



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

Cubrición PISTA POLIDEPORTIVA en VIANA, Navarra

Alberto Aguirre Palomino

José Vicente Valdenebro García

Pamplona, 19 de Febrero de 2015

## INDICE

<b>1 <u>MEMORIA</u></b>	5
<b>1.1 OBJETO del PROYECTO</b>	5
<b>1.2 Introducción CONSTRUCCIÓN en MADERA</b>	6
1.2.1 BENEFICIOS de la PRODUCCIÓN de MADERA	6
1.2.2 VENTAJAS de la MADERA en la CONSTRUCCIÓN	8
1.2.3 TIPOS de EDIFICACIÓN	10
1.2.4 ELEMENTOS de GRANDES ESCUADRÍAS	11
<b>1.3 NOCIONES BÁSICAS del MATERIAL</b>	12
1.3.1 COMPORTAMIENTO MECÁNICO	14
1.3.2 COMPORTAMIENTO al FUEGO	15
1.3.3 COMPORTAMIENTO ACÚSTICO	16
1.3.4 COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO	18
<b>1.4 PRODUCTOS de MADERA en CONSTRUCCIÓN</b>	19
1.5 UNIONES en ESTRUCTURAS de MADERA	40
1.6 PROYECTO y EJECUCIÓN de sistemas constructivos con MADERA	45
1.7 SISTEMAS de CERTIFICACIÓN de PRODUCTOS con MADERA	49
<b>1.8 Exigencias básicas de SEGURIDAD ESTRUCTURAL</b>	50
1.9 DESCRIPCIÓN sistema ESTRUCTURAL	61
<b>1.10 ACCIONES CONSIDERADAS</b>	64
<b>1.11 SECCIONES CONSTRUCTIVAS</b>	68
<b>1.12 JUSTIFICACIÓN de las SECCIONES CONSTRUCTIVAS</b>	70

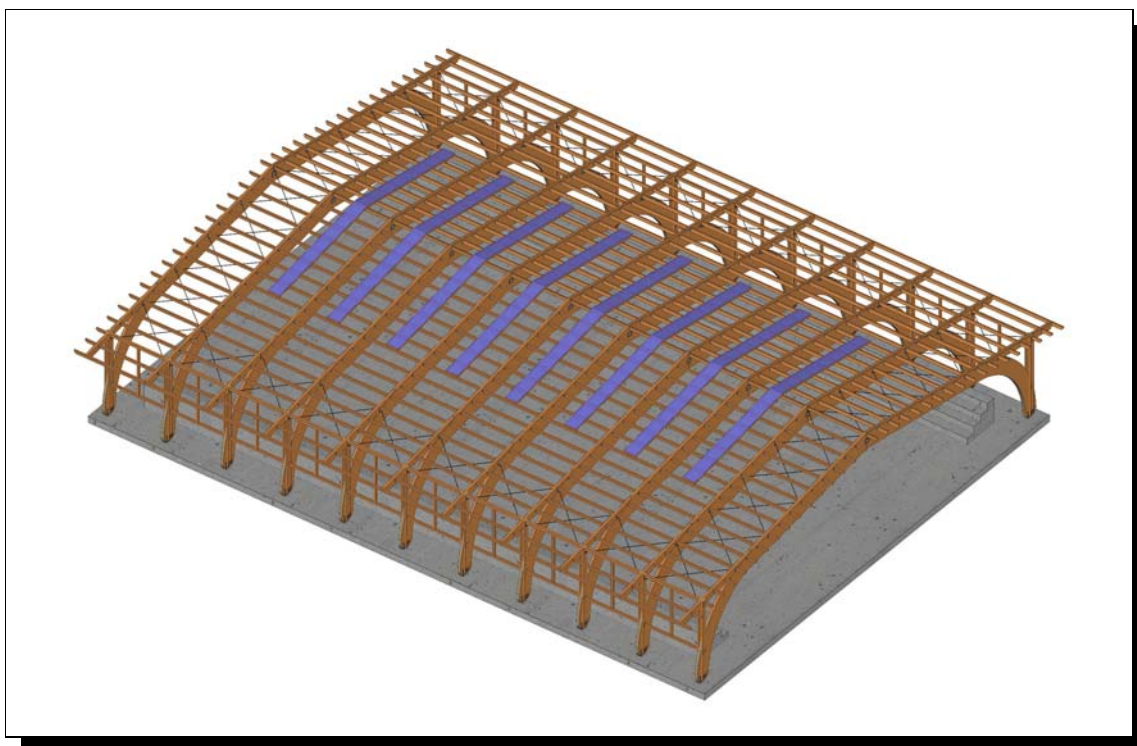
<b>2</b>	<b><u>PLANOS</u></b>	90
	P01_ Plano de SITUACIÓN I	92
	P02_ Plano de SITUACIÓN II	93
	P03_ Plano de EMPLAZAMIENTO	94
	P04_ Plano de REPLANTEO	95
	P05_ Plano de CIMENTACIÓN	96
	P06_ Plano de CHAPAS de ANCLAJE	97
	P07_ Plano de DISTRIBUCIÓN I	98
	P08_ Plano de DISTRIBUCIÓN II	99
	P09_ Plano de DISTRIBUCIÓN III	100
	P10_ Plano de PLANTA (Voleibol)	101
	P11_ Plano de PLANTA (Futbol Sala)	102
	P12_ Plano de PLANTA (Baloncesto)	103
	P13_ Plano de PLANTA (MiniBasket)	104
	P14_ Plano de ESTRUCTURA I	105
	P15_ Plano de ESTRUCTURA II	106
	P16_ Plano de MONTAJE I	107
	P17_ Plano de MONTAJE II	108
	P18_ Plano de MONTAJE III	109
	P19_ Plano de MONTAJE IV	110
	P20_ Anexo: INFOGRAFÍA I	111
	P21_ Anexo: INFOGRAFÍA II	112
	P22_ Anexo: INFOGRAFÍA III	113

<b><u>3</u></b>	<b><u>PLIEGO de CONDICIONES</u></b>	114
3.1_	Pliego de condiciones CIMENTACIÓN	116
3.2_	Pliego de condiciones MADERA ASERRADA	119
3.3_	Pliego de condiciones MADERA LAMINADA	124
3.4_	Pliego de condiciones PANEL SANDWICH	129
3.5_	Normativa aplicable	133
<b><u>4</u></b>	<b><u>PRESUPUESTO</u></b>	137
4.1.1_	Presupuesto CIMENTACIÓN: Suelo y Zapatas	138
4.1.2_	Presupuesto CIMENTACIÓN: Chapas de anclaje	139
4.2.1_	Presupuesto ESTRUCTURA: Estructura principal	140
4.2.2_	Presupuesto ESTRUCTURA: Estructura secundaria	141
4.2.3_	Presupuesto ESTRUCTURA: Arriostramiento	142
4.3.1_	Presupuesto CUBIERTA: Panel y Policarbonato	143
4.3.2_	Presupuesto CUBIERTA: Pluviales	144
4.4_	Presupuesto PROYECTO	145
<b><u>5</u></b>	<b><u>EQUIPOS NECESARIOS</u></b>	146
<b><u>6</u></b>	<b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b>	147

## 1.1 OBJETO del PROYECTO

Entiendo la práctica del Deporte, como una necesidad fundamental para el desarrollo físico y mental de las personas, a la vez que se manifiesta como un factor determinante en la inculcación de valores tales como la deportividad y el compañerismo.

Es por ello, que el objeto del proyecto es dotar al excelentísimo ayuntamiento de la *Muy Noble y Leal Ciudad* de Viana (Navarra), dentro del Complejo Deportivo Municipal Príncipe de Viana, de un espacio multidisciplinar en el que poder desarrollar cualquier tipo de actividad deportiva, fortaleciendo la infraestructura recreativa del municipio y creando una alternativa de ocio sana y saludable. El complejo deportivo será por tanto, de carácter dotacional y propiedad municipal.



El volumen de la Pista Polideportiva a realizar, vendrá determinado por las necesidades reglamentarias (medida en planta y alturas libres) de las distintas disciplinas deportivas demandadas en la localidad, carentes de espacios para su práctica y por tanto, para las que va a ser concebida:

- 1 zona de juego de Voleibol.
- 1 zona de juego de Fútbol Sala.
- 1 zona de juego de Baloncesto.
- 3 zonas de juego de Mini Básquet.

Un reciente estudio económico, evaluando los futuros costes de explotación, y comparándolos con los costes actuales derivados de la carencia de espacios públicos para la práctica de las actividades descritas, avalan la realización del proyecto.

## **1.2 Introducción CONSTRUCCIÓN en MADERA**

La madera ha sido un material tradicionalmente empleado en la edificación. Los antiguos sistemas constructivos con madera han ido evolucionando a lo largo de los siglos de forma distinta en función de las condiciones climáticas y sociales de cada zona. Por dicho motivo pueden apreciarse desde sistemas con madera muy simples a sistemas altamente sofisticados y exigentes. En todo caso, en muchos lugares la madera sigue y debe seguir jugando un papel importante en el proceso edificatorio.

En nuestro país, la falta de un suministro regular de madera, unida al rápido desarrollo de la industria de otros materiales como el acero y el hormigón armado, han sido algunas de las causas de que, en el último siglo, la utilización de la madera en el campo estructural haya disminuido, con la consiguiente pérdida de experiencia constructiva con este material. De la importancia que la madera ha tenido en el pasado, dan fehaciente muestra los cientos de edificaciones históricas y cascos urbanos que han hecho uso de este material como elemento estructural. La falta de un suministro regular de madera (especialmente patente en España en los últimos 50 años), junto con la ausencia de una normativa oficial que amparase al proyectista en sus cálculos y diseños, han traído consigo el paulatino desuso del material. De hecho, hasta marzo del 2006 no había ninguna normativa nacional de referencia obligada que regulara el cálculo estructural de madera.

Esta situación ha cambiado drásticamente en el último decenio con la aparición del Eurocódigo 5 y más recientemente con la del Código Técnico de la Edificación y muy especialmente con la del Documento Básico de Seguridad Estructural Estructuras de Madera (*DB-SE-M*), precisamente en un momento, en el los gobiernos europeos, para alcanzar los compromisos del Protocolo de Kyoto, están promocionado el uso de la madera en la construcción, basándose en su gran capacidad fijadora de CO<sub>2</sub> y su positivo efecto en la reducción de la huella ecológica dejada por el proceso edificatorio.

### **1.2.1 BENEFICIOS de la PRODUCCIÓN de MADERA**

La madera que se usa en la construcción en España proviene de bosques y plantaciones forestales gestionados de forma sostenible que, incluso, en muchos casos incorpora una certificación externa emitida por terceras partes (PEFC, FSC, etc.) que acredita que las prácticas realizadas tanto en la gestión forestal como en toda la cadena de custodia asociada al proceso de transformación se han llevado a cabo siguiendo estrictos criterios de protección medioambiental y social.

Es por dicho motivo por lo que, y sin género de dudas, puede afirmarse que la madera es un material renovable (a la vez que reciclable) cuyo uso creciente no sólo no esquilma y compromete la persistencia de nuestros bosques sino que, además, genera efectos medioambientales positivos tanto en nuestro clima (por su efecto sobre los ciclos del agua, de los nutrientes y del carbono atmosférico) como en la seguridad y salubridad de las edificaciones en las que es incorporado. Por dicho motivo puede afirmarse que el incremento en el consumo de madera produce efectos medioambientales y sociales positivos y crecientes, al fomentar la reforestación de grandes superficies de terreno antiguamente dedicadas a la agricultura y hoy completamente abandonadas.

Los beneficios que las plantaciones y bosques traen consigo durante el proceso de crecimiento de la madera, a grandes rasgos pueden ser:

- **Fijación del CO<sub>2</sub> de la atmósfera.** Los bosques secundarios y plantaciones forestales son uno de los grandes sumideros de dióxido de carbono que existen a nivel mundial (en 2004 los bosques españoles fijaron el 18,8% del CO<sub>2</sub> total emitido a nivel nacional). El árbol a través de la fotosíntesis capta CO<sub>2</sub> atmosférico, exhalando oxígeno y almacenando el dióxido de carbono en la estructura de la propia madera. Según el Centro Nacional de Desarrollo de la Madera de Francia (CNDM) una tonelada de madera empleada en la edificación significa 1,6 toneladas de CO<sub>2</sub> retiradas de la atmósfera (por sí misma almacena 1 tonelada, el resto viene del efecto sustitutorio de otros materiales emisores). Como cifra de referencia puede decirse que una plantación forestal, como término medio, fija anualmente por hectárea de superficie todo el CO<sub>2</sub> emitido anualmente por seis coches. Las cifras anteriores revelan de forma clara que el consumo de madera actúa, de forma activa, contra el principal de los gases responsables del efecto invernadero.
- **Regulación del ciclo hidrológico.** Las raíces de los árboles absorben el agua y los minerales del terreno, bombeándolos por toda la estructura vascular interior (en forma de savia bruta) hasta las hojas, donde se lleva a cabo la fotosíntesis. Parte del agua bombeada desde el terreno hasta la copa de los árboles es evaporada a través de los estomas de las hojas, contribuyendo de esta forma eficazmente al incremento de la humedad relativa y pluviosidad locales.
- **Protección frente a la erosión hídrica y eólica.** La cubierta forestal frena a las gotas de lluvia en su caída libre desde las nubes haciendo que el impacto contra el suelo sea menos violento y que éste se desagregue y sea arrastrado por el agua en su discurrir por la superficie (escorrentía). La menor velocidad de circulación del agua favorece también la mejora de su captación por el suelo incrementando de este modo la tasa de recarga de los acuíferos. La cubierta arbórea también protege al suelo frente a la fuerza erosiva del viento. La positiva influencia de la cubierta arbórea frente a la escorrentía y la desertificación es reconocida desde antiguo, existiendo numerosas reforestaciones efectuadas en las grandes cuencas y cabeceras de los ríos para proteger a las poblaciones y los suministros acuíferos. Cuando la gestión forestal es sostenible, esta función protectora de los bosques puede ser compatible con la función productiva.
- **Mantenimiento de la vida silvestre y la biodiversidad.** En los bosques y plantaciones forestales la fauna y flora encuentran refugio y alimento siendo tan sólo el vértice de una pirámide trófica mucho más rica, en la que bacterias, hongos e invertebrados juegan un importantísimo papel. Frente a las prácticas agrícolas habituales, en las que el uso de fertilizantes y herbicidas es práctica habitual, las plantaciones forestales minimizan el uso de productos químicos, por lo que, la conversión de terrenos agrícolas en forestales supone por sí sola una notable mejora medioambiental, que tiene como efecto colateral positivo un notable incremento en la biodiversidad.

## 1.2.2 VENTAJAS de la MADERA en la CONSTRUCCIÓN

Además de los beneficios, ya vistos, que las plantaciones y bosques traen consigo durante el proceso de crecimiento de la madera, este material presenta una serie de propiedades que la hacen muy adecuada para el sector de la construcción. Entre ellas cabe citar:

- **Requiere poco gasto energético para su fabricación, transporte y puesta en obra.** En su proceso de “fabricación” el árbol utiliza una energía no fósil e infinitamente renovable, como es la solar. Pero, por otra parte, y debido a su estructura y baja densidad, el consumo de energía en los procesos de transformación, transporte y puesta en obra es bajo y por lo tanto, los será también las emisiones CO<sub>2</sub> y del resto de los gases que provocan el efecto invernadero. El contenido energético de las estructuras de madera en servicio es, como media y a igualdad de masa, diecisiete veces inferior al de las estructuras de acero. Por otra parte, después del periodo de vida útil de un elemento o producto derivado de madera (ciclo de vida), éste puede ser reutilizado en otras construcciones, reciclado como materia prima para fabricar tableros o vigas reconstituidas o valorizado energéticamente, evitando con ello el consumo de energías fósiles altamente emisoras de CO<sub>2</sub>. En el caso más desfavorable, que este material fuera desechado sin valorización energética final, la madera es un material biodegradable y no contaminante, susceptible de ser incorporado al humus.

- **Tiempo de montaje.** Por su ligereza y fácil ajuste en obra, las estructuras de madera permiten aminorar los tiempos de montaje con respecto a otros materiales. El empleo de elementos estructurales normalizados y la prefabricación en taller permiten disminuir drásticamente los tiempos de ejecución de una obra. Además, el uso de sistemas constructivos con madera propicia la construcción en seco, lo que reduce los problemas asociados a la presencia de agua y en obra durante la ejecución.

- **Su comportamiento ante el fuego es predecible.** Aunque la madera es un material combustible e inflamable tiene la virtud de poseer un comportamiento predecible a lo largo del desarrollo del incendio, ya que la pérdida de sección se puede considerar constante en el tiempo. Cuando la madera o cualquier material derivado de ella se encuentran sometidos a un incendio generalizado, la superficie expuesta al mismo se inflama creando rápidamente una capa carbonizada aislante que incrementa su protección natural (el carbón vegetal es un gran aislante térmico). Al ser la madera un mal conductor del calor, la transmisión hacia el interior de las altas temperaturas es muy baja, por lo que se puede considerar que la madera que no ha sido carbonizada mantiene sus características resistentes en condiciones normales, pese a la actuación de incendio.

- **Adaptabilidad.** La madera se adapta a prácticamente cualquier estilo, permitiendo y fomentando la originalidad de los diseños. Este material permite salvar grandes luces, apertura de grandes huecos, adaptación al entorno y una enorme variedad de texturas, formas y colores. La posibilidad de elegir, como acabado exterior, entre diversos tipos de tableros y maderas tratadas multiplica las posibilidades.



- **Con el diseño y ejecución adecuados, las soluciones constructivas con madera son muy durables**, incluso en ambientes con altas concentraciones de productos ácidos y soluciones de sales de ácidos. Este hecho es fácilmente constatable a través de la observación de las numerosas obras que con cientos de años de antigüedad a sus espaldas han llegado hasta nuestros días en perfecto estado de conservación. Por otra parte, la madera es un material resistente a la acción de un gran número de compuestos químicos, presentando un mejor comportamiento que el hierro y los aceros normales a la acción de los ácidos y de las soluciones de sales de ácidos. En estos ambientes la madera es un excelente material constructivo ya que evita las siempre costosas labores de mantenimiento. Este hecho, por sí solo, explica el notable incremento de su uso en piscinas y polideportivos cubiertos, en recintos industriales (por ejemplo almacenes de sal y de otros productos químicos gaseosos) y, más recientemente, en recintos comerciales.

- **Es ligera y con una buena relación resistencia/peso**. Esta relación, en tracción y compresión paralela a las fibras, es similar a la del acero pero superior, en el caso de tracción, a la del hormigón. En cambio, comparada con estos dos materiales, el módulo de elasticidad es bajo aunque no así la rigidez específica (relación entre elasticidad y densidad), que vuelve a ser muy similar en los dos materiales antes citados.

- **Las construcciones de madera proporcionan una agradable sensación de confort**. Un estudio recientemente llevado a cabo por el Instituto Biomecánica de Valencia (IBV), centro concertado de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) para el proyecto “Vivir con Madera” ha sacado a la luz numerosas evidencias científicas que permiten demostrar que las viviendas con madera en su interior y estructura contribuyen de forma eficaz a mejorar la salud de los moradores al mejorar las condiciones de clima interior (regulación de temperatura y humedad relativa), acústicas (al reducir las reverberaciones) y hasta psicológicas de los moradores (derivadas de la sensación de contacto con productos naturales, absorción de radiaciones electromagnéticas, etc.). Todo ello es debido a que la madera es un buen aislante térmico, lo que reduce el consumo de energía en el uso de los edificios, es un material que presenta una buena absorción de las ondas acústicas, lo que se traduce en una reducción de la reverberación de las ondas sonoras y en una mejora del confort acústico interno de los edificios, mantiene un equilibrio higroscópico con el medio, tomando o cediendo humedad hasta alcanzar el equilibrio. Por dicho motivo, la presencia de madera en una vivienda regulariza la humedad del medio interior.

- **Los criterios psicológicos y simbólicos de los materiales**. La madera refiere directamente a valores naturales que el hombre necesita sentir por su propia condición orgánica. Sin caer en actitudes panteístas o mitologías telúricas conviene resaltar que es un material vivo, que provoca un vínculo emocional con la Naturaleza haciéndonos volver simbólicamente a nuestras raíces. Sus anillos de crecimiento nos hablan de él; un tiempo que palpamos y nos hace sentirnos vinculados a las generaciones que nos precedieron. Grandes arquitectos con una verdadera preocupación humanística supieron aprovechar y resaltar los valores simbólicos de la madera reconociendo el paralelismo entre nuestro entorno físico y nuestra vida intelectual y espiritual.

### 1.2.3 TIPOS de EDIFICACIÓN

En el caso de la madera, se puede realizar una primera diferenciación de los sistemas constructivos atendiendo a las escuadrías y tipos de elementos estructurales empleados. Esta primera clasificación considera tres sistemas constructivos distintos:

- **Pequeñas escuadrías.** Sistemas formados por elementos estructurales de pequeño espesor (36-70mm) colocados a distancias reducidas (inferior a un metro) y arriostrados entre sí. La capacidad portante en situaciones de incendio de este sistema estructural suele ser muy pequeña, por lo que normalmente requiere el empleo de elementos de protección adicionales (aislantes, tableros, etc.). Con este sistema se pueden salvar luces máximas de, aproximadamente, 12 metros.

- **Grandes escuadrías.** Sistemas formados por elementos estructurales de gran espesor (superior a 80mm), normalmente colocados con distancias mayores a un metro entre ellos. Es usual que en este sistema estructural se presenten elementos estructurales primarios y secundarios (pudiendo ser, estos últimos, de pequeña escuadría). La madera puede estar vista, y por tanto, en estos casos este elemento debe asegurar su capacidad portante en situaciones de incendio durante el tiempo exigido por la normativa. Con elementos estructurales de gran escuadría se pueden salvar grandes luces (pudiendo llegar a más de 100 metros).

- **Tableros contralaminados.** Sistemas formados por tableros contralaminados como elementos estructurales trabajando como placa. Los espesores de estos tableros suelen estar en intervalos de 70 a 500mm.

Además de la clasificación anterior, en el caso particular de construcción de viviendas unifamiliares se pueden diferenciar dos tipos de edificación, en los que se presentan similitudes con las mencionadas anteriormente:

- **Sistema de entramado ligero.** Este sistema se emplea para muros, forjados y cubiertas. Consiste en una trama de elementos lineales de madera de pequeña escuadría (de 36 a 70mm de espesor) colocados a pequeña distancia unos de otros (inferior a un metro) y arriostrados, normalmente, mediante tableros estructurales. El sistema funciona como una estructura espacial formada por la unión de las estructuras de muro, forjado y cubierta.

- **Sistema de entramado pesado.** Este sistema se emplea para muros, forjados y cubiertas. Consiste en una trama de elementos lineales de madera (aserrada o laminada) de gran escuadría (aproximadamente a partir de 80-100mm de espesor) unidos entre sí hasta formar un conjunto indeformable. La estabilidad de la estructura se basa en dos principios: los ensambles en las uniones y/o la triangulación para arriostramiento de sus miembros. El sistema de entramado pesado, a diferencia del sistema de entramado ligero, está formando solo la estructura, por lo que el cerramiento debe completarse con materiales diversos: ladrillo, mampostería, paneles, vidrio, etc. En el caso de cerramientos verticales y bovedillas, entablados, paneles, etc. en el de forjados y cubiertas. Una característica de este sistema constructivo suele ser que los elementos estructurales suelen ir vistos.

## 1.2.4 ELEMENTOS de GRANDES ESCUADRÍAS

Los elementos de grandes escuadrías se emplean mayoritariamente en la construcción de cubiertas. Éstas están generalmente formadas por los órdenes siguientes:

- **Estructura principal.** Formada por las vigas, pórticos, arcos o cerchas que cubren la luz principal. La luz máxima que pueden alcanzar está en relación con el tipo estructural. El canto de la sección de las piezas principales,  $h$ , puede estimarse en una primera aproximación en función de la luz,  $l$ , según el tipo estructural. De manera aproximada la anchura de la sección,  $b$ , en vigas rectangulares oscila entre  $h/2$  y  $h/8$ , con un límite inferior y superior de 80 y 280 mm, respectivamente.
- **Estructura secundaria.** Formada por las correas o paneles sándwich portantes que salvan la distancia entre piezas principales. En el caso de correas, su luz puede oscilar entre 2 y 12 m. El canto de correas rectangulares,  $h$ , puede estimarse de forma aproximada en función de la luz. La anchura  $b$  oscila, de forma aproximada, entre  $h/2$  y  $h/3,5$  con el límite inferior y superior de 80 y máximo de 160mm. En el caso de paneles sándwich portantes generalmente se pueden salvar luces máximas de 5 metros. El canto requerido dependerá de las propiedades de cada producto, declaradas por cada fabricante.
- **Arriostramiento lateral.** Formado por un sistema de barras en el plano de la cubierta y en las paredes, que forman una viga de celosía y que tienen el objeto de resistir la acción del viento en la dirección perpendicular a la estructura principal y aportar estabilidad lateral a las piezas principales reduciendo el posible efecto de vuelco lateral (o pandeo lateral). Por lo general, estas vigas contraviento se sitúan en los vanos extremos del edificio y si este tiene una longitud superior a 60 m será necesario disponer de otro intermedio.

Las celosías de madera aserrada o laminada de grandes escuadrías, generalmente se denominan cerchas tradicionales y se construyen con secciones de mediana o gran escuadría (100-200mm de espesor y 150-280mm de altura). La separación entre este tipo de celosías varía entre 3 y 4 metros, necesitando por tanto una estructura secundaria (correas o tableros sándwich portantes). En algunos casos, aparecen, además de las correas, los cabios o canecillos, formando una estructura de tercer orden.

### 1.3 NOCIONES BÁSICAS del MATERIAL

En el presente apartado se aporta información básica sobre las particularidades de la madera y sus productos derivados. Además, se exponen las características que deben poseer los diferentes sistemas constructivos con madera para cumplir la normativa vigente y se analizan, en base a esta, los casos más usuales en construcción con madera.

**División de la parte maderable del tronco.** Se divide en:

- **La albura.** Es la madera proveniente de la zona exterior del tronco, de coloración generalmente más clara que el resto. La albura suele ser menos densa y menos durable al ataque de los xilófagos, pero más fácilmente impregnable que el duramen. Por lo tanto, la protección frente insectos y hongos suele ser más sencilla.
- **El duramen.** Es la madera procedente de la parte interior del tronco. Suele exhibir una coloración generalmente más oscura que la albura, así como una mayor durabilidad. Las diferencias con la albura, son más o menos acusadas, según la especie. El duramen suele ser menos impregnable a los productos de acabado y protección.
- **La médula.** Es los restos del tejido vascular primario, que se sitúan en el centro del tronco, representando tan sólo un pequeño porcentaje del mismo. Suele estar formada por un tejido más blando y poroso, normalmente sin capacidad mecánica. Usualmente, la aparición de la misma en una pieza está considerada como indeseable estéticamente, motivo por lo cual suele estar excluida su presencia en las clases de calidad más elevadas.

**Anisotropía de la madera.** Como consecuencia de la forma, estructura interna y orientación marcadamente longitudinal de las células, la madera es un material acusadamente anisótropo, con propiedades distintas según se considere la dirección longitudinal o transversal. Este comportamiento anisótropo del material se manifiesta en sus propiedades físico-mecánicas, que serán distintas según cual sea la dirección considerada. La anisotropía de la madera ya ha sido tenida en cuenta por la normativa a la hora de establecer las clases de resistencia.

**Higroscopicidad de la madera.** La madera es un material higroscópico y por lo tanto tiende a absorber o ceder agua según el ambiente al que está sometida (humedad relativa y temperatura ambiente). Para una humedad y una temperatura determinada, la madera se estabiliza a un valor de porcentaje de humedad que recibe el nombre de humedad de equilibrio higroscópico<sup>1</sup>. Por debajo de un determinado valor (denominado Punto de Saturación de las Fibras -valor que como media para todas las especies se fija en el 30% de humedad-), la resistencia y rigidez de la madera son inversamente proporcionales al porcentaje de agua que posea. Para determinar la pérdida o ganancia de resistencia que tiene un elemento de madera con respecto a la humedad de referencia (12%) habrá que considerar la humedad de trabajo del elemento, la cual será, a su vez, función de la humedad relativa y temperatura del ambiente en donde vaya a ser colocado. Para conseguir que el proceso de ajuste de la resistencia y elasticidad de la madera por la humedad de trabajo sea sencillo, el Código Técnico de la Edificación (CTE) diferencia tres tipos de exposición del elemento:

- **Ambiente interior protegido** (clase de servicio 1). La humedad de equilibrio higroscópico media de la madera en la mayoría de las coníferas no excede el 12%.
- **Ambiente exterior protegido o interior muy húmedo** (clase de servicio 2). La humedad de equilibrio higroscópico media de la madera en la mayoría de las coníferas no excede el 20%.
- **Ambiente exterior no protegido** (clase de servicio 3). Edificios o estructuras expuestas al agua de la lluvia como puentes, pasarelas, terrazas, etc. La humedad de equilibrio higroscópico media de la madera en la mayoría de las coníferas excede el 20%.

Respecto del efecto de la anisotropía en el comportamiento físico del material, es importante señalar que ante cambios de humedad significativos en el material (superiores en todo caso al 2%) se producen cambios volumétricos (hinchazón y merma) que pueden generar deformaciones más o menos acusadas en función del tipo de producto (mínimo en los productos laminados) y de la especie. En publicaciones especializadas pueden verse recogidas clasificaciones de las especies de madera en función de su mayor o menor tendencia a la deformación, aspecto éste de gran trascendencia cuando la madera es empleada para fines decorativos (especialmente en suelos).

En el Documento de Seguridad estructural: Madera (*DB-SE-M*) simplifica enormemente la consideración del factor humedad en el cálculo estructural. Para ello y una vez clasificadas las condiciones de trabajo del elemento de madera (Clases de servicio) aporta los valores a considerar ( $k_{mod}$  y  $k_{def}$ ) para modificar los valores de resistencia y elasticidad obtenidos de las clases de resistencia (usualmente dados para un contenido de humedad estándar del 12%).

### 1.3.1 COMPORTAMIENTO MECÁNICO

Para una mejor comprensión de este material, es importante conocer cuáles son, comparativamente respecto de otros materiales, sus particularidades:

- **Duración de la carga y ambiente al que va a estar sometido el elemento estructural.** La resistencia y la deformación de la madera son sensibles a la duración de la carga y al ambiente al que está sometido el elemento estructural. Para considerar estas particularidades, en el cálculo estructural con madera se emplean coeficientes que minoran la resistencia o incrementan la deformación por fluencia del material. A modo de ejemplo, la resistencia de cálculo de un elemento estructural sometido a una carga permanente se considera aproximadamente un 55% menor que si ésta fuera instantánea y la resistencia de cálculo, en elementos lineales, en ambientes protegidos (tanto interior como exterior) se considera aproximadamente 20% mayor que en ambientes exteriores no protegidos.
- **Flexión como factor limitante del cálculo.** Esto es debido a que se suelen utilizar mayoritariamente secciones rectangulares con una proporción del canto y el espesor no muy elevada y a que la madera presenta un módulo de elasticidad bajo (aproximadamente entre 10 y 20 veces menor que el acero).
- **Tracción y compresión perpendicular a las fibras.** La madera es poco resistente si la carga se aplica perpendicularmente a las fibras. La resistencia a la tracción perpendicular suele ser de un 5,0% a un 1,4 % de la resistencia a la tracción paralela a las fibras. La sollicitación en dirección perpendicular a las fibras suele ser el factor limitante en el cálculo de uniones, encuentros y elementos estructurales de sección variable y/o de directriz curva. En la construcción con madera es importante evitar cambios imprevistos en los proyectos que puedan ocasionar que un elemento estructural quede sometido a los efectos de una tracción o compresión perpendicular a las fibras no considerada en el cálculo. Igualmente en el diseño de las uniones y encuentros será importante considerar el natural movimiento de la madera (por ejemplo por acción de condiciones climáticas del medio muy variables a lo largo del año) para evitar la aparición de tensiones perpendiculares a las fibras.

### 1.3.2 COMPORTAMIENTO al FUEGO

En el comportamiento de los materiales frente al fuego hay que diferenciar dos conceptos básicos: la reacción y la resistencia. Se entiende por reacción al fuego la respuesta de un material medida en términos de su contribución al desarrollo del mismo con su propia combustión. Resistencia al fuego es la capacidad de un elemento de construcción para mantener durante un periodo de tiempo determinado la función portante que le sea exigida (R), su integridad (E) y/o su aislamiento térmico (I).

La siniestralidad de incendios en edificios suele estar relacionada con las instalaciones o almacenamiento de materiales de alta inflamabilidad y en una medida muy inferior con el material del que esté construido (por ejemplo madera o fábrica). La magnitud que puede alcanzar un incendio depende, en gran medida, de una compartimentación eficaz. En la construcción actual con madera, la combinación de productos de diferente naturaleza permite llevar a cabo eficazmente dicha compartimentación de forma que el incendio pueda confinarse en el interior del sector durante el tiempo requerido.

Las clases de **reacción al fuego** para los materiales de construcción, con excepción de los suelos, para los productos lineales para aislamiento térmico de tuberías y para los cables eléctricos, son: A1, A2, B, C, D, E y F, de mejor a peor comportamiento al fuego. Estas clases representan un índice de la inflamabilidad del material y su contribución al fuego. En algunos casos, van acompañadas de otros dos parámetros que dan información sobre la producción de humo, de mayor a menor velocidad de propagación y producción total: s1, s2 y s3, y sobre la caída de partículas o gotas inflamadas: d0, d1 y d2. El tratamiento de protección de la madera, reduce la combustibilidad de la misma, permitiendo obtener reacciones al fuego de B y C dependiendo del tipo de especie y de la forma de tratamiento (en profundidad o superficial). Si el fabricante define una clase de reacción al fuego diferente a la considerada en el *RD 110/2008*, tendrá que aportar el correspondiente informe de ensayo y de clasificación.

El *DB-SI* exige que los elementos constructivos deban cumplir, al menos, las condiciones de reacción al fuego establecidas en la *Tabla 0.12*. Según el *RD 110/2008* los tableros de madera o derivados tiene una clasificación de reacción al fuego D-s1 d0 a D-s2 d2, excepto el tablero de partículas aglomerado con cemento. En la *Tabla 0.13* se presentan los casos más habituales para los espesores, las densidades y las condiciones finales de uso indicado el Real Decreto.

Los parámetros de clasificación de resistencia al fuego están relacionados con la función de los elementos constructivos en el conjunto de la edificación. Los tres parámetros principales son: R que representa la capacidad portante de un elemento estructural, E la integridad e I el aislamiento, de un elemento constructivo con función separadora. La resistencia de los elementos constructivos que delimitan un sector de incendios, se establece considerando la acción de incendio en el interior de un sector, excepto en el caso de un sector de riesgo mínimo 5, en el que únicamente es necesaria considerarla desde el exterior del mismo. Un elemento vertical delimitador de un sector de incendios puede precisar una resistencia al fuego diferente, según se considere la acción del fuego por una cara o la opuesta (compartimentar una zona de riesgo especial, una escalera protegida, etc.). En el caso de forjados y cubiertas, se considera la acción de incendio situada en su cara inferior.



### 1.3.3 COMPORTAMIENTO ACÚSTICO

El *DB-HR* de protección frente al ruido determina que los edificios se proyectarán, construirán y mantendrán de tal forma que los elementos constructivos que conformen el recinto tengan unas características acústicas adecuadas para reducir la transmisión al ruido aéreo, al ruido de impacto y del ruido de vibraciones de las instalaciones propias del edificio, así como para limitar el ruido reverberante de los recintos.

Los datos de partida para determinar la protección frente al ruido de un edificio son:

- En relación con el edificio:
  - Uso del edificio.
  - Tipo del recinto protegido receptor.
  - Si existen recintos protegidos colindantes horizontales a otras unidades de uso, a recintos de instalaciones, etc.
- En relación con la localización del edificio:
  - El valor del índice de ruido día,  $L_d$ , de la zona donde vaya a ubicarse el edificio, obtenido a partir de datos oficiales. Cuando no se dispongan de datos oficiales se aplicará en su defecto el valor de 60dBA para el tipo de área acústica relativo a sectores de territorio con predominio de suelo de uso residencial. Para el resto de los casos se aplicará lo dispuesto en las normas reglamentarias de desarrollo de la ley 37/2003 del 17 de noviembre en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
  - El tipo de ruido predominante: aeronaves o automóviles. Cuando se prevea que alguna fachada, tal como la de patios interiores, no vaya a estar expuesta directamente al ruido de automóviles, aeronaves o actividades industriales, comerciales o deportivas se considera un índice de ruido día 10dBA menor que el de la zona.

La madera es un material que presenta un bajo aislamiento al ruido aéreo pero que, en cambio, su porosidad asegura una buena absorción de las ondas acústicas, disminuyendo el tiempo de reverberación. Normalmente, debido a la densidad, materiales que presentan unas características de buenos absorbentes tienen un mal aislamiento al ruido aéreo. Por este motivo, se desaconseja para la construcción con madera la utilización de elementos constructivos homogéneos (de una sola capa) salvo en los sistemas de entramado pesado en donde materiales de gran densidad queden intercalados entre los elementos estructurales de madera. En la construcción con madera se suele emplear elementos constructivos mixtos (de dos o más capas).

Para el diseño y dimensionado de los elementos constructivos el CTE establece dos métodos: la opción simplificada y la opción general.

En la opción simplificada se entiende que una solución de aislamiento es el conjunto de todos los elementos constructivos que conforman un recinto (elementos de separación verticales y horizontales, tabiquería, medianerías, fachadas y cubiertas), ya que todos ellos van a influir en la transmisión del ruido y de las vibraciones entre recintos adyacentes o entre el exterior y un recinto.



La opción simplificada consiste en una serie de tablas donde figuran los valores mínimos de aislamiento acústico, establecidos en laboratorio, que los elementos constructivos por separado deben cumplir. Cuando se eligen elementos constructivos (tabiquería, elementos de separación verticales, horizontales, medianerías, fachadas y cubiertas) que cumplen con los valores de las tablas, se está eligiendo una solución de aislamiento que satisface las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos. Con esta opción el proyectista no tiene que valorar las transmisiones indirectas, simplemente debe elegir de entre un conjunto de soluciones que el propio documento propone, aquéllas que son más convenientes para su proyecto.

Sin embargo, debe señalarse que la opción simplificada es válida para edificios con una estructura horizontal resistente formada por forjados de hormigón macizos o con elementos aligerantes o forjados mixtos de hormigón y chapa de acero. Es decir, las tablas de la opción simplificada actualmente no son válidas para forjados de madera que tengan exigencia acústica. Al tratarse de soluciones globales, no es posible su utilización cuando existan forjados con exigencia construidos con madera (compartimentadores de distintas unidades de uso), pero sí puede utilizarse en el resto de los casos. En particular, para viviendas unifamiliares, o para edificios de madera con forjados de hormigón sí puede utilizarse.

En el caso específico de entramados de madera, tiene una influencia significativa en el comportamiento acústico del elemento la separación entre los elementos estructurales (montantes o viguetas) y entre los elementos de unión. Normalmente, mientras más cercanos se encuentren los elementos estructurales peor es el aislamiento acústico del conjunto a bajas frecuencias. En el caso de elementos estructurales de grandes escuadrías, se debe comprobar el comportamiento acústico del material de cerramiento, considerando los posibles puentes acústicos que pudiera ocasionar los elementos estructurales de madera. En el caso de viviendas unifamiliares, utilizando la opción simplificada, deben comprobarse los tabiques interiores, las fachadas y las cubiertas.

El aislamiento acústico de los elementos constructivos mixtos depende de las propiedades de cada una de las capas que lo componen, de la unión entre ellas y de la atenuación debida al espacio vacío entre cada una de las capas. En la construcción con madera conviene respetar los siguientes principios:

- Utilización de capas flexibles (ejemplo, placas de yeso laminado).
- Separación de la unión entre las diferentes capas por medio de uniones elásticas (ejemplo, techos suspendidos).
- Empleo de material poroso y fibroso para rellenar las cavidades, como la lana mineral. Cuanto mayor sea la resistencia al flujo de aire, presentará un mejor aislamiento acústico. Los aislantes consistentes en espumas con estructura de célula cerrada, como la espuma de poliestireno, son malos absorbentes acústicos y por lo tanto no mejoran el aislamiento acústico.
- Utilización de masa flexible (incluso con el empleo de grava o arena).
- Garantizar un buen hermetismo.
- Evitar los puentes sonoros.
- Empleo de bandas o capas de aislamiento al impacto en el caso de forjados.

### 1.3.4 COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO

La sección *HEI* “limitación de demanda energética” del documento *DB HE* determina que los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como de las características del edificio en cuanto a aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, el objetivo es reducir el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratar adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos. Esta sección depende del sistema constructivo y por lo tanto ha de ser tratado de forma particular para la madera. El resto de las secciones del documento *DB HE* afectan al diseño del edificio y no poseen elementos de particular consideración para la madera, aplicándose en la madera de forma similar que para el resto de materiales.

Los edificios se caracterizan térmicamente a través de las propiedades higrotérmicas de los productos que componen su envolvente térmica. Los conceptos fundamentales que se deben manejar para caracterizar los muros y partes ciegas de la cubierta con respecto a su capacidad para reducir pérdidas caloríficas, proporcionar aislamiento térmico o impedir condensaciones son:

- Conductividad térmica ( $\lambda$ ) se refiere a la capacidad de un material para transmitir el calor, su valor puede depender de factores propios como densidad, porosidad, tamaño de los poros, etc. y externos como la temperatura, la humedad, etc.
- Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua ( $\mu$ ). Es la resistividad a la difusión del vapor de agua que tiene un material, su valor es adimensional y relativo con referencia a la resistividad del aire seco en reposo.
- Densidad ( $\rho$ ). Es la relación entre la masa y el volumen de un material.
- Transmitancia térmica ( $U$ ) de un cerramiento es la cantidad de calor que le atraviesa. Se calcula como el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.

La madera es un material termoaislante, con una baja conductividad térmica (0,12 kcal/hm°C en coníferas y 0,18kcal/hm°C en frondosas). Esta característica tiene tres ventajas de gran importancia en la construcción:

- Disminuye el efecto de los puentes térmicos.
- Tiene un comportamiento estable dimensionalmente a igualdad de humedad y temperatura externa.
- Tiene un buen comportamiento en caso de incendio.

En el caso de elementos estructurales de grandes escuadrías, se debe comprobar el comportamiento acústico del material de cerramiento, considerando los posibles puentes acústicos que pudieran ocasionar los elementos estructurales de madera. El espesor de aislante que debe tener un elemento estructural viene muy determinado por el valor límite de los parámetros de transmitancia térmica.

## 1.4 PRODUCTOS de MADERA en CONSTRUCCIÓN

**Madera en rollo estructural.** Piezas de madera constituidas por el tronco del árbol desramado, generalmente descortezado, con una sección sensiblemente circular para uso estructural. Las aplicaciones estructurales más habituales son las siguientes:

- Pies derechos en construcciones de uso agrícola como cobertizos y naves de pequeñas luces, o como soportes de pasarelas y pasos elevados.
- Viguetas de forjado de piso y parecillos en cubiertas.
- Construcciones de embarcaderos y pantalanés.
- Pilotes de cimentación.
- Cercados, empalizadas, postes de señalización de parques y jardines.
- Ocasionalmente, en grandes luces para la construcción de estructuras espaciales o pasarelas peatonales.

En principio cualquier especie se puede utilizar como madera en rollo estructural si se conocen sus propiedades mecánicas, pero en la práctica el número de las más habituales es reducido. En España y Europa, se han realizado estudios sobre la madera en rollo con distintas especies, pero las que han sido utilizadas en la actualidad o en el pasado, son:

- Abeto (*Picea abies*)
- Pino silvestre (*Pinus sylvestris*)
- Pino insignis o radiata (*Pinus radiata*)
- Pino Douglas o Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*)
- Alerce (*Larix kaempferi*)
- Pino laricio (*Pinus laricio Loud*)
- Pino pinaster (*Pinus pinaster*)
- Castaño (*Castanea sativa*)
- Roble (*Quercus robur*)
- Chopo (*Populus*)
- Eucalipto (*Eucalyptus globulus Labill*)

El diámetro de la madera en rollo abarca desde los 100 hasta los 350mm, aproximadamente. La longitud puede llegar a un máximo de unos 18 m. Una limitación frecuente de la longitud a 14 m se debe a la introducida por la longitud de los autoclaves, empleados cuando la madera debe ser tratada en profundidad. Gran parte de la madera en rollo procede de claras realizadas en el bosque durante la fase inicial de crecimiento. Por este motivo, los diámetros más frecuentes están entre 100 y 130mm.

El acabado de la superficie puede ser de tres tipos: descortezado manual manteniendo la forma original del tronco, descortezado mecánico con desbaste mínimo de la superficie y mecanizado por cilindrado con un diámetro constante y superficie lisa. En el mercado es habitual encontrar Rollizos Torneados e Impregnados, conocidos como RTI.

