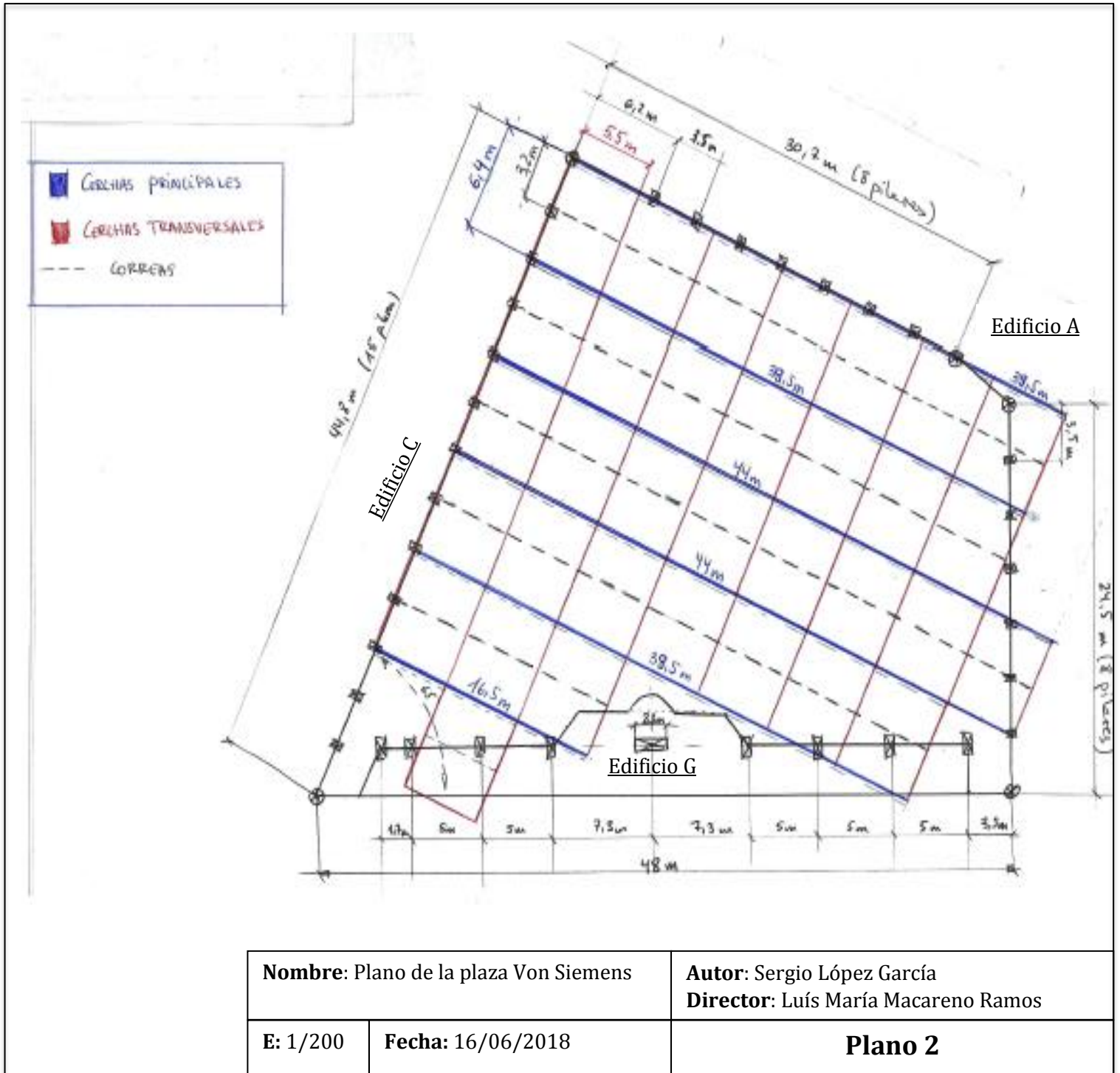
propios del requisito básico de seguridad estructural. El proyecto aquí presentado, se registrará