**Madera Aserrada Estructural.** Piezas de madera aserrada de sección rectangular que han sido clasificadas estructuralmente por alguno de los procedimientos reconocidos en la normativa (clasificación visual o mecánica). La madera aserrada se utiliza principalmente en estructuras de luces pequeñas (4 a 6m) y medias (6 a 17m) formando una estructura completa o como parte de ella en los sistemas mixtos formados por muros de fábrica con forjados y cubierta de madera. En los sistemas de entramado ligero la madera constituye las viguetas de forjado con luces que no suelen superar los 4,5 m, los pies derechos de los muros entramados y las armaduras de la cubierta, que pueden llegar a salvar vanos de 12 a 16 m. En estos casos la sección de las piezas tiene gruesos muy reducidos (38 a 45mm) y no quedan vistas por encontrarse protegidas del fuego por otros materiales.

De acuerdo con el *DB-SE-M*, la madera aserrada para su uso en estructuras, estará clasificada quedando asignada a una clase resistente. Para las maderas más habituales, la norma *UNE-EN 1912* aporta un completo listado de especies, procedencias, calidades y asignaciones a clases resistentes. La mayor parte de las estructuras de madera en España se fabrican con especies importadas del Centro y Norte de Europa y de Norteamérica. Las más habituales son las siguientes (siendo las más frecuentes, las dos primeras):

- Abeto (*Picea abies*)
- Pino silvestre (*Pinus sylvestris*)
- Pino insignis o radiata (*Pinus radiata*)
- Pino Douglas o Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*)
- Alerce (*Larix kaempferi*)
- Pino laricio (*Pinus laricio Loud*)
- Pino pinaster (*Pinus pinaster*)
- Castaño (*Castanea sativa*)
- Roble (*Quercus robur*)
- Chopo (*Populus*)
- Eucalipto (*Eucalyptus globulus Labill*)

Las dimensiones de las piezas de madera aserrada no están normalizadas en el ámbito europeo. Existen varios grupos de países que asieran con unas dimensiones estandarizadas, pero no existe una norma europea que establezca unas dimensiones comunes. Las normas *UNE 56544* (madera aserrada de coníferas) y *UNE 56546* (madera aserrada de frondosas) establecen que debe entenderse como anchura de cara (h) a la mayor dimensión perpendicular al eje longitudinal de la pieza y como espesor o grosor (b) a la distancia entre caras.

Análogamente, las citadas normas establecen que por dimensión nominal deberá entenderse la dimensión declarada para la pieza para un contenido de humedad del 20%. Las dimensiones se medirán de acuerdo con lo especificado en la norma *UNE-EN 1309-1*. En España la madera aserrada para uso estructural generalmente está formada por escuadrías superiores a 100x100mm. En Europa se imponen por su gran cuota de mercado las dimensiones con las que trabajan los países nórdicos, cuyo grueso estandarizado característico es de 45mm.

Las dimensiones nominales de las piezas que forman una estructura deberán ser las utilizadas en el proyecto de la misma. Por lo tanto, es importante especificar en el proyecto el contenido de humedad de referencia para esas dimensiones (normalmente será el 12 % en condiciones de interior y en exteriores un contenido no superior al 20 %). En algunas ocasiones el aserradero suministra la madera con las dimensiones nominales correspondientes al estado verde (contenido de humedad superior al 30 %). Después del secado las dimensiones de la sección transversal de las piezas pueden disminuir entre un 3 y un 4 %. Igualmente, es importante especificar si las piezas irán simplemente aserradas o cepilladas. En el caso del cepillado se puede esperar una reducción del grueso por cara cepillada de 4 a 8mm.

Debido a la heterogeneidad del material, la determinación de las propiedades mecánicas de la madera con destino estructural ha de llevarse a cabo sobre material previamente clasificado según sistemas aprobados y con total sujeción a los métodos normalizados de muestreo, ensayo y cálculo contenidos en las normas *UNE-EN 384* y *UNE-EN 408*. Entre los métodos de clasificación aprobados cabe destacar los siguientes:

- *Clasificación visual*: es el método más extendido y consiste en la asignación de una clase resistente (norma *UNE-EN 338*) a una determinada categoría, o clase de calidad, definida en una norma de clasificación visual en función de las singularidades de la madera (nudos, desviación de la fibra, fendas, acebolladuras, anillos de crecimiento, gemas, bolsas de resina, la madera de reacción, la madera juvenil y la acción producida por ataques de origen biótico (hongos e insectos xilófagos). En Europa todas las normas de clasificación visual son de carácter nacional pero han de ser desarrolladas siguiendo los principios establecidos en la norma armonizada *UNE-EN 14081-1*. Existe una gran diversidad de normas de clasificación visual de la madera aserrada. Prácticamente, cada país tiene su propia norma, que establece un determinado número de calidades (normalmente varían entre 1 y 4 clases), así como la forma de medir y evaluar los defectos.
- *Clasificación mecánica*: consiste en la realización de un ensayo mecánico no destructivo y rápido con el que se obtiene el módulo de elasticidad de la pieza a partir del que se asigna a una clase resistente de la norma *UNE-EN 338*. En la práctica industrial estos ensayos no destructivos se llevan a cabo de forma continua y a gran velocidad (superior a 90 m/min) por máquinas clasificadoras. El procedimiento para la puesta a punto y uso de las máquinas de clasificación estructural queda regulado en las normas *UNE-EN 14081-2*, *3* y *4*. Habitualmente, las máquinas de clasificación tienen una limitación en el grueso máximo de las piezas que es de 70mm. Por tanto, no es aplicable a piezas de mayores gruesos. En la actualidad este procedimiento está siendo desplazado por métodos más avanzados como los que se describen a continuación.
- *Clasificación acústica*: consiste en la clasificación automática de las piezas basándose en la determinación del módulo de elasticidad dinámico de la madera a partir de la frecuencia propia de vibración y de su densidad. En muchos casos los aserraderos de gran producción de madera aserrada estructural utilizan este procedimiento junto con otros automáticos como puede ser la clasificación mecánica y la determinación de los defectos en la superficie mediante el escaneado de las piezas. El procedimiento para la puesta a punto y uso de este tipo de máquinas de clasificación estructural queda regulado en las normas *UNE-EN 14081-2*, *3* y *4*.

En España existen dos normas de clasificación visual por resistencia de la madera aserrada. Para las coníferas la norma UNE 56544:2007 establece un sistema de clasificación visual aplicable a la madera aserrada de uso estructural de las principales especies de coníferas españolas, asignando una clase resistente a cada una de las combinaciones de especie y calidad.

Con el fin de simplificar el proceso de cálculo se ha establecido en Europa un sistema de clases resistentes en el que se pueden encuadrar todas las combinaciones de especie-procedencia-calidad. El sistema de clases resistentes adoptado en Europa es el definido en la norma *UNE-EN 338*, la cual distingue las siguientes clases:

- Coníferas y chopo: se diferencian doce clases resistentes denominadas C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45 y C50.
- Frondosas: se diferencian ocho clases resistentes denominadas D18, D24, D30, D35, D40, D50, D60 y D70.

La letra C o D hace referencia a la inicial del término en inglés para denominar la familia de especies (C: “*coniferous*” y D: “*deciduous*”). El número que acompaña a la letra C o D es la resistencia característica a flexión expresada en  $N/mm^2$ .

En la práctica no existen problemas de durabilidad en piezas situadas en las clases de uso 1 y 2 (interior y exterior no sometida a la intemperie directa, respectivamente), siendo apta para estos usos cualquier especie de madera. En la clase de uso 3.1 y de forma especial en las 3.2. 4 y 5 se requiere una especie de mayor durabilidad natural o un tratamiento químico de protección. Normalmente las especies coníferas habituales en estructuras no presentan durabilidad natural suficiente (casi siempre incorporan parte de albura que no es durable) y por tanto requieren tratamiento para su empleo en clases de uso 3.1, 3.2, 4 y 5.

La reacción al fuego de las piezas de madera aserrada de sección rectangular sin necesidad de ensayos previos puede asignarse a la Euroclase D-s2 d0, de acuerdo con el anexo C de la norma *UNE-EN 14081-1*, siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- Valor mínimo de la densidad media de la madera:  $350\text{ kg/m}^3$ .
- Espesor total mínimo de la pieza: 22mm.

Esta reacción al fuego se puede mejorar con la aplicación de tratamientos retardadores del fuego. En estos casos el suministrador deberá aportar el correspondiente informe de ensayo y clasificación realizado de acuerdo con la norma *UNE-EN 13501-1*. Sin embargo, en la práctica no es frecuente recurrir a estos tratamientos cuando se trata de madera aserrada con destino estructural.

La resistencia al fuego de la pieza de madera se deberá calcular de acuerdo con el método simplificado del DB de Seguridad contra Incendio o de acuerdo con la norma EN1995-1-2. El parámetro dependiente de la madera es la velocidad de carbonización que toma los valores eficaces de 0,8 mm/min en madera aserrada de coníferas y de 0,5 a 0,7 mm/min en madera aserrada de frondosas y madera laminada encolada. En madera de coníferas una pieza de madera trabajando a flexión con 3 caras expuestas al fuego (típica configuración de una vigueta o correa vista) requiere unos 100 mm de anchura para alcanzar la resistencia R30.



Este producto está afectado por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. La norma armonizada que regula su marcado CE es la *UNE-EN 14.081-1*, que entró en vigor el 1 de septiembre de 2006. Desde dicha fecha y hasta el final del periodo de coexistencia (1 de septiembre de 2009) el marcado CE de la madera aserrada es voluntario pero no obligatorio. A continuación se ofrece un resumen o guía para la redacción de un pliego de condiciones para una estructura de madera.

- **Especie:** Definida por la denominación comercial “oficial” y si es posible se añadirá el nombre botánico para mayor precisión. Se empleará la terminología contemplada en la norma *UNE-EN 13556*.
- **Propiedades mecánicas:** En el *DB-SE-M* se establece que la madera aserrada, para su uso en estructuras, estará clasificada quedando asignada a una clase Resistente. Las características exigidas en el proyecto para la madera aserrada estructural quedarán especificadas mediante la denominación de la especie y su calidad, haciendo referencia a la norma de clasificación correspondiente al país de procedencia. También y siempre que el proyectista considere que el factor especie no es importante se puede especificar directamente la madera aserrada citando la clase resistente deseada.
- **Dimensiones nominales:** Serán las deducidas a partir del cálculo para las piezas de madera y los elementos de conexión. Salvo indicación en contra, las tolerancias dimensionales serán las correspondientes a la clase 1 de la norma *UNE-EN 336*.
- **Contenido de humedad:** Como norma general se debe especificar un contenido de humedad en la madera no superior al 20 % (salvo madera de gruesa escuadría que en su interior podría alcanzar el 25%) y, si es posible, lo más cercana posible a la humedad media de equilibrio higroscópico correspondiente a la ubicación de la obra. El control de la humedad debe hacerse en la recepción. Para la estimación del contenido de humedad de la madera a su recepción podrá utilizarse la metodología contemplada en la norma *UNE-EN 13183-2* (xilohigrómetro de resistencia) y en el Anexo A.3 de la norma *UNE 56544*.
- **Tratamiento preventivo:** Deberá aplicarse un tratamiento adecuado para la clase de uso correspondiente. Cuando sea necesario un tratamiento en profundidad (clases de uso 3.2, 4 y 5) deberá utilizarse una madera impregnable. El tratamiento deberá estar documentado de acuerdo con lo establecido al respecto en el Capítulo 13 del *DB-SE-M*.
- **Comportamiento al fuego:** La estabilidad al fuego de las secciones de madera en situación de incendio deberá ser justificada mediante cálculo de acuerdo con los principios del *DB-SI* o de acuerdo con la norma *EN1995-1-2*, aunque no hay que olvidar que los medios de unión suelen ser los elementos más limitantes. Si es necesario una mejora de la reacción al fuego (que además aumenta ligeramente la estabilidad al fuego) se pueden prescribir productos para mejorar su comportamiento al fuego. Las propiedades y garantías de los productos deben ser aportadas por el fabricante.
- **Almacenaje, transporte y montaje:** Durante el almacenaje, transporte y montaje se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos.

**Madera Empalmada Estructural.** Piezas rectas de sección rectangular obtenidas por el empalme de piezas de madera aserrada destinadas a un empleo estructural. Este producto puede fabricarse con madera de coníferas y de frondosas. La definición está basada en la incluida en el borrador de norma *prEN 15497*. Es frecuente la denominación comercial de este producto con las siglas KVH, procedente de la palabra alemana *Konstruktionsvollholz* (madera para construcción).

Las aplicaciones de este material son las mismas que las de la madera aserrada estructural, pero con la ventaja de que es un material más homogéneo con longitudes notablemente mayores que la madera aserrada del que procede, tan sólo limitadas por las habituales de transporte, en el entorno de los 14m. Actualmente en el mercado la longitud máxima de este producto es del orden de 14 m, aunque bajo pedido pueden encontrarse productos de hasta 16 m. El grueso máximo es de 120 mm y el ancho máximo de 240mm. Este material se comercializa clasificado, con asignación de clase resistente y un contenido de humedad en el entorno de un 15 %. Los adhesivos utilizados para la unión de empalme por entalladura múltiple son de color claro y translúcido, por lo que la unión apenas se aprecia una vez puesta en obra.

La madera utilizada para la fabricación de este material debe estar clasificada estructuralmente. En Europa la mayor parte de este producto se fabrica con madera de falso abeto o píceas (*Picea Abies*), aunque también se emplean la madera de pino silvestre (*Pinus sylvestris*), abeto (*Abies alba*) y alerce (*Larix decidua*).

De acuerdo con el proyecto de norma *prEN 15497*, el adhesivo deberá producir uniones resistentes y durables que mantengan la integridad del elemento durante toda la vida en servicio planificada para la estructura. En el proyecto de norma *prEN 15497* se especifica que el adhesivo deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Los adhesivos fenólicos y aminoplásticos serán Tipo I según norma *UNE-EN 301*.
- Los monocomponentes de poliuretano serán Tipo I según la norma *UNE-EN 15425*.
- Además de los anteriores podrán emplearse los adhesivos contemplados en la norma armonizada de Madera Laminada Encolada *UNE-EN 14080*. En la actualidad el adhesivo más empleado es el de poliuretano y a veces la resorcina.

Las propiedades mecánicas de la madera empalmada son las mismas que las de la madera aserrada con la que se fabrica, siempre que se garantice que la resistencia característica (en flexión y tracción) de los empalmes dentados sea mayor o igual a los valores característicos de la madera. La resistencia característica de las uniones dentadas se obtendrá mediante ensayos de flexión de canto, según norma *UNE-EN 408*, siguiendo el procedimiento de la norma *UNE-EN 14358*. En el cálculo no se considera ninguna reducción de la resistencia debida al empalme dentado. El producto más habitual en el mercado europeo se comercializa con una clase resistente C24. Bajo pedido puede suministrarse C30.

Respecto de la durabilidad de estos materiales se aplicarán los mismos principios ya vistos al tratar la madera aserrada estructural. Habitualmente este producto se comercializa sin tratamiento químico de protección, con sus superficies cepilladas, las aristas redondeadas, y con un contenido de humedad del  $15 \pm 3\%$ . Este producto está afectado por la Directiva Europea de Productos de la Construcción.



Este producto se utiliza en los mismos tipos estructurales que la madera aserrada. Se pueden utilizar para la elaboración de elementos estructurales bien de forma individual o bien formando sistemas estructurales, con las siguientes posibilidades:

- Estructura horizontal: vigas, viguetas de forjado y entrevigado de suelo. Presenta la particularidad de permitir forjados continuos gracias a su longitud.
- Estructura vertical: pilares o muros entramados.
- Estructura de cubierta: armaduras de cubierta (cerchas, correas, pares, parecillos). Es muy frecuente el empleo de la madera empalmada para armaduras ligeras de cubierta ya que su longitud facilita la fabricación de las mismas.

A continuación se ofrece un resumen o guía para la redacción de un pliego de condiciones para la utilización de madera estructural empalmada.

- **Especie y propiedades mecánicas:** Al tratarse de un producto industrializado es suficiente con especificar la clase resistente. La más habitual en coníferas es la C24. Además puede especificarse la especie con la denominación comercial “oficial” y si es posible y para mayor precisión se añadirá el nombre botánico de la especie de madera con la que está fabricado.
- **Fabricación:** Deberá especificarse en proyecto que el fabricante debe acreditar que la fabricación ha sido realizada de acuerdo con las especificaciones de fabricación definidas en el proyecto de norma *prEN 15497* (o hasta su vigencia *UNE-EN 385*).
- **Dimensiones nominales:** Serán las deducidas a partir del cálculo y deberán cumplir la tolerancia de  $\pm 1$  mm en las dimensiones de la sección transversal, referidas el 15 % de contenido de humedad.
- **Contenido de humedad:** A la salida de fábrica el producto se comercializa con un contenido de humedad del  $15 \pm 3$  %, valor adecuado para su puesta en obra.
- **Tratamiento preventivo:** Deberá aplicarse un tratamiento adecuado para la clase de uso correspondiente. Cuando sea necesario un tratamiento en profundidad (clases de uso 3.2, 4 y 5) deberá utilizarse una madera impregnable. El tratamiento deberá estar documentado de acuerdo con lo establecido en el Capítulo 13 del *DB-SE-M*.
- **Comportamiento al fuego:** La estabilidad al fuego de las secciones de madera en situación de incendio deberá ser justificada mediante cálculo de acuerdo con los principios del *DB-SI* o de acuerdo con la norma *EN1995-1-2*, aunque no hay que olvidar que los medios de unión suelen ser los elementos más limitantes.
- **Almacenaje, transporte y montaje:** Durante el almacenaje, transporte y montaje se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos. En el caso de vigas de gran longitud deberán evitarse las deformaciones y distorsiones que puedan producirse en el levantamiento desde la posición horizontal a la vertical. Los elementos de madera almacenados en obra deberán protegerse adecuadamente frente a la intemperie, evitando que queden almacenados en clases de uso distintas para las que han sido diseñados. Para clases de uso 1 y 2, una vez colocados no es conveniente superar el plazo de un mes sin la protección de la cobertura.

**Madera Aserrada Encolada.** Perfiles estructurales de sección rectangular formados por el encolado de dos o tres láminas de madera, con un espesor superior a 45 mm y menor o igual a 85 mm, dispuestas en dirección paralela al eje de las láminas. Comercialmente se conocen con el nombre de dúos y tríos. La definición anterior procede del proyecto de norma *prEN 14080*. La norma francesa *NF B52-010* define el producto Bois Massif Reconstitué (BMR) de forma similar pero el número máximo de láminas admitido es de cinco y la esbeltez de la sección acabada se limita a 3,5 (canto/ancho  $\leq 3,5$ ).

Este producto comparte los usos estructurales con la madera aserrada y laminada encolada en luces pequeñas y medias. Principalmente se emplea como vigas, viguetas, pares y correas en viviendas y edificios de luces reducidas. Presentan la ventaja de permitir luces y escuadrías mayores que la madera aserrada. También son utilizados para la fabricación de armaduras de cubierta aprovechando sus mayores longitudes.

En principio puede utilizarse cualquier especie que sea apta para el encolado de acuerdo con una calificación de un organismo competente. Las especies más empleadas son:

- Abeto o falso Abeto (*Picea Abies*)
- Pino Silvestre (*Pinus sylvestris*)
- Abeto blanco (*Abies alba*)
- Pino laricio (*Pinus nigra*)
- Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii Franco*)

La madera utilizada en la fabricación de la madera maciza encolada deberá estar clasificada estructuralmente de acuerdo con la norma *UNE-EN 14081-1*. Las clases resistentes que se obtienen son C24 y C30, respectivamente. Si se clasifica mecánicamente las calidades son C35M y C40M según DIN 4074-1 que corresponden a las clases resistentes C35 y C40, respectivamente. Puede observarse que, generalmente, las propiedades mecánicas que se asignan al producto formado por las láminas son las mismas que presentan las láminas (la misma clase resistente).

En el proceso de fabricación del producto la fase de encolado obliga a un secado y control del contenido de humedad de las láminas (el contenido de humedad medio de cada lámina depende de si la madera ha sido tratada o no con un producto protector). En la norma *NF B52-010* se recogen los requisitos de contenido de humedad exigidos en la fabricación de madera laminada encolada, norma *UNE-EN 386*, que a continuación se resumen:

- Madera no tratada: durante el armado deberá estar comprendido entre el 8 y el 15%.
- Madera tratada: durante el armado debe estar comprendido entre el 11 y 18%.

En ambos casos la variación de contenido de humedad de las láminas de una misma pieza no excederá del 4%. En el proyecto de norma *prEN 14080* la especificación del contenido de humedad de la madera en el borrador actual difiere ligeramente. Según este proyecto de norma el contenido de humedad de cada lámina deberá encontrarse en el rango del 6 % al 15 %, a no ser que el fabricante del adhesivo requiera un margen más estrecho. La variación del contenido de humedad de las láminas dentro de una pieza no deberá ser mayor que el 5 %.

El adhesivo deberá ser capaz de producir uniones durables en las piezas encoladas destinadas a las respectivas clases de servicio de acuerdo con la norma *UNE-EN 1995-1-1*. Para piezas situadas en clase de servicio 1 se podrán utilizar adhesivos de Tipo I o II según la norma *UNE-EN 301* o la *UNE-EN 15425*. Para piezas en clase de servicio 2 o 3 se deberán utilizar adhesivos clasificados como Tipo I en las normas *UNE-EN 301* o en la *UNE-EN 15425*. Si se aplica un producto protector antes del encolado de las láminas deberá documentarse que los requisitos del proyecto de norma *prEN 14080* se cumplen para la combinación de adhesivo y producto protector. Los adhesivos más utilizados son las resinas de melamina y poliuretano. En el proyecto de norma *prEN 14080* se incluye un anexo con una lista de adhesivos aptos para la fabricación de piezas encoladas con uso estructural.

El proyecto de norma *prEN 14080* limita el grueso a un máximo de 85 mm, la anchura a 280 mm y el canto a 240mm. También se indica que todas las láminas deberán tener el corazón hacia el mismo lado, con la excepción de las piezas destinadas a la clase de servicio 3 en las que las láminas extremas en cada lado deberán tener el corazón mirando hacia el exterior.

Las propiedades mecánicas (resistencia y rigidez) y la densidad del producto pueden obtenerse mediante ensayos, o a partir de la clasificación de las propiedades de las láminas. Esta verificación deberá realizarse de acuerdo con lo especificado en el proyecto de norma *prEN 14080*. La práctica habitual en este producto para asignar la clase resistente, es adoptar la misma que tenga la madera aserrada que forma las láminas. Normalmente es C24. La resistencia característica de los empalmes dentados de las láminas necesaria es función de la resistencia característica a flexión de la madera maciza encolada, según *prEN 14080*. Cuando las propiedades mecánicas de la madera aserrada encolada se obtengan a partir de ensayos, éstos se realizarán de acuerdo con el anexo H del proyecto de norma *prEN 14080*.

Para garantizar la durabilidad de la estructura se puede elegir una especie con la durabilidad natural suficiente para la clase de uso según norma *UNE-EN 350-2* o aplicar el tratamiento adecuado de protección de acuerdo con el proyecto de norma *prEN 15228*, siempre que la madera sea suficientemente impregnable. En la práctica no existen problemas de durabilidad en piezas situadas en las clases de uso 1 y 2 (interior y bajo cubierta sin exposición directa al agua de lluvia) y cualquier especie es apta. En la clase de uso 3 y de forma especial en las 4 y 5 se requiere una especie de mayor durabilidad natural o un tratamiento químico de protección. Normalmente las especies coníferas habituales en estructuras no presentan durabilidad natural suficiente (casi siempre incorporan parte de albura que no es durable) y por tanto requieren tratamiento. Para la elección del tipo de tratamiento adecuado puede consultarse el *DB SE-M*.

En el proyecto de norma *prEN 14080* se indica que la Euroclase de reacción al fuego es la D-s2 d0, siempre que la densidad media sea mayor o igual a 380 kg/m<sup>3</sup> y que el espesor total mínimo de la pieza sea igual a 40mm. La resistencia al fuego de la pieza de madera se deberá calcular de acuerdo con el DB de Seguridad contra Incendio o de acuerdo con la norma *UNE-EN 1995-1-2*. El parámetro dependiente de la madera es la velocidad de carbonización que toma los valores eficaces de 0,8 mm/min en madera aserrada de coníferas y de 0,5 a 0,7 mm/min en madera aserrada de frondosas y madera laminada encolada. En este producto que se encuentra a medio camino entre la madera aserrada y laminada la normativa no especifica que velocidad de carbonización le corresponde.

Este producto se utiliza en los mismos tipos estructurales que la madera aserrada y la madera laminada en pequeñas luces. Se pueden utilizar para la elaboración de elementos estructurales bien de forma individual o bien formando sistemas estructurales, con las siguientes posibilidades:

- Estructura horizontal: vigas, viguetas de forjado y entrevigado de suelo. Presenta la particularidad de permitir forjados continuos gracias a su longitud y mayor sección.
- Estructura vertical: pilares o muros entramados.
- Estructura de cubierta: armaduras de cubierta (cerchas, correas, pares, parecillos). Es frecuente el empleo de este producto para armaduras de cubierta ya que su longitud y sección facilita la fabricación de las mismas.

El proyecto de norma *prEN 14080* incluye un capítulo sobre los requisitos de fabricación de piezas estructurales encoladas (de aplicación para la madera laminada encolada, la madera maciza encolada y los elementos compuestos por piezas de madera laminada encolada). La norma francesa *NF B52-010* recoge los requisitos que deben reunir los locales para la fabricación, los equipos y las condiciones de la madera. La integridad de las líneas de cola sigue un planteamiento similar al que se utiliza en la madera laminada encolada. Utiliza los métodos de ensayo de cortante en línea de cola (*UNE-EN 392*) y delaminación (*UNE-EN 391*) e incluye una tabla de especificaciones para los resultados de ensayo con unos criterios similares a los de la norma de madera laminada encolada *UNE-EN 386*. Además, incluye especificaciones para la resistencia de los empalmes dentados.

A falta de información sobre este producto, se podría adoptar las recomendaciones definidas para la madera laminada encolada: “Durante el almacenaje, transporte y montaje se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos. Los elementos de madera laminada encolada almacenadas en obra deberán protegerse adecuadamente frente a la intemperie. Una vez colocados no es conveniente superar el plazo de un mes sin la protección de la cobertura.”

Este producto está afectado por la Directiva Europea de Producto de la Construcción. La norma armonizada que regula su marcado CE está todavía en fase de aprobación (*prEN 14080*). Cuando ésta sea definitivamente aprobada, el marcado CE de estos productos será voluntario siendo obligatorio sólo cuando las Autoridades administrativas nacionales establezcan el fin del periodo de coexistencia. A continuación se ofrece un resumen o guía para la redacción de un pliego de condiciones para la utilización de madera maciza encolada.

A continuación se ofrece un resumen o guía para la redacción de un pliego de condiciones para la utilización de madera maciza encolada.

- **Especie y propiedades mecánicas:** Al tratarse de un producto industrializado es suficiente con especificar la clase resistente. Además puede especificarse la especie con la denominación comercial “oficial” y si es posible se añadirá el nombre botánico para mayor precisión. La especie más utilizada en Europa es el abeto (*Picea Abies*). No es impregnable por lo que cuando es necesario un tratamiento de protección en profundidad se recurre en la mayoría de los casos al pino silvestre.

- **Fabricación:** Deberá especificarse que la fabricación se realizará de acuerdo con el las especificaciones del proyecto de norma *prEN 14080:2009. Timber structures. Glued laminated timber and glued laminated solid timber. Requirements.* Opcionalmente podrá hacerse referencia a la norma *NF B52-010 Octubre 2006. Bois de structure - Bois massif reconstitué (BMR) - Éléments linéaires reconstitués par collage de lames de bois massif de forte épaisseur - Définitions - Exigences – Caractéristiques. UNE-EN 386:2002. Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación.*
- **Dimensiones nominales:** Deducidas a partir del cálculo y deberán cumplir las tolerancias indicadas en el proyecto de norma *prEN 14080. Timber structures. Glued laminated timber and glued laminated solid timber. Requirements.* Si es posible, deberían ajustarse a una gama de dimensiones comerciales. *UNE-EN 14081-1:2006. Estructuras de madera. Madera estructural con sección rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales.*
- **Contenido de humedad:** El producto se comercializa con un contenido de humedad no superior al 15 %, valor adecuado para su puesta en obra. *UNE-EN 386:2002. Madera laminada encolada. Requisitos de fabricación.*
- **Tratamiento preventivo:** Deberá aplicarse un tratamiento adecuado para la clase de uso correspondiente. Cuando sea necesario un tratamiento en profundidad deberá utilizarse una madera impregnable. *UNE-EN 350-2:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 2: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.*
- **Comportamiento al fuego:** Mediante cálculo debe justificarse la estabilidad al fuego de las secciones de madera en situación de incendio, aunque no hay que olvidar que los medios de unión suelen ser los elementos más limitantes. Si es necesario una mejora de la reacción al fuego (que además aumenta ligeramente la estabilidad al fuego) se pueden prescribir productos para mejorar su comportamiento al fuego. Las propiedades y garantías de los productos deben ser aportadas por el fabricante. *UNE-EN 13501-1:2007. Clasificación en función del comportamiento al fuego de los productos de construcción y de los elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.*
- **Almacenaje, transporte y montaje:** Durante el almacenaje, transporte y montaje se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos. En el caso de vigas de gran longitud deberán evitarse las deformaciones y distorsiones que puedan producirse en el levantamiento desde la posición horizontal a la vertical. Los elementos de madera almacenados en obra deberán protegerse adecuadamente frente a la intemperie, evitando que queden almacenados en clases de uso distintas para las que han sido diseñados o solicitados. Para clases de uso 1 y 2, una vez colocados no es conveniente superar el plazo de un mes sin la protección de la cobertura. *UNE-EN 1995-1-1:2006. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para la edificación; UNE-EN 392:1995. Madera laminada encolada. Ensayo de esfuerzo cortante en líneas de adhesivo.*

**Madera Laminada Encolada**. Son elementos estructurales formados por el encolado de láminas de madera en dirección paralela al eje de las láminas. Según la norma *UNE-EN 14080* las láminas tendrán un espesor comprendido entre 6 y 45mm, y podrán utilizarse maderas de especies coníferas o chopo tratadas o no frente a agentes biológicos. En el proyecto de norma *prEN 14080* se define la madera laminada encolada como una pieza estructural compuesta por al menos dos láminas encoladas en dirección paralela al eje de la pieza. También se observa que debido al cepillado el grueso de las láminas externas puede ser algo inferior a las internas.

La madera laminada encolada se utiliza como elemento estructural para la construcción. Las estructuras de madera laminada encolada resultan especialmente indicadas en las siguientes condiciones:

- Grandes luces libres en edificios de uso público, comercial o deportivo. Luces de 30 a 70 m.
- Luces moderadas (8 a 14 m) en construcciones mixtas de madera aserrada y laminada, para los elementos principales.
- Estructura de cubierta de peso propio reducido.
- Cuando se requiere un aspecto natural y cálido.
- Cuando se precisa una resistencia a los agentes químicos agresivos.

De acuerdo con las normas *UNE-EN 14080* y *UNE-EN 386*, las maderas aptas para la fabricación de este producto serán las siguientes:

- Abeto o falso Abeto (*Picea Abies*)
- Pino Silvestre (*Pinus sylvestris*)
- Pino radiata (*Pinus radiata*)
- Pino marítimo o pinaster (*Pinus pinaster*)
- Abeto blanco (*Abies alba*)
- Pino laricio (*Pinus nigra*)
- Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii Franco*)
- Alerce (*Larix decidua*)
- Chopo (*Populus robusta, Populus alba*)
- Cedro Rojo (*Thuja plicata*)

La especie más utilizada en Europa es la *Picea Abies*, que vulgarmente se conoce como abeto, abeto rojo, picea o falso abeto. El pino silvestre es la siguiente especie más empleada, principalmente cuando se requiere un tratamiento en profundidad, aplicable para clases de uso 3.2, 4 y 5.

En España se emplean además, algunas especies frondosas como el Eucalipto (*Eucalytus globulus*), el Roble (*Quercus robur* y *Quercus petraea*), el Castaño (*Castanea sativa*) y en menor medida el Fresno (*Fraxinus excelsior*), el Haya (*Fagus sylvatica*) y el Iroko (*Chlorophora excelsa* y *Chlorophora regia*).



La madera deberá estar clasificada de acuerdo con la norma *UNE-EN 14081-1*. El fabricante puede recurrir a uno de los dos sistemas siguientes: utilizar madera clasificada estructuralmente y marcada con la clase resistente correspondiente (según *UNE-EN 338*); o, utilizar madera sin clasificar y realizar la clasificación estructural en la propia fábrica.

El contenido de humedad medio especificado de cada lámina depende de si la madera ha sido tratada o no con un producto protector (en ambos casos la variación de contenido de humedad de las láminas dentro de una misma pieza no excederá del 5%).

- Madera no tratada: durante el armado deberá estar comprendido entre el 6 y el 15%. (Salvo especificaciones del fabricante del adhesivo).
- Madera tratada: durante el armado debe estar comprendido entre el 11 y 18%.

En el proyecto de norma *prEN 14080* la especificación del contenido de humedad de la madera, en el borrador actual, difiere ligeramente. Según este proyecto de norma, el contenido de humedad de cada lámina deberá encontrarse en el rango del 6 al 15%, a no ser que el fabricante del adhesivo requiera un margen más estrecho. La variación del contenido de humedad de las láminas dentro de una pieza no debe ser mayor que el 5%.

El adhesivo deberá ser capaz de producir uniones durables en las piezas encoladas destinadas a las respectivas clases de servicio de acuerdo con la norma *UNE-EN 1995-1-1*. Para piezas situadas en clase de servicio 1 se podrán utilizar adhesivos de Tipo I o II según la norma *UNE-EN 301* o la *UNE-EN 15425*. Para piezas en clase de servicio 2 o 3 se deberán utilizar adhesivos clasificados como Tipo I en las normas *UNE-EN 301* o en la *UNE-EN 15425*. Si se aplica un producto protector antes del encolado de las láminas deberá documentarse que los requisitos de la norma *UNE-EN 14080* se cumplen para la combinación de adhesivo y producto protector. Los adhesivos más utilizados en la actualidad son los siguientes:

- Melamina-Urea-Formaldehído (MUF), de color translúcido y resistente a la humedad y al fuego.
- Resorcina-Fenol-Formaldehído (RPF), de color marrón oscuro, resistente a la humedad y al fuego. Permite tiempos de trabajo algo mayores que los adhesivos MUF. Ha sido desplazado por la melamina debido a razones medioambientales de sus residuos y emisiones de formaldehído durante la fabricación.
- Poliuretano (PU), de color transparente.

Las dimensiones de este producto no están normalizadas en una serie de tamaños, sino que cada fabricante tiene dimensiones ligeramente diferentes para el ancho y espesor de lámina. La gama de anchuras habituales es la siguiente: 80, 100, 110, 130, 140, 160, 180, 200 y 220mm. Por lo general, la exigencia de resistencia al fuego de 30 minutos obliga a un ancho mínimo en madera de coníferas del orden de 90 a 100mm. En cualquier caso esto deberá ser comprobado por el cálculo. Si fuera necesaria una anchura superior a 220 mm, la solución más habitual es disponer dos piezas juntas. En caso de precisar una pieza única de mayor anchura deberá recurrirse a acoplar en cada lámina dos tablas, contrapeando las juntas al tresbolillo. En elementos curvos, el espesor máximo de lámina está también limitado por el radio de curvatura  $r$  de las láminas y por la resistencia característica a flexión de la unión dentada. Esta resistencia tiene que cumplir un mínimo que es función de la clase resistente. Así, para las clases resistentes: GL24, GL28, GL32 y GL36 el espesor máximo de lámina deberá ser  $r/185$ ,  $r/177$ ,  $r/169$  y  $r/163$ , respectivamente.

La altura máxima de la pieza varía con las características particulares de cada fabricante, pero suele estar en torno a 2.400mm. La longitud máxima en pieza recta es del orden de 42 m. La anchura y altura envolventes del vehículo de transporte se limitan a unos 4,50 m. Para obtener luces mayores se puede recurrir a tipos estructurales de celosía o arcos articulados. Los valores nominales de anchura, altura y longitud de las piezas se ajustarán a las tolerancias especificadas en la norma *UNE-EN 390*.

- Anchura de la sección transversal:  $\pm 2\text{mm}$ .
- Altura de la sección transversal:
  - $H \leq 400\text{mm}$ :  $+ 4\text{mm} / -2\text{mm}$ .
  - $H > 400\text{mm}$ :  $(+ 1 / -0,5) \%$
- Longitud del elemento recto:
  - $L \leq 2\text{m}$ :  $\pm 2\text{mm}$ .
  - $2\text{m} > L \leq 20\text{m}$ :  $(\pm 0,1) \%$
  - $L > 20\text{m}$ :  $\pm 20\text{mm}$ .

Las exigencias relativas a las dimensiones y a las tolerancias de fabricación de los elementos estructurales pueden establecerse en el proyecto, de forma específica, en función de las condiciones de fabricación y montaje. De no especificarse en el proyecto el fabricante o suministrador deberá cumplir lo indicando a continuación.

- Las tolerancias dimensionales, o desviaciones admisibles respecto a las dimensiones nominales de la madera aserrada, se ajustarán a los límites de tolerancia de la clase 1 definidos en la norma *UNE EN 336* para coníferas y chopo. Esta norma se aplicará, también, para maderas de otras especies de frondosas con los coeficientes de hinchazón y merma correspondientes, en tanto no exista norma propia.
- Las tolerancias dimensionales, o desviaciones admisibles respecto a las dimensiones nominales de la madera laminada encolada, se ajustarán a los límites de tolerancia definidos en la norma *UNE EN 390*.
- La combadura de columnas y vigas medida en el punto medio del vano, en aquellos casos en los que puedan presentarse problemas de inestabilidad lateral, o en barras de pórticos, debe limitarse a  $1/500$  de la longitud del vano en piezas de madera laminada a  $1/300$  en piezas de madera maciza.

En el albarán de suministro o, en su caso, en documentos aparte, el suministrador facilitará, al menos, la siguiente información para la identificación de los materiales y de los elementos estructurales, con carácter general:

- Nombre y dirección de la empresa suministradora.
- Nombre y dirección de la fábrica o del aserradero, según corresponda.
- Fecha del suministro.
- Cantidad suministrada.
- Distintivo de calidad del producto.
- Especie botánica, clase resistente y contenido de humedad.



Si el contenido de humedad es diferente al de referencia (12%) las dimensiones deberán corregirse con los coeficientes que indica la norma anteriormente citada. En coníferas y chopo y para humedades comprendidas entre el 6 y el 25 % se puede emplear el coeficiente de contracción unitario siguiente: 0,0025 en dirección perpendicular a la fibra y 0,0001 en dirección paralela a la fibra. El valor correspondiente a la dirección perpendicular a la fibra es la media entre el coeficiente tangencial y radial. Los ángulos de la sección transversal no deben desviarse respecto a un ángulo recto en más de 1:50. Todas las láminas deberán tener el corazón hacia el mismo lado, con la excepción de las piezas destinadas a la clase de servicio 3 en las que las láminas extremas en cada lado deberán tener el corazón mirando hacia el exterior.

El sistema de clases resistentes es el definido en la norma *UNE-EN 1194* que distingue 8 clases resistentes: GL24c, GL28c, GL32c y GL36c cuando la composición es homogénea (todas las láminas son de la misma clase resistente) y GL24h, GL28h, GL32h y GL36h cuando es combinada (las láminas extremas son de una clase resistente superior).

La estructura deberá tener una durabilidad al menos igual a la vida de servicio considerada para las condiciones de uso correspondientes. Esta durabilidad puede garantizarse por dos sistemas:

- Tratamiento químico de protección adecuado a la clase de uso en la que se encuentre situada la estructura de acuerdo con el proyecto de norma *prEN 15228*, siempre que la madera sea suficientemente impregnable. En general para clases de uso 1 y 2 el tratamiento aplicado a la madera laminada consiste en un tratamiento superficial mediante pulverizado o pincelado. Para las clases de uso 3 y 4 se recurre a un tratamiento en profundidad mediante autoclave. Lo más frecuente es el tratamiento de las láminas antes del encolado, utilizando sales hidrosolubles. El tratamiento deberá estar documentado de acuerdo con lo establecido al respecto en el Capítulo 13 del *DB-SE-M*, con indicación expresa de la clase de uso correspondiente.
- Elección de una especie de madera con suficiente durabilidad natural, según la norma *UNE-EN 350-2*. En esta línea de actuación en el centro de Europa se ha recurrido a la utilización de especies de madera de mayor durabilidad natural, que mantengan su aptitud para el laminado (como es el caso del alerce). Más frecuente es el empleo de madera de “sacrificio” consistente en la protección de las piezas estructurales con un recubrimiento exterior construido con entablados de madera durable, que se reponga con facilidad al final de su vida útil.

En cualquier caso es importante señalar la importancia de que el diseño constructivo de la estructura evite la exposición innecesaria a la intemperie y la posibilidad de retención de agua. Un correcto diseño puede rebajar la clase de uso en la que trabajará el elemento (especialmente desde la clase de uso 3.2 a la 3.1), disminuyendo o evitando totalmente la intensidad del tratamiento químico protector.

Antes de su utilización en la construcción, la madera debe secarse, en la medida que sea posible, hasta alcanzar contenidos de humedad adecuados a la obra acabada (humedad de equilibrio higroscópico). Si los efectos de las contracciones o mermas no se consideran importantes, o si han sido reemplazadas las partes dañadas de la estructura, pueden aceptarse contenidos más elevados de humedad durante el montaje siempre que se asegure que la madera podrá secarse al contenido de humedad deseado.

De cara a la formalización de juntas entre elementos, y para elementos formados con madera de conífera, se consideraran las siguientes variaciones dimensionales de origen higrotérmico: para madera aserrada o laminada se podrá tomar, por cada 1% de variación de contenido de humedad, un valor de 0,01% en dirección longitudinal y 0,2% en la transversal (ésta última, corresponde en realidad la tangencial, y la radial se podrá tomar como 0,1%). A continuación se enumeran una serie de buenas prácticas que mejoran notablemente la durabilidad de la estructura:

- Evitar el contacto directo de la madera con el terreno, manteniendo una distancia mínima de 20cm y disponiendo un material hidrófugo (barrera antihumedad).
- Evitar que los arranques de soportes y arcos queden embebidos en el hormigón u otro material de fábrica. Para ello se protegerán de la humedad colocándolos a una distancia suficiente del suelo o sobre capas impermeables.
- Ventilar los encuentros de vigas en muros, manteniendo una separación mínima de 15mm entre la superficie de la madera y el material del muro. El apoyo en su base debe realizarse a través de un material intermedio, separador, que no transmita la posible humedad del muro.
- Evitar uniones en las que se pueda acumular el agua.
- Proteger la cara superior de los elementos de madera que estén expuestos directamente a la intemperie y en los que pueda acumularse el agua. En el caso de utilizar una albardilla (normalmente de chapa metálica), esta albardilla debe permitir, además, la aireación de la madera que cubre.
- Evitar que las testas de los elementos estructurales de madera queden expuestas al agua de lluvia, cuando sea necesario con una pieza de remate protector.
- Facilitar, en general, al conjunto de la cubierta la rápida evacuación de las aguas de lluvia y disponer sistemas de desagüe de las condensaciones en los lugares pertinentes.

Según la norma *UNE-EN 14080*, la clasificación de reacción al fuego de la madera laminada encolada es la D-s2-d0 del sistema de Euroclases, siempre que cumpla las siguientes condiciones:

- Densidad media mínima: 380 kg/m<sup>3</sup>.
- Espesor total mínimo de la pieza: 40mm

Si el fabricante definiera una clase de reacción al fuego diferente, tendría que aportar el correspondiente informe de ensayo y de clasificación, realizado de acuerdo con la norma *UNE-EN 13501-1*. La resistencia al fuego de la pieza de madera se deberá calcular de acuerdo con el DB de Seguridad contra Incendio o de acuerdo con la norma *UNE-EN1995-1-2*. El parámetro dependiente de la madera es la velocidad de carbonización que toma los valores eficaces de 0,7mm/min en madera laminada encolada. En madera de coníferas una pieza de madera laminada encolada trabajando a flexión con 3 caras expuestas al fuego (típica configuración de una vigueta o correa vista) requiere una anchura mínima de 90 a 100 mm para alcanzar la resistencia R30. En cualquier caso esto deberá comprobarse mediante el cálculo. Este producto está afectado por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. La norma armonizada que regula su marcado CE es la *UNE-EN 14080*, que entró en vigor el 1 de abril de 2008.

A continuación se ofrece un resumen o guía para la redacción de un pliego de condiciones para una estructura de madera laminada encolada.