por los siguientes DB:

- DB SE Seguridad Estructural
- DB-SE-AE Acciones en la edificación
- DB-SE-A Acero

14. ANEXO II: Planos

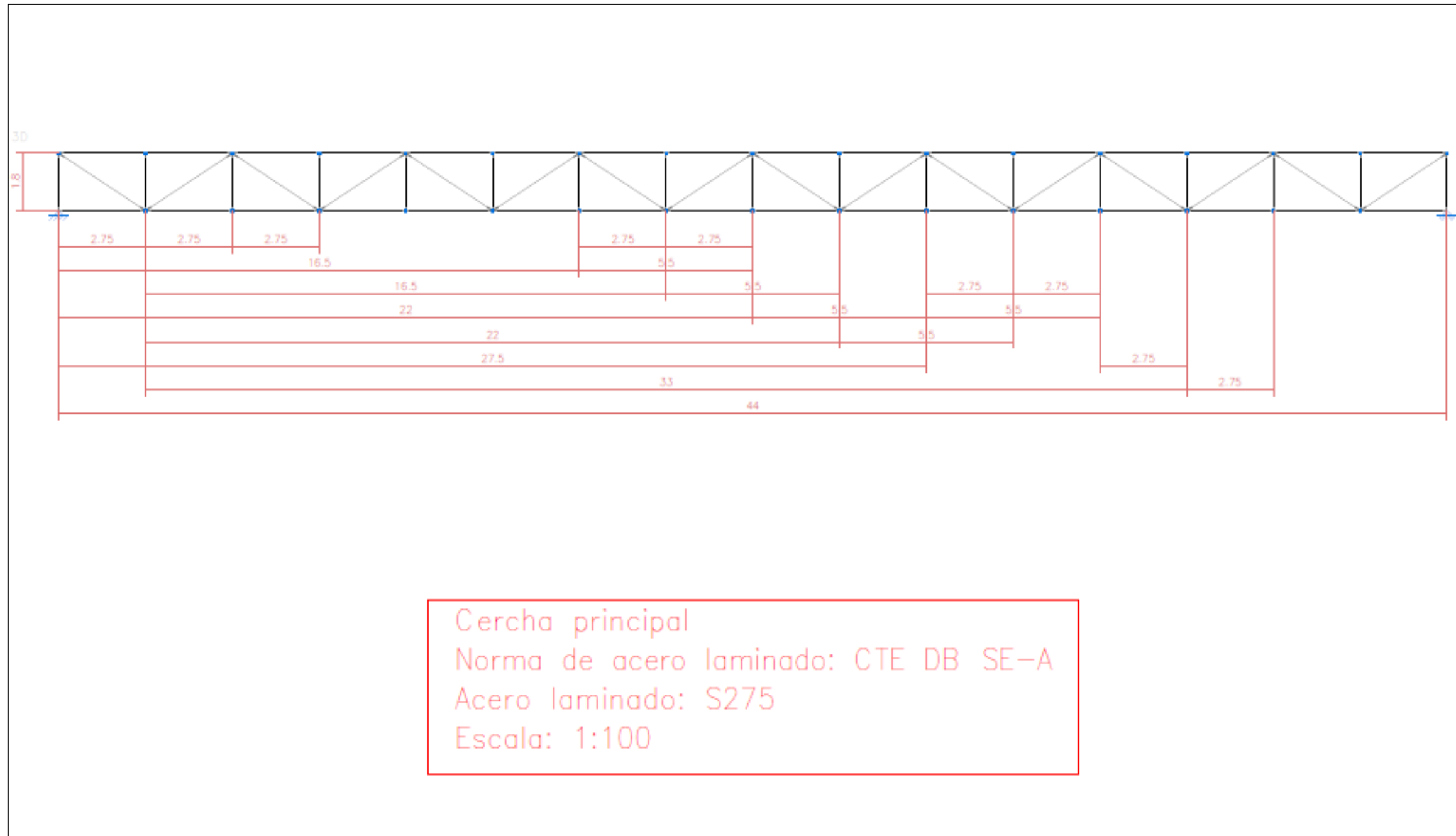
14.1 Planos de planta de la cubierta

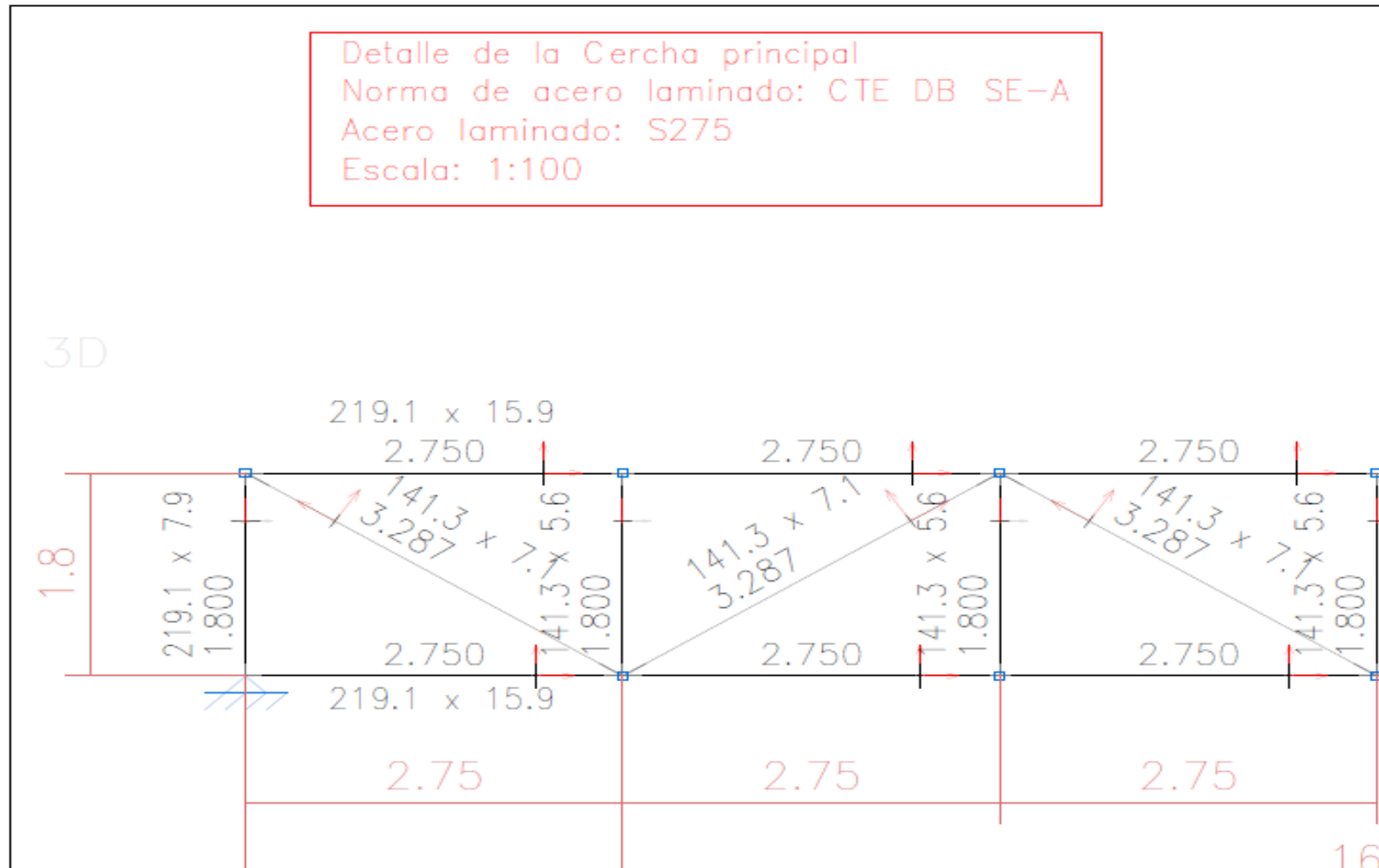