- **Especie y propiedades mecánicas:** Normalmente no es necesario llegar a especificar la especie de madera para la fabricación de la madera laminada encolada. En su caso, se definirá por la denominación comercial “oficial” y si es posible se añadirá el nombre botánico para mayor precisión. La especie más utilizada en Europa es el abeto (*Picea Abies*). Esta especie no es impregnable por lo que cuando es necesario un tratamiento de protección en profundidad se recurre en la mayoría de los casos al pino silvestre (*Pinus sylvestris*). Respecto de las propiedades mecánicas, al tratarse de un producto industrializado es suficiente con especificar la clase resistente elegida entre las existentes en la norma *UNE-EN 1194 Clases resistentes y determinación de los valores característicos*. La clase más habitual es la GL24h y en algunas ocasiones la GL28c.
- **Fabricación:** Deberá especificarse en el proyecto que el fabricante debe acreditar que la fabricación ha sido realizada de acuerdo con las especificaciones de fabricación definidas en la norma *UNE-EN 386 Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación*.
- **Dimensiones nominales:** Serán las deducidas a partir del cálculo para las piezas de madera y los elementos de conexión y deberán cumplir las tolerancias contempladas en la norma *UNE-EN 390 Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación*. Si es posible, deberían ajustarse a una gama de dimensiones comerciales.
- **Tratamiento preventivo:** Deberá aplicarse un tratamiento adecuado para la clase de uso correspondiente. Cuando sea necesario un tratamiento en profundidad (clases de uso 3.2, 4 y 5) deberá utilizarse una madera impregnable. El tratamiento deberá estar documentado de acuerdo con lo establecido al respecto en el Capítulo 13 del *DB-SE-Madera*.
- **Comportamiento al fuego:** La estabilidad al fuego de las secciones de madera en situación de incendio deberá ser justificada mediante cálculo de acuerdo con los principios del *DB-SI* o de acuerdo con la norma *UNE-EN1995-1-2 Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para la edificación*, aunque no hay que olvidar que los medios de unión suelen ser los elementos más limitantes. Si es necesario una mejora de la reacción al fuego (que además aumenta ligeramente la estabilidad al fuego) se pueden prescribir productos para mejorar su comportamiento al fuego. Las propiedades y garantías de los productos deben ser aportadas por el fabricante.
- **Almacenaje, transporte y montaje:** Durante el almacenaje, transporte y montaje se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos. En el caso de arcos, pórticos y otras estructuras similares deberán evitarse las deformaciones y distorsiones que puedan producirse en el levantamiento desde la posición horizontal a la vertical. Los elementos de madera laminada encolada almacenados en obra deberán protegerse adecuadamente frente a la intemperie. Una vez colocados no es conveniente superar el plazo de un mes sin la protección de la cobertura.

**Paneles sándwich de cerramiento.** Paneles ligeros compuestos por uno o dos paramentos formados por tableros o frisos de madera maciza o combinado con chapas metálicas, con o sin entramado interior, y un alma interior que suele ser aislante térmico, unida al menos a uno de los paramentos.

Las aplicaciones más características de este producto se encuentran en el cerramiento de la edificación y asume por lo general además de la función de cerramiento y soporte de las cargas aplicadas, la de aislamiento térmico gracias al material aislante del alma. En algunos casos puede llegar incluso a cumplir la función de impermeabilización. Las aplicaciones más frecuentes son:

- Cerramiento de cubiertas: Los paneles se apoyan sobre las correas o pares de la estructura de cubierta. Su gran ventaja es que pueden salvar luces mayores que el simple tablero (de hasta 2 o 3 m), resolviendo además el aislamiento térmico e, incluso, el acústico. El paramento inferior suele ser visto y, por ello, incorporar el acabado final, sin necesidad de operaciones posteriores. Es posible disponer teja sobre un enrastrelado fijado a la cara superior del panel, que en algunos casos se coloca en fábrica.
- Cerramiento de muros exteriores: Los paneles quedan apoyados sobre el entramado estructural de la fachada y soportan las cargas aplicadas sobre la fachada y además aportan el aislamiento térmico.
- Doblado de cubiertas, falsos techos o muros de cerramiento. Son paneles sin funciones resistentes que permiten el acabado interior incorporando el aislamiento térmico o acondicionamiento acústico en construcciones de nueva planta o en la rehabilitación de edificios existentes.

Las dimensiones más habituales son las siguientes:

- Longitud: 2400, 2490, 2990, 3290, 3590, 4190, 4990mm.
- Anchura: normalmente 600mm.
- El espesor depende fundamentalmente del grosor del material utilizado en el alma y de los espesores de los materiales de las caras y contracaras que pueden variar entre 10 y 27mm.

Los materiales que pueden formar parte de los paramentos del panel son los siguientes:

- Madera aserrada de madera de conífera (abeto o pino) o de frondosa (generalmente roble) en forma de friso machihembrado de 14 a 22 mm de grueso, que queda en la cara o paramento inferior y, por tanto, suele ser visible desde el interior del local.
- Tableros derivados de la madera con espesor de 10 mm aproximadamente, para la cara inferior, normalmente vista, con propiedades de absorción acústica o para la cara exterior se suelen emplear los tableros de partículas con comportamiento mejorado a la humedad, los contrachapados o los de virutas orientadas.
- Chapa de acero: existen paneles mixtos (acero-madera) que utilizan para su paramento externo una chapa de acero de 0,5 a 0,6 mm de espesor y tableros o frisos de madera para su paramento interior. Con esta conformación, el paramento exterior de chapa sirve de impermeabilización. El uso del acero en la cara superior del panel, garantiza la estanqueidad del cerramiento.

Los materiales que constituyen el alma del panel suelen ser espumas sintéticas o materiales aislantes (entre ellos el corcho aglomerado negro) alcanzando un grueso de 30 a 120mm (en algunos casos más). Los habituales son el poliestireno extruido, poliestireno expandido, lana de roca y corcho. Se incluye una descripción de los tipos más frecuentes de paneles sándwich. Los valores de dimensiones y otros detalles constructivos tienen únicamente un carácter informativo. Cada fabricante tiene diseños y sistemas de colocación específicos.

- *Paneles con dos paramentos de tablero y alma de espuma.* Se construyen encolando un alma de espuma aislante rígida a dos tableros derivados de la madera. Los tableros tienen un grueso del orden de 10 mm y el alma un grueso variable en función de los requerimientos de aislamiento térmico y del vano entre apoyos, variando desde 30 a 120mm. En algunos casos la cara interior es un tablero ranurado imitando un friso de madera maciza, y la cara exterior puede incorporar un enrastrelado para el apoyo del contrarastrel y la teja. El peso oscila entre 0,12 y 0,28 kN/m<sup>2</sup>. Las luces de los vanos que pueden salvar varían entre 90 y 250 cm. La anchura más frecuente es de 600 mm, y la longitud habitual varía desde 2390 a 3590mm.
- *Paneles con una sola cara armados con largueros de madera (casetones).* Se trata generalmente de paneles formados por un tablero de derivado de la madera colocado en la cara inferior, una capa de aislante térmico (a veces proyectado en fábrica) y unos refuerzos longitudinales de largueros de madera aserrada. Suelen constituir casetones que se disponen en piezas únicas desde alero a cumbrera.
- *Paneles - entablados sándwich.* Consisten en paneles en los que los dos paramentos están formados por tablas de madera y el alma por espuma de poliestireno de alta densidad encolada a las tablas. La anchura del panel queda reducida al ancho de la tabla (alrededor de 200mm). En realidad se trata de un entablado tradicional que incorpora un mayor aislamiento y tiene una capacidad de carga muy superior a la de la tabla simple. El espesor total del panel varía entre 100 y 200mm y el de la tabla es de unos 27mm. La longitud de fabricación es de 12 a 18m. Estos paneles o perfiles tienen una gran capacidad a flexión y permiten salvar grandes vanos entre apoyos (2 a 5m).
- *Paneles mixtos de acero y tablero.* La cara externa de estos paneles es de chapa de acero con un grueso de 0,5 a 0,6 mm, que permite su utilización directa como impermeabilización, figura 6. El alma puede ser de lana de roca de alta densidad o de poliestireno expandido con un grueso de 50 a 120mm. La cara interior está compuesta por un friso de madera aserrada de conífera (abeto o pino) con un espesor de 14 a 22mm o por un tablero derivado de la madera, generalmente de virutas orientadas con un espesor de 10mm. Se fabrican con una longitud de 4,8 y 5m y una anchura de 1100mm. El peso varía entre 0,12 y 0,28 kN/m<sup>2</sup>.

Cada fabricante debe aportar la información correspondiente a las propiedades de su producto expresadas en un Documento de Idoneidad Técnico Europeo (*DITE*) o *European Technical Approval (ETA)*, emitido por el correspondiente organismo notificado en base a los ensayos efectuados siguiendo una Guía *ETAG*. Estos productos están afectados por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. Al no existir norma armonizada de producto pero sí Guía *ETAG*, la implantación del Mercado CE es voluntaria por parte del fabricante. Desde 2004 el Mercado CE de estos productos es posible.

**Paneles sándwich auto portantes.** Son elementos prefabricados compuestos por uno o dos paramentos de tableros derivados de la madera (al menos uno de los paramentos) con o sin nervios interiores de refuerzo con o sin alma de aislante rígido y con o sin barrera de vapor o membrana respirante. Son elementos constructivos que constituyen partes relevantes de la estructura principal destinados a la construcción de cubiertas, muros de carga y forjados de piso. Este tipo de paneles pueden tener una constitución similar a la de los paneles sándwich de cerramiento (normalmente dos paramentos y un alma aislante) lo que puede llevar a que tengan la misma denominación en el mercado de paneles sándwich. Sin embargo, los paneles portantes se diferencian claramente en que su función resistente no se limita únicamente a las cargas aplicadas directamente sobre el panel de cerramiento, sino que reciben cargas de otros elementos estructurales y suelen tener responsabilidad en la estructura principal y en la estabilidad del conjunto. La denominación propuesta de estos paneles es la de paneles portantes o también, por su denominación en inglés, paneles con caras en tensión.

Se utilizan para la construcción de cubiertas (generalmente sin necesidad de correas), muros de carga interiores o exteriores y forjados de piso. Son ligeros, pueden incorporar la función de aislamiento térmico y acústico, presentan gran rapidez de montaje y son especialmente indicados en la prefabricación. También pueden cumplir la función de arriostramiento y estabilizar el conjunto de la estructura mediante su capacidad de diafragma.

Se utilizan tanto en viviendas como en construcciones industriales de hasta tres plantas. En Europa se utilizan tanto en muros de carga interiores o exteriores como en cubiertas, mientras que en Estados Unidos, de donde procede este producto, se emplea principalmente en suelos y en forjados. Aunque habitualmente se utilizan en edificios de hasta dos o tres plantas, su capacidad de soportar cargas verticales y sus altas prestaciones térmicas le comunican un gran potencial para construcciones de mayores alturas.

Los sistemas constructivos con paneles estructurales son muy flexibles y permiten insertar, sin dificultad, puertas y ventanas, durante y después de que la fabricación haya finalizado. Los fabricantes suministran sus correspondientes manuales de instalación que detallan los procedimientos de colocación y de sujeción.

Están compuestos por una cara y contracara de materiales generalmente derivados de la madera y un alma de un material que tiene una baja densidad. La correcta unión entre el alma y las caras es esencial para que pueda soportar cargas y transmitir las a otros elementos estructurales secundarios, como correas, o principales, como vigas. Los materiales que pueden intervenir en la formación del panel son:

- Tableros derivados de la madera: se emplean en las caras del panel. Los más empleados son los siguientes: tablero de madera maciza estructural, tablero contrachapado estructural, tablero de virutas orientadas OSB 3 y OSB 4, tablero de partículas P5 y P7 o tablero de fibras de densidad media MDF.
- Materiales utilizados en el alma: poliestireno extruído (XPS) o expandido (EPS), poliuretano (PUR), fibras inorgánicas minerales, aglomerados de corcho natural, lana mineral o animal o madera aserrada o madera laminada encolada (normalmente se utilizan como largueros o nervios internos que aportan rigidez y conectan ambas caras).



Las dimensiones de estos paneles son muy variables. La anchura suele depender de la anchura del tablero utilizado en su fabricación (normalmente 600 o 1200mm). La longitud varía desde 2400 m hasta 4990 mm, pudiendo llegar aproximadamente a 10 m para casetones de cubierta. El grueso puede variar entre 50 y 250 mm, aproximadamente.

Los paneles portantes pueden clasificarse en los tipos siguientes:

- *Paneles con dos paramentos (paneles cerrados o en cajón)*. El primer tipo está formado por dos caras con un alma de espuma rígida (poliestireno extruido o expandido o poliuretano) que se encuentra encolada a las caras y contribuye a la resistencia y rigidez del panel. Si no tiene refuerzos internos se puede denominar panel sándwich, y si dispone de largueros internos se denomina panel de caras en tensión. Este último permite luces mayores. En el segundo tipo la espuma que constituye el alma es flexible (lana de roca, fibra natural) o queda sin encolar (poliuretano) y por tanto no contribuye a la resistencia y rigidez del panel, figura. Generalmente incorporan largueros de madera de refuerzo.
- *Paneles con un paramento (paneles abiertos)*. Estos paneles incorporan un alma aislante que puede ser rígida y quedar encolada al paramento, contribuyendo a la resistencia y rigidez del panel, o puede ser una espuma flexible o no encolada sin aportar capacidad portante al panel. Incorporan largueros de refuerzo y a veces una membrana respirante.

En sistemas de cerchas con separación máxima de 1,20 m se puede suponer que los listones, correas o paneles son eficaces para transmitir la carga siempre que estos sistemas de distribución sean continuos sobre al menos dos vanos, y las juntas estén contrapeadas. Si los paneles se disponen al tresbolillo, la separación entre clavos en los bordes discontinuos de encuentro entre paneles puede incrementarse un 50% más (hasta un máximo de 150mm) sin aplicar reducción alguna en la capacidad de carga.

La aplicación del método simplificado de cálculo requiere que aquellos tableros que no estén soportados por viguetas o pares de cerchas se conecten unos a otros utilizando listones que permitan la fijación resistente del tablero en dicho borde. Deben utilizarse clavos anillados, clavos corrugados o tirafondos con una separación máxima de 150mm a lo largo de los bordes del tablero. El espaciamiento máximo no será superior a 300mm.

Cada fabricante debe aportar la información correspondiente a las propiedades de su producto en base a un Documento de Idoneidad Técnico Europeo (*DITE*) o *European Technical Approval (ETA)*, emitido por el correspondiente organismo notificado. Complementariamente, los paneles deben cumplir las especificaciones definidas en los respectivos códigos de edificación nacionales. El contenido de este Documento se establecerá de acuerdo con la Guía *ETAG (European Technical Approval Guidelines)*.

Estos productos están afectados por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. Al no existir norma armonizada de producto pero sí Guía *ETAG*, la implantación del Mercado CE es voluntaria por parte del fabricante, pero en caso de ser efectuada ha de hacerse de acuerdo con los contenidos técnicos de la Guía *ETAG (European Technical Approval Guidelines)* nº 19, la cual define todos los aspectos relativos al mercado CE de estos productos. Desde 2007 el Mercado CE de estos productos es posible.

## 1.5 UNIONES en ESTRUCTURAS de MADERA

En general, las estructuras de madera están formadas por piezas unidas entre sí. Las uniones constituyen puntos singulares que es necesario estudiar con todo detalle, ya que el agotamiento de una estructura se puede presentar simplemente por la falta de resistencia de cualquiera de ellas. El diseño de las uniones puede llegar a requerir una parte importante de tiempo y esfuerzo en el conjunto del proyecto de la estructura. El hecho de que esta fase se realice al final del proceso de cálculo propicia una atención menor que la debida.

El costo de las uniones es en general elevado, siendo frecuente que el conjunto de los elementos de conexión y sus operaciones anexas constituyan entre el 20 y 25% del costo total de la estructura. Las uniones entre piezas de madera pueden clasificarse atendiendo a diversos criterios:

- Por la forma del encuentro:
  - *Empalmes*: cuando las piezas se enlazan por sus testas.
  - *Ensamblés*: cuando las piezas se cortan formando un determinado ángulo.
  - *Acoplamientos*: cuando las piezas se superponen por sus caras.
  
- Por el medio de unión empleado:
  - *Uniones carpinteras*: aquellas en las que las piezas se unen mediante un trabajo de carpintería (caja y espiga, rebajes, esperas, etc.).
  - *Uniones mecánicas*: aquellas que utilizan herrajes para la transmisión de esfuerzos (clavos, pernos, tirafondos, conectores); dentro de las uniones mecánicas se diferencian dos tipos de medios de unión, en función del modo de transmisión de los esfuerzos. El primer tipo recoge a las denominadas “clavijas” y corresponde a los clavos, grapas, tornillos, pernos y pasadores. El esfuerzo se transmite de una pieza a otra mediante corte y flexión de la clavija provocando también, tensiones de aplastamiento en la madera a través del área proyectada de la clavija. El segundo tipo está constituido por los “conectores” (anillo, placa, dentados y placa clavo). El esfuerzo se transmite a través de una mayor superficie.
  - *Uniones encoladas*, cuando se utilizan adhesivos para la transmisión de los esfuerzos (madera laminada encolada, enlaces rígidos mediante barras encoladas, etc.).

En el diseño y cálculo de las uniones deben tenerse presentes algunas consideraciones previas que a continuación se resumen:

- *Deslizamiento de las uniones*: Las uniones mecánicas sufren unos deslizamientos en su puesta en carga que pueden estimarse mediante el módulo de deslizamiento  $K_{ser}$ , definido en la normativa. Este deslizamiento se origina como consecuencia del aplastamiento de la madera sometida a compresiones locales elevadas. Cada medio de unión tiene un módulo de deslizamiento diferente, por lo que no se pueden sumar directamente las capacidades de carga de cada uno. Por tanto, es importante tener presente que la capacidad de carga de un conjunto de diferentes medios de unión es, con frecuencia, menor que la suma de las capacidades de carga individuales.



- *Desgarramiento en las uniones:* Cuando se diseña una unión en la que existen muchos elementos de fijación colocados en línea o un conjunto de elementos agrupados en una área de la pieza, existe la posibilidad de que la capacidad de carga de la unión quede limitada por un desgarramiento de un trozo de la pieza sin llegar al agotamiento de la capacidad de cada elemento. Estas situaciones son poco frecuentes pero pueden darse en casos de piezas de grandes escuadrías sometidas a grandes esfuerzos.
- *Excentricidad de las uniones:* En los nudos de la estructura el encuentro de las piezas debe realizarse, siempre que sea posible de forma simétrica y concéntrica, con el fin de evitar excentricidades. A veces, no es fácil evitar la excentricidad, y en estos casos deberá tenerse en cuenta en el cálculo. No obstante, si se puede modificar la posición y composición de las piezas a veces es posible eliminar su excentricidad.
- *Hinchazón y merma:* En el diseño de la unión no deben olvidarse los efectos de hinchazón y merma de la madera, originados como consecuencia de la variación del contenido de humedad. La práctica correcta es la colocación en obra de la madera con un contenido de humedad lo más próximo posible a la humedad de equilibrio higroscópico media de su situación en servicio. Sin embargo, hay situaciones donde no es posible evitar una variación del contenido de humedad. Las piezas situadas en contacto con el ambiente exterior sufrirán los cambios de las condiciones climáticas; otro caso es el de las piezas situadas en interiores acristalados donde se pueden alcanzar altas temperaturas por efecto del soleamiento. Estas situaciones conducen a una variación de las dimensiones, que es despreciable en la dirección longitudinal pero considerable en la transversal. Si los herrajes de unión se disponen de manera que impidan el libre movimiento de la madera y las dimensiones de las piezas son de cierta entidad (del orden de 80 o 100 cm) se originarán fendas cuando la madera pierda humedad.
  - Apoyo de viga con restricción del movimiento en todo su canto; la solución puede ser dejar las fijaciones en la zona inferior.
  - Empalme rígido entre dos piezas de madera con chapas metálicas que impiden su contracción; una alternativa es la colocación de herrajes independientes para transmitir la flexión.
  - Nudo de esquina de pórtico con corona de pernos. El encuentro de los pilares y el dintel con la dirección de la fibra prácticamente ortogonal desemboca en un movimiento diferencial que origina el fendado, si las dimensiones de las piezas son grandes.
- *Tracción perpendicular a la fibra en las uniones:* Ciertas disposiciones de uniones, originan tensiones de tracción perpendicular a la fibra que pueden limitar la capacidad resistente de la unión. Para disminuir o evitar estas tensiones perpendiculares a la fibra, el diseño de la unión debe procurar que la posición del elemento de fijación, esté lo más cerca posible del borde no cargado.

En los últimos 20 años se ha podido observar un cierto cambio en el estilo de las uniones en estructuras de madera. De uniones con grandes herrajes vistos, se ha llegado a unas uniones con menor presencia del acero al exterior, con protección por galvanizado y muchas veces con clavijas ocultas (pasadores, tirafondos de doble rosca).

Los herrajes de apoyo de correas utilizados en las estructuras de madera laminada encolada por lo general están fabricados con chapa plegada galvanizada y vista al exterior; sin embargo, en Europa existe una tendencia al herraje oculto en la testa de la correa y posiblemente cada vez se use menos el herraje visto. Todo este proceso de cambio viene motivado por varias razones, entre las que se encuentran las especificaciones de incendio que conducen al ocultamiento y protección del metal, a los avances técnicos de materiales empleados en los herrajes, pero también a una evolución de la estética en el diseño de la estructura, que puede interpretarse como una mayor confianza en la madera como material estructural sin recurrir a la presencia del acero como acompañante o garantía de su eficacia.

Las posibilidades creativas en el diseño de las uniones son enormes y no es posible definir una solución única para cada situación. El éxito del diseño de una unión se basa en cumplir los tres requisitos siguientes:

- Simplicidad: cuanto más sencilla sea la unión mejor será el resultado estético y mecánico, así como su cálculo.
- Mínimo material auxiliar: cuantos menos herrajes se necesiten mejor será el comportamiento al fuego y más limpio será su aspecto.
- Fabricación y montaje: serán preferibles las soluciones que requieran un proceso de fabricación y de montaje más sencillo.

Cada medio de unión tiene una adecuación que es función principalmente de la escuadría de las piezas y del tipo estructural. La práctica más habitual será:

- *Uniones carpinteras*: constituyeron en el pasado el sistema de unión tradicional en la carpintería de armar. Actualmente ha recuperado su vigencia gracias a la fabricación mediante el control numérico. La precisión alcanzada es muy elevada y el costo se ha reducido notablemente. Actualmente se emplean en estructuras de luces reducidas (hasta 10 o 12 m) y en obras de rehabilitación. Las razones que llevan a utilizar este tipo de unión son, generalmente, de carácter estético, buscando una apariencia tradicional para la construcción; sin embargo, también resultan más económicas y presentan un mejor comportamiento al fuego. En estructuras de luces mayores, generalmente con madera laminada encolada, las uniones carpinteras con cajas y otros rebajes no se emplean porque se llega a un sobredimensionado de las secciones que las harían poco económicas. Una de las uniones carpinteras más utilizadas en cubiertas de viviendas unifamiliares es la de la cola de milano redondeada para las uniones entre pares o correas y vigas principales.
- *Uniones encoladas*: sistema de unión cuya característica principal es la de permitir los enlaces rígidos con plena capacidad de transmitir momentos flectores. Además, su aspecto externo es muy limpio al no tener herrajes al exterior. Sin embargo, no es un sistema extendido ni habitual en las empresas, sino que únicamente hay algunas que ofrecen este sistema como opción. Generalmente, consisten en barras de acero o de materiales compuestos que se encolan a la madera en taladros interiores con formulaciones epoxi y otros adhesivos adecuados. También son uniones encoladas los enlaces entre piezas mediante un dentado múltiple de gran tamaño (macrodentado) similar al empalme de las láminas de madera laminada encolada, pero con la posibilidad de realizar uniones en ángulo, como las uniones de esquina en pórticos.

- *Uniones mecánicas:* agrupan diversos tipos de elementos de fijación por lo que existen tipos adecuados para cada situación. A continuación se resumen los casos más frecuentes:
  - *Grapas:* generalmente se emplean para la conexión entre tableros y piezas de madera aserrada de pequeña escuadría (con gruesos comprendidos entre 38 y 50 mm aproximadamente). La aplicación característica es la fabricación de entramados ligeros de muros y forjados para la construcción prefabricada.
  - *Clavos:* adecuados para la construcción ligera de madera en la unión entre tableros y piezas de madera aserrada y entre las propias piezas de madera aserrada de pequeña escuadría (grueso de 38 a 50mm). Tienen capacidad de carga frente a esfuerzos laterales o de cortante, pero rara vez se aceptan para cargas axiales o de extracción. También son utilizados en las uniones entre piezas de mayor escuadría como es el caso de las correas de madera laminada donde se emplean para fijar el herraje de apoyo a la viga principal. En estos casos los herrajes ya están pretaladrados para el alojamiento de los clavos. En algunos casos se han utilizado para uniones de gran capacidad de transmisión de esfuerzos como elemento de fijación de las chapas de acero con espesores generalmente de 6mm. En estos casos es frecuente el uso de clavos especiales de sección rectangular redondeada denominados “remaches para madera”.
  - *Tirafondos:* se emplean en la fijación de piezas de madera de escuadría pequeña y mediana con similares funciones a la de los clavos, pero con la ventaja de poder resistir esfuerzos axiales. Esto último los hace especialmente indicados para el anclaje de herrajes, o piezas en general, sometidas a esfuerzos de arranque además del cortante. Así, ejemplos típicos son las fijaciones de los herrajes de anclaje de tirantes de arriostramiento, fijación de las correas sobre los pares, elementos auxiliares de afianzamiento en las uniones carpinteras, etc. También se pueden utilizar en las uniones entre piezas de mayor sección (por ejemplo madera laminada encolada) como elemento de fijación de chapas de acero auxiliares.
  - *Pernos:* se emplean en uniones entre piezas de madera maciza y madera laminada encolada. Por tanto, resultan adecuados para cargas pequeñas y grandes, utilizando diámetros adecuados. Permiten la conexión entre piezas de madera a través de chapas metálicas, tanto si están situadas en el interior como en el exterior.
  - *Pasadores:* generalmente utilizados en las uniones entre piezas de mediana y gran escuadría. Tienen la ventaja de un mejor comportamiento al fuego, siendo más fácil su ocultación comparada con el caso de los pernos. Permiten la conexión mediante chapas de acero interiores, pero no al exterior. Se colocan con un grado de ajuste muy alto, lo que exige mucha precisión en el mecanizado de los agujeros. En uniones que puedan sufrir un esfuerzo transversal que provoque el desarmado del conjunto deberán acompañarse de algunos pernos.
  - *Conectores:* tienen mayor capacidad de transmisión de carga que los pernos y pasadores, pero también requieren separaciones mayores. Generalmente, se recurre a ellos cuando la capacidad de los pernos por sí mismos no es suficiente.

- *Conectores de anillo*: se emplean en uniones entre piezas de gran y mediana escuadría. El mecanizado se hace en fábrica y el montaje se puede hacer en obra. Requieren un perno para afianzar la unión, pero su capacidad portante no se suma a la del conector.
- *Conectores de placa*: adecuados en uniones entre piezas de gran y mediana escuadría. Hay tipos para uniones entre madera y madera y otros para uniones entre acero y madera. El mecanizado se hace en fábrica y el montaje se puede hacer en obra. Requieren un perno para afianzar la unión, pero su capacidad portante no se suma a la del conector.
- *Conectores dentados*: adecuados para escuadrías grandes y medianas. Se colocan en fábrica y una vez insertados, no pueden desmontarse. El perno que se emplea para afianzar la unión también colabora en la transmisión de esfuerzos.
- *Placas clavo*: son herrajes de conexión específicos para las uniones en estructuras ligeras construidas con piezas de madera aserrada de grueso reducido (38 a 45mm). Son características de las armaduras de cubierta en la construcción prefabricada de entramado ligero.

Existen varios factores que influyen en la toma de decisiones para la configuración de la unión:

- *Especificaciones de incendio*: si existen requisitos de resistencia al fuego es relativamente sencillo llegar a tiempos de 30 minutos, pero para alcanzar los 60 minutos se requiere un diseño más elaborado. Para cumplir las especificaciones con más facilidad son preferibles las uniones que no utilicen chapas metálicas expuestas al exterior, sino en todo caso situadas en el interior de las piezas y sin asomar por los bordes; también presentan mejor comportamiento los pasadores que los pernos.
- *Durabilidad*: en uniones entre piezas que queden expuestas al exterior es muy importante que el diseño de la unión no permita la retención de agua de lluvia con el fin de aumentar su durabilidad frente a la corrosión. Deberán utilizarse materiales metálicos adecuadamente protegidos para cada situación ambiental.
- *Sismo*: en localizaciones en las que la acción sísmica es relevante, la ductilidad de la estructura se consigue con facilidad utilizando uniones con elementos de tipo clavija, que presentan un comportamiento de alta ductilidad.

Un encuentro entre piezas de madera puede resolverse de diferentes maneras llegando en muchos casos a resultados eficaces. Unos sistemas tendrán algunas ventajas e inconvenientes comparados con otros, sin que exista una solución única. El proceso del diseño de la unión es, por tanto, un proceso abierto que se fundamenta en la experiencia del proyectista. Cuando se proyecta una unión, sin tener una experiencia importante, es habitual y recomendable estudiar soluciones de encuentro construidas en obras existentes con el fin de servir de guía o inspiración (a veces para evitar repetir errores).

En general, el valor característico de la capacidad de carga y la rigidez de las uniones se determinarán mediante ensayo de acuerdo con las normas *UNE EN 1380*, *UNE EN 1381*, *UNE EN 26891* y *UNE EN 28970*. Si en la norma *DB-M* se describen métodos de ensayo por tracción y compresión, la capacidad de carga característica debe obtenerse en tracción.

## 1.6 PROYECTO y EJECUCIÓN de sistemas constructivos con MADERA

La principal causa de deterioro de la madera es el ataque de hongos xilófagos. Estos hongos normalmente actúan sobre madera que posee un porcentaje de humedad superior al 20%. Para que un elemento de madera puesta en obra encuentre su equilibrio higroscópico por encima de este valor es necesario que esté en contacto directo y permanente con el agua o colocado en un ambiente con humedad relativa superior a 85%.

La vida útil de los elementos de madera puede incrementarse de manera significativa si se diseña y se cuida la ejecución de la obra. De esta manera, si el elemento de madera puede estar ocasionalmente en contacto con el agua, se ha de garantizar que exista una evacuación rápida de la misma. De la misma forma, es importante cuidar la ventilación para evitar ambientes muy saturados de humedad. Se recomienda aplicar tratamientos químicos preventivos aplicados en profundidad, considerar sistemas especiales de protección tipo barrera (colocación de piezas de sacrificio, albardillas o similar, empleo de láminas externas de madera naturalmente durable, etc.) o elegir maderas con elevada durabilidad natural cuando el elemento vaya a estar en contacto directo y sostenido con agua de lluvia (clase de uso 3.2), introducidos en tierra (clase de uso 4) o expuesto, de forma permanente o casi permanente, a humedad muy elevada (mayor al 85%) que permita suponer la existencia de condensaciones superficiales. Adicionalmente y cuando la zona en la que vaya a emplearse la madera sea endémica de algún tipo de insecto xilófago que ataque madera seca se deberá prever la aplicación de tratamientos químicos preventivos eficaces en función del tipo de insecto y de la especie de madera (no todas las maderas son atacables por todos los insectos xilófagos).

Existen en el mercado diferentes productos estructurales lineales de madera o derivados. Para la elección del más adecuado, se deben tener presentes las siguientes características:

- *Capacidad resistente del material.* No todos los materiales presentan las mismas características resistentes. En general debe indicarse que las propiedades mecánicas y elásticas, tanto de la madera aserrada como de la madera laminada, se dan en forma de clases resistentes. En el caso de la madera laminada encolada cada clase resistente está precedida de las siglas GL mientras que en el de la madera aserrada lo será de una D si se tratase de una madera de frondosa y de una C si se tratase de una madera de conífera o de chopo. Tras estas siglas aparecerá un número que da información de la resistencia a flexión (en N/mm<sup>2</sup>) de la madera. En el caso de la madera laminada, posteriormente al número, se adiciona otra letra en minúsculas que da información sobre si todas las láminas que constituyen el elemento pertenecen a una misma clase resistente (h) o no (c).
- *Factores propios de la estructura o la ubicación de la misma:*
  - *Duración de la carga.* Una de las características de la madera, anteriormente comentada, es que tiene un comportamiento diferente dependiendo si la carga a la que está sometido es permanente o variable.
  - *Resistencia y reacción al fuego del elemento.* Dependiendo de uso del edificio en donde se sitúe el elemento estructural.
  - *Deformación máxima admitida del elemento estructural.* Dependiendo del uso del edificio en donde se sitúe el elemento estructural.

- *Humedad del ambiente y tipo de medio al que está sometido la estructura.* El ambiente al que está sometido la estructura influye doblemente: En la resistencia del material y en la durabilidad del mismo. La resistencia y rigidez del material están inversamente relacionadas con la humedad a la que el elemento se vea obligado a trabajar. En el *DB SE-M* se identifican 3 ambientes o clases de servicio. Estas clases de servicio, que afectan única y exclusivamente al cálculo estructural, no deben ser confundidas con las clases de uso, que afectan a los riesgos asociados al ataque de hongos. El riesgo de ataque de insectos, salvo de termitas, es independiente de la humedad del material, motivo por lo cual debe aplicarse en todos los casos estableciendo una barrera superficial que impida su penetración, salvo que la madera sea naturalmente durable.
- *Durabilidad natural de la especie.* La durabilidad natural de la madera se define como la resistencia intrínseca de la madera a los ataques por organismos destructores. Ésta varía de una especie a otra, así como entre el duramen y la albura. La albura y/o el duramen de una especie concreta no tienen por qué requerir protección para una determinada clase de uso a pesar de estar colocada a la intemperie. La clasificación de la durabilidad se realiza conforme a la norma *UNE-EN 350-2* “Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera”.
- *Impregnabilidad.* Se define como la facilidad con la que una madera puede ser penetrada por un líquido, como por ejemplo, un producto protector. Ésta depende de cada especie y es un factor determinante a la hora de elegir una madera u otra. Hay especies que se caracterizan por que son muy poco impregnables. En este caso, y si la durabilidad natural es igualmente baja, estas especies están desaconsejadas para el uso al exterior (clase de uso 3.2 o superior) o para zonas endémicas de un tipo de xilófago que ataque la madera. Ejemplo típico es la madera de abeto rojo (*Picea Abies*), una de las especies más empleadas en el sector de la construcción, que no posee durabilidad natural suficiente y es difícilmente impregnable, lo que la hace desaconsejada para su empleo en clases de uso 3.2 y superior, salvo que se adopten medidas de diseño especiales que permitan rebajar el riesgo a niveles compatibles con una clase de uso 3.1 o inferior.
- *Dimensiones.* El factor limitante puede ser los largos y las secciones que existen en el mercado.
  - *Largos.* En el mercado, la madera aserrada se suele encontrar en largos inferiores a 6 metros, dimensiones mayores se suelen realizar solamente bajo pedido. La madera laminada encolada puede encontrarse con largos muy superiores, de hasta 45 m, siendo en este caso la limitación por motivos de transporte. En general largos superiores a 12 ó 13,5 m, que exige transporte especial, pueden incrementar considerablemente el precio del material puesto en obra, lo cual habrá de ser tenido en cuenta.
  - *Secciones.* Esta decisión puede estar definida por el tipo de estructura que se quiera realizar. Mientras mayor sea la sección más complicado será encontrarla en madera maciza y más difícil de obtener un secado homogéneo que garantice la estabilidad del producto. Para las grandes secciones el uso de la madera laminada encolada suele ser la única opción viable.



- *Vigas de sección constante o variable.* Por motivos de fabricación, la madera laminada encolada y microlaminada son las que permiten secciones no constantes, rectas o curvas. Los encargos pueden ser realizados a la medida de la obra.
- *Estética.* Debido a los espesores, hay secciones que permiten un secado más homogéneo que otras y por tanto, el material es más o menos estable dimensionalmente. Los materiales menos estables suelen presentar un mayor número de fendas. Además, Los elementos estructurales derivados de la madera presentan una estética particular en cada caso.

Los elementos de unión juegan un papel importante en las estructuras de madera. Un buen diseño y cálculo de los mismos unto con una buena ejecución disminuyen drásticamente la aparición de problemas posteriores. Los principales factores que se tendrán en cuenta en la planificación de los detalles de la unión son:

- Los tipos e intensidades de esfuerzos que deben transmitir (cargas estáticas, dinámicas, tracción, compresión, flexión, cizallamiento, etc.).
- La geometría de las barras a unir (barras en un mismo eje, o encuentros con un ángulo).
- El tipo de sección de las barras a unir (sección rectangular, circular, compuesta).
- Las exigencias de montaje (prefabricación).
- Las exigencias estéticas.

Existen en el mercado diferentes tableros estructurales de madera o derivados. La medida más usual es 1,25 x 2,50mm. Para la elección del más adecuado es imprescindible conocer lo siguiente:

- *Resistencia del tablero.* Cada tipo de tablero presenta una resistencia diferente.
- *Ambiente al que van a estar sometidos.* No todos los tableros son aptos para todo tipo de ambientes.
- *Resistencia al fuego.* Los tableros de productos derivados

El elemento de unión, en el sistema de entramado ligero, suele ser de tipo clavija, especialmente, clavos, grapas y tirafondos; así como las placas y elementos metálicos como colgadores o escuadras. La elección de las clavijas suele depender, además de los factores vistos anteriormente, de la separación exigida entre clavijas por la norma, de la existencia en fábrica o en obra de las herramientas adecuadas para dispensar las clavijas y la estética. En el sistema de entramado ligero, las uniones no suelen estar expuestas al fuego.

Para la unión de elementos estructurales de mayor sección, se suelen emplear las uniones tradicionales y una mayor variedad de uniones metálicas.

- *Uniones tradicionales.* La generalización de las máquinas de control numérico en los almacenes y fábricas de montaje de madera hacen cada día más usual este tipo de unión.
- *Uniones mediante elementos metálicos.* La resistencia estructural de cada una de estas uniones suele facilitar al fabricante a través de los catálogos técnicos.



Existen requisitos básicos que hay que exigir a la madera en la recepción en obra, y que se indican a continuación:

- *Clase resistente del material.* La madera estructural tiene que estar clasificada por su resistencia. Cada lote de madera debe venir acompañado de una documentación que acredite la resistencia del elemento. En esta clasificación han sido considerandos los defectos que el elemento presenta (nudos, gemas, etc.).
- *Humedad de equilibrio de la madera.* Un elemento de madera presenta una mayor estabilidad dimensional si es puesto en obra con un porcentaje de agua similar al del equilibrio para ese ambiente determinado. Según el *DB SE-M*, la madera maciza colocada al interior o al exterior protegido debe presentar un porcentaje de agua en el interior menor al 20% (25% para piezas de gruesa escuadría). La madera colocada en obra que no cumpla estos requisitos puede causar problemas como ataque de hongos xilófagos (especialmente si se utiliza directamente en soluciones poco ventiladas), merma de sección, aparición de fendas de secado, aparición de inestabilidades volumétricas de la pieza, etc.
- En el caso de que se haya solicitado *tableros estructurales* se debe exigir la documentación que clasifique al tablero según el ambiente al que puede estar sometido y/o a las prestaciones estructurales exigidas.

Durante la puesta en obra y siempre que sea posible, la madera debe estar preservada del sol directo y de la humedad. La exposición directa al sol suele afectar sobre todo cuando el elemento de madera está expuesto de forma desigual, lo que puede llegar a generar zonas en donde la madera adquiera una coloración más oscura. La exposición a la humedad de madera insuficientemente protegida puede provocar un ataque por hongos cromógenos, que si bien no perjudican a las propiedades mecánicas del material, sí provocan un ennegrecimiento de la zona atacada.

Durante la ejecución hay que poner especial cuidado en:

- *Puntos de condensación o acumulación de agua.* Evitar realizar cualquier variación sobre el proyecto original que pueda provocar la aparición de puntos de condensación o acumulación de agua en las inmediaciones o sobre la madera.
- *Puntos de humedad por capilaridad del muro o del terreno.* Se debe evitar que la madera no tratada esté en contacto directo con muros expuestos a humedecimiento o con el terreno. Para evitarlo se deben emplear diseños constructivos y herrajes adecuados que permitan evitar dicho riesgo o, si fuera necesario, tratar la madera para clase de uso 3.2 ó 4, según proceda.
- *Encuentros.* En los encuentros en madera hay que poner especial atención, ya que en muchos casos, variaciones pequeñas sobre el proyecto original pueden provocar solicitaciones a tracción perpendicular a las fibras. Dado que la madera es muy poco resistente a este tipo de solicitación se deberán adoptar las precauciones adecuadas tendentes a evitar la aparición de tensiones de tracción no previstas en proyecto.
- *La durabilidad de los elementos de unión.* El *DB SE-M* exige en estructuras al exterior el uso de elementos metálicos protegidos contra la corrosión. Hay que poner especial atención en que todos los elementos de clavija cumplan este requisito y que los elementos galvanizados no sean modificados en obra de forma que pueda quitarse, total o parcialmente, la protección contra la corrosión.

## 1.7 SISTEMAS de CERTIFICACIÓN de PRODUCTOS con MADERA

El marcado CE es el símbolo de conformidad de determinados productos con la legislación de armonización técnica europea. Su principal objetivo es declarar la conformidad del producto con todos los requisitos comunitarios impuestos al fabricante por las Directivas del mercado CE. La Directiva 89/106/CEE “Productos de Construcción” establece que para poder circular en el mercado comunitario los productos de construcción que han acreditado su idoneidad deberán llevar obligatoriamente el marcado CE. Esta directiva se aplica a los productos de construcción, es decir, los productos destinados a incorporarse permanentemente a las obras de construcción. Los productos de construcción sólo podrán comercializarse si son idóneos para el uso al que se destinan. A este respecto, deberán permitir la construcción de obras que cumplan, durante un período de vida económicamente razonable, los requisitos esenciales en materia de resistencia mecánica y estabilidad, seguridad en caso de incendio, higiene, salud y medio ambiente, seguridad de utilización, protección contra el ruido, ahorro energético y aislamiento térmico. Los requisitos esenciales se concretarán en primer lugar mediante documentos interpretativos elaborados por comités técnicos para, a continuación, desarrollarse en forma de especificaciones técnicas, que pueden ser:

- Normas armonizadas europeas adoptadas por los organismos europeos de normalización (*CEN* o *CENELEC*) con arreglo a mandatos de la Comisión y previa consulta del Comité Permanente de Construcción.
- Documentos de idoneidad técnica europea (*DITE*) que valoren la adecuación de un producto para su uso. Se aplican en los casos para los cuales no existen ni una norma armonizada, ni una norma nacional reconocida, ni un mandato de norma europea y con respecto a los cuales la Comisión considere, previa consulta a los Estados miembros en el seno del Comité Permanente de Construcción, que no se puede - o que todavía no se debe- elaborar una norma. Para facilitar esta tarea, el organismo European *Organisation of Technical Approvals (EOTA)*, que reúne a los organismos nacionales autorizados, puede elaborar guías de documentos de idoneidad técnica europeos (*ETAG*) de un producto o familia de productos de construcción por mandato de la Comisión y previa consulta del Comité Permanente de Construcción.

Los niveles de conformidad de los productos se fijan según los factores de seguridad y de comportamiento al fuego. Estos niveles son los siguientes:

- Nivel 1: Por parte del fabricante: control de la producción y ensayos de muestras tomadas de acuerdo con un plan preestablecido. Por parte de un organismo autorizado: ensayo inicial de tipo, inspección y control de producción. Eventualmente, ensayos por sondeo en fábrica, en mercado u obra.
- Nivel 2+: Por parte del fabricante: ensayo inicial de tipo en el laboratorio de la fábrica, control de producción en fábrica y eventualmente ensayo de muestras por el fabricante con un plan preestablecido. Por parte de un organismo autorizado: certificación en base a una inspección inicial y control de producción. Eventualmente, evaluación del control de la producción.
- Nivel 2: Por parte del fabricante: igual al sistema 2+. Por parte de un organismo autorizado: certificación en base a una inspección inicial de la fábrica y control de producción.

## 1.8 Exigencias básicas de SEGURIDAD ESTRUCTURAL

El Documento Básico Seguridad Estructural (*DB SE*) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permitan cumplir las exigencias básicas de seguridad estructural. La correcta aplicación del conjunto del documento, supone que se satisface el requisito básico “Seguridad estructural”. Los objetivos del requisito básico, son los siguientes:

- 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.
- Los edificios se proyectarán, fabricarán, construirán y mantendrán de forma que cumplan con una fiabilidad adecuada, las exigencias básicas que se establecen.

Las exigencias básicas de seguridad estructural:

- *Resistencia y estabilidad*: La resistencia y la estabilidad serán las adecuadas para que no se generen riesgos indebidos, de forma que se mantenga la resistencia y la estabilidad frente a las acciones e influencias previsibles durante las fases de construcción y usos previstos de los edificios, y que un evento extraordinario no produzca consecuencias desproporcionadas respecto a la causa original y se facilite el mantenimiento previsto.
- *Aptitud de servicio*: La aptitud al servicio será conforme con el uso previsto del edificio, de forma que no se produzcan deformaciones inadmisibles, se limite a un nivel aceptable la probabilidad de un comportamiento dinámico inadmisibles y no se produzcan degradaciones o anomalías inadmisibles.