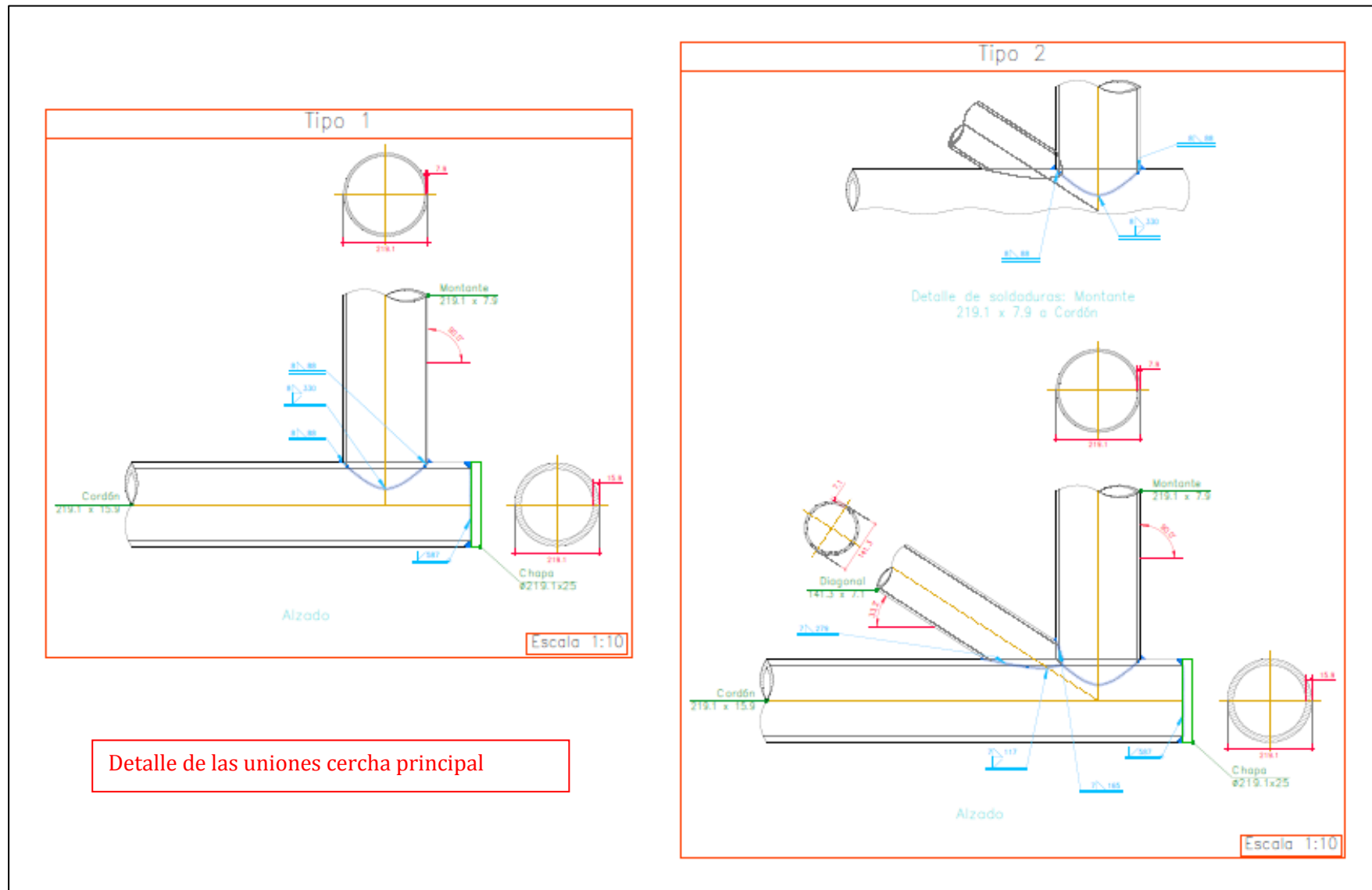


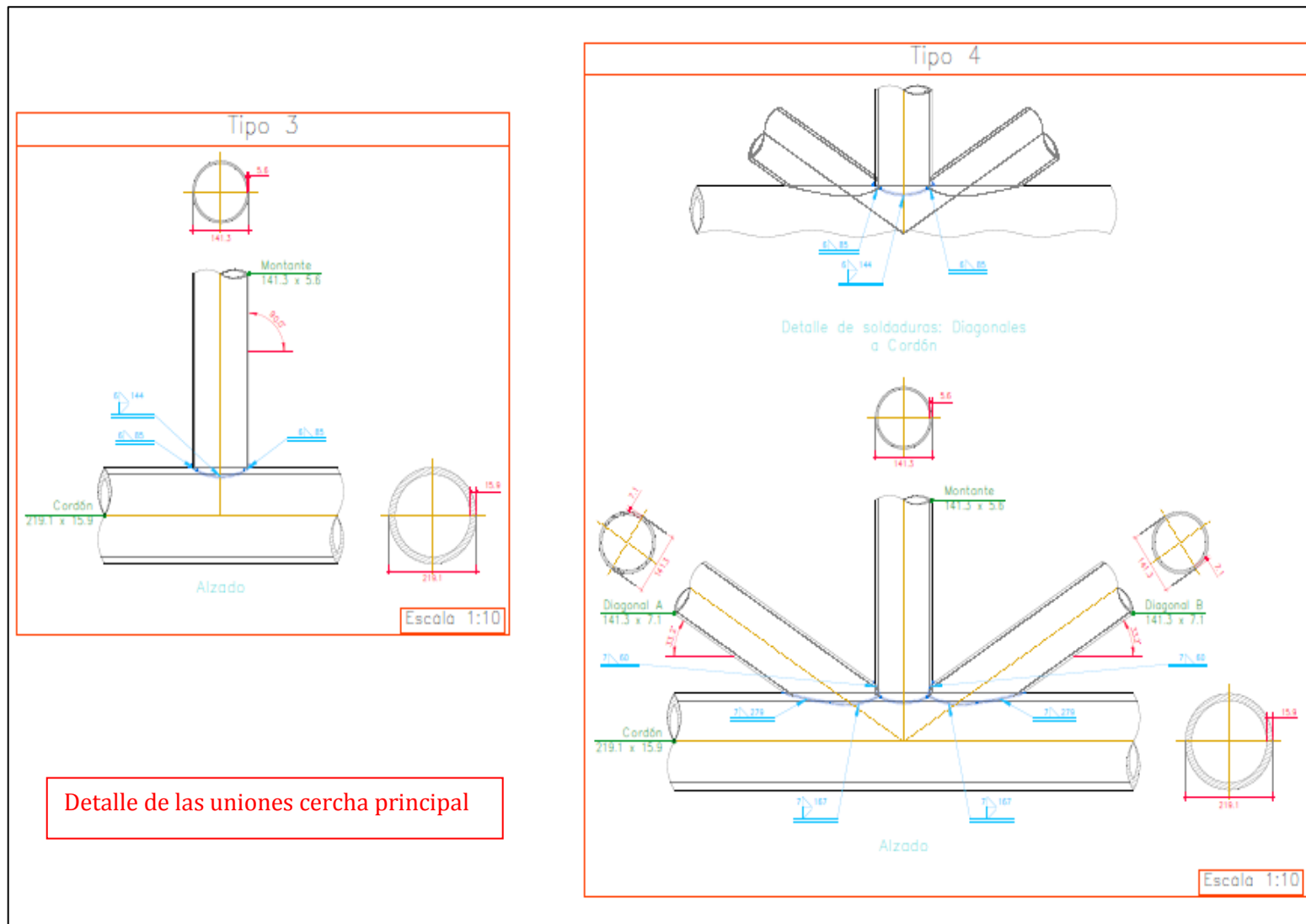
Nombre: Plano de la plaza Von Siemens		Autor: Sergio López García
		Director: Luís María Macareno Ramos
E: 1/200	Fecha: 16/06/2018	Plano 2

14.2 Cercha principal









14.3 Cercha transversal