Este Documento Básico establece los principios y los requisitos relativos a la resistencia mecánica y la estabilidad del edificio, así como la aptitud al servicio, incluyendo su durabilidad. Describe las bases y los principios para el cálculo de las mismas. La ejecución, la utilización, la inspección y el mantenimiento se tratan en la medida en la que afectan a la elaboración del proyecto. Los preceptos del DB-SE son aplicables a todos los tipos de edificios, incluso a los de carácter provisional.

- *Capacidad portante*: aptitud de un edificio para asegurar, con la fiabilidad requerida, la estabilidad del conjunto y la resistencia necesaria, durante un tiempo determinado, denominado periodo de servicio (A falta de indicaciones específicas, como periodo de servicio se adoptará 50 años).
- *Aptitud al servicio*: aptitud de asegurar el funcionamiento de la obra, el confort de los usuarios y de mantener el aspecto visual.

En relación con la seguridad estructural, el contenido del proyecto de edificación incluirá la información que se indica en los siguientes apartados. Esta documentación se completará con la específica que se detalle, en su caso, en cada uno de los restantes *DB* relativos a la seguridad estructural que se utilicen conjuntamente con éste. Cuando el director de obra autorice modificaciones a lo proyectado, lo hará constar expresamente en el Libro de Órdenes, que en su día se añadirán como proceda, a la documentación final de obra realizada. Para evitar confusiones, se indicará claramente en los documentos del proyecto original que resulten afectados por el cambio, que se deben entender sustituidos por los aportados, y en éstos, los del proyecto que quedan anulados.

*Memoria.* En la memoria del proyecto se incluirá el programa de necesidades, en el que se describirán aquellas características del edificio y del uso previsto que condicionan las exigencias de seguridad estructural, tanto en lo relativo a la capacidad portante como a la aptitud al servicio; las bases de cálculo y la declaración de cumplimiento de los *DB* o justificación documental del cumplimiento de las exigencias básicas de seguridad, si se adoptan soluciones alternativas que se aparten total o parcialmente de los *DB*.

En las bases de cálculo y en el anejo de cálculo se incluirán los siguientes datos:

- El periodo de servicio previsto, si difiere de 50 años.
- Las simplificaciones efectuadas sobre el edificio para transformarlo en uno o varios modelos de cálculo, que se describirán detalladamente, indicando el tipo estructural adoptado para el conjunto y sus partes, las características de las secciones, tipo de conexiones y condiciones de sustentación.
- Las características mecánicas consideradas para los materiales estructurales y para el terreno que lo sustenta, o en su caso actúa sobre el edificio.
- La geometría global (especificando las dimensiones a ejes de referencia) y cualquier elemento que pueda afectar al comportamiento o a la durabilidad de la estructura.
- Las exigencias relativas a la capacidad portante y a la aptitud al servicio, incluida la durabilidad, si difieren de las establecidas en este documento.
- Las acciones consideradas, las combinaciones efectuadas y los coeficientes de seguridad utilizados.
- De cada tipo de elemento estructural, la modalidad de análisis efectuado y los métodos de cálculo empleados.
- La modalidad de control de calidad previsto.

Si el proyecto se desarrolla en dos fases (proyecto básico y proyecto de ejecución), en el proyecto básico se incluirá, al menos, la información referida al periodo de servicio previsto y la geometría global, así como las acciones de aplicación al caso, los materiales previstos y los coeficientes de seguridad aplicables. Los cálculos realizados con ordenador se completarán identificando los programas informáticos utilizados en cada una de las partes que han dado lugar a un tratamiento diferenciado, indicando el objeto y el campo de aplicación del programa y explicando con precisión, la representación de los datos introducidos y el tipo de los resultados generados por el programa.

Los planos del proyecto correspondientes a la estructura deben ser suficientemente precisos para la exacta realización de la obra, a cuyos efectos se podrán deducir también de ellos los planos auxiliares de obra o de taller, en su caso, y las mediciones que han servido de base para las valoraciones pertinentes. Contendrán los detalles necesarios para que el constructor, bajo las instrucciones del director de obra, pueda ejecutar la construcción, y en particular, los detalles de uniones y nudos entre elementos estructurales y entre éstos y el resto de los de la obra, las características de los materiales, la modalidad de control de calidad previsto, y los coeficientes de seguridad adoptados en el cálculo. Si el proyecto se desarrolla en dos fases, los planos del proyecto básico deben ser lo suficientemente precisos para la definición del tipo estructural previsto y el establecimiento de las reservas geométricas para la realización de la estructura.

La comprobación estructural de un edificio requiere:

- Determinar las situaciones de dimensionado que resulten determinantes.
- Establecer las acciones que deben tenerse en cuenta y los modelos adecuados para la estructura.
- Realizar el análisis estructural, adoptando métodos de cálculo adecuados a cada problema.
- Verificar que, para las situaciones de dimensionado correspondientes, no se sobrepasan los estados límite.

En las verificaciones se tendrán en cuenta los efectos del paso del tiempo (acciones químicas, físicas y biológicas; acciones variables repetidas) que pueden incidir en la capacidad portante o en la aptitud al servicio, en concordancia con el periodo de servicio.

Las situaciones de dimensionado deben englobar todas las condiciones y circunstancias previsibles durante la ejecución y la utilización de la obra, teniendo en cuenta la diferente probabilidad de cada una. Para cada situación de dimensionado, se determinarán las combinaciones de acciones que deban considerarse. Las situaciones de dimensionado se clasifican en:

- Persistentes, que se refieren a las condiciones normales de uso.
- Transitorias, que se refieren a unas condiciones aplicables durante un tiempo limitado (no se incluyen las acciones accidentales).
- Extraordinarias, que se refieren a unas condiciones excepcionales en las que se puede encontrar o a las que puede estar expuesto el edificio (acciones accidentales).

Se denominan *estados límite* aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que el edificio no cumple alguna de los requisitos estructurales para las que ha sido concebido.

Los *estados límite últimos* son los que, de ser superados, constituyen un riesgo para las personas, ya sea porque producen una puesta fuera de servicio del edificio o el colapso total o parcial del mismo. Como estados límite últimos deben considerarse los debidos a:

- Pérdida del equilibrio del edificio, o de una parte estructuralmente independiente, considerado como un cuerpo rígido.
- Fallo por deformación excesiva, transformación de la estructura o de parte de ella en un mecanismo, rotura de sus elementos estructurales (incluidos los apoyos y la cimentación) o de sus uniones, o inestabilidad de elementos estructurales incluyendo los originados por efectos dependientes del tiempo (corrosión, fatiga).

Los *estados límite de servicio* son los que, de ser superados, afectan al confort y al bienestar de los usuarios o de terceras personas, al correcto funcionamiento de del edificio o a la apariencia de la construcción.

Los estados límite de servicio pueden ser reversibles e irreversibles. La reversibilidad se refiere a las consecuencias que excedan los límites especificados como admisibles, una vez desaparecidas las acciones que las han producido.

Como estados límite de servicio deben considerarse los relativos a:

- Las deformaciones (flechas, asientos o desplomes) que afecten a la apariencia de la obra, al confort de los usuarios, o al funcionamiento de equipos e instalaciones.
- Las vibraciones que causen una falta de confort de las personas, o que afecten a la funcionalidad de la obra.
- Los daños o el deterioro que pueden afectar desfavorablemente a la apariencia, a la durabilidad o a la funcionalidad de la obra.

El análisis estructural se realiza mediante modelos en los que intervienen las denominadas *variables básicas*, que representan cantidades físicas que caracterizan las acciones, influencias ambientales, propiedades de materiales y del terreno, datos geométricos, etc. Si la incertidumbre asociada con una variable básica es importante, se considerará como variable aleatoria. Cuando se realice una verificación mediante métodos de análisis de la fiabilidad, puede emplearse directamente la representación probabilista de las variables.

Las acciones a considerar en el cálculo se clasifican por su variación en el tiempo en:

- *Acciones permanentes (G)*: Son aquellas que actúan en todo instante sobre el edificio con posición constante. Su magnitud puede ser constante (como el peso propio de los elementos constructivos o las acciones y empujes del terreno) o no (como las acciones reológicas o el pretensado), pero con variación despreciable o tendiendo monótonamente hasta un valor límite.
- *Acciones variables (Q)*: Son aquellas que pueden actuar o no sobre el edificio, como las debidas al uso o las acciones climáticas.
- *Acciones accidentales (A)*: Son aquellas cuya probabilidad de ocurrencia es pequeña pero de gran importancia, como sismo, incendio, impacto o explosión.

Las acciones también se clasifican por:

- su naturaleza: en directas o indirectas.
- su variación espacial: en fijas o libres.
- la respuesta estructural: en estáticas o dinámicas.

La magnitud de la acción se describe por diversos valores representativos, dependiendo de las demás acciones que se deban considerar simultáneas con ella, tales como valor característico, de combinación, frecuente y casi permanente.

El valor característico de una acción,  $F_k$ , se define, según el caso, por su valor medio, por un fractil superior o inferior, o por un valor nominal. Como valor característico de las acciones permanentes,  $G_k$ , se adopta, normalmente, su valor medio. En los casos en los que la variabilidad de una acción permanente pueda ser importante (con un coeficiente de variación superior entre 0,05 y 0,1, dependiendo de las características de la estructura), o cuando la respuesta estructural sea muy sensible a la variación de la misma, se considerarán dos valores característicos: un valor característico superior, correspondiente al fractil del 95% y un valor característico inferior, correspondiente al fractil 5%, suponiendo una distribución estadística normal.



Para la acción permanente debida al pretensado,  $P$ , se podrá definir, en cada instante  $t$ , un valor característico superior,  $P_{k,sup(t)}$ , y un valor característico inferior,  $P_{k,inf(t)}$ . En algunos casos, el pretensado también se podrá representar por su valor medio,  $P_{m(t)}$ . Como valor característico de las acciones variables,  $Q_k$  se adopta, normalmente, alguno de los siguientes valores:

- Un valor superior o inferior con una determinada probabilidad de no ser superado en un periodo de referencia específico.
- Un valor nominal, en los casos en los que se desconozca la correspondiente distribución estadística.

En el caso de las acciones climáticas, los valores característicos están basados en una probabilidad anual de ser superado de 0,02, lo que corresponde a un periodo de retorno de 50 años. Las acciones accidentales se representan por un valor nominal. Este valor nominal se asimila, normalmente, al valor de cálculo. Otros valores representativos, serán:

- El valor de combinación de una acción variable representa su intensidad en caso de que, en un determinado periodo de referencia, actúe simultáneamente con otra acción variable, estadísticamente independiente, cuya intensidad sea extrema. En este Documento Básico se representa como el valor característico multiplicado por un coeficiente  $\psi_0$ .
- El valor frecuente de una acción variable se determina de manera que sea superado durante el 1% del tiempo de referencia. En este *DB* se representa como el valor característico multiplicado por un coeficiente  $\psi_1$ .
- El valor casi permanente de una acción variable se determina de manera que sea superado durante el 50% del tiempo de referencia. En este *DB* se representa como el valor característico multiplicado por un coeficiente  $\psi_2$ .

Las acciones dinámicas producidas por el viento, un choque o un sismo, se representan a través de fuerzas estáticas equivalentes. Según el caso, los efectos de la aceleración dinámica estarán incluidos implícitamente en los valores característicos de la acción correspondiente, o se introducirán mediante un coeficiente dinámico.

Los datos geométricos se representan por sus valores característicos, para los cuales en el proyecto se adoptarán los valores nominales deducidos de los planos. En el caso de que se conozca su distribución estadística con suficiente precisión, los datos geométricos podrán representarse por un determinado fractil de dicha distribución. Si las desviaciones en el valor de una dimensión geométrica pueden tener influencia significativa en la fiabilidad estructural, como valor de cálculo debe tomarse el nominal más la desviación prevista.

Las propiedades de la resistencia de los materiales o de los productos se representan por sus valores característicos. En el caso de que la verificación de algún estado límite resulte sensible a la variabilidad de alguna de las propiedades de un material, se considerarán dos valores característicos, superior e inferior, de esa propiedad, definidos por el fractil 95% o el 5% según que el efecto sea globalmente desfavorable o favorable. Los valores de las propiedades de los materiales o de los productos podrán determinarse experimentalmente a través de ensayos. Cuando sea necesario, se aplicará un factor de conversión con el fin de extrapolar los valores experimentales en valores que representen el comportamiento del material o del producto en la estructura o en el terreno.



Las propiedades relativas a la rigidez estructural, se representan por su valor medio. No obstante, dependiendo de la sensibilidad del comportamiento estructural frente a la variabilidad de estas características, será necesario emplear valores superiores o inferiores al valor medio (por ejemplo en el análisis de problemas de inestabilidad). En cualquier caso, se tendrá en cuenta la dependencia de estas propiedades respecto de la duración de la aplicación de las acciones. A falta de prescripciones en otro sentido, las características relativas a la dilatación térmica se representan por su valor medio.

El análisis estructural se basará en modelos adecuados del edificio que proporcionen una previsión suficientemente precisa de dicho comportamiento, y que permitan tener en cuenta todas las variables significativas y que reflejen adecuadamente los estados límite a considerar. Se podrán establecer varios modelos estructurales, bien complementarios, para representar las diversas partes del edificio, o alternativos, para representar más acertadamente distintos comportamientos o efectos. Se usarán modelos específicos en las zonas singulares de una estructura en las que no sean aplicables las hipótesis clásicas de la teoría de la resistencia de materiales. Las condiciones de borde o sustentación aplicadas a los modelos deberán estar en concordancia con las proyectadas. Se tendrán en cuenta los efectos de los desplazamientos y de las deformaciones en caso de que puedan producir un incremento significativo de los efectos de las acciones.

El modelo para la determinación de los efectos de las acciones dinámicas tendrá en cuenta todos los elementos significativos con sus propiedades (masa, rigidez, amortiguamiento, resistencia, etc.) El modelo tendrá en cuenta la cimentación y la contribución del terreno en el caso de que la interacción entre terreno y estructura sea significativa. El análisis estructural se puede llevar a cabo exclusivamente mediante modelos teóricos o mediante modelos teóricos complementados con ensayos.

Para cada verificación, se identificará la disposición de las acciones simultáneas que deban tenerse en cuenta, como deformaciones previas o impuestas, o imperfecciones. Asimismo, deberán considerarse las desviaciones probables en las disposiciones o en las direcciones de las acciones. En el marco del método de los estados límite, el cumplimiento de las exigencias estructurales se comprobará utilizando el formato de los coeficientes parciales. Alternativamente, las comprobaciones se podrán basar en una aplicación directa de los métodos de análisis de fiabilidad.

En la verificación de los estados límite mediante coeficientes parciales, para la determinación del efecto de las acciones, así como de la respuesta estructural, se utilizan los valores de cálculo de las variables, obtenidos a partir de sus valores característicos, u otros valores representativos, multiplicándolos o dividiéndolos por los correspondientes coeficientes parciales para las acciones y la resistencia, respectivamente. Los valores de cálculo no tienen en cuenta la influencia de errores humanos. Estos deben evitarse mediante una dirección de obra, utilización, inspección y mantenimiento adecuados.

Se considera que hay suficiente estabilidad del conjunto del edificio o de una parte independiente del mismo, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición.  $E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$  siendo:

- $E_{d,dst}$  valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras.
- $E_{d,stab}$  valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras.

Se considera que hay suficiente resistencia de la estructura portante, de un elemento estructural, sección, punto o de una unión entre elementos, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición.  $E_d \leq R_d$  siendo:

- $E_d$  valor de cálculo del efecto de las acciones.
- $R_d$  valor de cálculo de la resistencia correspondiente.

Coeficientes PARCIALES de SEGURIDAD ( $\gamma$ ) para las ACCIONES				
Tipo de VERIFICACIÓN	Tipo de ACCIÓN	Situación PERMANENTE o TRANSITORIA		
		DE SFAVORABLE	FAVORABLE	
RESISTENCIA	PERMANENTE			
	Peso Propio, Peso del terreno	1,35	0,8	
	Empuje del Terreno	1,35	0,7	
	Presión del agua	1,2	0,9	
	VARIABLE	1,5	0	
ESTABILIDAD		DE SESTABILIZADORA	ESTABILIZADORA	
	PERMANENTE			
	Peso Propio, Peso del terreno	1,1	0,9	
	Empuje del Terreno	1,35	0,8	
	Presión del agua	1,05	0,95	
	VARIABLE	1,5	0	
Coeficientes de SIMULTANEIDAD ( $\psi$ )		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Sobrecarga superficial de USO (categorías según CTE-DB-SE-AE)				
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 APARCAMIENTO de vehículos ligeros (Categoría F)		0,7	0,7	0,6
Cubiertas TRANSITABLES (Categoría G)		Valores del uso desde el que se accede		
Cubiertas accesibles únicamente para MANTENIMIENTO (Categoría H)		0	0	0
NIEVE				
Para ALTITUDES > 1000m		0,7	0,5	0,2
Para ALTITUDES $\leq$ 1000m		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

El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una situación persistente o transitoria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión:

$$\sum_{j \neq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{Rj} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{R1} + \sum_{j \neq 1} \gamma_{Qj} \cdot \psi_{Qj} \cdot Q_{Rj}$$

Es decir, considerando la actuación simultánea de todas las acciones permanentes en valor de cálculo, incluido el pretensado, una acción variable cualquiera en valor de cálculo (debiendo adoptarse como tal, una tras otra sucesivamente en distintos análisis) y el resto de las acciones variables, en valor de cálculo de combinación. Los valores de los coeficientes de seguridad  $\gamma$ , para la aplicación de los Documentos Básicos de este CTE, se establecen en la tabla para cada tipo de acción, atendiendo para comprobaciones de resistencia a si su efecto es desfavorable o favorable, considerada globalmente.

Para comprobaciones de estabilidad, se diferenciará, aun dentro de la misma acción, la parte favorable (la estabilizadora), de la desfavorable (la desestabilizadora). Los valores de los coeficientes de simultaneidad,  $\psi$ , para la aplicación de los Documentos Básicos de este CTE, se establecen en la tabla anterior.

El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una situación extraordinaria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la siguiente expresión:

$$\sum_{j \in 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{Rj} + \gamma_P \cdot P + A_d + \gamma_{Q1} \cdot \psi_{11} \cdot Q_{R1} + \sum_{i \in 1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{2i} \cdot Q_{Ri}$$

Es decir, considerando la actuación simultánea de todas las acciones permanentes en valor de cálculo, incluido el pretensado, una acción accidental cualquiera en valor de cálculo (debiendo analizarse sucesivamente con cada una de ellas), una acción variable, en valor de cálculo frecuente, debiendo adoptarse como tal, una tras otra sucesivamente en distintos análisis con cada acción accidental considerada, y el resto de las acciones variables, en valor de cálculo casi permanente. En situación extraordinaria, todos los coeficientes de seguridad, son iguales a cero si su efecto es favorable, o a la unidad si es desfavorable, en los términos anteriores.

En los casos en los que la acción accidental sea la acción sísmica, todas las acciones variables concomitantes se tendrán en cuenta con su valor casi permanente, según la expresión siguiente:

$$\sum_{j \in 1} G_{Rj} + P + A_d + \sum_{i \in 1} \psi_{2i} \cdot Q_{Ri}$$

En los casos en los que la relación entre las acciones y su efecto no pueda aproximarse de forma lineal, para la determinación de los valores de cálculo de los efectos de las acciones debe realizarse un análisis no lineal, siendo en este caso, suficiente considerar que:

- si los efectos globales de las acciones crecen más rápidamente que ellas, los coeficientes parciales se aplican al valor representativo de las acciones, al modo establecido en los apartados anteriores.
- si los efectos globales de las acciones crecen más lentamente que ellas, los coeficientes parciales se aplican a los efectos de las acciones, determinados a partir de los valores representativos de las mismas.

El valor de cálculo de la resistencia de una estructura, elemento, sección punto o unión entre elementos se obtiene de cálculos basados en sus características geométricas a partir de modelos de comportamiento del efecto analizado, y de la resistencia de cálculo,  $f_d$ , de los materiales implicados, que en general puede expresarse como cociente entre la resistencia característica,  $f_k$ , y el coeficiente de seguridad del material.

Por lo que respecta al material o materiales implicados, la resistencia de cálculo puede asimismo expresarse como función del valor medio del factor de conversión de la propiedad implicada, determinada experimentalmente, para tener en cuenta las diferencias entre las condiciones de los ensayos y el comportamiento real, y del coeficiente parcial para dicha propiedad del material.

Se considera que hay un comportamiento adecuado, en relación con las deformaciones, las vibraciones o el deterioro, si se cumple, para las situaciones de dimensionado pertinentes, que el efecto de las acciones no alcanza el valor límite admisible establecido para dicho efecto.

Para cada situación de dimensionado y criterio considerado, los efectos de las acciones se determinarán a partir de la correspondiente combinación de acciones e influencias simultáneas, de acuerdo con los criterios que se establecen a continuación. Los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar irreversibles, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado característica, a partir de la expresión:

$$\sum_{k=1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0i} \cdot Q_{k,i}$$

Es decir, considerando la actuación simultánea de todas las acciones permanentes en valor característico, una acción variable cualquiera en valor característico (debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis) y el resto de las acciones variables, en valor de combinación.

Los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar reversibles, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado frecuente, a partir de la expresión:

$$\sum_{k=1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2i} \cdot Q_{k,i}$$

Es decir, considerando la actuación simultánea de todas las acciones permanentes en valor característico, una acción variable cualquiera en valor frecuente (debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis) y el resto de las acciones variables, en valor casi permanente.

Los efectos debidos a las acciones de larga duración, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado casi permanente, a partir de la expresión:

$$\sum_{k=1} G_{k,j} + P + \sum_{i>1} \psi_{2i} \cdot Q_{k,i}$$

Es decir, considerando la actuación simultánea de todas las acciones permanentes en valor característico y todas las acciones variables, en valor casi permanente.

Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:

- 1/500 en pisos con tabiques frágiles o pavimentos rígidos sin juntas.
- 1/400 en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas.
- 1/300 en el resto de los casos.

Cuando se considere el confort de los usuarios, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solamente las acciones de corta duración, la flecha relativa, es menor que  $1/350$ .

Cuando se considere la apariencia de la obra, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones casi permanente, la flecha relativa es menor que  $1/300$ .

Las condiciones anteriores deben verificarse entre dos puntos cualesquiera de la planta, tomando como luz el doble de la distancia entre ellos. En general, será suficiente realizar dicha comprobación en dos direcciones ortogonales.

En los casos en los que los elementos dañables (por ejemplo tabiques, pavimentos) reaccionan de manera sensible frente a las deformaciones (flechas o desplazamientos horizontales) de la estructura portante, además de la limitación de las deformaciones se adoptarán medidas constructivas apropiadas para evitar daños. Estas medidas resultan particularmente indicadas si dichos elementos tienen un comportamiento frágil.

Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura global tiene suficiente rigidez lateral, si ante cualquier combinación de acciones característica, el desplome es menor de:

- desplome total:  $1/500$  de la altura total del edificio.
- desplome local:  $1/250$  de la altura de la planta, en cualquiera de ellas.

Cuando se considere la apariencia de la obra, se admite que la estructura global tiene suficiente rigidez lateral, si ante cualquier combinación de acciones casi permanente, el desplome relativo es menor que  $1/250$ . En general es suficiente que dichas condiciones se satisfagan en dos direcciones sensiblemente ortogonales en planta.

Un edificio se comporta adecuadamente ante vibraciones debidas a acciones dinámicas, si la frecuencia de la acción dinámica (frecuencia de excitación) se aparta suficientemente de sus frecuencias propias. En el cálculo de la frecuencia propia se tendrán en cuenta las posibles contribuciones de los cerramientos, separaciones, tabiquerías, revestimientos, solados y otros elementos constructivos, así como la influencia de la variación del módulo de elasticidad y, en el caso de los elementos de hormigón, la de la fisuración.

Si las vibraciones pueden producir el colapso de la estructura portante (por ejemplo debido a fenómenos de resonancia, o a la pérdida de la resistencia por fatiga) se tendrá en cuenta en la verificación de la capacidad portante, tal como se establece en el DB respectivo.

Se admite que una planta de piso susceptible de sufrir vibraciones por efecto rítmico de las personas, es suficientemente rígida, si la frecuencia propia es mayor de:

- 8 hertzios, en gimnasios y polideportivos.
- 7 hertzios en salas de fiesta y locales de pública concurrencia sin asientos fijos.
- 3,4 hertzios en locales de espectáculos con asientos fijos.

Debe asegurarse que la influencia de acciones químicas, físicas o biológicas a las que está sometido el edificio no compromete su capacidad portante. Para ello, se tendrán en cuenta las acciones de este tipo que puedan actuar simultáneamente con las acciones de tipo mecánico, mediante un método implícito o explícito.

En el método implícito los riesgos inherentes a las acciones químicas, físicas o biológicas se tienen en cuenta mediante medidas preventivas, distintas al análisis estructural, relacionadas con las características de los materiales, los detalles constructivos, los sistemas de protección o los efectos de las acciones en condiciones de servicio. Estas medidas dependen de las características e importancia del edificio, de sus condiciones de exposición y de los materiales de construcción empleados. En estructuras normales de edificación, la aplicación del este método resulta suficiente. En los documentos básicos de seguridad estructural de los diferentes materiales y en la Instrucción de hormigón estructural EHE se establecen las medidas específicas correspondientes.

En el método explícito, las acciones químicas, físicas o biológicas se incluyen de forma explícita en la verificación de los estados límite últimos y de Servicio. Para ello, dichas acciones se representarán mediante modelos adecuados que permitan describir sus efectos en el comportamiento estructural. Estos modelos dependen de las características y de los materiales de la estructura, así como de su exposición.

En general, en edificios no resulta necesario comprobar el estado límite de fatiga, salvo por lo que respecta a los elementos estructurales internos de los equipos de elevación. La comprobación a fatiga de otros elementos sometidos a acciones variables repetidas procedentes de maquinarias, oleaje, cargas de tráfico y vibraciones producidas por el viento, se hará de acuerdo con los valores y modelos que se establecen de cada acción en el documento respectivo que la regula. Los documentos básicos correspondientes a los diferentes materiales incluyen, en su caso, la información necesaria para tener en cuenta la variación en el tiempo de los efectos reológicos.

Debe definirse de forma inequívoca el estado límite que debe verificarse y determinarse las zonas o los puntos críticos desde el punto de vista del comportamiento de la estructura o del elemento considerado. Las probetas o muestras a ensayar se fabricarán empleando los materiales previstos en obra, aplicando la misma técnica y, en la medida de lo posible, con las mismas dimensiones que los elementos correspondientes. El muestreo se efectuará de manera aleatoria. Además, las probetas deberán reproducir adecuadamente las condiciones de apoyo y de puesta en carga de los elementos.

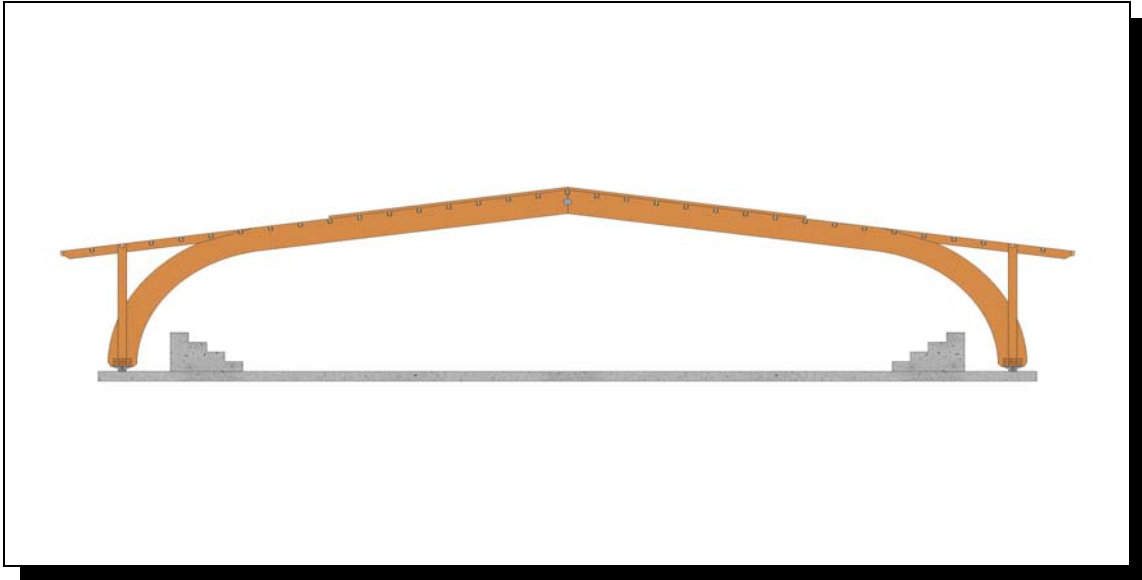
Deben minimizarse, en la medida de lo posible, las diferencias entre las condiciones en las cuales se realicen los ensayos y las condiciones del elemento estructural real. Cuando estas diferencias tengan una incidencia significativa, se tendrán en cuenta en la evaluación e interpretación de los resultados introduciendo unos factores de conversión que se establecerán mediante análisis experimental o teórico, o sobre la base de la experiencia. Estos factores están asociados con incertidumbres que dependen de cada caso. En los métodos empleados para deducir los valores de cálculo a partir de los resultados experimentales se tendrá en cuenta el número reducido de ensayos. Para la evaluación de los resultados podrán emplearse otros métodos, siempre y cuando resulten consistentes con el formato de verificación establecido. En caso de que existan conocimientos previos, éstos se podrán tener en cuenta en la evaluación de los resultados.



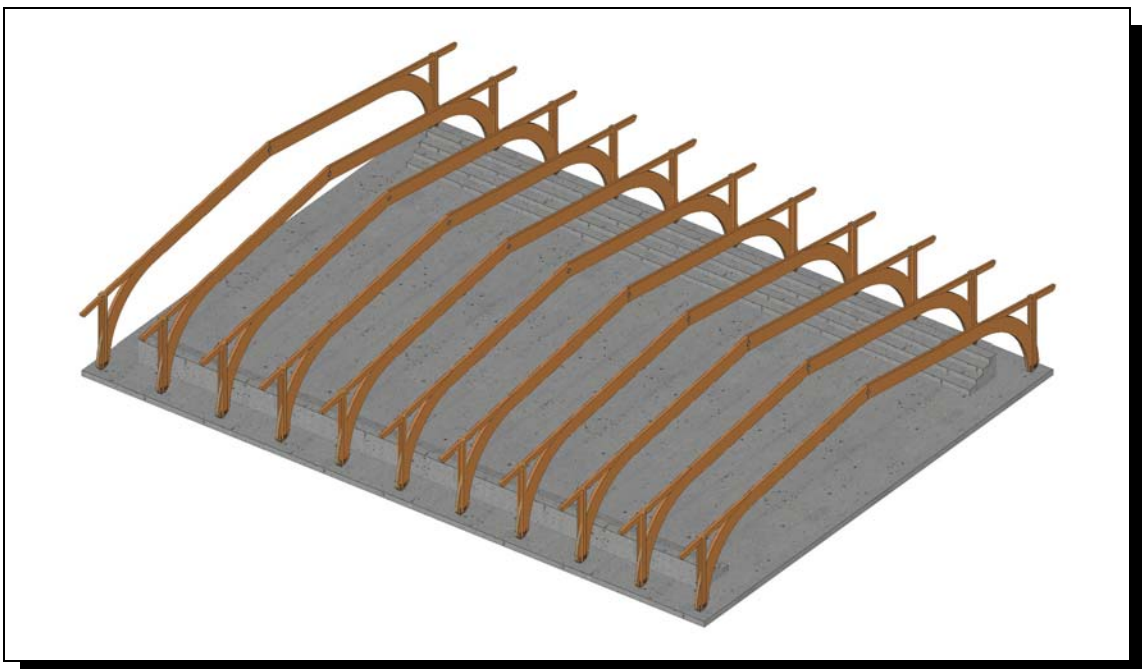
## 1.9 DESCRIPCIÓN sistema ESTRUCTURAL

Superficie en planta Pista Polideportiva 37m x 50m = **1850m<sup>2</sup>**.

- **Cimentación:** Dada la buena calidad del terreno y la nula excentricidad de la carga transmitida, se ejecuta con zapatas aisladas, unidas mediante una viga de atado para evitar los desplazamientos horizontales.

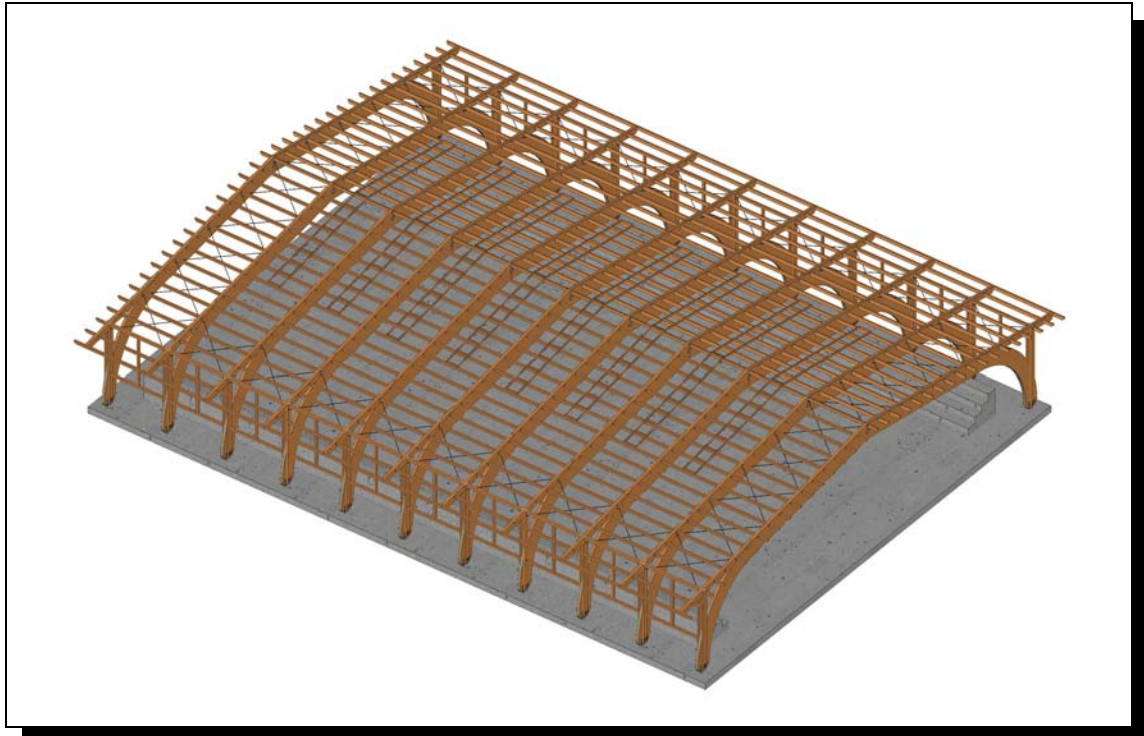


- **Estructura principal de Madera Laminada Encolada:** La estructura principal de la Pista Polideportiva está formada por 11 pórticos triarticulados, compuestos por dos vigas principales curvas de sección constante, dos vigas de pendiente que delimitan la superficie de cubierta y dos pilares dobles de sección constante. Los Pórticos Principales van a salvar una Luz de 37m, y estarán separados por vanos de 5m para llegar a cubrir los 1850m<sup>2</sup> de superficie total en planta.

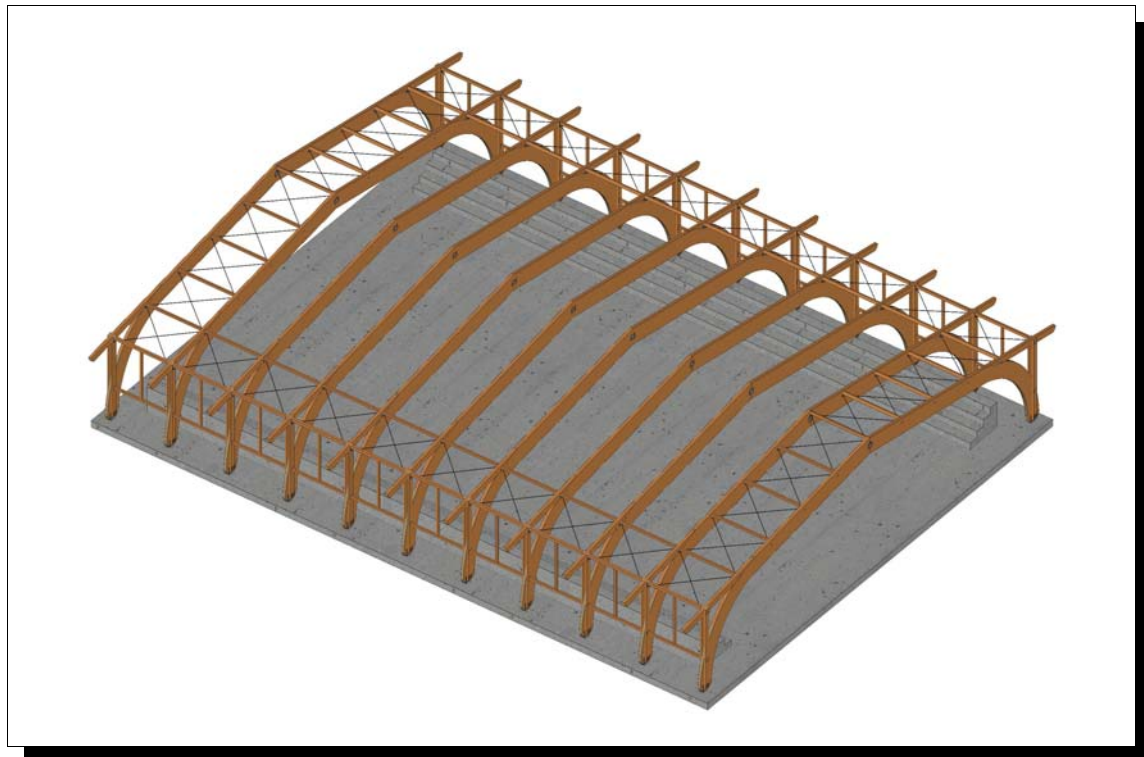




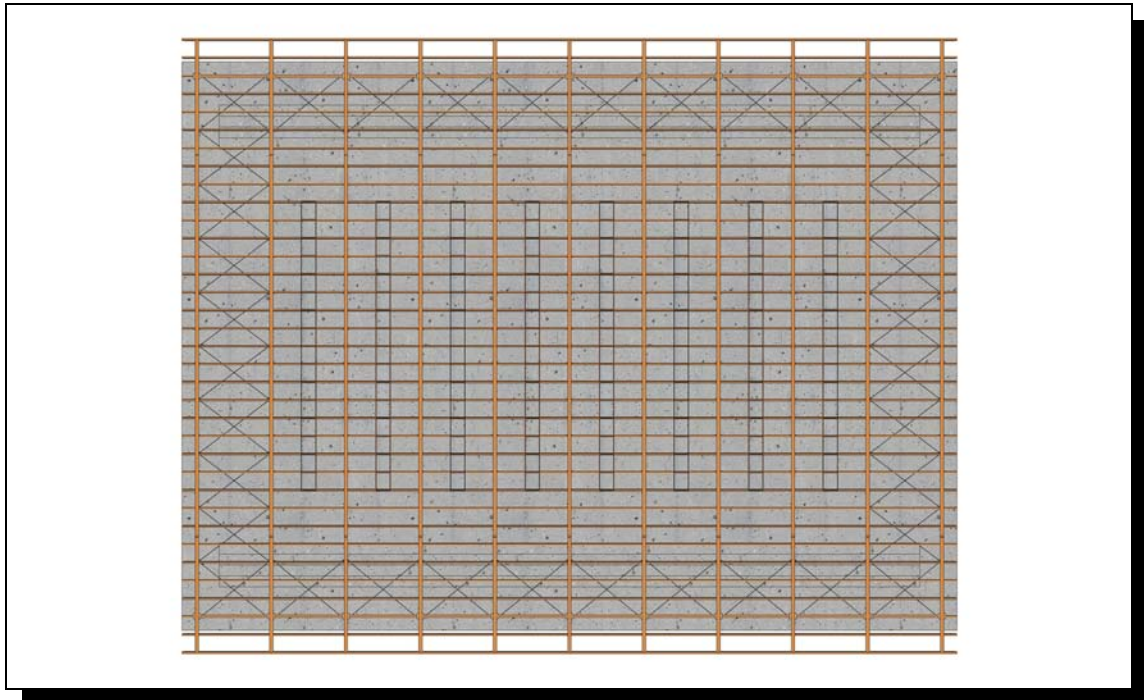
- **Estructura Secundaria de Madera Laminada Encolada:** Las correas de sección constante están colocadas a 1,25m, para el apoyo del material de cubrición y una pendiente de cubierta del 15%.



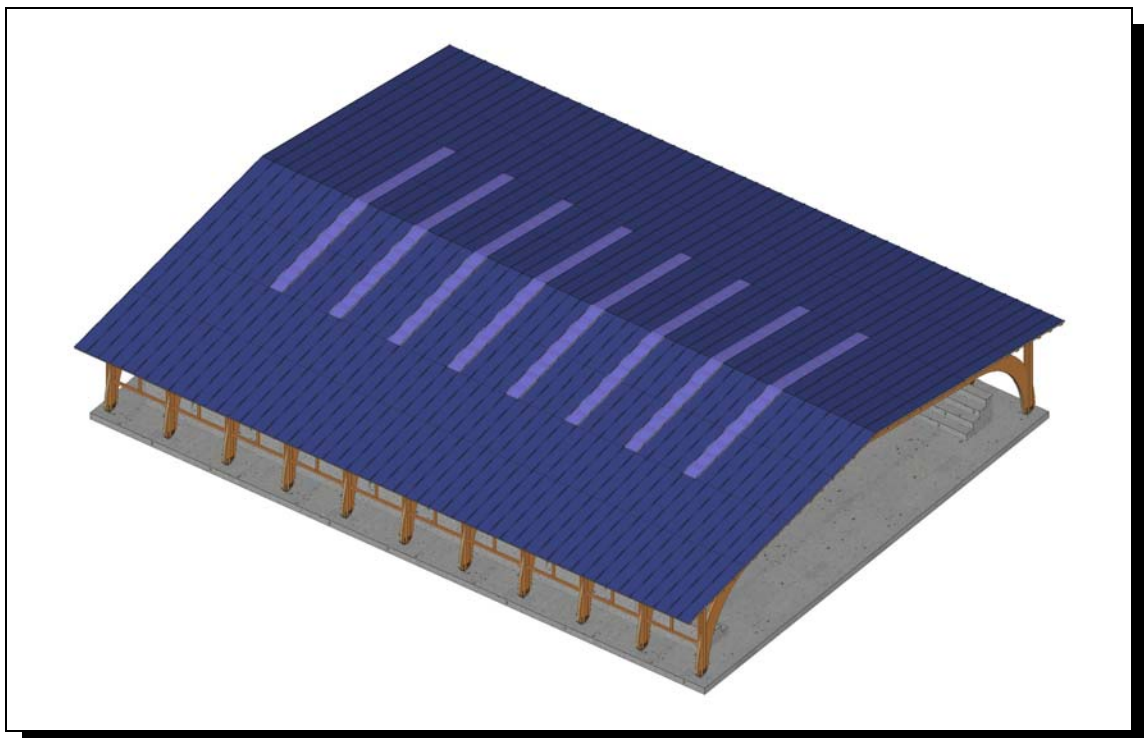
- **Arriostramiento de cubierta:** se consigue mediante varillas metálicas formando Cruces de San Andrés, tanto longitudinal como transversalmente.



Superficie desarrollada de cubierta Pista Polideportiva 40m x 52m = **2080m<sup>2</sup>**.



- **Cerramiento:** La cubierta de la Pista Polideportiva estará formada por panel sándwich prefabricado (Exterior: acero prelacado 0,5mm / Aislante: lana de roca / Interior: tarima de abeto 14mm) y lucernarios compuestos por policarbonato celular. El uso del acero en la cara superior del panel, garantiza la estanqueidad del cerramiento sin necesidad de tratamiento posterior en obra del producto. La combinación de acero en el exterior y de madera en el interior, aportan un valor estético y decorativo indudable.



## 1.10 ACCIONES CONSIDERADAS

En este apartado procedemos a la determinación de las acciones sobre la estructura, para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural (capacidad portante y estabilidad) y aptitud al servicio, establecidos en el *DB-Seguridad Estructural*.

**Peso propio:** es el de la totalidad de los elementos estructurales y cerramientos. El valor característico del peso propio de los elementos constructivos, se determina, como su valor medio obtenido a partir de las dimensiones nominales y de los pesos específicos medios.

- Densidad característica Madera laminada encolada (GL-24h y GL-28c):  $380\text{Kg/m}^3$ .
- Densidad característica acero S275JR:  $7850\text{Kg/m}^3$ .
- Densidad característica Panel Habita IGNI de Curbiperfil (0,5/80/14):

PANEL HABITAE IGNI		Propiedades Térmicas	Dimensiones Estándar		
Modelo Panel	Espesor	Transmitancia	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso (Kg/m <sup>2</sup> )
0,5/40/14	40	-	4800/5000	1100	17,93
0,5/50/14	50	0,64	4800/5000	1100	19,28
0,5/60/14	60	0,55	4800/5000	1100	20,63
0,5/80/14	80	0,42	4800/5000	1100	23,33
0,5/100/14	100	0,35	4800/5000	1100	26,03
0,5/120/14	120	0,29	4800/5000	1100	28,73

**Nieve:** la distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, o en particular como en nuestro caso, sobre una cubierta, depende del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma del edificio o de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos en los paramentos exteriores. Los modelos de carga de este apartado sólo cubren los casos del depósito natural de la nieve. En cubiertas accesibles para personas o vehículos, deben considerarse las posibles acumulaciones debidas a redistribuciones artificiales de la nieve. Asimismo, deben tenerse en cuenta las condiciones constructivas particulares que faciliten la acumulación de nieve.

El valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, viene determinada por el producto de:

- Coeficiente de forma de la cubierta. en un faldón limitado inferiormente por cornisas, y en el que no hay impedimento al deslizamiento de la nieve, el coeficiente de forma tiene el valor de 1 para cubiertas con inclinación menor o igual que  $30^\circ$  y 0 para cubiertas con inclinación mayor o igual que  $60^\circ$  (para valores intermedios se interpolará linealmente). Si hay impedimento, se tomará  $\mu = 1$  sea cual sea la inclinación.
- Valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal, según el Anejo E del *CTE-DB-SE-Acciones en la Edificación*, en función de la zona y de la altitud topográfica del emplazamiento de la obra.





Figura E.2 Zonas climáticas de invierno

El valor de carga de nieve en un terreno horizontal, se obtiene de la tabla E.2 función de la altitud del emplazamiento o término municipal, y de la zona climática del mapa de la figura E.2, según el Anejo C del *CTE-DB-SE-Acciones en la Edificación*.

Tabla E.2 Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal (kN/m<sup>2</sup>)

Altitud (m)	Zona de clima invernal, (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

**Viento:** la acción de viento es en general, una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, definida por el producto de los siguientes términos: presión dinámica del viento, coeficiente de exposición y el coeficiente eólico o de presión. Los edificios tienen que comprobarse ante la acción del viento en todas direcciones, independientemente de la existencia de construcciones contiguas medianeras, aunque generalmente bastará la consideración en dos sensiblemente ortogonales cualesquiera. Para cada dirección se debe considerar la acción en los dos sentidos. Si se procede con un coeficiente eólico global, la acción se considerará aplicada con una excentricidad.

- *Presión dinámica del viento ( $Q_b$ ):* como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse  $0,5 \text{ kN/m}^2$ .
- *Coefficiente de exposición ( $C_e$ ):* variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la obra y tiene en cuenta los efectos de las turbulencias originadas por el relieve y la topografía del terreno.

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición  $c_e$

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

- *Coefficiente eólico o de presión ( $C_p$ ):* 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. Para una **MARQUESINA a DOS AGUAS**:

Pendiente de la cubierta $\alpha$	Efecto del viento hacia	Factor de obstrucción $\mu$	Coeficientes de presión			
			$C_{p, \text{ext}}$			
			Zona (según figura)			
			A	B	C	D
-20°	Abajo	$0 \leq \mu \leq 1$	0,8	1,6	0,6	1,7
	Arriba	0	-0,9	-1,3	-1,6	-0,6
	Arriba	1	-1,5	-2,4	-2,4	-0,6
-15°	Abajo	$0 \leq \mu \leq 1$	0,6	1,5	0,7	1,4
	Arriba	0	-0,8	-1,3	-1,6	-0,6
	Arriba	1	-1,6	-2,7	-2,6	-0,6
-10°	Abajo	$0 \leq \mu \leq 1$	0,6	1,4	0,8	1,1
	Arriba	0	-0,8	-1,3	-1,5	-0,6
	Arriba	1	-1,6	-2,7	-2,6	-0,6
-5°	Abajo	$0 \leq \mu \leq 1$	0,5	1,5	0,8	0,8
	Arriba	0	-0,7	-1,3	-1,6	-0,6
	Arriba	1	-1,5	-2,4	-2,4	-0,6
5°	Abajo	$0 \leq \mu \leq 1$	0,6	1,8	1,3	0,4
	Arriba	0	-0,6	-1,4	-1,4	-1,1
	Arriba	1	-1,3	-2,0	-1,8	-1,5
10°	Abajo	$0 \leq \mu \leq 1$	0,7	1,8	1,4	0,4
	Arriba	0	-0,7	-1,5	-1,4	-1,4
	Arriba	1	-1,3	-2,0	-1,8	-1,8
15°	Abajo	$0 \leq \mu \leq 1$	0,9	1,9	1,4	0,4
	Arriba	0	-0,9	-1,7	-1,4	-1,8
	Arriba	1	-1,3	-2,2	-1,6	-2,1
20°	Abajo	$0 \leq \mu \leq 1$	1,1	1,9	1,5	0,4
	Arriba	0	-1,2	-1,8	-1,4	-2,0
	Arriba	1	-1,4	-2,2	-1,6	-2,1
25°	Abajo	$0 \leq \mu \leq 1$	1,2	1,9	1,6	0,5
	Arriba	0	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0
	Arriba	1	-1,4	-2,0	-1,5	-2,0
30°	Abajo	$0 \leq \mu \leq 1$	1,3	1,9	1,6	0,7
	Arriba	0	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0
	Arriba	1	-1,4	-1,8	-1,4	-2,0

**Sobrecarga de uso:** es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio, por razón de su uso. Los efectos de la sobrecarga, pueden simularse por la aplicación de una carga distribuida uniformemente. De acuerdo con el uso que sea fundamental en cada zona del mismo, como valores característicos se adoptarán los de la siguiente Tabla. Dichos valores incluyen tanto los efectos derivados del uso normal, así como las derivadas de la utilización poco habitual, como acumulación de personas.

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m <sup>2</sup> ]	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 <sup>(1)</sup>	
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente <sup>(2)</sup>		1	2	
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación <sup>(3)</sup>	G1 <sup>(7)</sup>	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 <sup>(4)(6)</sup>	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) <sup>(5)</sup>	0,4 <sup>(4)</sup>	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

### Acciones consideradas:

- **CONCARGAS** (además del peso propio de la estructura):
  - **Panel sándwich** Habitae IGNIS de Curbiperfil (0,6/80/14) → **24 Kg/m<sup>2</sup>**
  - **Instalaciones, varios** (posibles cuelgues de la estructura) → **6 Kg/m<sup>2</sup>**
- **SOBRECARGAS**
  - **NIEVE** (Viana, Navarra; Zona 2, altitud 470 msnm) → **70 Kg/m<sup>2</sup>**
  - **VIENTO** (Zona B, velocidad básica del viento 0,45 kN/m<sup>2</sup>).
    - Coeficiente de exposición  $C_e = 1,7$  (Altura coronación 9,50m)
    - Coeficiente eólico (grado de obstrucción  $\phi = 0$ ),  $C_s = -0,7$  y  $C_p = 0,7$
  - **Categoría de Uso G1:** Cubiertas accesibles únicamente para conservación (cubiertas ligeras sobre correas). Se considera cubierta ligera, aquella cuya carga permanente debida únicamente a su cerramiento, no excede de 1 kN/m<sup>2</sup> → **40 Kg/m<sup>2</sup> ó 100 Kg puntuales.**



## 1.11 SECCIONES CONSTRUCTIVAS

Las distintas acciones consideradas, se combinarán para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural (capacidad portante y estabilidad) y aptitud al servicio, establecidos en el *DB-Seguridad Estructural*, de la siguiente forma:

- **Estados límite últimos:** son los que, de ser superados, constituyen un riesgo para las personas, ya sea porque producen una puesta fuera de servicio del edificio o el colapso total o parcial del mismo.
  - Combinación 1 → 1,35permanentes
  - Combinación 2 → 1,35permanentes + 1,5nieve + 0,9viento(presión)
  - Combinación 3 → 1,35permanentes + 1,5viento(presión) + 0,75nieve
  - Combinación 4 → 1,35permanentes + 1,5uso(mantenimiento)
  - Combinación 5 → 1,35permanentes + 1,5uso(mantenimiento, puntual)
  - Combinación 6 → 0,8permanentes + 1,5viento(succión)
- **Estados límite de servicio:** son los que, de ser superados, afectan al confort y al bienestar de los usuarios o de terceras personas, al correcto funcionamiento del edificio o a la apariencia de la construcción.
  - Combinación 7 → 1,8permanentes + nieve + 0,6viento
  - Combinación 8 → 1,8permanentes + 0,5nieve + viento(presión)
  - Combinación 9 → 1,8permanentes + uso(mantenimiento)
  - Combinación 10 → 1,8permanentes + uso(mantenimiento, puntual)
  - Combinación 11 → 1,8permanentes + viento(succión)

El valor de cálculo de una propiedad del material en estudio, viene definido por su valor característico, corregido por el coeficiente parcial de seguridad (que para el caso de la madera laminada encolada es 1,25) y el factor de modificación  $k_{mod}$ , cuyo valor depende de la duración de la combinación de la carga, y la clase de servicio.

Tabla 2.4 Valores del factor  $k_{mod}$ .

Material	Norma	Clase de servicio	Clase de duración de la carga				
			Permanente	Larga	Media	Corta	Instantánea
Madera maciza	UNE-EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Madera laminada encolada	UNE-EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Valores característicos de las propiedades asociadas a cada clase resistente:

**Tabla E.3 Madera laminada encolada homogénea. Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente**

Propiedades		Clase Resistente			
		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h
<b>Resistencia (característica), en N/mm<sup>2</sup></b>					
- Flexión	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
- Tracción paralela	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26
- Tracción perpendicular	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6
- Compresión paralela	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6
- Cortante	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
<b>Rigidez, en kN/mm<sup>2</sup></b>					
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,g,medio}$	11,6	12,6	13,7	14,7
- Módulo de elasticidad paralelo 5 <sup>o</sup> -percentil	$E_{0,g,k}$	9,4	10,2	11,1	11,9
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,g,medio}$	0,39	0,42	0,46	0,49
- Módulo transversal medio	$G_{g,medio}$	0,72	0,78	0,85	0,91
<b>Densidad, en kg/m<sup>3</sup></b>					
Densidad característica	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450

**Tabla E.4 Madera laminada encolada combinada. Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente**

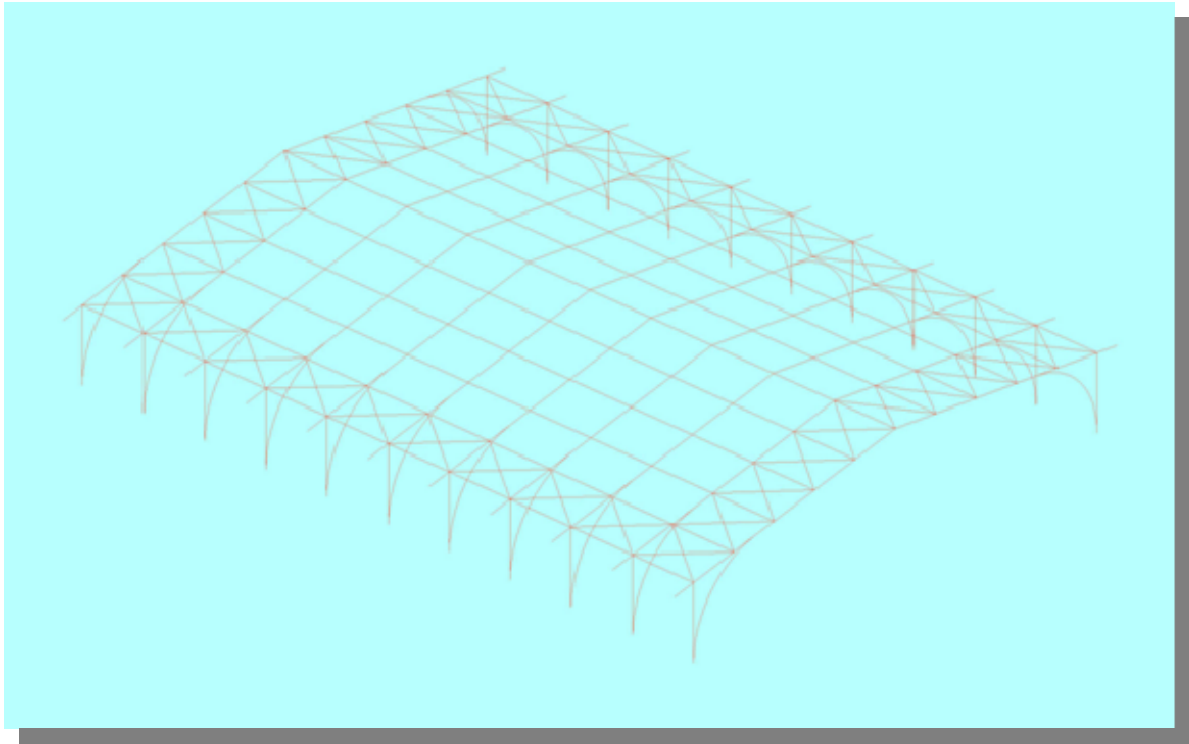
Propiedades		Clase Resistente			
		GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
<b>Resistencia (característica), en N/mm<sup>2</sup></b>					
- Flexión	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
- Tracción paralela	$f_{t,0,g,k}$	14	16,5	19,5	22,5
- Tracción perpendicular	$f_{t,90,g,k}$	0,35	0,4	0,45	0,5
- Compresión paralela	$f_{c,0,g,k}$	21	24	26,5	29
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,g,k}$	2,4	2,7	3,0	3,3
- Cortante	$f_{v,g,k}$	2,2	2,7	3,2	3,8
<b>Rigidez, en kN/mm<sup>2</sup></b>					
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,g,medio}$	11,6	12,6	13,7	14,7
- Módulo de elasticidad paralelo 5 <sup>o</sup> -percentil	$E_{0,g,k}$	9,4	10,2	11,1	11,9
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,g,medio}$	0,32	0,39	0,42	0,46
- Módulo transversal medio	$G_{g,medio}$	0,59	0,72	0,78	0,85
<b>Densidad, en kg/m<sup>3</sup></b>					
- Densidad característica	$\rho_{g,k}$	350	380	410	430

Para una *clase de servicio II* (se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 85% unas pocas semanas al año), las secciones constructivas obtenidas son:

- VIGA CURVA (GL-28c) → **240x1200mm**
- VIGA de PENDIENTE (GL-28c) → **240x440mm**
- PILARES de MADERA (GL-28c) → **2x120x360mm**
- CORREA de cubierta (GL-24) → **100x240mm**
- Correa de ARRIOSTRAMIENTO (GL-24h) → **160x200mm**
- VARILLAS de ARRIOSTRAMIENTO **ϕ24mm**

## 1.12 JUSTIFICACIÓN de las SECCIONES CONSTRUCTIVAS

La comprobación del pórtico triarticulado de madera laminada encolada del proyecto en estudio, que debe soportar las cargas que se generan como consecuencia de las acciones consideradas, se realizará a partir de un modelo tridimensional, definido por el siguiente esquema unifilar:

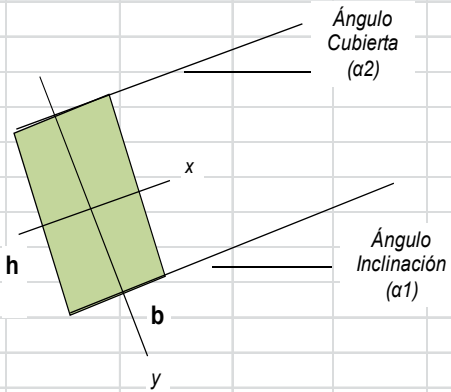


La determinación de los esfuerzos en las barras se realiza mediante el método de cálculo matricial, planteando un sistema de ecuaciones lineales, del que se deducen los desplazamientos de los nudos. Conocidos los desplazamientos se calculan las fuerzas correspondientes en los extremos de cada barra y las restricciones en los apoyos. Para determinar las fuerzas de sección en el vano de cada barra, su longitud se divide en 20 secciones, calculando las sollicitaciones en cada una de ellas. Además, se obtiene la flecha de cada sección en las que se ha dividido la barra aplicando el método del área-momento.

Las cargas introducidas en cada uno de los pórticos, serán:

- Peso propio de toda la estructura.
- Permanentes  $\rightarrow (30\text{Kg/m}^2 + 5\text{Kg/m}^2) \times 5\text{m} = 175\text{Kg/m}$
- Nieve  $\rightarrow (70\text{Kg/m}^2) \times 5\text{m} = 350\text{Kg/m}$
- Viento(presión)  $\rightarrow (137\text{Kg/m}^2) \times 5\text{m} = 685\text{Kg/m}$
- Viento(succión)  $\rightarrow (-115\text{Kg/m}^2) \times 5\text{m} = -575\text{Kg/m}$
- Mantenimiento  $\rightarrow (40\text{Kg/m}^2) \times 5\text{m} = 200\text{Kg/m}$

PROYECTO	Cubrición PISTA POLIDEPORTIVA en VIANA, Navarra		
REF/OS			
FECHA	12/02/2015		
ELEMENTO	CORREA de CUBIERTA (Coeficiente de presión, zona A)		
CLASE RESISTENTE	24	h	(h,c)
CLASE DE SERVICIO	2		
DURACIÓN DE LA CARGA	Permanente	A	Mas de 10 años
	Larga duraci	B	6 meses-10 años
	Media duraci	C	1 semana-6meses
	Corta duraci	D	<1 semana
ALTITUD > 1000 m.	0	1=SI	
RESISTENCIA AL FUEGO	30	OK !!	
CORREA		VALORES CARACTERÍSTICOS	
Base	10	cm	Flexión f <sub>mgk</sub>
Altura	24	cm	E <sub>0,g,medio</sub>
Longitud	4,76	m	Cte f <sub>vgk</sub>
Ángulo inclinación (α1)	8,53	°	C tr f <sub>c90gk</sub>
Ángulo cubierta (α2)	8,53	°	Densidad
Intereje (dist. real)	1,25	m	Peso propio
Khx	1,100		Y <sub>m</sub> =
Khy	1,096		
CONTRAFLECHA	0	cm	
LONGITUD APOYO	10	cm	K <sub>c 90</sub>
			1,75
CARGAS REPARTIDAS		BLOQUEO LATERAL	
P Carga perm.	30	Kg/m <sup>2</sup>	Nº dist sup
N Nieve	70	Kg/m <sup>2</sup>	Nº dist inf
Vp Viento presión	137	Kg/m <sup>2</sup>	Cara sup protegida
Vs Viento succión	115	Kg/m <sup>2</sup>	Pandeo lateral superior
M1 Uso/Mantenimiento	40	Kg/m <sup>2</sup>	Pandeo lateral inferior
CARGAS PUNTALES			
M2 Uso/Mantenimiento	100	Kg	D(m)
AA-1 Carga puntual 1	0	Kg	0 m. Del apoyo izdo
AA-2 Carga puntual 2	0	Kg	0 m. Del apoyo izdo
AA-3 Carga puntual 3	0	Kg	0 m. Del apoyo izdo
Si hay varias cargas cargar más hacia la izda para que la reacción sea la máxima			
<b>RESULTADOS</b>			
REACCIONES EN APOYOS			
CASOS SIMPLES		Rdist	COMBINACIONES MÁS DESFAVORABLES
R <sub>P</sub> =	111	Kg	TENSIÓN
R <sub>N</sub> =	208	Kg	%
R <sub>Vp</sub> =	408	Kg	COMBINACIÓN ELU
R <sub>Vs</sub> =	-342	Kg	FLEXIÓN
R <sub>M1</sub> =	119	Kg	CORTANTE
R <sub>M2</sub> =	50	Kg	COMP.TRANSVERSAL
			DEFORMACIÓN
			% (L/300)
			COMBINACIÓN ELS
			u máx (cm)
			COMB 3 : 1,35 P + 1,5 Vp + 0,75 N
			COMB 3 : 1,35 P + 1,5 Vp + 0,75 N
			COMB 3 : 1,35 P + 1,5 Vp + 0,75 N
			COMB 8 : P + Vp + 0,5 N



**CÁLCULO DE TENSIONES (ELU)**

**COMB 1 : 1,35 P**

Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1,35 P	50,3	Kg/m2	9,34	62,24	26,44	176,28	6,61	18,36
Cargas Puntuales			$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{myd}$ Kg/cm <sup>3</sup>
1,35 AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						$\sigma_{tot}$		
						6,61		
						18,36		
Reacciones			V (Kg)	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)			
			149,79	22,22	148,13			
						Flexión		
						$\sigma_{md}$	25,27	Kg/cm2
						$K_{mod}$	0,60	
Compresión transversal						$f_{md}$	138,88	Kg/cm2
						$k_{crit} \cdot f_{md}$	138,88	Kg/cm2
						$\sigma_{md} / k_{crit} \cdot f_{md}$	0,18	
							OK	
Cortante								
						$\tau_d$	1,40	Kg/cm2
						$f_{vd}$	12,96	Kg/cm2
						$\tau_d / f_{vd}$	0,11	
							OK	

**COMB 2 : 1,35 P + 1,5 N + 0,9 Vp**

Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1,35 P	50,3	Kg/m2	9,34	62,24	26,44	176,28	6,61	18,36
1,5 N	105	Kg/m2	19,47	129,80	55,14	367,61	13,78	38,29
0,9 Vp	123,3	Kg/m2	0,00	154,13	0,00	436,51	0,00	45,47
Cargas Puntuales			$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{myd}$ Kg/cm <sup>3</sup>
1,35 AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						$\sigma_{tot}$		
						20,39		
						102,13		
Reacciones			V (Kg)	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)			
			826,72	68,55	823,87			
						Flexión		
						$\sigma_{md}$	127,98	Kg/cm2
						$K_{mod}$	0,90	
Compresión transversal						$f_{md}$	208,32	Kg/cm2
						$k_{crit} \cdot f_{md}$	208,32	Kg/cm2
						$\sigma_{md} / k_{crit} \cdot f_{md}$	0,61	
							OK	
Cortante								
						$\tau_d$	7,71	Kg/cm2
						$f_{vd}$	19,44	Kg/cm2
						$\tau_d / f_{vd}$	0,40	
							OK	

**COMB 3 : 1,35 P + 1,5 Vp + 0,75 N**

Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1,35 P	50,3	Kg/m2	9,34	62,24	26,44	176,28	6,61	18,36
0,75 N	52,5	Kg/m2	9,73	64,90	27,57	183,81	6,89	19,15
1,5 Vp	205,5	Kg/m2	0,00	256,88	0,00	727,52	0,00	75,78
Cargas Puntuales			$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{myd}$ Kg/cm <sup>3</sup>
1,35 AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						$\sigma_{tot}$		
						13,50		
						113,29		
Reacciones			V (Kg)	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)			
			915,08	45,38	913,96			
						Flexión		
						$\sigma_{md}$	134,98	Kg/cm2
						$K_{mod}$	0,90	
Compresión transversal						$f_{md}$	208,32	Kg/cm2
						$k_{crit} \cdot f_{md}$	208,32	Kg/cm2
						$\sigma_{md} / k_{crit} \cdot f_{md}$	0,65	
							OK	
Cortante								
						$\tau_d$	8,54	Kg/cm2
						$f_{vd}$	19,44	Kg/cm2
						$\tau_d / f_{vd}$	0,44	
							OK	

<b>COMB 4 : 1,35 P + 1,5 M1</b>									
Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	
1,35 P	50,3	Kg/m2	9,34	62,24	26,44	176,28	6,61	18,36	
1,5 M1	60	Kg/m2	11,12	74,17	31,51	210,07	7,88	21,88	
Cargas Puntuales			D(m)	$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{myd}$ Kg/cm <sup>3</sup>
1,35 AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
							$\sigma_{tot}$	14,49	40,24
Reacciones			V (Kg)	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)	Flexión			
			328,29	48,69	324,66	$\sigma_{md}$	55,38	Kg/cm2	
						$K_{mod}$	0,80		
Compresión transversal			$\sigma_{c90d}$	2,05	Kg/cm2	$f_{md}$	185,17	Kg/cm2	
			$f_{c90d}$	17,28	Kg/cm2	$k_{crit} \cdot f_{md}$	185,17	Kg/cm2	
			$k_{c90} \cdot f_{c90d}$	30,24	Kg/cm2	$\sigma_{md} / k_{crit} \cdot f_{md}$	0,30		
			$\sigma_{c90d} / k_{c90} \cdot f_{c90d}$	0,07			OK		
			OK						
Cortante			$T_d$	3,06	Kg/cm2	$f_{vd}$	17,28	Kg/cm2	
			$f_{vd}$	17,28	Kg/cm2	$T_d / f_{vd}$	0,18		
			$T_d / f_{vd}$	0,18			OK		
			OK						
<b>COMB 5 : 1,35 P + 1,5 M2</b>									
Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	
1,35 P	50,3	Kg/m2	9,34	62,24	26,44	176,28	6,61	18,36	
Cargas Puntuales			D(m)	$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1,5 M2	150	Kg	11,12	74,17	26,48	176,53	6,62	18,39	
1,35 AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
							$\sigma_{tot}$	13,23	36,75
Reacciones			V (Kg)	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)	Flexión			
			224,79	33,34	222,30	$\sigma_{md}$	50,57	Kg/cm2	
						$K_{mod}$	0,80		
Compresión transversal			$\sigma_{c90d}$	1,40	Kg/cm2	$f_{md}$	185,17	Kg/cm2	
			$f_{c90d}$	17,28	Kg/cm2	$k_{crit} \cdot f_{md}$	185,17	Kg/cm2	
			$k_{c90} \cdot f_{c90d}$	30,24	Kg/cm2	$\sigma_{md} / k_{crit} \cdot f_{md}$	0,27		
			$\sigma_{c90d} / k_{c90} \cdot f_{c90d}$	0,05			OK		
			OK						
Cortante			$T_d$	2,10	Kg/cm2	$f_{vd}$	17,28	Kg/cm2	
			$f_{vd}$	17,28	Kg/cm2	$T_d / f_{vd}$	0,12		
			$T_d / f_{vd}$	0,12			OK		
			OK						
<b>COMB 6 : 0,8 P + 1,5 Vs</b>									
Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	
0,8 P	29,8	Kg/m2	5,53	36,88	15,67	104,46	3,92	10,88	
1,5 Vs	-172,5	Kg/m2	0,00	-215,63	0,00	-610,69	0,00	-63,61	
Cargas Puntuales			D(m)	$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,8 AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,8 AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,8 AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
							$\sigma_{tot}$	3,92	52,73
Reacciones			V (Kg)	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)	Flexión			
			425,61	13,17	-425,40	$\sigma_{md}$	61,01	Kg/cm2	
						$K_{mod}$	0,90		
Compresión transversal			$\sigma_{c90d}$	2,66	Kg/cm2	$f_{md}$	208,32	Kg/cm2	
			$f_{c90d}$	19,44	Kg/cm2	$k_{crit} \cdot f_{md}$	208,32	Kg/cm2	
			$k_{c90} \cdot f_{c90d}$	34,02	Kg/cm2	$\sigma_{md} / k_{crit} \cdot f_{md}$	0,29		
			$\sigma_{c90d} / k_{c90} \cdot f_{c90d}$	0,08			OK		
			OK						
Cortante			$T_d$	3,97	Kg/cm2	$f_{vd}$	19,44	Kg/cm2	
			$f_{vd}$	19,44	Kg/cm2	$T_d / f_{vd}$	0,20		
			$T_d / f_{vd}$	0,20			OK		
			OK						



### CÁLCULO DE DEFORMACIONES (ELS)

						$L / 150 =$	3,2	cm	
<b>COMB 7 : P + N + 0,6 Vp</b>						$L / 300 =$	1,5866667	cm	
<b>Cargas Repartidas</b>				$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$1+K_{def}$	$u_{xnet}$ (cm)	$u_{ynet}$ (cm)	
<b>P</b>	37,3	Kg/m <sup>2</sup>		6,92	46,10	1,8	0,36	0,42	
<b>N</b>	70	Kg/m <sup>2</sup>		12,98	86,53	1	0,37	0,43	
<b>0,6 Vp</b>	82,2	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	102,75	1	0,00	0,51	
<b>Cargas Puntuales</b>				$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$1+K_{def}$	$u_{xnet}$ (cm)	$u_{ynet}$ (cm)	
			<b>D(m)</b>						
<b>AA-1</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-2</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-3</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
							0,73	1,36	
							<b>CF</b>	0	
							<b><math>u_{net}</math> (cm)</b>	<b>1,55</b>	<b>OK</b>
<b>COMB 8 : P + Vp + 0,5 N</b>									
<b>Cargas Repartidas</b>				$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$1+K_{def}$	$u_{xnet}$ (cm)	$u_{ynet}$ (cm)	
<b>P</b>	37,3	Kg/m <sup>2</sup>		6,92	46,10	1,8	0,36	0,42	
<b>0,5 N</b>	35	Kg/m <sup>2</sup>		6,49	43,27	1	0,19	0,22	
<b>Vp</b>	137	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	171,25	1	0,00	0,86	
<b>Cargas Puntuales</b>				$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$1+K_{def}$	$u_{xnet}$ (cm)	$u_{ynet}$ (cm)	
			<b>D(m)</b>						
<b>AA-1</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-2</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-3</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
							0,55	1,49	
							<b>CF</b>	0	
							<b><math>u_{net}</math> (cm)</b>	<b>1,59</b>	<b>OK</b>
<b>COMB 9 : P + M1</b>									
<b>Cargas Repartidas</b>				$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$1+K_{def}$	$u_{xnet}$ (cm)	$u_{ynet}$ (cm)	
<b>P</b>	37,3	Kg/m <sup>2</sup>		6,92	46,10	1,8	0,36	0,42	
<b>M1</b>	40	Kg/m <sup>2</sup>		7,42	49,45	1	0,21	0,25	
<b>Cargas Puntuales</b>				$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$1+K_{def}$	$u_{xnet}$ (cm)	$u_{ynet}$ (cm)	
			<b>D(m)</b>						
<b>AA-1</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-2</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-3</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
							0,57	0,66	
							<b>CF</b>	0	
							<b><math>u_{net}</math> (cm)</b>	<b>0,88</b>	<b>OK</b>
<b>COMB 10 : P + M2</b>									
<b>Cargas Repartidas</b>				$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$1+K_{def}$	$u_{xnet}$ (cm)	$u_{ynet}$ (cm)	
<b>P</b>	37,3	Kg/m <sup>2</sup>		6,92	46,10	1,8	0,36	0,42	
<b>Cargas Puntuales</b>				$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$1+K_{def}$	$u_{xnet}$ (cm)	$u_{ynet}$ (cm)	
			<b>D(m)</b>						
<b>M2</b>	100	Kg	0	7,42	49,45	1	0,00	0,17	
<b>AA-1</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-2</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-3</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
							0,36	0,58	
							<b>CF</b>	0	
							<b><math>u_{net}</math> (cm)</b>	<b>0,68</b>	<b>OK</b>
<b>COMB 11 : P + Vs</b>									
<b>Cargas Repartidas</b>				$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$1+K_{def}$	$u_{xnet}$ (cm)	$u_{ynet}$ (cm)	
<b>P</b>	37,3	Kg/m <sup>2</sup>		6,92	46,10	1,8	0,36	0,42	
<b>Vs</b>	-115	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	-143,75	1	0,00	-0,72	
<b>Cargas Puntuales</b>				$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$1+K_{def}$	$u_{xnet}$ (cm)	$u_{ynet}$ (cm)	
			<b>D(m)</b>						
<b>M2</b>	100	Kg	0	7,42	49,45	1	0,00	0,17	
<b>AA-1</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-2</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-3</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
							0,36	-0,14	
							<b>CF</b>	0	
							<b><math>u_{net}</math> (cm)</b>	<b>0,38</b>	<b>OK</b>

**CÁLCULO DE TENSIONES A FUEGO (ELU)**

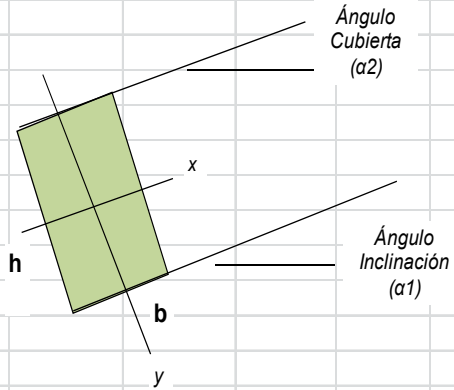
**COMB 1 : P + 0,2 N**

Cargas Repartidas			q <sub>x</sub> (kg/m)	q <sub>y</sub> (Kg/m)	M <sub>x</sub> (Kg.m)	M <sub>y</sub> (Kg.m)	σ <sub>mx</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	σ <sub>my</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	
P	37,3	Kg/m <sup>2</sup>	6,92	46,10	19,58	130,58	28,63	39,62	
0,2 N	14	Kg/m <sup>2</sup>	2,60	17,31	7,35	49,02	10,75	14,87	
Cargas Puntuales		Kg D(m)	Q <sub>x</sub> (kg)	Q <sub>y</sub> (Kg)	M <sub>x</sub> (Kg.m)	M <sub>y</sub> (Kg.m)	σ <sub>mx</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	σ <sub>my</sub> Kg/cm <sup>3</sup>	
AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
							39,38	54,49	
Reacciones		V (Kg)	K <sub>f</sub>	R <sub>x</sub> (Kg)	R <sub>y</sub> (Kg)				
		152,61	1,15	22,64	150,92	K <sub>hx</sub>	1,1		
						K <sub>hy</sub>	1,10		
Cortante		T <sub>d</sub>	3,66	Kg/cm <sup>2</sup> <td colspan="2">Flexión</td> <th>σ<sub>md</sub> Kg/cm<sup>2</sup></th> <td>90,26</td> <td>Kg/cm<sup>2</sup></td>	Flexión		σ <sub>md</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	90,26	Kg/cm <sup>2</sup>
		f <sub>v d</sub>	31,05	Kg/cm <sup>2</sup>			f <sub>md</sub>	332,73	Kg/cm <sup>2</sup>
		T <sub>d</sub> / f <sub>v d</sub>	0,12				σ <sub>md</sub> / f <sub>md</sub>	0,27	
			OK					OK	

**COMB 2 : P + 0,5 Vp**

Cargas Repartidas			q <sub>x</sub> (kg/m)	q <sub>y</sub> (Kg/m)	M <sub>x</sub> (Kg.m)	M <sub>y</sub> (Kg.m)	σ <sub>mx</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	σ <sub>my</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	
P	37,3	Kg/m <sup>2</sup>	6,92	46,10	19,58	130,58	28,63	39,62	
0,5 Vp	53,5	Kg/m <sup>2</sup>	9,92	66,14	28,09	187,31	41,07	56,83	
		Kg/m <sup>2</sup>							
Cargas Puntuales		Kg D(m)	Q <sub>x</sub> (kg)	Q <sub>y</sub> (Kg)	M <sub>x</sub> (Kg.m)	M <sub>y</sub> (Kg.m)	σ <sub>mx</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	σ <sub>my</sub> Kg/cm <sup>3</sup>	
AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
							69,70	96,45	
Reacciones		V (Kg)	K <sub>f</sub>	R <sub>x</sub> (Kg)	R <sub>y</sub> (Kg)				
		270,12	1,15	40,07	267,13	K <sub>hx</sub>	1,1		
						K <sub>hy</sub>	1,10		
Cortante		T <sub>d</sub>	6,48	Kg/cm <sup>2</sup>	Flexión		σ <sub>md</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	159,76	Kg/cm <sup>2</sup>
		f <sub>v d</sub>	31,05	Kg/cm <sup>2</sup>			f <sub>md</sub>	332,73	Kg/cm <sup>2</sup>
		T <sub>d</sub> / f <sub>v d</sub>	0,21				σ <sub>md</sub> / f <sub>md</sub>	0,48	
			OK					OK	

PROYECTO	Cubrición PISTA POLIDEPORTIVA en VIANA, Navarra		
REF/OS			
FECHA	12/02/2015		
ELEMENTO	ARRIOSTRAMIENTO		
CLASE RESISTENTE	24	h	(h,c)
CLASE DE SERVICIO	2		
DURACIÓN DE LA CARGA	Permanente	A	Mas de 10 años
	Larga duraci	B	6 meses-10 años
	Media duraci	C	1 semana-6meses
	Corta duraci	D	<1 semana
ALTITUD > 1000 m.	0	1=SI	
RESISTENCIA AL FUEGO	30	OK !!	
CORREA		VALORES CARACTERÍSTICOS	
Base	16	cm	Flexión fmgk 240 Kg/cm <sup>2</sup>
Altura	20	cm	E <sub>0,g,medio</sub> 116000 Kg/cm <sup>2</sup>
Longitud	4,76	m	Cte fvgk 27 Kg/cm <sup>2</sup>
Ángulo inclinación (α1)	0	°	C tr fc90gk 27 Kg/cm <sup>3</sup>
Ángulo cubierta (α2)	8,53	°	Densidad 380 Kg/m <sup>3</sup>
Intereje (dist. real)	1,25	m	Peso propio 12,16 Kg/m
Khx	1,100		Y <sub>m</sub> = 1,25
Khy	1,100		
CONTRAFLECHA	0	cm	
LONGITUD APOYO	10	cm	K <sub>c 90</sub> 1,75
CARGAS REPARTIDAS		BLOQUEO LATERAL	
P Carga perm.	30	Kg/m <sup>2</sup>	Nº dist sup 0 4,76 m
N Nieve	70	Kg/m <sup>2</sup>	Nº dist inf 0 4,76 m
Vp Viento presión	107	Kg/m <sup>2</sup>	Cara sup protegida 1 1=SI
Vs Viento succión	107	Kg/m <sup>2</sup>	Pandeo lateral superior 1 1=SI
M1 Uso/Mantenimiento	40	Kg/m <sup>2</sup>	Pandeo lateral inferior 1 1=SI
CARGAS PUNTALES			
M2 Uso/Mantenimiento	100	Kg	D(m)
AA-1 Carga puntual 1	0	Kg	0 m. Del apoyo izdo
AA-2 Carga puntual 2	0	Kg	0 m. Del apoyo izdo
AA-3 Carga puntual 3	0	Kg	0 m. Del apoyo izdo
Si hay varias cargas cargar más hacia la izda para que la reacción sea la máxima			
<b>RESULTADOS</b>			
REACCIONES EN APOYOS			
CASOS SIMPLES		Rdist	COMBINACIONES MÁS DESFAVORABLES
R <sub>P</sub> =	118	Kg	TENSIÓN % COMBINACIÓN ELU
R <sub>N</sub> =	208	Kg	FLEXIÓN 49,88 COMB 3 : 1,35 P + 1,5 Vp + 0,75 N
R <sub>VP</sub> =	318	Kg	CORTANTE 28,47 COMB 3 : 1,35 P + 1,5 Vp + 0,75 N
R <sub>VS</sub> =	-318	Kg	COMP.TRANSVERSAL 9,08 COMB 3 : 1,35 P + 1,5 Vp + 0,75 N
R <sub>M1</sub> =	119	Kg	DEFORMACIÓN % (L/300) COMBINACIÓN ELS
R <sub>M2</sub> =	50	Kg	u máx (cm) 90,98 COMB 8 : P + Vp + 0,5 N



**CÁLCULO DE TENSIONES (ELU)**

**COMB 1 : 1,35 P**

Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1,35 P	53,6	Kg/m2	0,00	67,04	0,00	189,87	0,00	17,80
Cargas Puntuales			$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{myd}$ Kg/cm <sup>3</sup>
1,35 AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						$\sigma_{tot}$		
						0,00		
						17,80		
Reacciones			V (Kg)	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)			
			159,56	0,00	159,56			
						Flexión		
						$\sigma_{md}$	19,58	Kg/cm2
						$K_{mod}$	0,60	
Compresión transversal						$f_{md}$	139,39	Kg/cm2
						$k_{crit} \cdot f_{md}$	139,39	Kg/cm2
						$\sigma_{md} / k_{crit} \cdot f_{md}$	0,14	
							OK	
Cortante								
						$\tau_d$	1,12	Kg/cm2
						$f_{vd}$	12,96	Kg/cm2
						$\tau_d / f_{vd}$	0,09	
							OK	

**COMB 2 : 1,35 P + 1,5 N + 0,9 Vp**

Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1,35 P	53,6	Kg/m2	0,00	67,04	0,00	189,87	0,00	17,80
1,5 N	105	Kg/m2	0,00	131,25	0,00	371,73	0,00	34,85
0,9 Vp	96,3	Kg/m2	17,85	119,04	50,57	337,15	5,93	31,61
Cargas Puntuales			$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{myd}$ Kg/cm <sup>3</sup>
1,35 AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						$\sigma_{tot}$		
						5,93		
						84,26		
Reacciones			V (Kg)	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)			
			756,45	42,49	755,26			
						Flexión		
						$\sigma_{md}$	97,25	Kg/cm2
						$K_{mod}$	0,90	
Compresión transversal						$f_{md}$	209,09	Kg/cm2
						$k_{crit} \cdot f_{md}$	209,09	Kg/cm2
						$\sigma_{md} / k_{crit} \cdot f_{md}$	0,47	
							OK	
Cortante								
						$\tau_d$	5,29	Kg/cm2
						$f_{vd}$	19,44	Kg/cm2
						$\tau_d / f_{vd}$	0,27	
							OK	

**COMB 3 : 1,35 P + 1,5 Vp + 0,75 N**

Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1,35 P	53,6	Kg/m2	0,00	67,04	0,00	189,87	0,00	17,80
0,75 N	52,5	Kg/m2	0,00	65,63	0,00	185,86	0,00	17,42
1,5 Vp	160,5	Kg/m2	29,76	198,41	84,28	561,92	9,88	52,68
Cargas Puntuales			$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{myd}$ Kg/cm <sup>3</sup>
1,35 AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						$\sigma_{tot}$		
						9,88		
						87,91		
Reacciones			V (Kg)	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)			
			791,13	70,82	787,95			
						Flexión		
						$\sigma_{md}$	104,30	Kg/cm2
						$K_{mod}$	0,90	
Compresión transversal						$f_{md}$	209,09	Kg/cm2
						$k_{crit} \cdot f_{md}$	209,09	Kg/cm2
						$\sigma_{md} / k_{crit} \cdot f_{md}$	0,50	
							OK	
Cortante								
						$\tau_d$	5,53	Kg/cm2
						$f_{vd}$	19,44	Kg/cm2
						$\tau_d / f_{vd}$	0,28	
							OK	

<b>COMB 4 : 1,35 P + 1,5 M1</b>									
Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	
1,35 P	53,6	Kg/m2	0,00	67,04	0,00	189,87	0,00	17,80	
1,5 M1	60	Kg/m2	0,00	75,00	0,00	212,42	0,00	19,91	
Cargas Puntuales			D(m)	$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{myd}$ Kg/cm <sup>3</sup>
1,35 AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,35 AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
							$\sigma_{tot}$	0,00	37,71
Reacciones			V (Kg)	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)	Flexión		$\sigma_{md}$	
			338,06	0,00	338,06	$\sigma_{md}$	41,49		Kg/cm2
						$K_{mod}$	0,80		
Compresión transversal			$\sigma_{c90d}$	1,32	Kg/cm2	$f_{md}$	185,86		Kg/cm2
			$f_{c90d}$	17,28	Kg/cm2	$k_{crit} \cdot f_{md}$	185,86		Kg/cm2
			$k_{c90} \cdot f_{c90d}$	30,24	Kg/cm2	$\sigma_{md} / k_{crit} \cdot f_{md}$	0,22		
			$\sigma_{c90d} / k_{c90} \cdot f_{c90d}$	0,04			OK		
				OK					
Cortante			$T_d$	2,37	Kg/cm2	$f_{vd}$	17,28		Kg/cm2
			$f_{vd}$	17,28	Kg/cm2	$T_d / f_{vd}$	0,14		
			$T_d / f_{vd}$	0,14			OK		
				OK					
<b>COMB 5 : 1,35 P + 1,5 M2</b>									
Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	
1,35 P	53,6	Kg/m2	0,00	67,04	0,00	189,87	0,00	17,80	
Cargas Puntuales			D(m)	$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1,5 M2	150	Kg	0,00	75,00	0,00	178,50	0,00	16,73	
1,35 AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1,35 AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1,35 AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
							$\sigma_{tot}$	0,00	34,54
Reacciones			V (Kg)	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)	Flexión		$\sigma_{md}$	
			234,56	0,00	234,56	$\sigma_{md}$	37,99		Kg/cm2
						$K_{mod}$	0,80		
Compresión transversal			$\sigma_{c90d}$	0,92	Kg/cm2	$f_{md}$	185,86		Kg/cm2
			$f_{c90d}$	17,28	Kg/cm2	$k_{crit} \cdot f_{md}$	185,86		Kg/cm2
			$k_{c90} \cdot f_{c90d}$	30,24	Kg/cm2	$\sigma_{md} / k_{crit} \cdot f_{md}$	0,20		
			$\sigma_{c90d} / k_{c90} \cdot f_{c90d}$	0,03			OK		
				OK					
Cortante			$T_d$	1,64	Kg/cm2	$f_{vd}$	17,28		Kg/cm2
			$f_{vd}$	17,28	Kg/cm2	$T_d / f_{vd}$	0,09		
			$T_d / f_{vd}$	0,09			OK		
				OK					
<b>COMB 6 : 0,8 P + 1,5 Vs</b>									
Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	
0,8 P	31,8	Kg/m2	0,00	39,73	0,00	112,52	0,00	10,55	
1,5 Vs	-160,5	Kg/m2	-29,76	-198,41	-84,28	-561,92	-9,88	-52,68	
Cargas Puntuales			D(m)	$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,8 AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,8 AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,8 AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
							$\sigma_{tot}$	-9,88	42,13
Reacciones			V (Kg)	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)	Flexión		$\sigma_{md}$	
			384,24	-70,82	-377,65	$\sigma_{md}$	38,74		Kg/cm2
						$K_{mod}$	0,90		
Compresión transversal			$\sigma_{c90d}$	1,50	Kg/cm2	$f_{md}$	209,09		Kg/cm2
			$f_{c90d}$	19,44	Kg/cm2	$k_{crit} \cdot f_{md}$	209,09		Kg/cm2
			$k_{c90} \cdot f_{c90d}$	34,02	Kg/cm2	$\sigma_{md} / k_{crit} \cdot f_{md}$	0,19		
			$\sigma_{c90d} / k_{c90} \cdot f_{c90d}$	0,04			OK		
				OK					
Cortante			$T_d$	2,69	Kg/cm2	$f_{vd}$	19,44		Kg/cm2
			$f_{vd}$	19,44	Kg/cm2	$T_d / f_{vd}$	0,14		
			$T_d / f_{vd}$	0,14			OK		
				OK					

## CÁLCULO DE DEFORMACIONES (ELS)

							L / 150 =	3,2	cm
<b>COMB 7 : P + N + 0,6 Vp</b>							L / 300 =	1,5866667	cm
<b>Cargas Repartidas</b>				<b>q<sub>x</sub> (kg/m)</b>	<b>q<sub>y</sub> (Kg/m)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
<b>P</b>	39,7	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	49,66	1,8	0,00	0,48	
<b>N</b>	70	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	87,50	1	0,00	0,47	
<b>0,6 Vp</b>	64,2	Kg/m <sup>2</sup>		11,90	79,36	1	0,10	0,43	
<b>Cargas Puntuales</b>				<b>Q<sub>x</sub> (kg)</b>	<b>Q<sub>y</sub> (Kg)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
			<b>D(m)</b>						
<b>AA-1</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-2</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-3</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
							0,10	1,38	
							<b>CF</b>	0	
							<b>u<sub>net</sub> (cm)</b>	<b>1,39</b>	<b>OK</b>
<b>COMB 8 : P + Vp + 0,5 N</b>									
<b>Cargas Repartidas</b>				<b>q<sub>x</sub> (kg/m)</b>	<b>q<sub>y</sub> (Kg/m)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
<b>P</b>	39,7	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	49,66	1,8	0,00	0,48	
<b>0,5 N</b>	35	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	43,75	1	0,00	0,24	
<b>Vp</b>	107	Kg/m <sup>2</sup>		19,84	132,27	1	0,17	0,71	
<b>Cargas Puntuales</b>				<b>Q<sub>x</sub> (kg)</b>	<b>Q<sub>y</sub> (Kg)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
			<b>D(m)</b>						
<b>AA-1</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-2</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-3</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
							0,17	1,43	
							<b>CF</b>	0	
							<b>u<sub>net</sub> (cm)</b>	<b>1,44</b>	<b>OK</b>
<b>COMB 9 : P + M1</b>									
<b>Cargas Repartidas</b>				<b>q<sub>x</sub> (kg/m)</b>	<b>q<sub>y</sub> (Kg/m)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
<b>P</b>	39,7	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	49,66	1,8	0,00	0,48	
<b>M1</b>	40	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	50,00	1	0,00	0,27	
<b>Cargas Puntuales</b>				<b>Q<sub>x</sub> (kg)</b>	<b>Q<sub>y</sub> (Kg)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
			<b>D(m)</b>						
<b>AA-1</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-2</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-3</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
							0,00	0,75	
							<b>CF</b>	0	
							<b>u<sub>net</sub> (cm)</b>	<b>0,75</b>	<b>OK</b>
<b>COMB 10 : P + M2</b>									
<b>Cargas Repartidas</b>				<b>q<sub>x</sub> (kg/m)</b>	<b>q<sub>y</sub> (Kg/m)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
<b>P</b>	39,7	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	49,66	1,8	0,00	0,48	
<b>Cargas Puntuales</b>				<b>Q<sub>x</sub> (kg)</b>	<b>Q<sub>y</sub> (Kg)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
			<b>D(m)</b>						
<b>M2</b>	100	Kg	0	0,00	50,00	1	0,00	0,18	
<b>AA-1</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-2</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-3</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
							0,00	0,66	
							<b>CF</b>	0	
							<b>u<sub>net</sub> (cm)</b>	<b>0,66</b>	<b>OK</b>
<b>COMB 11 : P + Vs</b>									
<b>Cargas Repartidas</b>				<b>q<sub>x</sub> (kg/m)</b>	<b>q<sub>y</sub> (Kg/m)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
<b>P</b>	39,7	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	49,66	1,8	0,00	0,48	
<b>Vs</b>	-107	Kg/m <sup>2</sup>		-19,84	-132,2705	1	-0,17	-0,71	
<b>Cargas Puntuales</b>				<b>Q<sub>x</sub> (kg)</b>	<b>Q<sub>y</sub> (Kg)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
			<b>D(m)</b>						
<b>M2</b>	100	Kg	0	0,00	50,00	1	0,00	0,18	
<b>AA-1</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-2</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-3</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
							-0,17	-0,05	
							<b>CF</b>	0	
							<b>u<sub>net</sub> (cm)</b>	<b>0,17</b>	<b>OK</b>



**CÁLCULO DE TENSIONES A FUEGO (ELU)**

**COMB 1 : P + 0,2 N**

Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	
P	39,7	Kg/m <sup>2</sup>	0,00	49,66	0,00	140,65	0,00	27,43	
0,2 N	14	Kg/m <sup>2</sup>	0,00	17,50	0,00	49,56	0,00	9,67	
Cargas Puntuales		Kg D(m)	$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{myd}$ Kg/cm <sup>3</sup>	
AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
							0,00	37,09	
Reacciones		V (Kg)	$K_f$	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)				
		159,84	1,15	0,00	159,84	$K_{hx}$	1,1		
						$K_{hy}$	1,10		
Cortante		$T_d$	2,00	Kg/cm <sup>2</sup>	Flexión		$\sigma_{md}$ Kg/cm <sup>2</sup>	40,80	Kg/cm <sup>2</sup>
		$f_{vd}$	31,05	Kg/cm <sup>2</sup>			$f_{md}$	333,96	Kg/cm <sup>2</sup>
		$T_d / f_{vd}$	0,06				$\sigma_{md} / f_{md}$	0,12	
			OK					OK	

**COMB 2 : P + 0,5 Vp**

Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	
P	39,7	Kg/m <sup>2</sup>	0,00	49,66	0,00	140,65	0,00	27,43	
0,5 Vp	53,5	Kg/m <sup>2</sup>	0,00	66,88	0,00	189,40	0,00	36,94	
Cargas Puntuales		Kg D(m)	$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{myd}$ Kg/cm <sup>3</sup>	
AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
							0,00	64,36	
Reacciones		V (Kg)	$K_f$	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)				
		277,35	1,15	0,00	277,35	$K_{hx}$	1,1		
						$K_{hy}$	1,10		
Cortante		$T_d$	3,47	Kg/cm <sup>2</sup>	Flexión		$\sigma_{md}$ Kg/cm <sup>2</sup>	70,80	Kg/cm <sup>2</sup>
		$f_{vd}$	31,05	Kg/cm <sup>2</sup>			$f_{md}$	333,96	Kg/cm <sup>2</sup>
		$T_d / f_{vd}$	0,11				$\sigma_{md} / f_{md}$	0,21	
			OK					OK	

A partir del modelo tridimensional y para las cargas introducidas, obtendremos las reacciones sin mayorar las cargas siguientes, en los apoyos de cada uno de los pórticos:

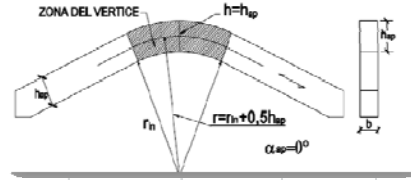
Nudo/Caso	$F_x$ (Kg)	$F_z$ (Kg)	$M_y$ (Kgm)
1_PP + CUBIERTA	4308	5606	0
1_Instalaciones	423	462	0,0
1_NIEVE	5926	6463	0
1_Mantenimiento	3386	3693	0
1_VIENTO (presión)	-11599	-12649	-0
1_VIENTO (succión)	9153	10408	0
2_PP + CUBIERTA	-4308	5606	-0
2_Instalaciones	-423	462	-0
2_NIEVE	-5926	6463	-0
2_Mantenimiento	-3386	3693	-0
2_VIENTO (presión)	11599	-12649	0
2_VIENTO (succión)	-9153	10407	0

E igualmente, el modelo generará la distribución de esfuerzos y tensiones, para los puntos y combinación más desfavorables, para cada una de las propiedades:

	$F_{\text{COMPRESIÓN}}$ (Kg)	$F_{\text{TRACCIÓN}}$ (Kg)	$F_z$ (Kg)	$M_y$ (Kgm)
MAX	26004	-0	10547	7844
Barra	20	2	22	11
Nudo	4	15	6	29
Caso	11 (C)	8 (C)	11 (C)	12 (C)
MIN	0	-566	-18379	-66919
Barra	1	2	17	20
Nudo	15	7	2	5
Caso	7 (C)	11 (C)	11 (C)	11 (C)

	$S_{\text{MAX}}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$S_{\text{MAX}}$ (M <sub>y</sub> ) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$F_x/A_x$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$T_z$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
MAX	163,0	161,7	20,4	7,9
Barra	20	15	8	15
Nudo	5	24	9	23
Caso	11 (C)	12 (C)	12 (C)	12 (C)
MIN	-11,4	0,0	-11,4	-12,0
Barra	8	2	8	17
Nudo	9	7	9	2
Caso	5	1	5	11 (C)

PROYECTO	Cubrición PISTA POLIDEPORTIVA en VIANA, Navarra		
REF/OS			
FECHA	12/02/2015		
ELEMENTO	Viga ARCO		
CLASE RESISTENTE	28	c	(h,c)
CLASE DE SERVICIO	2		
DURACIÓN DE LA CARGA	Permanente	A	Mas de 10 años
	Larga duraci	B	6 meses-10 años
	Media duraci	C	1 semana-6meses
	Corta duraci	D	<1 semana
ALTITUD > 1000 m.	0	1=SI	
RESISTENCIA AL FUEGO	30	OK !!	
CORREA		VALORES CARACTERÍSTICOS	
Base	24 cm	Flexión $f_{mgk}$	280 Kg/cm <sup>2</sup>
Altura	120 cm	$E_{0,g,medio}$	126000 Kg/cm <sup>2</sup>
Longitud	20,5 m	Cte $f_{vgk}$	27 Kg/cm <sup>2</sup>
Ángulo inclinación ( $\alpha_1$ )	0 °	C tr $f_{c90gk}$	27 Kg/cm <sup>3</sup>
Ángulo cubierta ( $\alpha_2$ )	0 °	Densidad	380 Kg/m <sup>3</sup>
Intereje (dist. real)	5 m	Peso propio	109,44 Kg/m
Khx	1,096	$Y_m =$	1,25
Khy	1,000		
CONTRAFLECHA	0 cm		
LONGITUD APOYO	25 cm	$K_{c90}$	1,75
CARGAS REPARTIDAS		BLOQUEO LATERAL	
P Carga perm.	40 Kg/m <sup>2</sup>	Nº dist sup	5 3,66 m
N Nieve	70 Kg/m <sup>2</sup>	Nº dist inf	0 20,50 m
Vp Viento presión	107 Kg/m <sup>2</sup>	Cara sup protegida	1 1=SI
Vs Viento succión	107 Kg/m <sup>2</sup>	Pandeo lateral superior	1 1=SI
M1 Uso/Mantenimiento	40 Kg/m <sup>2</sup>	Kcrit	1,0000
		Kcrit	0,6405
CARGAS PUNTALES		Pandeo lateral inferior	
M2 Uso/Mantenimiento	100 Kg	D(m)	1 1=SI
AA-1 Carga puntual 1	0 Kg		$I_x =$ 3456000,00 cm <sup>4</sup>
AA-2 Carga puntual 2	0 Kg	0 m. Del apoyo izdo	$W_x =$ 57600,00 cm <sup>3</sup>
AA-3 Carga puntual 3	0 Kg	0 m. Del apoyo izdo	$I_y =$ 138240,00 cm <sup>4</sup>
			$W_y =$ 11520,00 cm <sup>3</sup>
Si hay varias cargas cargar más hacia la izda para que la reacción sea la máxima			
<b>RESULTADOS</b>			
REACCIONES EN APOYOS			
CASOS SIMPLES		COMBINACIONES MÁS DESFAVORABLES	
$R_p =$	3172 Kg	TENSIÓN	%
$R_N =$	3588 Kg	FLEXIÓN	67,08
$R_{VP} =$	5484 Kg	CORTANTE	60,77
$R_{VS} =$	-5484 Kg	COMP.TRANSVERSAL	60,05
$R_{M1} =$	2050 Kg	DEFORMACIÓN	% (L/300)
$R_{M2} =$	50 Kg	u máx (cm)	97,92
		COMBINACIÓN ELU	
		COMB 3 : 1,35 P + 1,5 Vp + 0,75 N	
		COMB 3 : 1,35 P + 1,5 Vp + 0,75 N	
		COMB 3 : 1,35 P + 1,5 Vp + 0,75 N	
		COMBINACIÓN ELS	
		COMB 8 : P + Vp + 0,5 N	



DATOS	
$h_{ap}$ (m)	1,2
$\alpha_{ap}$ (°)	8,53
$r_{in}$ (m)	6
$V_{total}$ (m <sup>3</sup> )	6,39
$V$ (m <sup>3</sup> )	2,65
$t$ (m)	0,04

$r$ (m)	6,6000
$h_{ap}/r$	0,1818
$tg \alpha_{ap}$	0,1500

COEFICIENTES	
$k_1$	1,3315
$k_2$	-0,8499
$k_3$	1,6694
$k_4$	0,1350
$k_5$	0,0300
$k_6$	0,0835
$k_7$	0,2250

**CÁLCULO DE TENSIONES (ELU)**

**COMB 1: 1.05 P**

Cargas Repetidas		$z_1 \cdot q_{p1}$	$z_2 \cdot q_{p2}$	$T_1 \cdot q_{p1}$	$T_2 \cdot q_{p2}$	$z_1 \cdot q_{p1} + z_2 \cdot q_{p2}$	$T_1 \cdot q_{p1} + T_2 \cdot q_{p2}$
1.05 P	38 kN/m <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cargas Puntuales		$z_1 \cdot P_1$	$z_2 \cdot P_2$	$T_1 \cdot P_1$	$T_2 \cdot P_2$	$z_1 \cdot P_1 + z_2 \cdot P_2$	$T_1 \cdot P_1 + T_2 \cdot P_2$
1.05 22.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.05 22.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.05 22.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Reacciones</b>		<b><math>\sum R_x</math></b>	<b><math>\sum R_y</math></b>	<b><math>\sum R_z</math></b>	<b>Flexión</b>	<b><math>\sum M_x</math></b>	<b><math>\sum M_y</math></b>
		4281.33	0.00	4281.33		41.75	0.80
Compresión en nervios		$\sigma_{x,x}$	$\sigma_{y,y}$	$\sigma_{z,z}$	$\sigma_{x,x} + \sigma_{y,y}$	$\sigma_{x,x} + \sigma_{z,z}$	$\sigma_{y,y} + \sigma_{z,z}$
		6.78	0.00	0.00	6.78	147.30	147.30
		12.95	0.00	0.00	12.95	147.30	147.30
		22.80	0.00	0.00	22.80	0.80	0.80
		<b>OK</b>				<b>OK</b>	
Cortante		$\tau_{x,y}$	$\tau_{y,x}$	$\tau_{x,z}$	$\tau_{z,x}$		
		0.00	0.00	0.00	0.00		
		12.95	0.00	0.00	0.00		
		<b>OK</b>					

**COMB 2: 1.05 P + 1.25 N + 0.9 Vp**

Cargas Repetidas		$z_1 \cdot q_{p1}$	$z_2 \cdot q_{p2}$	$T_1 \cdot q_{p1}$	$T_2 \cdot q_{p2}$	$z_1 \cdot q_{p1} + z_2 \cdot q_{p2}$	$T_1 \cdot q_{p1} + T_2 \cdot q_{p2}$
1.05 P	38 kN/m <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25 N	12 kN/m <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.9 Vp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cargas Puntuales		$z_1 \cdot P_1$	$z_2 \cdot P_2$	$T_1 \cdot P_1$	$T_2 \cdot P_2$	$z_1 \cdot P_1 + z_2 \cdot P_2$	$T_1 \cdot P_1 + T_2 \cdot P_2$
1.05 22.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.05 22.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.05 22.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Reacciones</b>		<b><math>\sum R_x</math></b>	<b><math>\sum R_y</math></b>	<b><math>\sum R_z</math></b>	<b>Flexión</b>	<b><math>\sum M_x</math></b>	<b><math>\sum M_y</math></b>
		14593.50	0.00	14593.50		142.38	0.80
Compresión en nervios		$\sigma_{x,x}$	$\sigma_{y,y}$	$\sigma_{z,z}$	$\sigma_{x,x} + \sigma_{y,y}$	$\sigma_{x,x} + \sigma_{z,z}$	$\sigma_{y,y} + \sigma_{z,z}$
		19.82	0.00	0.00	19.82	220.85	220.85
		19.44	0.00	0.00	19.44	220.85	220.85
		34.02	0.00	0.00	34.02	0.80	0.80
		<b>OK</b>				<b>OK</b>	
Cortante		$\tau_{x,y}$	$\tau_{y,x}$	$\tau_{x,z}$	$\tau_{z,x}$		
		11.35	0.00	0.00	0.00		
		19.44	0.00	0.00	0.00		
		<b>OK</b>					

**COMB 3: 1.05 P + 1.25 Vp + 0.75 N**

Cargas Repetidas		$z_1 \cdot q_{p1}$	$z_2 \cdot q_{p2}$	$T_1 \cdot q_{p1}$	$T_2 \cdot q_{p2}$	$z_1 \cdot q_{p1} + z_2 \cdot q_{p2}$	$T_1 \cdot q_{p1} + T_2 \cdot q_{p2}$
1.05 P	38 kN/m <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.75 N	8 kN/m <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25 Vp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cargas Puntuales		$z_1 \cdot P_1$	$z_2 \cdot P_2$	$T_1 \cdot P_1$	$T_2 \cdot P_2$	$z_1 \cdot P_1 + z_2 \cdot P_2$	$T_1 \cdot P_1 + T_2 \cdot P_2$
1.05 22.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.05 22.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.05 22.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Reacciones</b>		<b><math>\sum R_x</math></b>	<b><math>\sum R_y</math></b>	<b><math>\sum R_z</math></b>	<b>Flexión</b>	<b><math>\sum M_x</math></b>	<b><math>\sum M_y</math></b>
		15185.13	0.00	15185.13		143.20	0.80
Compresión en nervios		$\sigma_{x,x}$	$\sigma_{y,y}$	$\sigma_{z,z}$	$\sigma_{x,x} + \sigma_{y,y}$	$\sigma_{x,x} + \sigma_{z,z}$	$\sigma_{y,y} + \sigma_{z,z}$
		20.43	0.00	0.00	20.43	220.85	220.85
		19.44	0.00	0.00	19.44	220.85	220.85
		34.02	0.00	0.00	34.02	0.80	0.80
		<b>OK</b>				<b>OK</b>	
Cortante		$\tau_{x,y}$	$\tau_{y,x}$	$\tau_{x,z}$	$\tau_{z,x}$		
		11.31	0.00	0.00	0.00		
		19.44	0.00	0.00	0.00		
		<b>OK</b>					

COMB 4 : 1.02 P + 1.02 M									
Cargas Repetidas									
1.02 P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.02 M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cargas Partiales									
1.02 C-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.02 C-2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.02 C-3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reacciones									
	7356.88	0.00	7356.88						
Pisos									
Comprobación de movimientos									
	5.85								
	17.28								
	30.24								
	0.00								
	OK								
Cortantes									
	5.72								
	17.28								
	0.00								
	OK								
COMB 5 : 1.02 P + 1.02 M									
Cargas Repetidas									
1.02 P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.02 M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cargas Partiales									
1.02 C-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.02 C-2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.02 C-3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reacciones									
	4356.88	0.00	4356.88						
Pisos									
Comprobación de movimientos									
	5.85								
	17.28								
	30.24								
	0.00								
	OK								
Cortantes									
	3.39								
	17.28								
	0.00								
	OK								
COMB 6 : 0.02 P + 1.02 M									
Cargas Repetidas									
0.02 P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.02 M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cargas Partiales									
0.02 C-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.02 C-2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.02 C-3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reacciones									
	5600.22	0.00	-5600.22						
Pisos									
Comprobación de movimientos									
	7.65								
	19.44								
	34.02								
	0.00								
	OK								
Cortantes									
	4.42								
	19.44								
	0.00								
	OK								

### CÁLCULO DE DEFORMACIONES (ELS)

						L / 150 =	13,7	cm	
<b>COMB 7 : P + N + 0,6 Vp</b>						L / 300 =	6,8333333	cm	
<b>Cargas Repartidas</b>				<b>q<sub>x</sub> (kg/m)</b>	<b>q<sub>y</sub> (Kg/m)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
<b>P</b>	61,9	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	309,44	1,8	0,00	2,94	
<b>N</b>	70	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	350,00	1	0,00	1,85	
<b>0,6 Vp</b>	64,2	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	321,00	1	0,00	1,70	
<b>Cargas Puntuales</b>				<b>Q<sub>x</sub> (kg)</b>	<b>Q<sub>y</sub> (Kg)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
			<b>D(m)</b>						
<b>AA-1</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-2</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-3</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
							0,00	6,48	
							<b>CF</b>	0	
							<b>u<sub>net</sub> (cm)</b>	<b>6,48</b>	<b>OK</b>
<b>COMB 8 : P + Vp + 0,5 N</b>									
<b>Cargas Repartidas</b>				<b>q<sub>x</sub> (kg/m)</b>	<b>q<sub>y</sub> (Kg/m)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
<b>P</b>	61,9	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	309,44	1,8	0,00	2,94	
<b>0,5 N</b>	35	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	175,00	1	0,00	0,92	
<b>Vp</b>	107	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	535,00	1	0,00	2,83	
<b>Cargas Puntuales</b>				<b>Q<sub>x</sub> (kg)</b>	<b>Q<sub>y</sub> (Kg)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
			<b>D(m)</b>						
<b>AA-1</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-2</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-3</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
							0,00	6,69	
							<b>CF</b>	0	
							<b>u<sub>net</sub> (cm)</b>	<b>6,69</b>	<b>OK</b>
<b>COMB 9 : P + M1</b>									
<b>Cargas Repartidas</b>				<b>q<sub>x</sub> (kg/m)</b>	<b>q<sub>y</sub> (Kg/m)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
<b>P</b>	61,9	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	309,44	1,8	0,00	2,94	
<b>M1</b>	40	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	200,00	1	0,00	1,06	
<b>Cargas Puntuales</b>				<b>Q<sub>x</sub> (kg)</b>	<b>Q<sub>y</sub> (Kg)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
			<b>D(m)</b>						
<b>AA-1</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-2</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-3</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
							0,00	4,00	
							<b>CF</b>	0	
							<b>u<sub>net</sub> (cm)</b>	<b>4,00</b>	<b>OK</b>
<b>COMB 10 : P + M2</b>									
<b>Cargas Repartidas</b>				<b>q<sub>x</sub> (kg/m)</b>	<b>q<sub>y</sub> (Kg/m)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
<b>P</b>	61,9	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	309,44	1,8	0,00	2,94	
<b>Cargas Puntuales</b>				<b>Q<sub>x</sub> (kg)</b>	<b>Q<sub>y</sub> (Kg)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
			<b>D(m)</b>						
<b>M2</b>	100	Kg	0	0,00	50,00	1	0,00	0,04	
<b>AA-1</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-2</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-3</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
							0,00	2,98	
							<b>CF</b>	0	
							<b>u<sub>net</sub> (cm)</b>	<b>2,98</b>	<b>OK</b>
<b>COMB 11 : P + Vs</b>									
<b>Cargas Repartidas</b>				<b>q<sub>x</sub> (kg/m)</b>	<b>q<sub>y</sub> (Kg/m)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
<b>P</b>	61,9	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	309,44	1,8	0,00	2,94	
<b>Vs</b>	-107	Kg/m <sup>2</sup>		0,00	-535	1	0,00	-2,83	
<b>Cargas Puntuales</b>				<b>Q<sub>x</sub> (kg)</b>	<b>Q<sub>y</sub> (Kg)</b>	<b>1+K<sub>def</sub></b>	<b>u<sub>xnet</sub> (cm)</b>	<b>u<sub>ynet</sub> (cm)</b>	
			<b>D(m)</b>						
<b>M2</b>	100	Kg	0	0,00	50,00	1	0,00	0,04	
<b>AA-1</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-2</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
<b>AA-3</b>	0	Kg	0	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
							0,00	0,16	
							<b>CF</b>	0	
							<b>u<sub>net</sub> (cm)</b>	<b>0,16</b>	<b>OK</b>



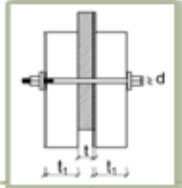
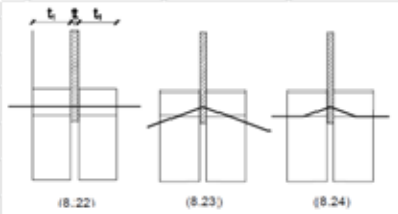
**CÁLCULO DE TENSIONES A FUEGO (ELU)**

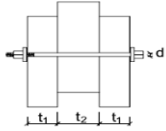
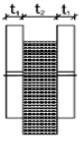
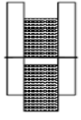
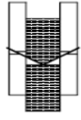
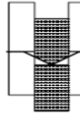
**COMB 1 : P + 0,2 N**

Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	
P	61,9	Kg/m2	0,00	309,44	0,00	16255,27	0,00	38,59	
0,2 N	14	Kg/m2	0,00	70,00	0,00	3677,19	0,00	8,73	
Cargas Puntuales		Kg D(m)	$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{myd}$ Kg/cm <sup>3</sup>	
AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
							0,00	47,32	
Reacciones		V (Kg)	$K_f$	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)				
		3889,26	1,15	0,00	3889,26	$K_{hx}$	1,1		
						$K_{hy}$	1,00		
Cortante		$T_d$	4,04	Kg/cm2	Flexión		$\sigma_{md}$ Kg/cm <sup>2</sup>	52,05	Kg/cm2
		$f_{vd}$	31,05	Kg/cm2			$f_{md}$	352,90	Kg/cm2
		$T_d / f_{vd}$	0,13				$\sigma_{md} / f_{md}$	0,15	
			OK					OK	

**COMB 2 : P + 0,5 Vp**

Cargas Repartidas			$q_x$ (kg/m)	$q_y$ (Kg/m)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{myd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	
P	61,9	Kg/m2	0,00	309,44	0,00	16255,27	0,00	38,59	
0,5 Vp	53,5	Kg/m2	0,00	267,50	0,00	14052,11	0,00	33,36	
		Kg/m2							
Cargas Puntuales		Kg D(m)	$Q_x$ (kg)	$Q_y$ (Kg)	$M_x$ (Kg.m)	$M_y$ (Kg.m)	$\sigma_{mxd}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{myd}$ Kg/cm <sup>3</sup>	
AA-1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
AA-2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
AA-3	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
							0,00	71,95	
Reacciones		V (Kg)	$K_f$	$R_x$ (Kg)	$R_y$ (Kg)				
		5913,64	1,15	0,00	5913,64	$K_{hx}$	1,1		
						$K_{hy}$	1,00		
Cortante		$T_d$	6,14	Kg/cm2	Flexión		$\sigma_{md}$ Kg/cm <sup>2</sup>	79,14	Kg/cm2
		$f_{vd}$	31,05	Kg/cm2			$f_{md}$	352,90	Kg/cm2
		$T_d / f_{vd}$	0,20				$\sigma_{md} / f_{md}$	0,22	
			OK					OK	

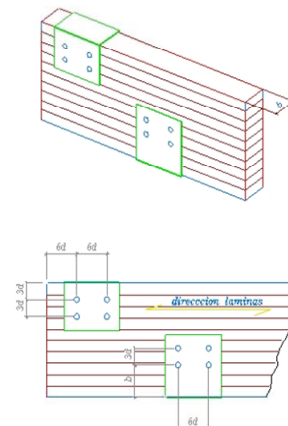
PERNOS					
CORTADURA DOBLE					
MADERA-ACERO-MADERA					
					
<b>Datos:</b>					
$t_1 =$	120	mm	$\rho_k =$	380	Kg/m <sup>3</sup>
$t_2 =$	20	mm	$f_{t,c} =$	400	N/mm <sup>2</sup> (4,6)
$d =$	20	mm	$f_{t,e} =$	275	N/mm <sup>2</sup> (5 275)
			$K_{mod} =$	0,9	
<b>Momento Plástico:</b>					
$M_{pl,Rk} =$	$0,3 \cdot f_{t,k} \cdot d^{2,6}$			$= 289640,46$	N.mmm
<b>Resistencia Característica al aplastamiento:</b>					
$f_{h,c} =$	$\frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$			$= 24,93$	N/mm <sup>2</sup>
<b>Siendo</b>					
$k_{90} =$	$1,35 + 0,015 \cdot d$			$= 1,65$	
$f_{h,0,k} =$	$0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$			$= 24,93$	N/mm <sup>2</sup>
$\alpha =$	0				(Ángulo entre el esfuerzo y la dirección de la fibra)
<b>Modos de fallo:</b>					
					
$F_{v,Rk} = \min$	$f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$			$= 99827,20$	N (8.22)
	$f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right]$			$= 28128,47$	N (8.23)
	$2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$			$= 27638,61$	N (8.24)
<b>Aplastamiento acero</b>	$d \cdot t \cdot 0,53 \cdot f_{y,k}$			$= 98300,00$	N
<b>Cap. de carga por plano de corte y por elemento de filación</b>			$F_{t,c}$	$= 27638,61$	N
<b>Capacidad de la unión:</b>					
$n =$	12		$n_{ef} = \min$	$n$	
$a_1 =$	100	mm		$n^{0,9} \cdot \sqrt{\frac{a_1}{13 \cdot d}}$	
				$\Rightarrow n_{ef} = 7,37$	
$2 \cdot F_{t,c} \cdot n_{ef} = 2 \cdot n_{ef} \cdot K_{mod} \cdot (F_{t,c} / \gamma_{M2})$				$= 282075,3$	N $\Rightarrow$ <b>28753,86</b> kg

PERNOS										
CORTADURA DOBLE										
MADERA-MADERA-MADERA										
										
<b>Datos:</b>										
$t_1 =$	120	mm	$\rho_k =$	380	kg/m <sup>3</sup>					
$t_2 =$	240	mm	$f_{u,k} =$	400	N/mm <sup>2</sup>	(4.6)				
$d =$	20	mm	$K_{mod} =$	0,9						
<b>Momento Plástico:</b>										
$M_{y,Rk} =$	$0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$		$=$		289640,46	N.m				
<b>Resistencia Característica al aplastamiento:</b>										
$f_{h1,\alpha,k} =$	$\frac{f_{h0,k}}{k_{90} \cdot \text{sen}^2 \alpha + \text{cos}^2 \alpha}$		$=$		24,93	N/mm <sup>2</sup>				
Siendo	$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d$		$=$		1,65					
	$f_{h0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$		$=$		24,93	N/mm <sup>2</sup>				
	$\alpha_1 = 0$		° (Ángulo entre el esfuerzo y la dirección de la fibra)							
$f_{h2,\alpha,k} =$	$\frac{f_{h0,k}}{k_{90} \cdot \text{sen}^2 \alpha + \text{cos}^2 \alpha}$		$=$		24,93	N/mm <sup>2</sup>				
Siendo	$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d$		$=$		1,65					
	$f_{h0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$		$=$		24,93	N/mm <sup>2</sup>				
	$\alpha_2 = 0$		° (Ángulo entre el esfuerzo y la dirección de la fibra)							
Luego	$\beta = \frac{f_{h2,k}}{f_{h1,k}}$		$=$		1,00					
<b>Modos de fallo:</b>										
										
		(8.12)		(8.13)		(8.14)		(8.15)		
$F_{v,Rk} = \min$		$f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d$		$=$		59827,20	N		(8.12)	
		$0,5 \cdot f_{h2,k} \cdot t_2 \cdot d$		$=$		59827,20	N		(8.13)	
		$1,05 \cdot \frac{f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right]$		$=$		23401,51	N		(8.14)	
		$1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h1,k} \cdot d}$		$=$		19543,45	N		(8.15)	
Cap. de carga por plano de corte y por elemento de fijación				$F_{v,Rk} =$	19543,45	N				
<b>Capacidad de la unión:</b>										
$n =$	12	➔		$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \end{array} \right.$		➔		$n_{ef} =$	7,37	
$a_1 =$	100	mm								
$2 \cdot F_{v,ef,Rd} = 2 \cdot n_{ef} \cdot K_{mod} \cdot (F_{v,Rk} / \gamma_m)$				$=$		199457,4	N		➔ <span style="background-color: yellow;">20332,05</span> Kg	

DESIGNACIÓN	ESPESOR NOMINAL t (mm)			
	TENSIÓN LÍMITE ELÁSTICO fy (kg/cm <sup>2</sup> )			TENSIÓN DE ROTURA fu (kg/cm <sup>2</sup> )
	t ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	3 ≤ t ≤ 100
S235JR	2350	2250	2150	3600
S275JR	2750	2650	2550	4100
S355JR	3550	3450	3350	4700

RESISTENCIA DE CALCULO  $f_{yd}$   
 COEFICIENTE PARCIAL DE SEGURIDAD RELATIVA A LA PLASTICIDAD DEL MATERIAL  
 RESISTENCIA A TRACIÓ  $A \cdot f_y / \gamma_M$

DIAMETRO	SECCIÓN cm <sup>2</sup>	CARGAS ADMISIBLES (kg)		
		S235JR	S275JR	S355JR
12	1,13	2529,05	2959,52	3820,48
14	1,54	3446,67	4033,33	5206,67
16	2,01	4498,57	5264,29	6795,71
18	2,54	5442,86	6410,48	8345,71
20	3,14	6728,57	7924,76	10317,14
22	3,8	8142,86	9590,48	12485,71
25	4,91	10521,43	12391,90	16132,86
27	5,73	12278,57	14461,43	18827,14
30	7,07	15150,00	17843,33	23230,00
32	8,04	17228,57	20291,43	26417,14
34	9,08	19457,14	22916,19	29834,29
36	10,18	21814,29	25692,38	33448,57
40	12,57	26935,71	31724,29	41301,43



### COMPROBACIONES PARA CHAPAS Y TORNILLO DE ARRIOSTRAMIENTO

Resistencia última de las chapas $f_u$	S235 JR	3600 Kg/cm <sup>2</sup>	DIAMETRO TORNILLO 8.8	24
	S275 JR	4100 Kg/cm <sup>2</sup>	FUERZA AXIAL SIN MAYORAR	3250
Resistencia de las chapas $f_y$	S235 JR	2350 Kg/cm <sup>2</sup>	n (nº planos de corte)	2
	S275 JR	2750 Kg/cm <sup>2</sup>	TIPO DE ACERO CHAPA	S
Resistencia última del tornillo 8.8 $f_{ub}$	8.8	8000 Kg/cm <sup>2</sup>	t Espesor de la chapa	10 cm
Resistencia del tornillo 8.8 $f_{yb}$	8.8	6400 Kg/cm <sup>2</sup>	e Dist. eje tornillo a borde chapa	6 cm
			p1 dist entre dos agujeros	(1 SI SÓLO HAY 1)
$\gamma_{m2}$	1,25			
$\gamma_{m1}$	1,05		VARILLA NECESARIA según TABLAS	
n	nº planos de corte			

1.- RESISTENCIA A CORTANTE DEL TORNILLO	
M12	0,843 cm <sup>2</sup>
M16	1,57 cm <sup>2</sup>
M20	2,45 cm <sup>2</sup>
M22	3,03 cm <sup>2</sup>
M30	5,61 cm <sup>2</sup>
$F_{vrd} = \frac{n \cdot 0,5 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{m2}} = 35904 \text{ Kg}$	
$F_{vrb} = 1,5 \cdot F = 4875 \text{ Kg} < F_{vrd}; \text{OK!}$	

2.- RESISTENCIA A APLASTAMIENTO DE LA CHAPA	
$e_1$	distancia del borde del agujero al borde de la chapa = 4,7 cm
$d_0$	diámetro del agujero = 2,6
$\alpha$	el menor valor de: $e_1/3d_0 = 0,603$
	$p_1/3d_0 - 1/4 = 0$
	$f_{ub}/f_u = 1,95$
	$1 = 1$
$f_u$	4100 Kg/cm <sup>2</sup>
$F_{trd} = \frac{\alpha \cdot 2,5 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{m2}} = 0,00 \text{ Kg}$	
$F_{vrb} = 1,5 \cdot F = 4875 \text{ Kg} < F_{vrd}; \text{OK!}$	

3.- RESISTENCIA DE LA SECCIÓN NETA DE LA CHAPA	
$A_{neta}$	Sección neta de la chapa en la zona del agujero = $(2e - d_0) \cdot t = 94$
$F_{urd} = \frac{0,9 \cdot A_{neta} \cdot f_u}{\gamma_{m2}} = 277488 \text{ Kg}$	
$F_{vrb} = 1,5 \cdot F = 4875 \text{ Kg} < F_{vrd}; \text{OK!}$	



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

Cubrición PISTA POLIDEPORTIVA en VIANA, Navarra

PLANOS

Alberto Aguirre Palomino

José Vicente Valdenebro García

Pamplona, 19 de Febrero de 2015

## 2. PLANOS

Los planos constituyen la especificación gráfica del proyecto. Si se trata de un proyecto constructivo, los planos deben contener, junto al pliego de condiciones técnicas, toda la información necesaria para la construcción, instalación o montaje. Si se trata de un proyecto de legalización, solamente será necesaria la documentación gráfica exigida por la normativa aplicable o por el organismo que se va a presentar.

Los planos deben describir todo aquello que se exprese mejor por medio de la imagen. Deben recoger toda la información relativa a la forma y tamaño de los objetos, junto con algunas otras informaciones, relativas a los materiales, procesos de fabricación, montaje, control y verificación, que se puedan expresar brevemente, mediante anotaciones escritas, en el cuerpo del mismo plano, en la lista de componentes o en los cajetines.

La importancia de los planos radica en el poder de captación de las imágenes. Cuando alguien consulta un proyecto, lo primero que mira son los planos, pues espera a partir de ellos, hacerse una idea rápida del contenido. El análisis de un plano, revela rápidamente las virtudes o defectos de una solución, y también el grado de satisfacción de un cliente.

El desarrollo de los planos, suele ir paralelo al del proyecto. Las ideas básicas, se desarrollan sobre bocetos o croquis de carácter general, que más tarde se transformarán en planos perfectamente delineados y acotados, a medida que se vayan resolviendo las dudas o indeterminaciones relativas a la función, la resistencia, la estética o cualquier otro factor.

Aunque al documento nº 2 del proyecto se le suele denominar planos, este puede contener tanto, planos, esquemas como diagramas, pero no conviene olvidar las características propias de cada tipo de representación a la hora de su utilización. En este punto, conviene tener en cuenta la diferencia entre plano, croquis y esquema:

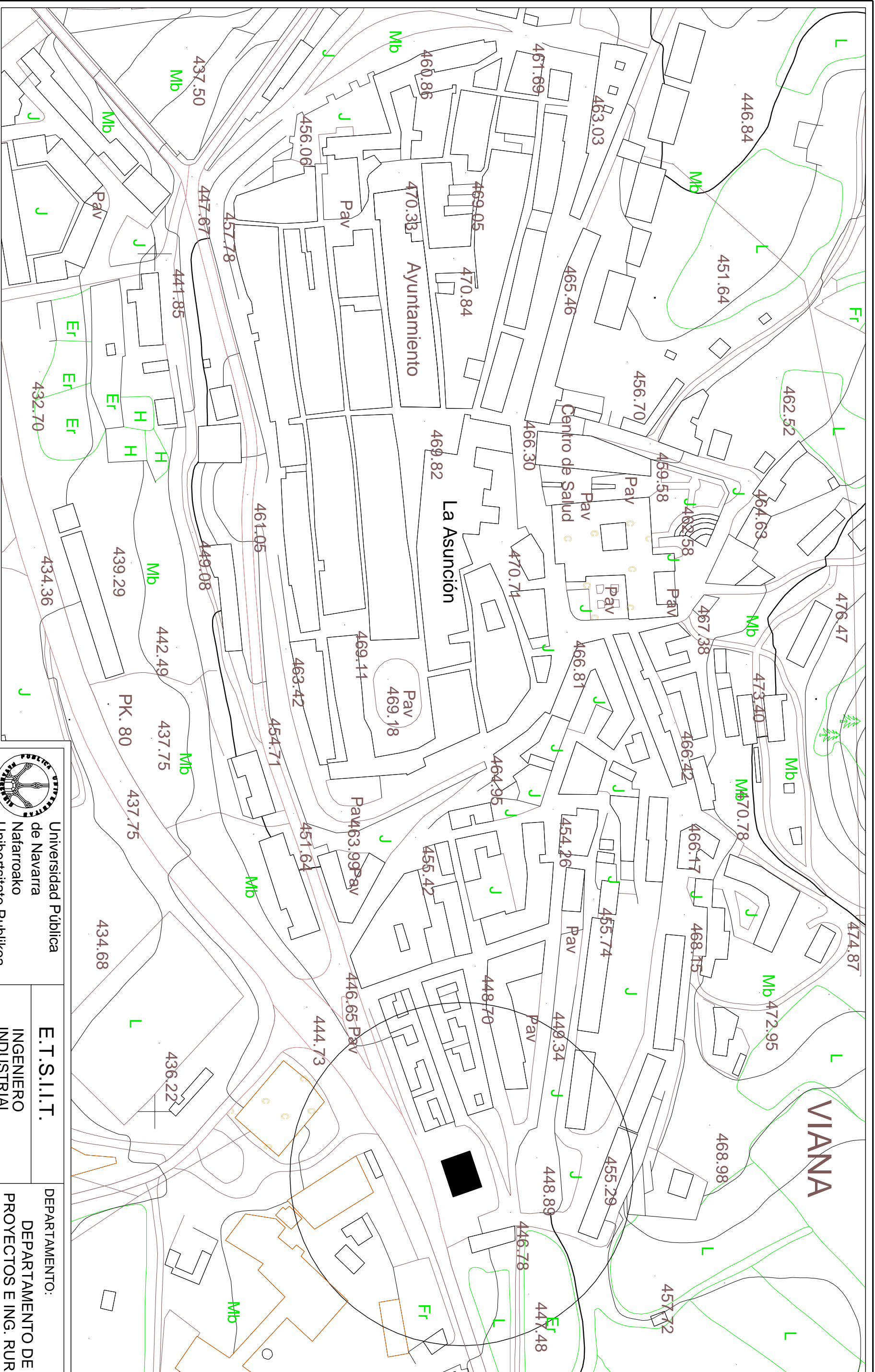
- Por definición, un *plano* corresponde siempre con la representación gráfica a escala de un objeto real. Por tanto, en un plano siempre se debe consignar la escala.
- Un *esquema* corresponde con la representación gráfica de un objeto real por medio de símbolos o simplificaciones, que permitan comprender de manera más rápida detalles relativos a la función, el montaje o la utilización del mismo. En los esquemas, no procede la consignación de escala.
- Un *diagrama* corresponde, casi siempre, con la representación gráfica de un proceso, magnitud, función o propiedad no necesariamente vinculada a un objeto real. En un diagrama, tampoco procede la indicación de escala.

Tradicionalmente, se considera a los planos junto al pliego de condiciones, como los documentos contractuales del proyecto, pues pasan a formar parte del contrato de ejecución, entre la propiedad y el contratista. Por ello, si el proyecto es de carácter constructivo, los planos junto con el pliego de condiciones, deben contener todos los detalles, para que pueda llevarse a cabo el proyecto sin consulta alguna, al autor del mismo. Por ser documento contractual, la confección de los planos deberá realizarse con sumo cuidado, pues un error en una simple cota, puede tener consecuencias incalculables desde el punto de vista económico y de la seguridad. Por ello, tan importante es la correcta delineación, como la verificación o supervisión de los planos.



## **LISTADO de PLANOS:**

- P01\_ Plano de SITUACIÓN I.
- P02\_ Plano de SITUACIÓN II.
- P03\_ Plano de EMPLAZAMIENTO.
- P04\_ Plano de REPLANTEO.
- P05\_ Plano de CIMENTACIÓN.
- P06\_ Plano de CHAPAS de ANCLAJE.
- P07\_ Plano de DISTRIBUCIÓN I.
- P08\_ Plano de DISTRIBUCIÓN II.
- P09\_ Plano de DISTRIBUCIÓN III.
- P10\_ Plano de PLANTA (Voleibol).
- P11\_ Plano de PLANTA (Futbol Sala).
- P12\_ Plano de PLANTA (Baloncesto).
- P13\_ Plano de PLANTA (MiniBasket).
- P14\_ Plano de ESTRUCTURA I.
- P15\_ Plano de ESTRUCTURA II.
- P16\_ Plano de MONTAJE I.
- P17\_ Plano de MONTAJE II.
- P18\_ Plano de MONTAJE III.
- P19\_ Plano de MONTAJE IV.
- P20\_ Anexo: INFOGRAFÍA I.
- P21\_ Anexo: INFOGRAFÍA II.
- P22\_ Anexo: INFOGRAFÍA III.



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERO  
INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

REALIZADO:

Aguirre Palomino, Alberto

FIRMA:

PLANO:

SITUACIÓN I

FECHA:

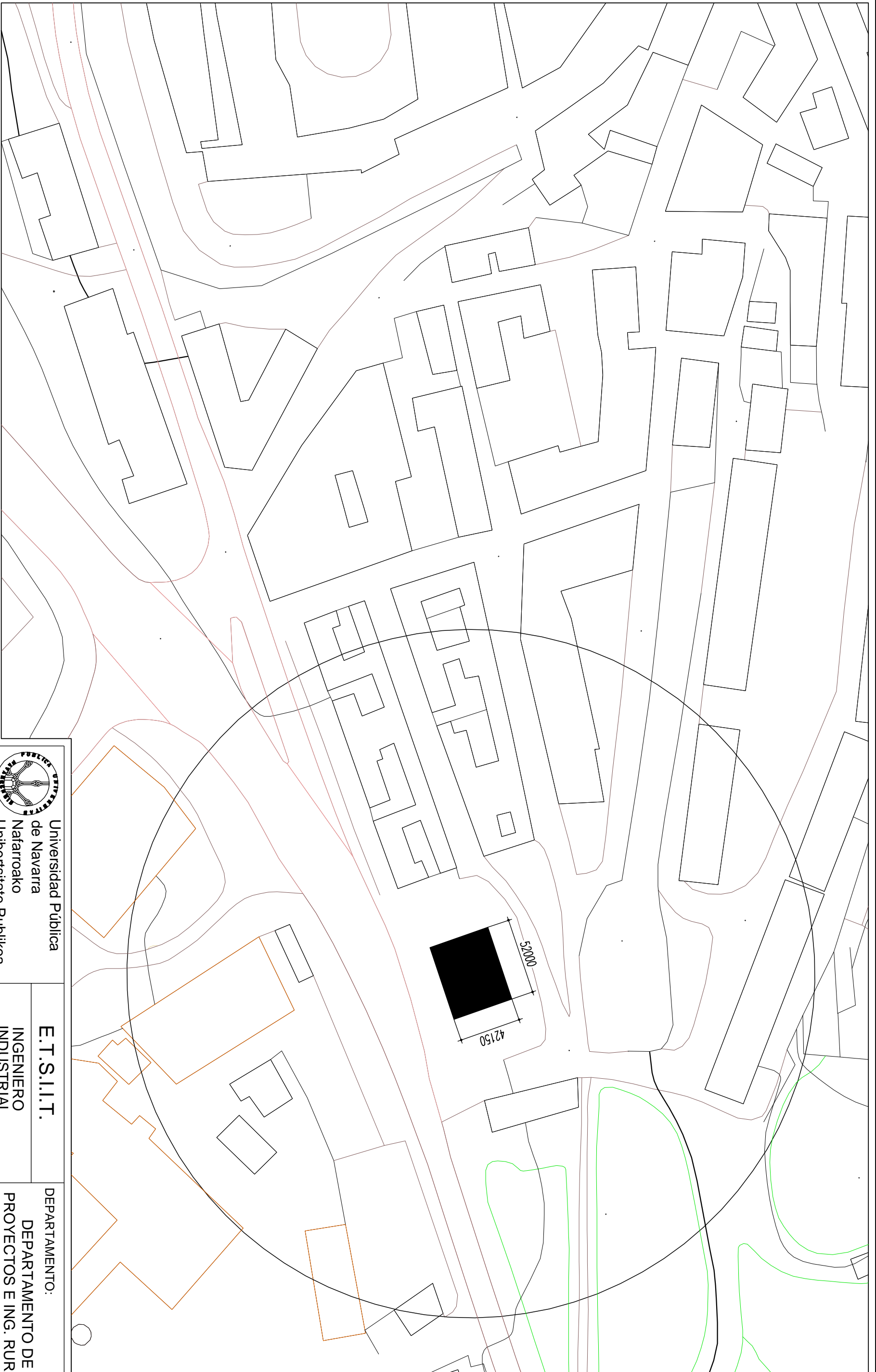
02-2015

ESCALA:

1:5000

N PLANO:

P-01



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERO  
INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

REALIZADO:  
Aguirre Palomino, Alberto

FIRMA:

PLANO:

SITUACIÓN II

FECHA:

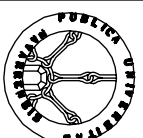
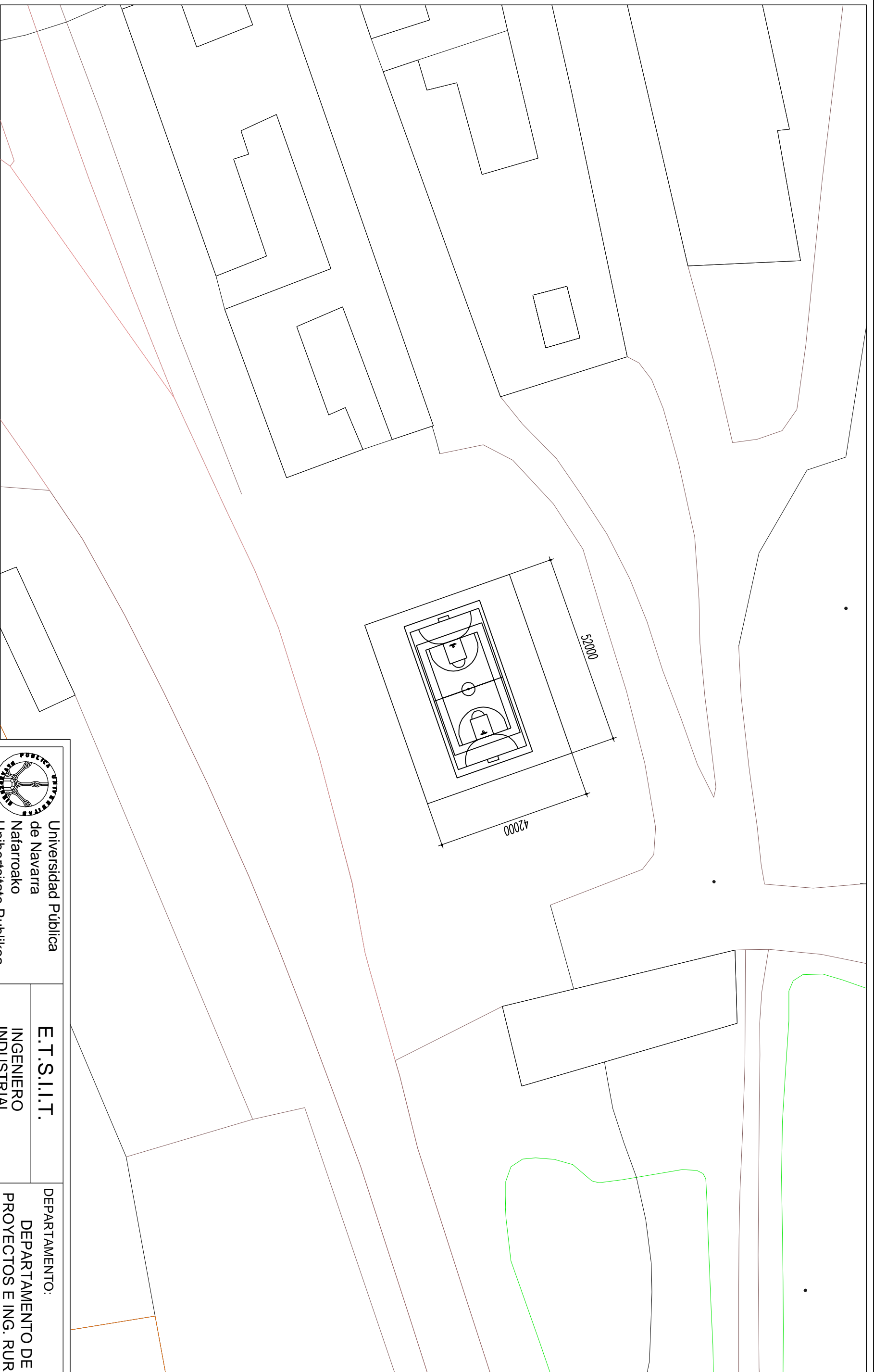
02-2015

ESCALA:

1:2500

N PLANO:

P-02



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

INGENIERO  
INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

REALIZADO:

Aguirre Palomino, Alberto

FIRMA:

PLANO:

EMPLAZAMIENTO

FECHA:

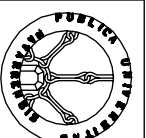
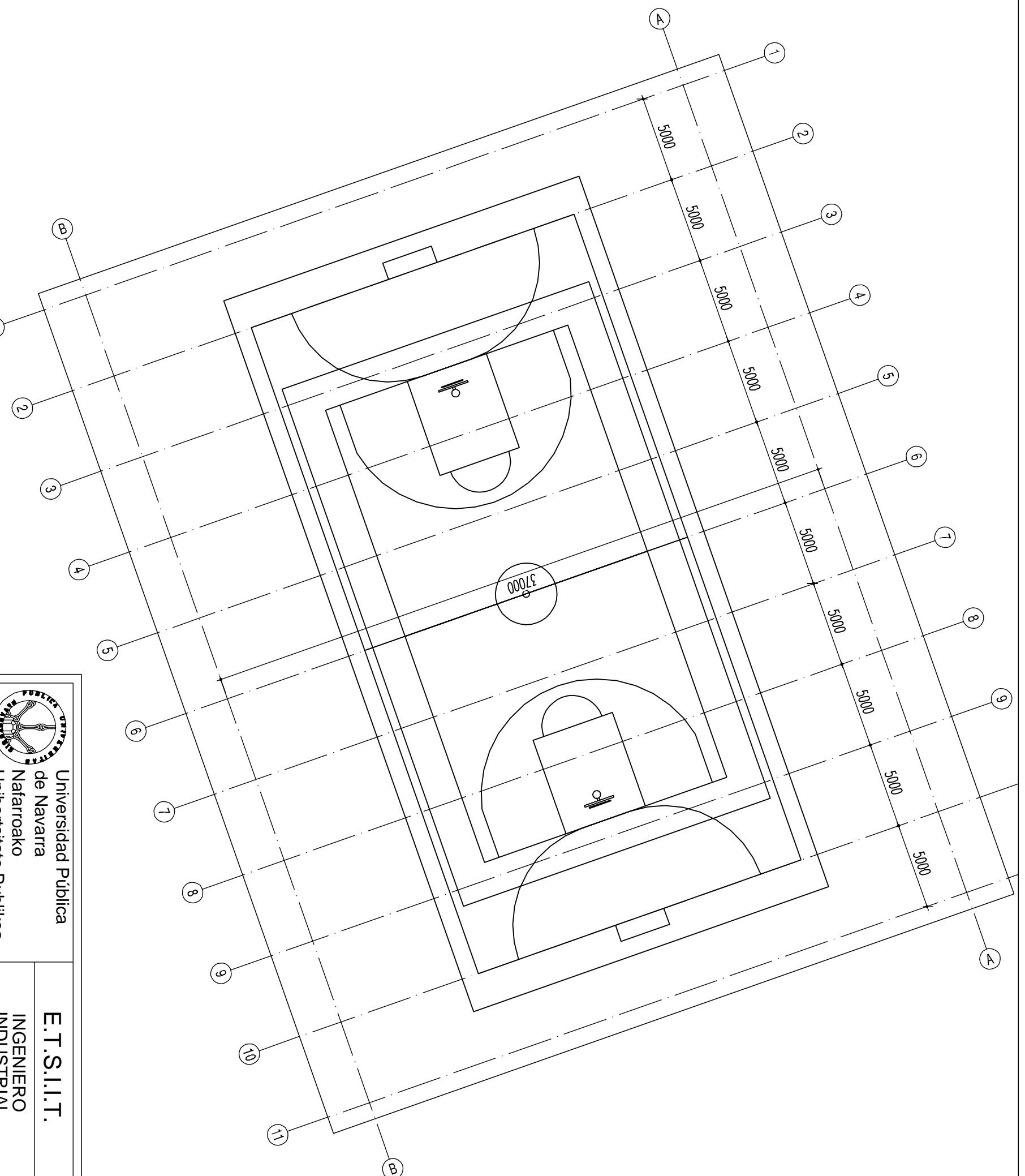
02-2015

ESCALA:

1:1000

N PLANO:

P-03



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERO  
INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

REALIZADO:

**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

Aguirre Palomino, Alberto

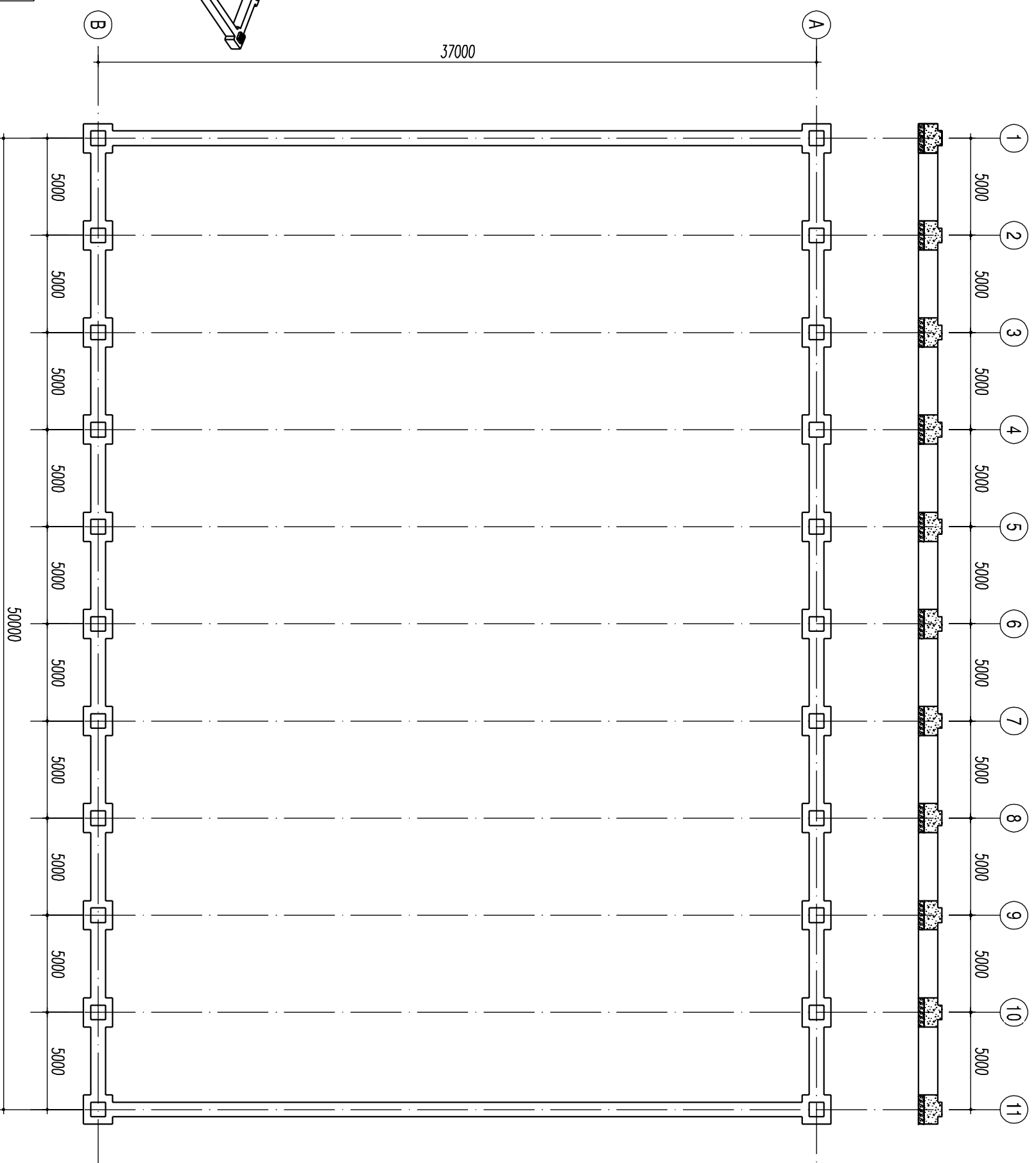
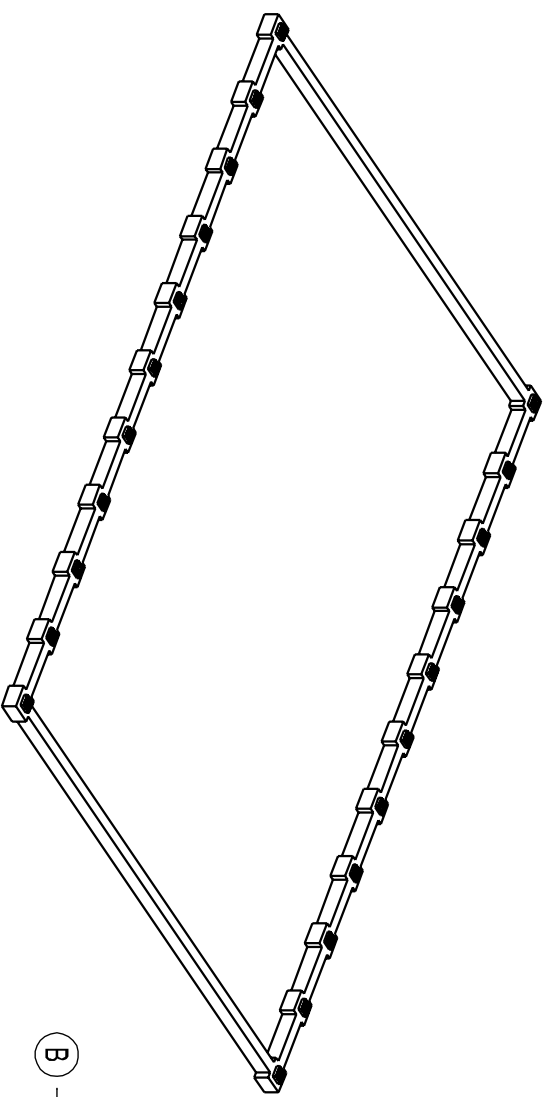
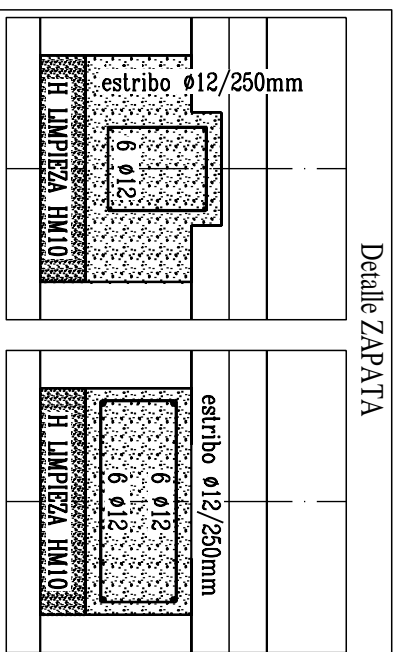
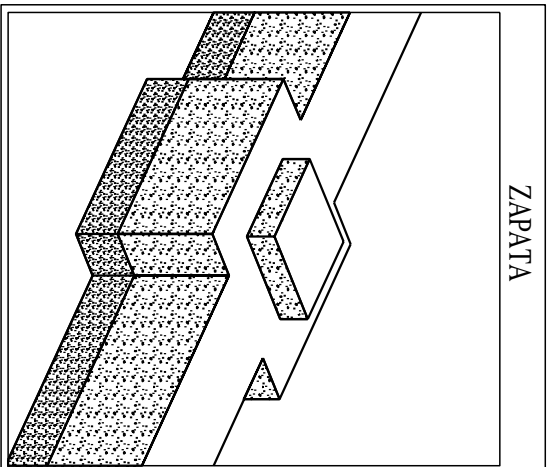
FIRMA:

PLANO:

REPLANTEO

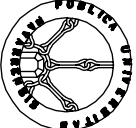
FECHA:	ESCALA:	N PLANO:
02-2015	1:250	P-04



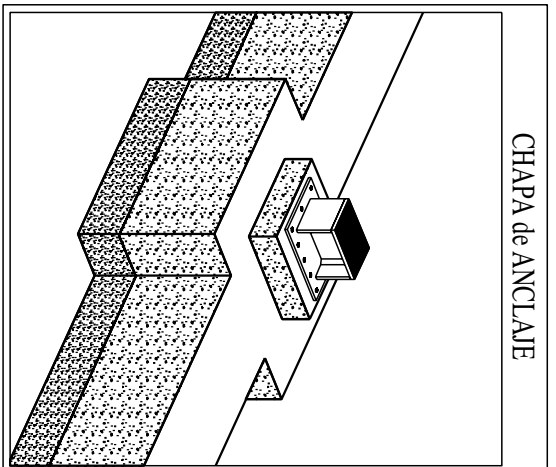


Cuadro especificaciones del HORMIGÓN según EHE

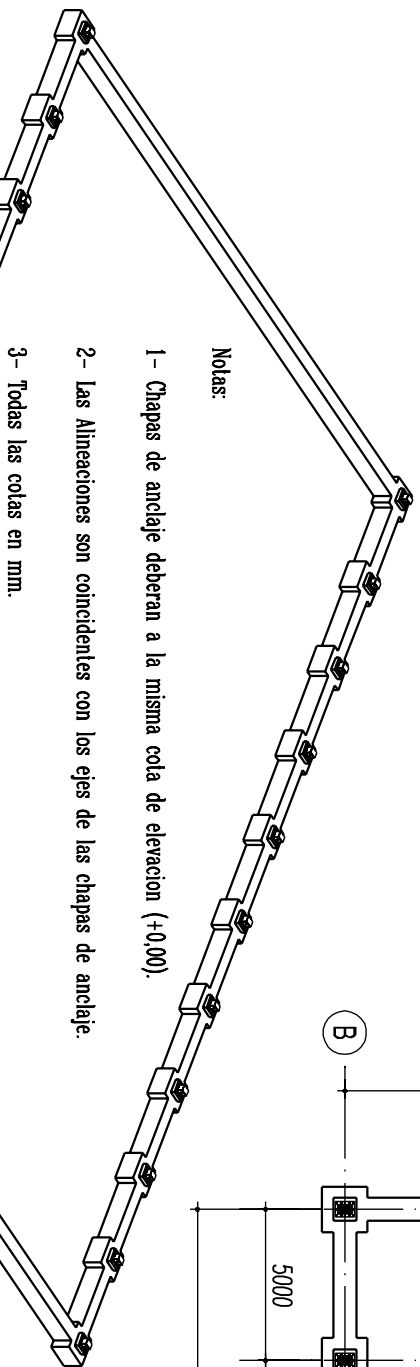
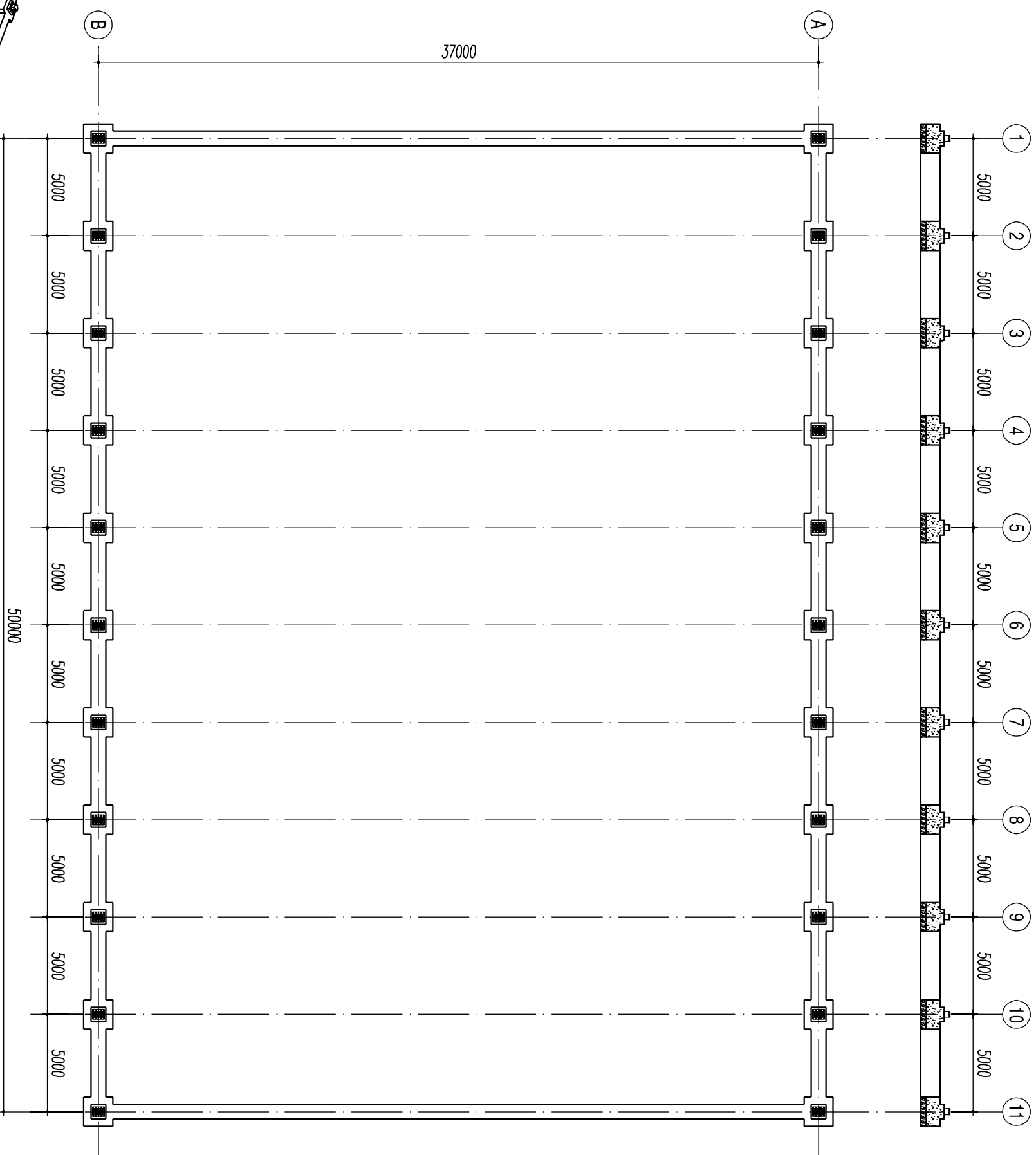
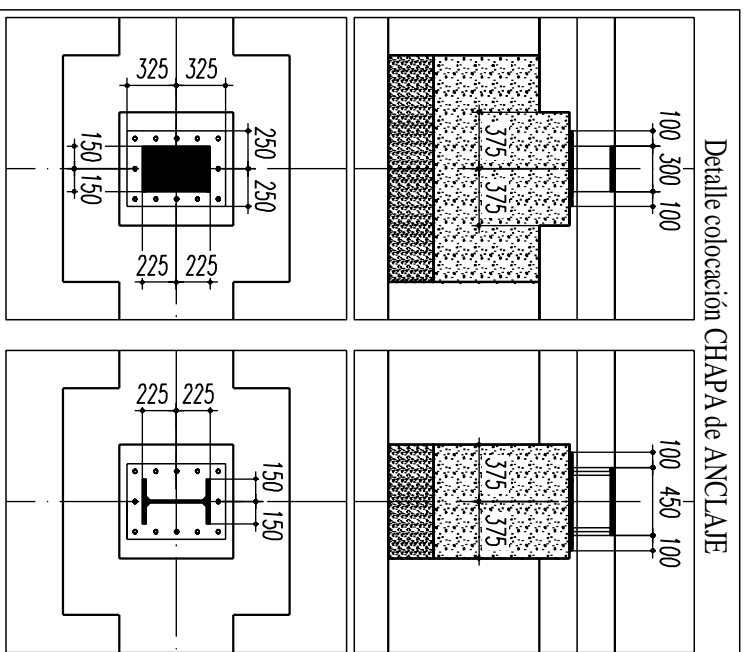
HORMIGÓN		CRACTERÍSTICAS	
Tipo de cemento (Art. 26) según UNE 80301	CEM I 42,5-R	Cimentación	
Clase de árido (Art. 28.2)	Rodado	HA-25/P/20IIa	
Aditivos (Art. 29.1)	-	Resto de obra	
Consistencia (Art. 31.5)	Plástica	HA-25/P/20IIa	
Asiento Cono de Abrams (Art. 31.5)	6-9cm	Prefabricada	
Resistencia característica (Art. 39)	25 N/mm <sup>2</sup>	HA-25/P/20IIa	
Compactación (Art. 71.5.2)	Vibrado	Prefabricada	
Clase de exposición (Art. 8.2.2)	Normal, Humedad alta	HA-25/P/20IIa	
Tipo de ambiente (Tabla 8.2.2 y 8.2.3)	Ila	Igual en toda la obra	
Recubrimiento mínimo armaduras (Tabla 37.2.4)	50mm	B-500S	

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	<b>E.T.S.I.I.T.</b> INGENIERO INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	REALIZADO: Aguirre Palomino, Alberto
PLANO: CIMENTACION	FECHA: 02-2015	ESCALA: 1:50	N PLANO: P-05



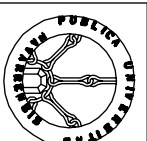


CHAPA de ANCLAJE



Notas:

- 1- Chapas de anclaje deberan a la misma cota de elevacion (+0,00).
- 2- Las Alineaciones son coincidentes con los ejes de las chapas de anclaje.
- 3- Todas las cotas en mm.



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERO  
INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

REALIZADO:

Aguirre Palomino, Alberto

FIRMA:

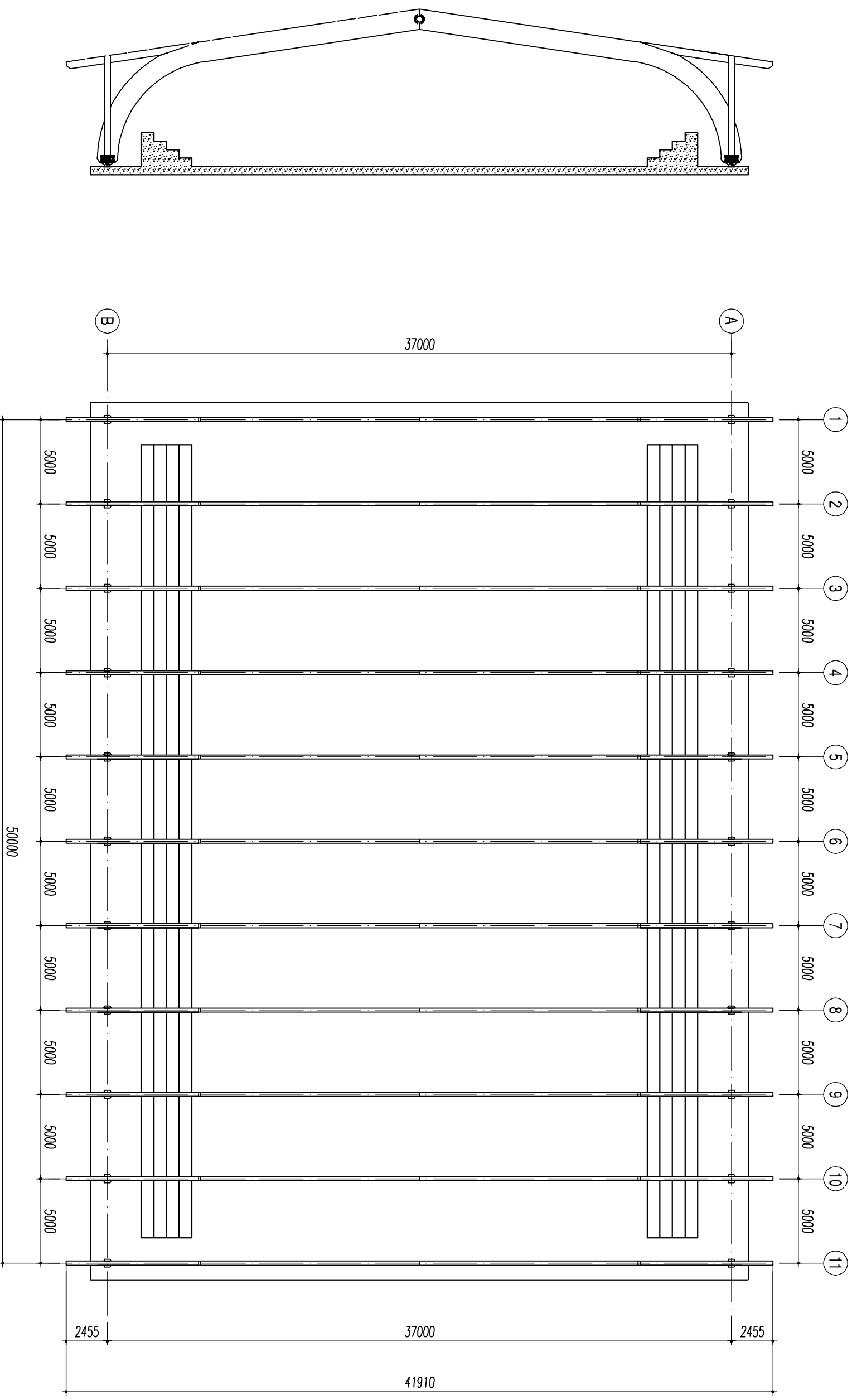
PLANO:

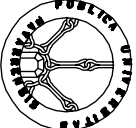
CHAPAS de ANCLAJE

FECHA:  
02-2015

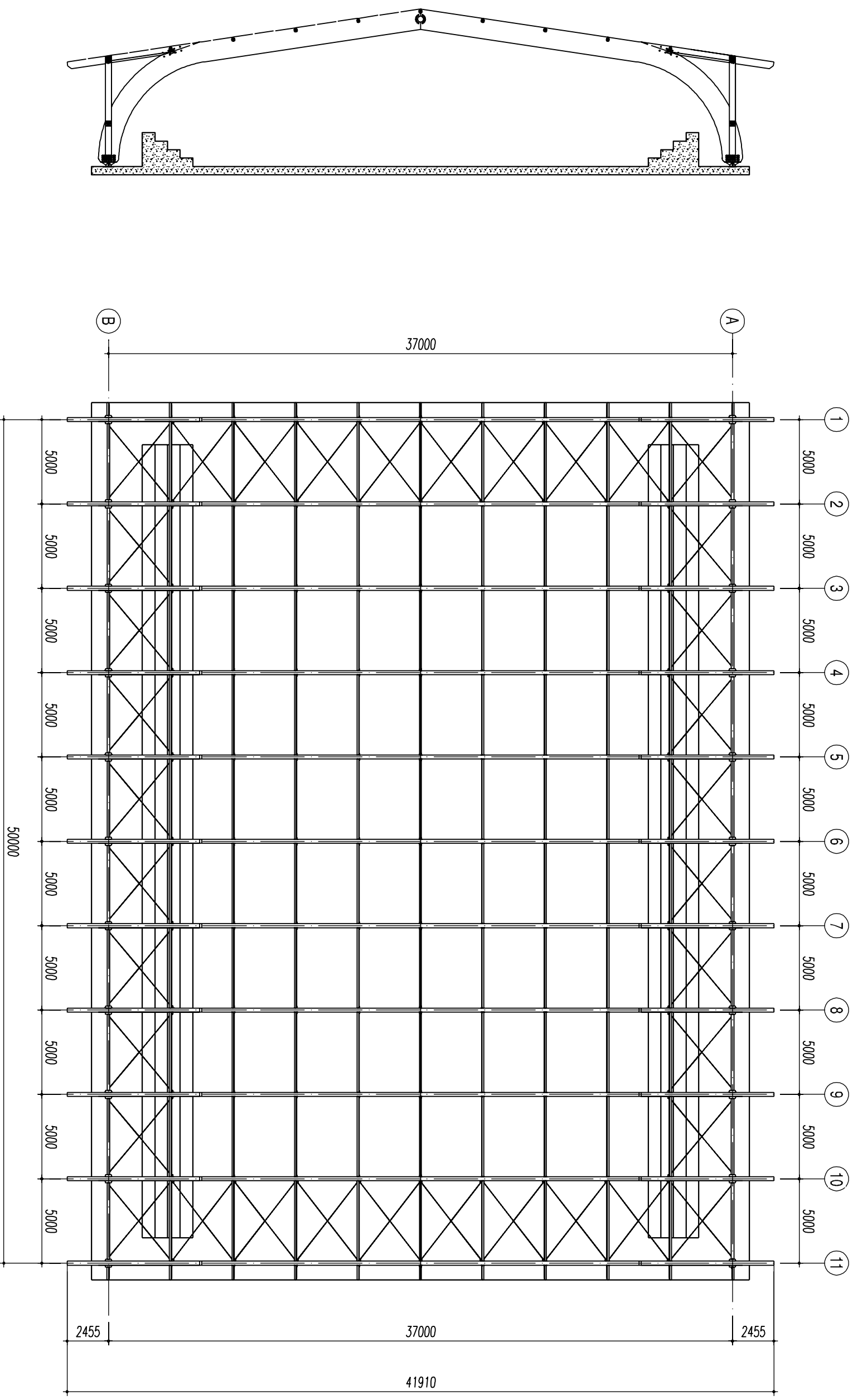
ESCALA:  
1:50  
1:250

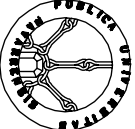
N PLANO:  
P-06



 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	<b>E.T.S.I.I.T.</b> INGENIERO INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL
	<b>Cubrición Pista Polideportiva en VIANA</b>	REALIZADO: Aguirre Palomino, Alberto

PROYECTO: <b>Cubrición Pista Polideportiva en VIANA</b>	PLANO: DISTRIBUCIÓN I	FECHA: 02-2015	ESCALA: 1:250	N PLANO: P-07
--	--------------------------	-------------------	------------------	------------------



  
 Universidad Pública  
 de Navarra  
 Nafarroako  
 Unibertsitate Publikoa

**E.T.S.I.I.T.**  
 INGENIERO  
 INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
 DEPARTAMENTO DE  
 PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

REALIZADO:

Aguirre Palomino, Alberto

FIRMA:

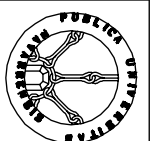
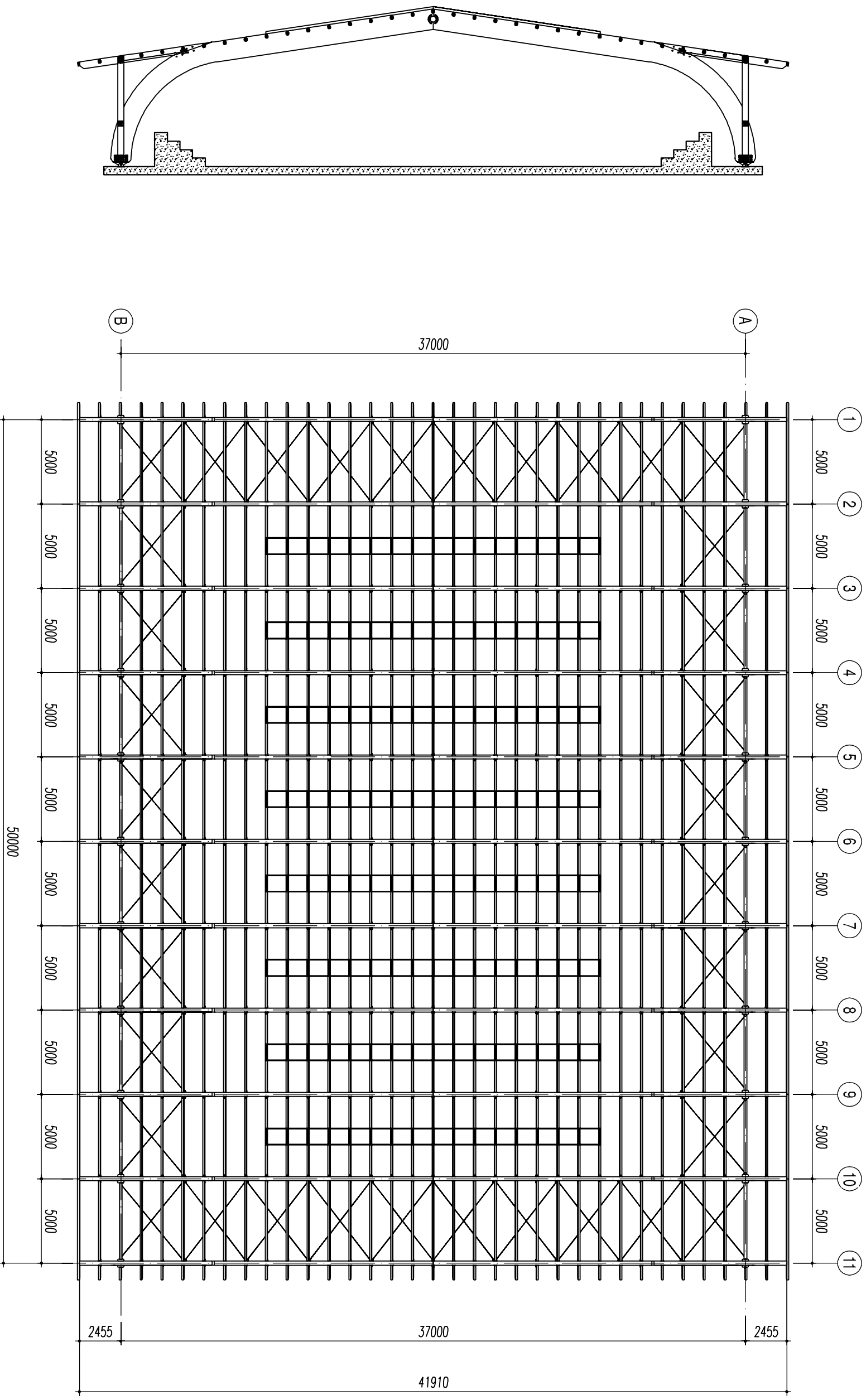
PLANO:

DISTRIBUCIÓN II

FECHA:  
02-2015

ESCALA:  
1:250

N PLANO:  
P-08



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERO  
INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

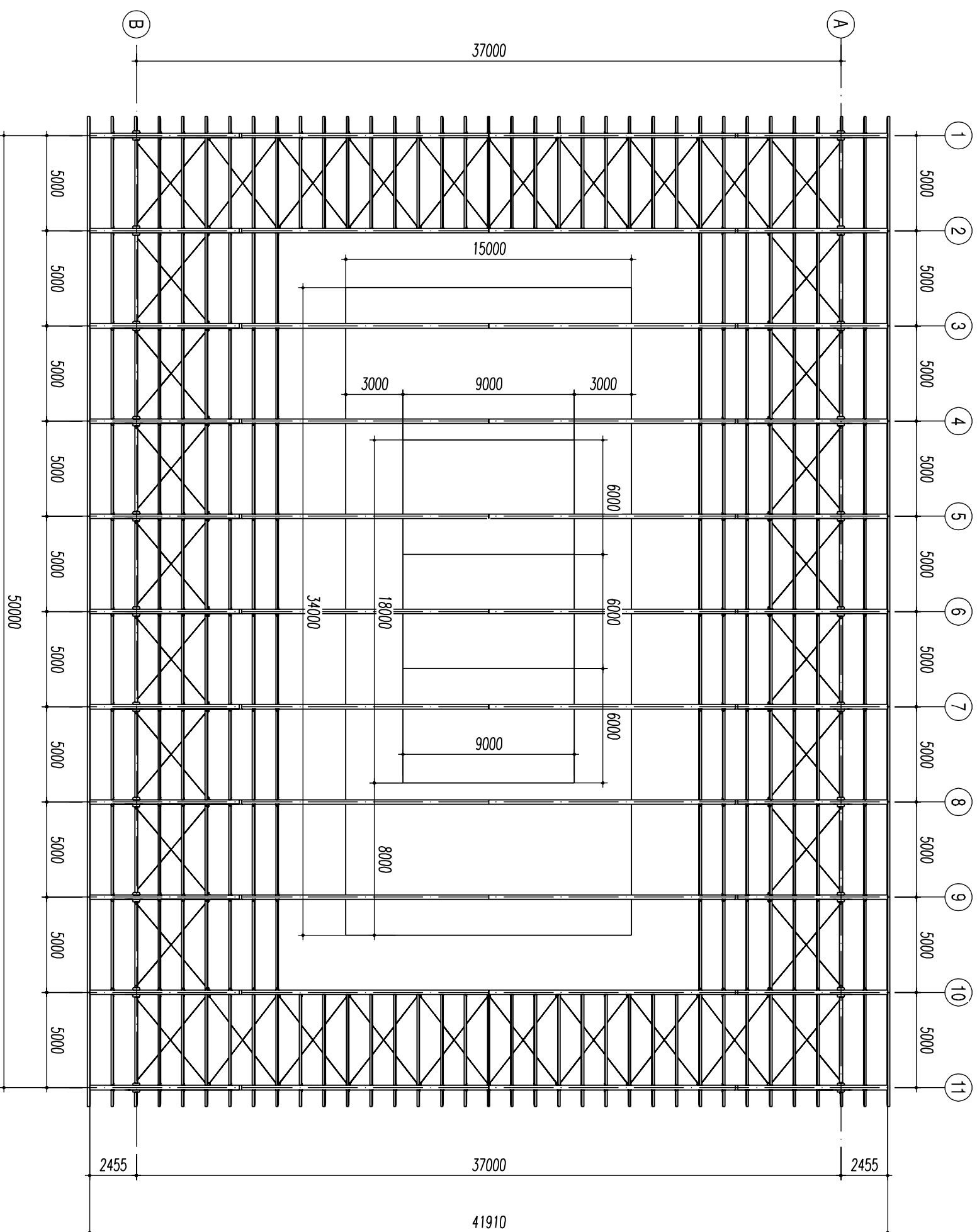
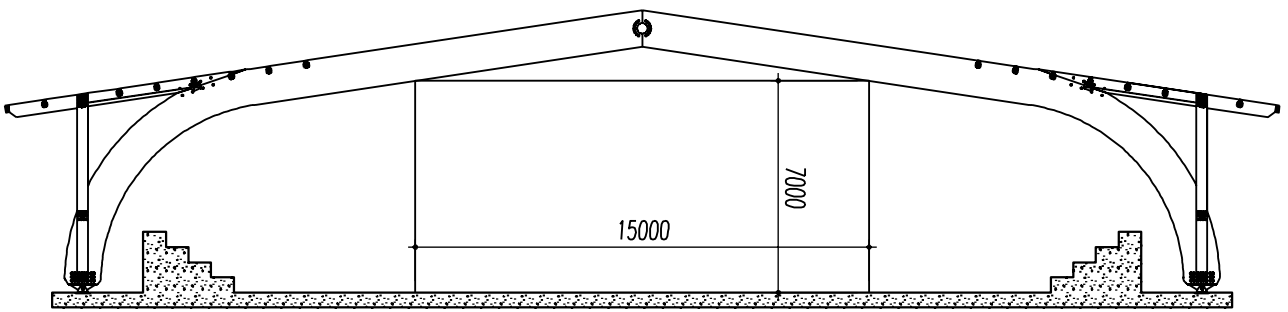
**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

REALIZADO:

Aguirre Palomino, Alberto

FIRMA:

PLANO:	DISTRIBUCIÓN III		
FECHA:	02-2015	ESCALA:	1:250
N PLANO:	P-09		



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERO  
INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

REALIZADO:

Aguirre Palomino, Alberto

FIRMA:

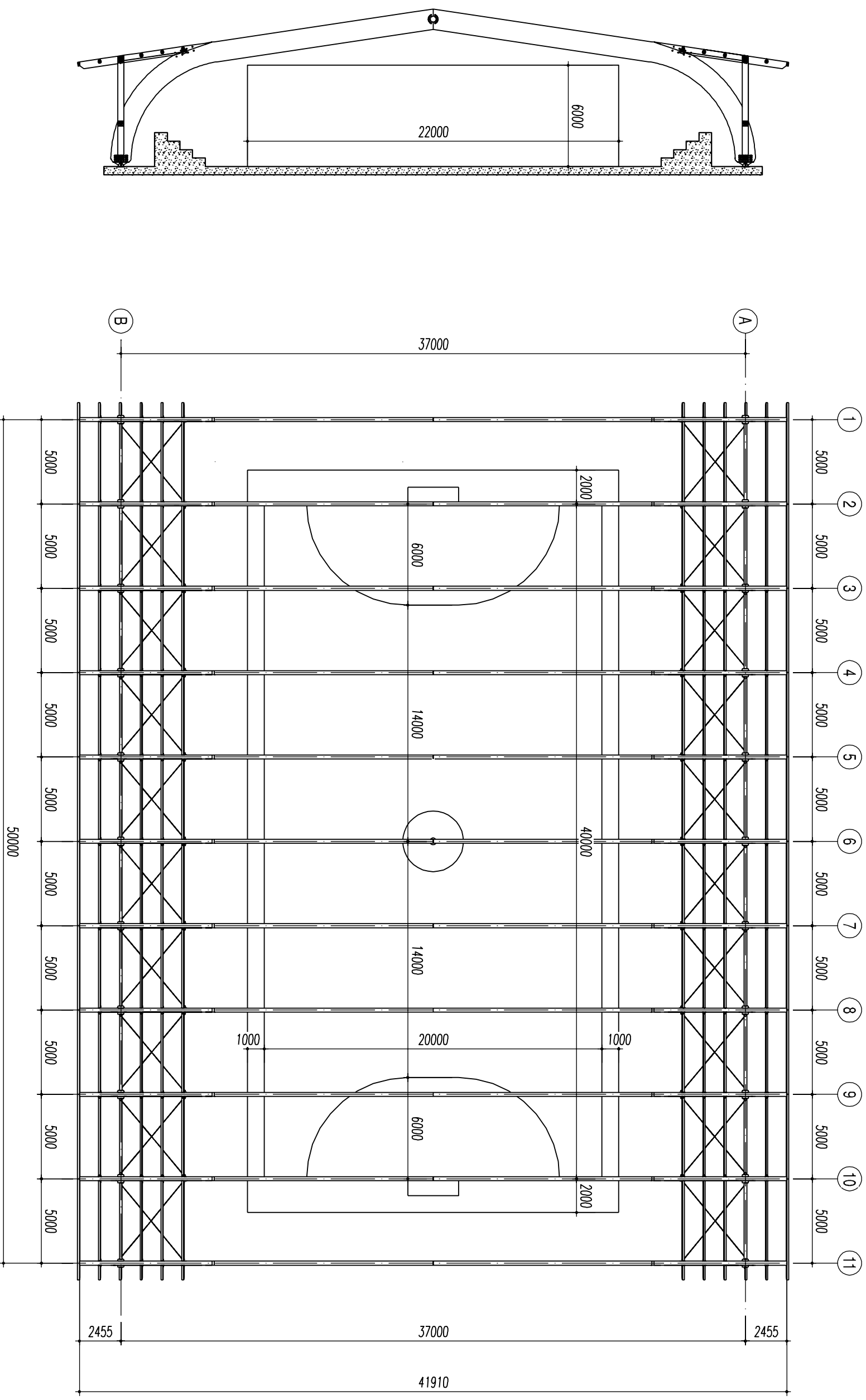
PLANO:

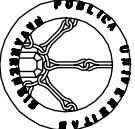
PLANTA (Voleibol)

FECHA:  
02-2015

ESCALA:  
1:250

N PLANO:  
P-10



  
 Universidad Pública  
 de Navarra  
 Nafarroako  
 Unibertsitate Publikoa

**E.T.S.I.I.T.**  
 INGENIERO  
 INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
 DEPARTAMENTO DE  
 PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

REALIZADO:

Aguirre Palomino, Alberto

FIRMA:

PLANO:

PLANTA (Fútbol Sala)

FECHA:

02-2015

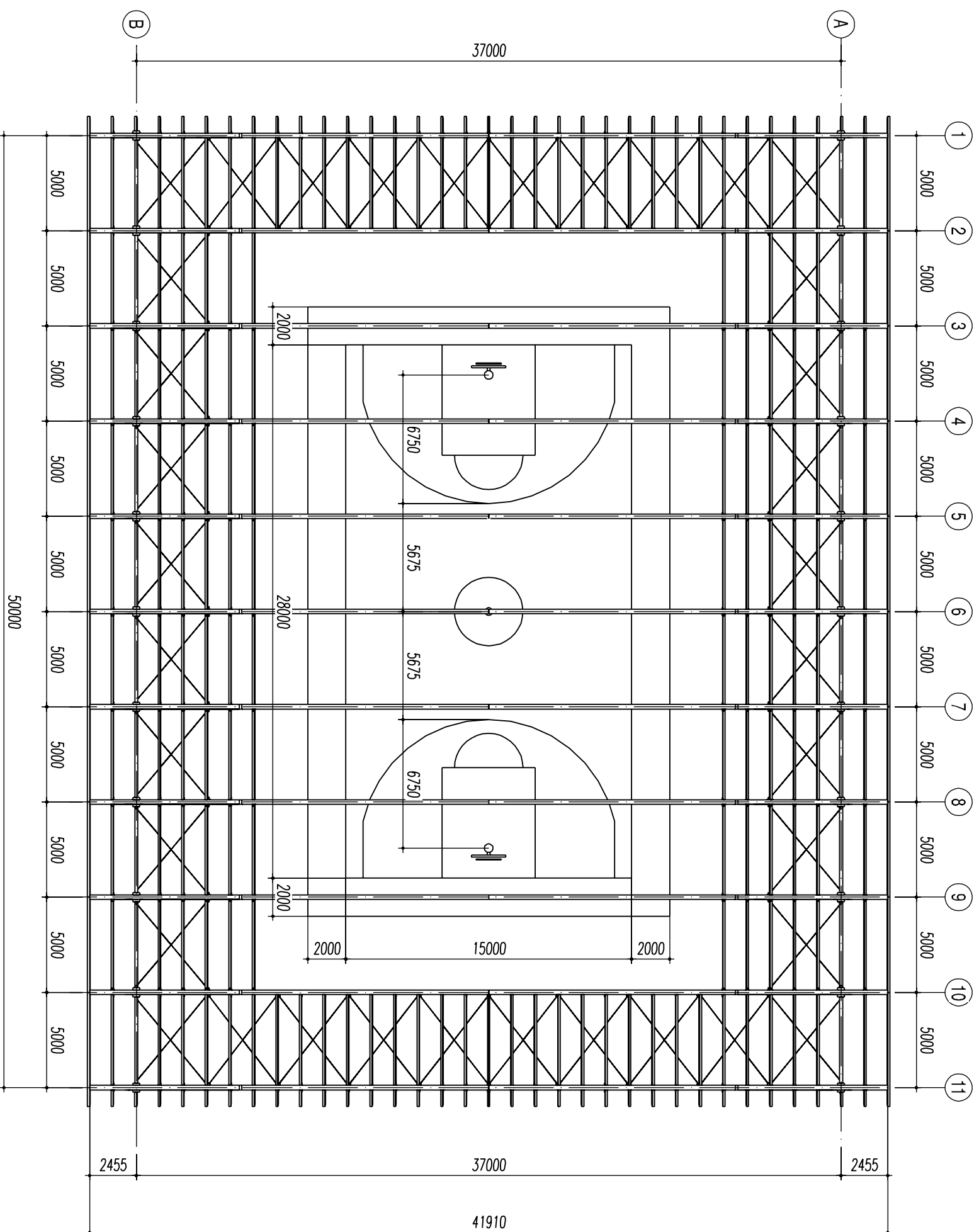
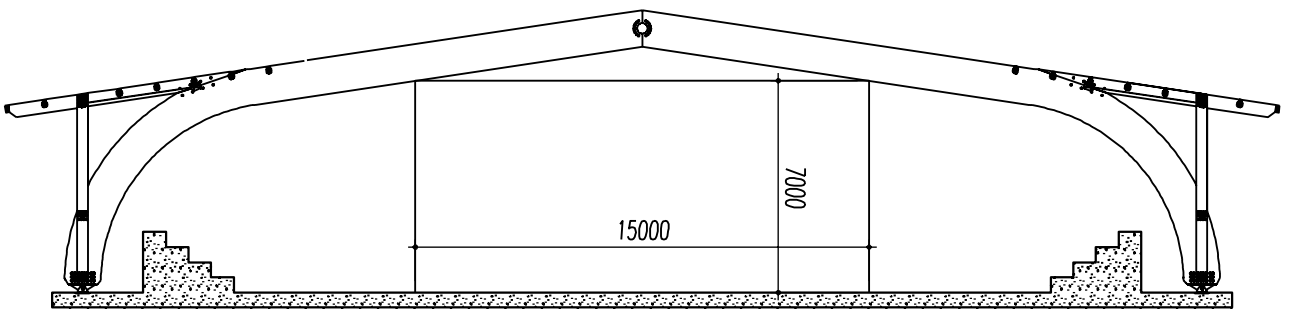
ESCALA:

1:250

N PLANO:

P-11





Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERO  
INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

REALIZADO:

Aguirre Palomino, Alberto

FIRMA:

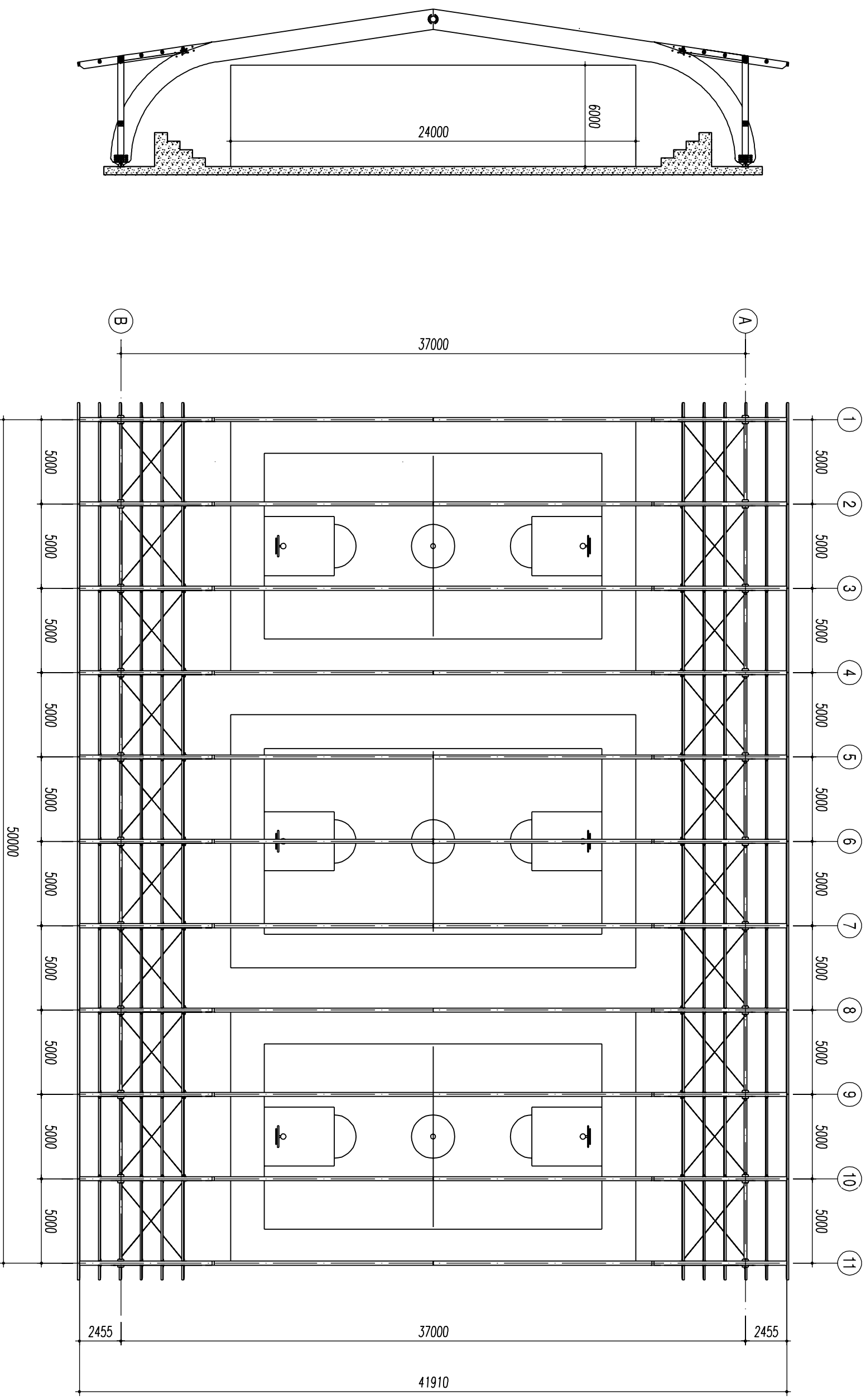
PLANO:

PLANTA (Baloncesto)

FECHA:  
02-2015

ESCALA:  
1:250

N PLANO:  
P-12



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERO  
INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

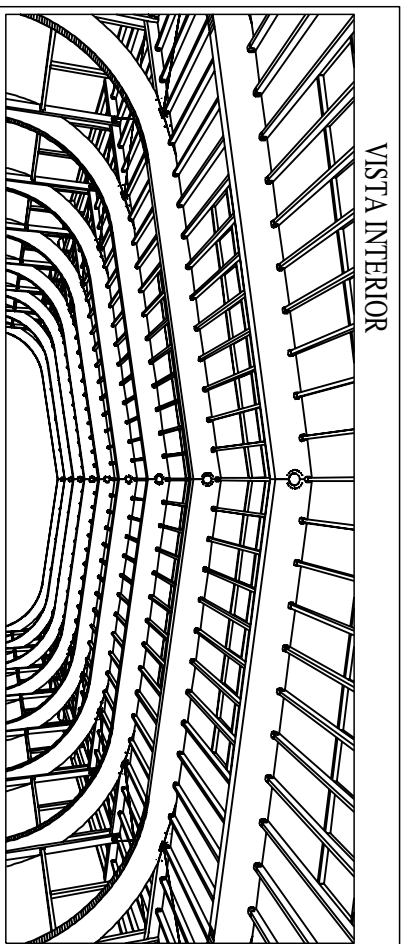
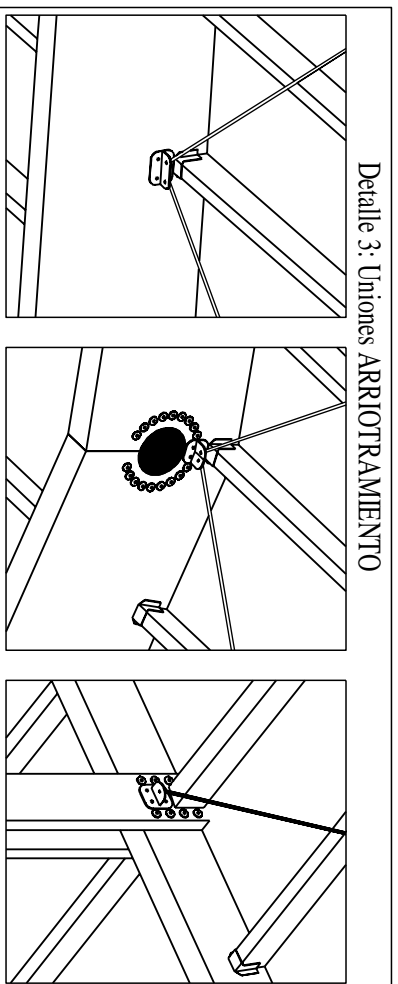
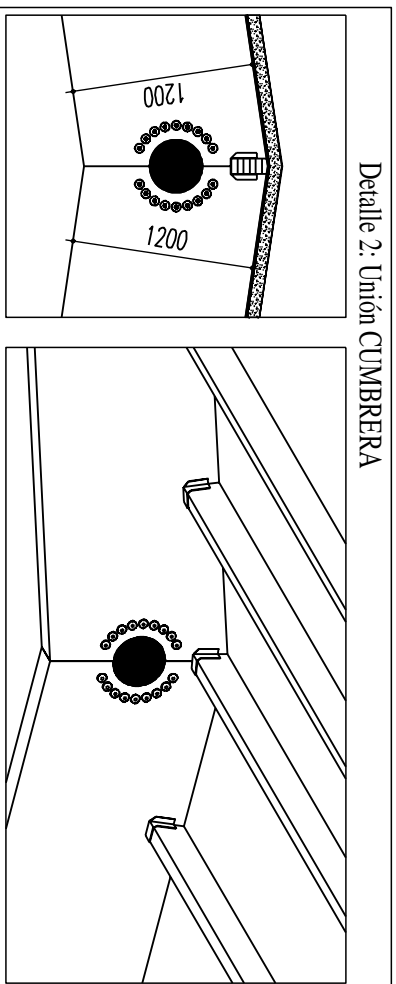
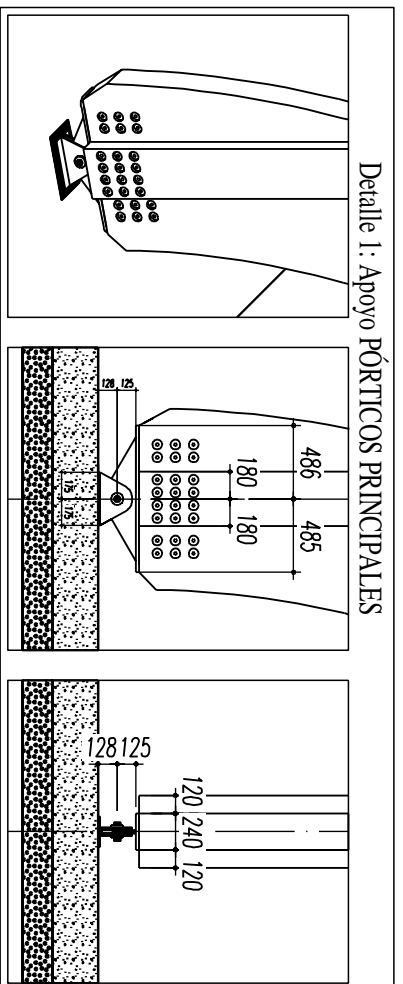
**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

REALIZADO:

Aguirre Palomino, Alberto

FIRMA:

PLANO:	PLANTA (MiniBasket)		
FECHA:	02-2015	ESCALA:	1:250
N PLANO:	P-13		



Notas:

1- Todas las colas en mm.

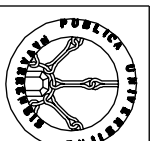
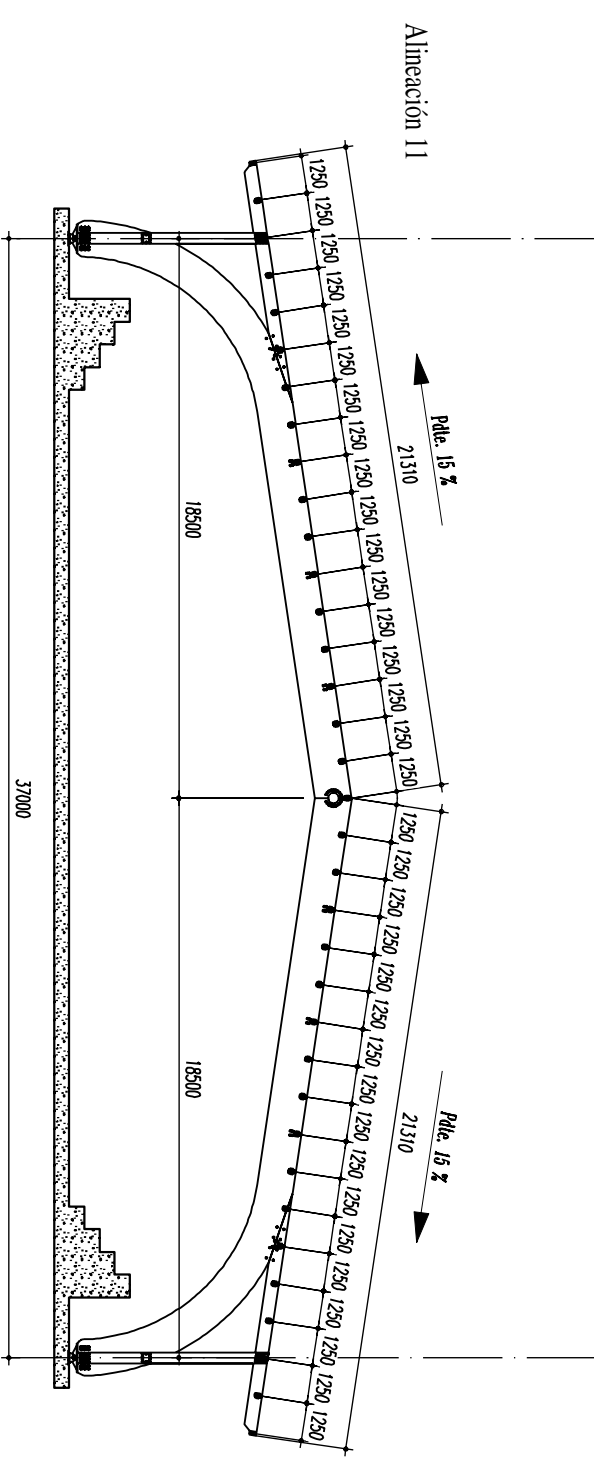
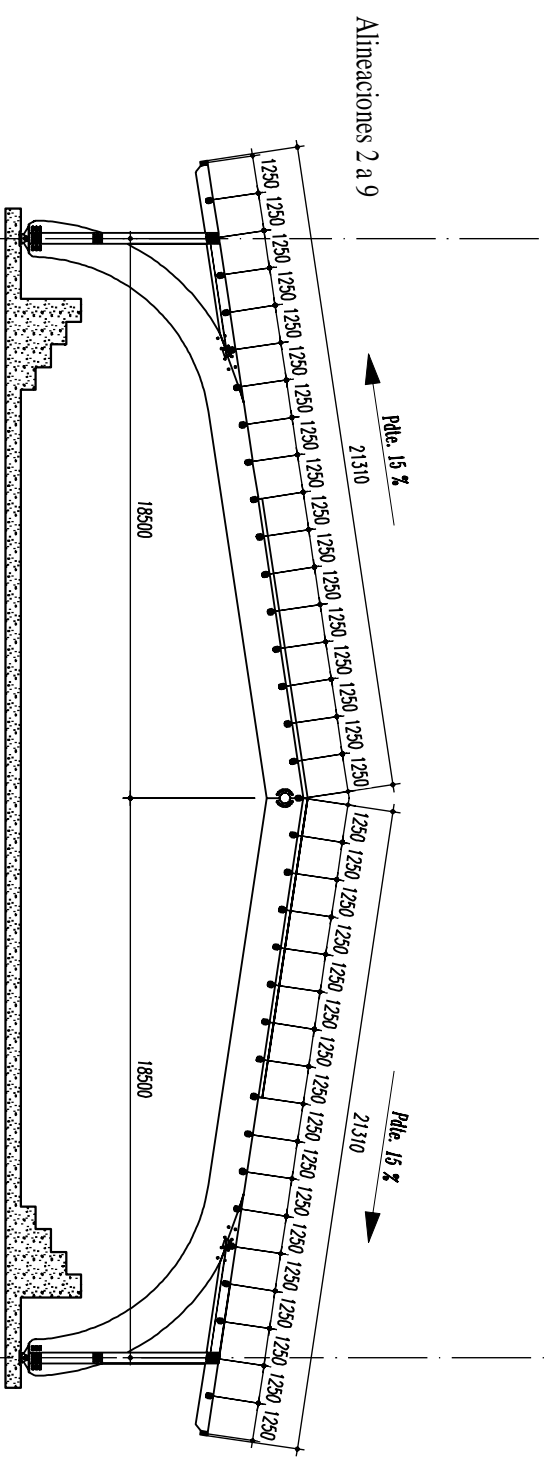
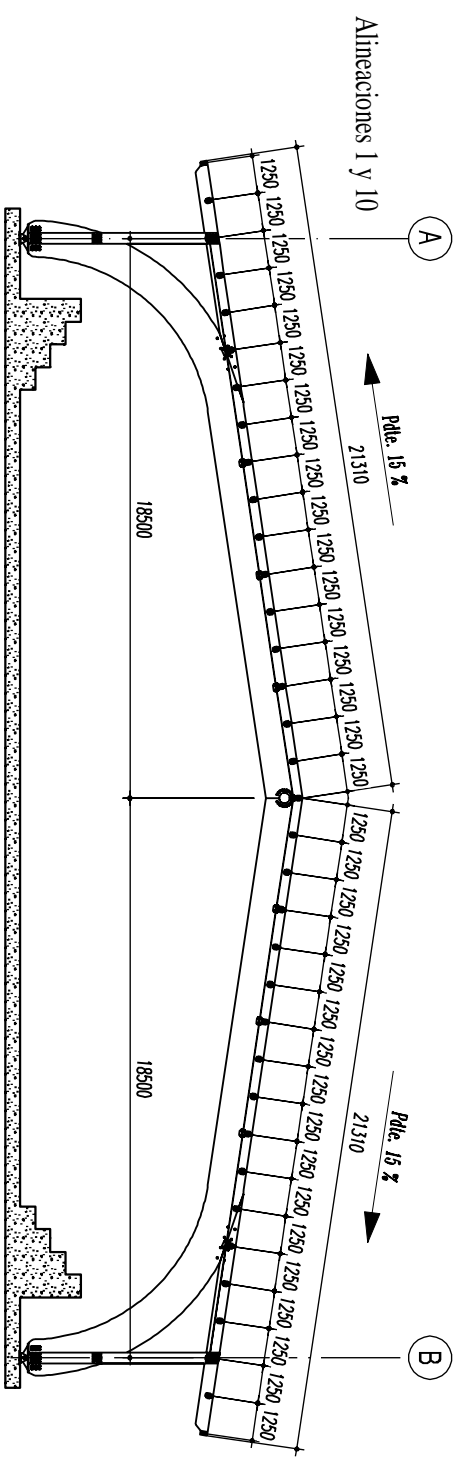
2- CLASE RESISTENTE elementos MADERA LAMINADA ENCOLADA (según UNE-EN 1194)

2.1- Estructura PRINCIPAL (Pórticos): Especie Picea Abies, categoría GI-20c

2.2- Estructura SECUNDARIA (Correas): Especie Picea Abies, categoría GI-24h

3- CALIDAD ACERO LAMINADO S275JR (según UNE-EN 10025), tratamiento de acabado GALVANIZADO en CALIENTE (según UNE-EN 1461).

4- TORNILLERÍA según DIN 931 (Tornillos), DIN 934 (Tuercas) y DIN 9021 (Arandelas).



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERO  
INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

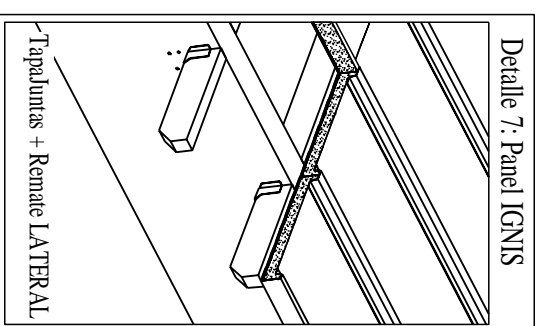
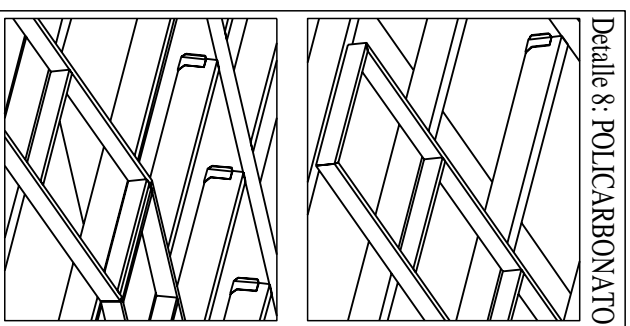
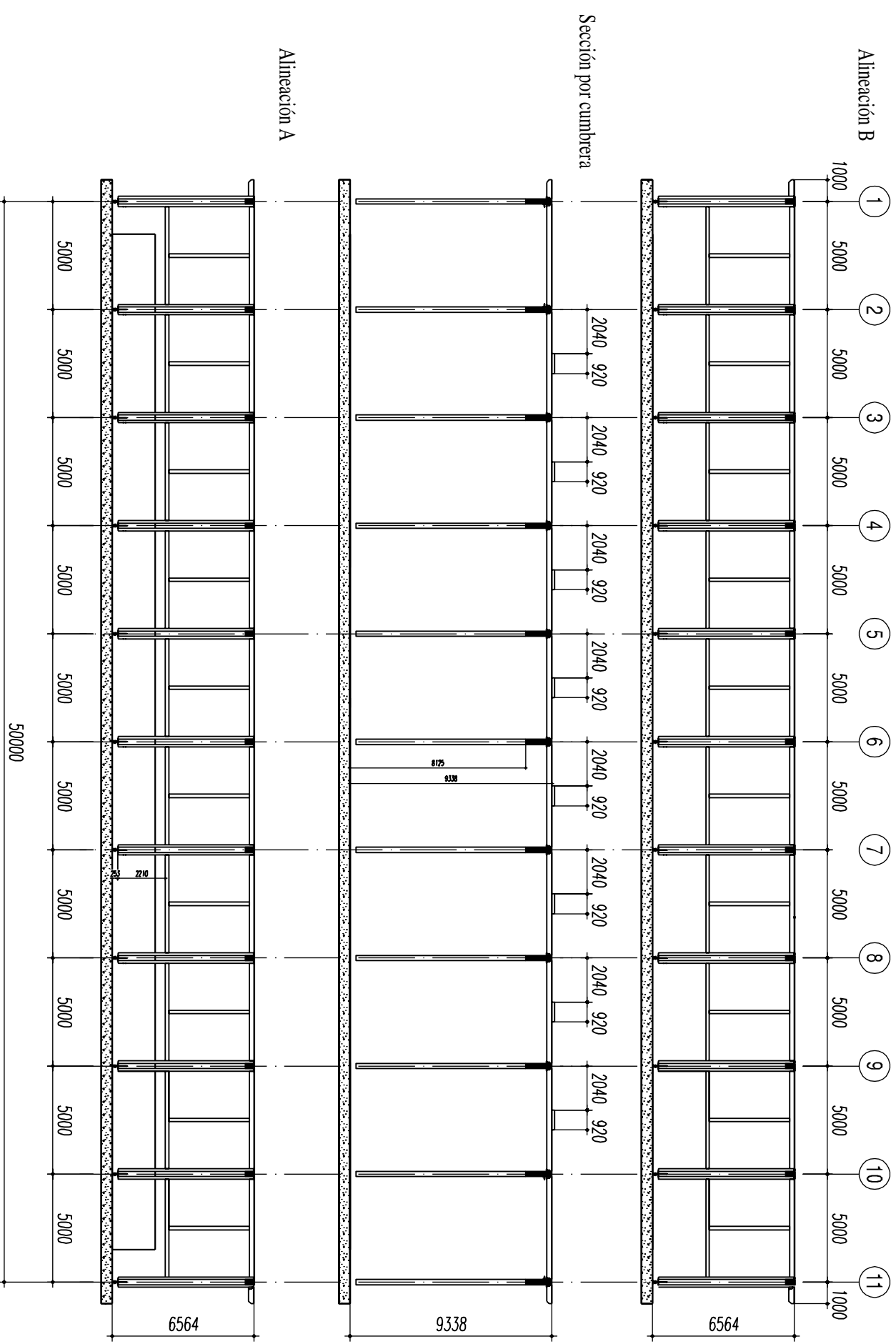
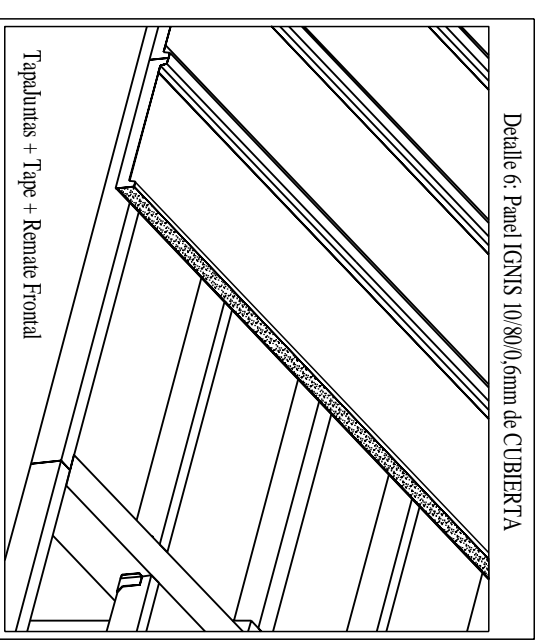
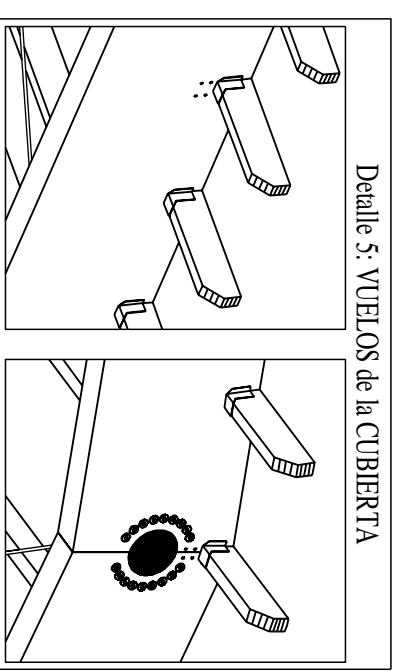
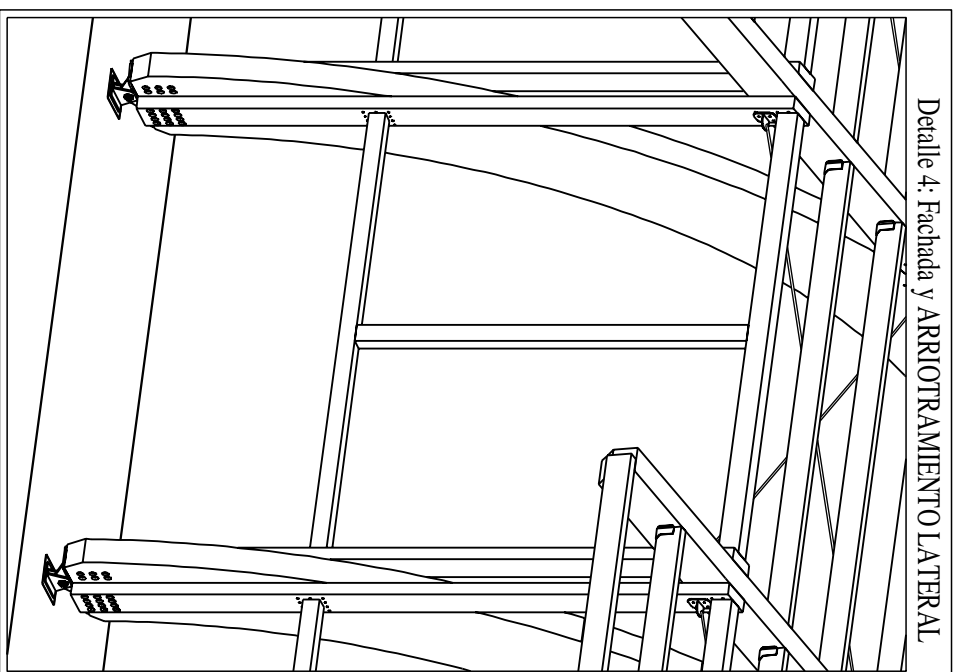
REALIZADO:

Aguirre Palomino, Alberto

PLANO:

ESTRUCTURAL I

FECHA:	02-2015	ESCALA:	1:50	N PLANO:	P-14
			1:250		



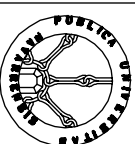
Notas:  
1 - Todas las colas en mm.

2 - CLASE RESISTENTE elementos MADERA LAMINADA ENCOLADA (según UNE-EN 1194)

2.1 - Estructura PRINCIPAL (Porticos): Especie Picea Abies, categoría CL-24h  
2.2 - Estructura SECUNDARIA (Correas): Especie Picea Abies, categoría CL-24h

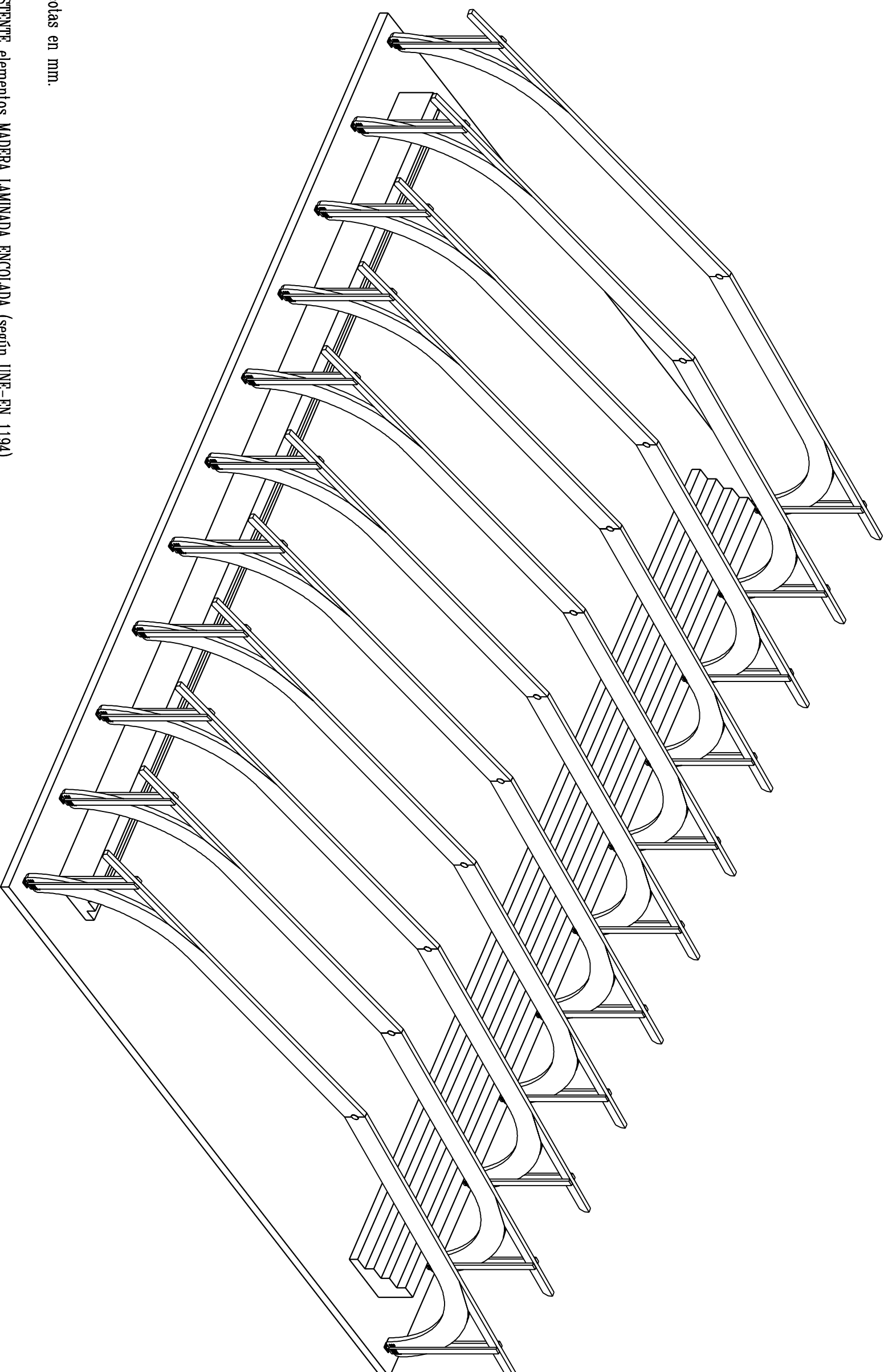
3 - CALIDAD ACERO LAMINADO S275JR (según UNE-EN 10025), tratamiento de acabado CALVANIZADO en CALIENTE (según UNE-EN 1461).

4 - TORNILLETA según DIN 931 (Tornillos), DIN 934 (Tuercas) y DIN 9021 (Arandelas).

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	<b>E.T.S.I.I.T.</b> INGENIERO INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL
	<b>Cubrición Pista Polideportiva en VIANA</b>	REALIZADO: Aguirre Palomino, Alberto

PROYECTO: <b>Cubrición Pista Polideportiva en VIANA</b>	PLANO: <b>ESTRUCTURA II</b>	
FECHA: 02-2015	ESCALA: 1:50	N PLANO: P-15





Notas:

1- Todas las colas en mm.

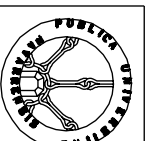
2- CLASE RESISTENTE elementos MADERA LAMINADA ENCOLADA (según UNE-EN 1194)

2.1- Estructura PRINCIPAL (Pórticos): Especie Picea Abies, Categoría GL-28c

2.2- Estructura SECUNDARIA (Correas): Especie Picea Abies, Categoría GL-24h

3- CALIDAD ACERO LAMINADO S275JR (según UNE-EN 10025), tratamiento GALVANIZADO en CALIENTE (según UNE-EN 1461).

4- TORNILLERA según DIN 931 (Tornillos), DIN 934 (Tuercas) y DIN 9021 (Arandelas).



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERO  
INDUSTRIAL

PROYECTO:

**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

REALIZADO:  
Aguirre Palomino, Alberto

FIRMA:

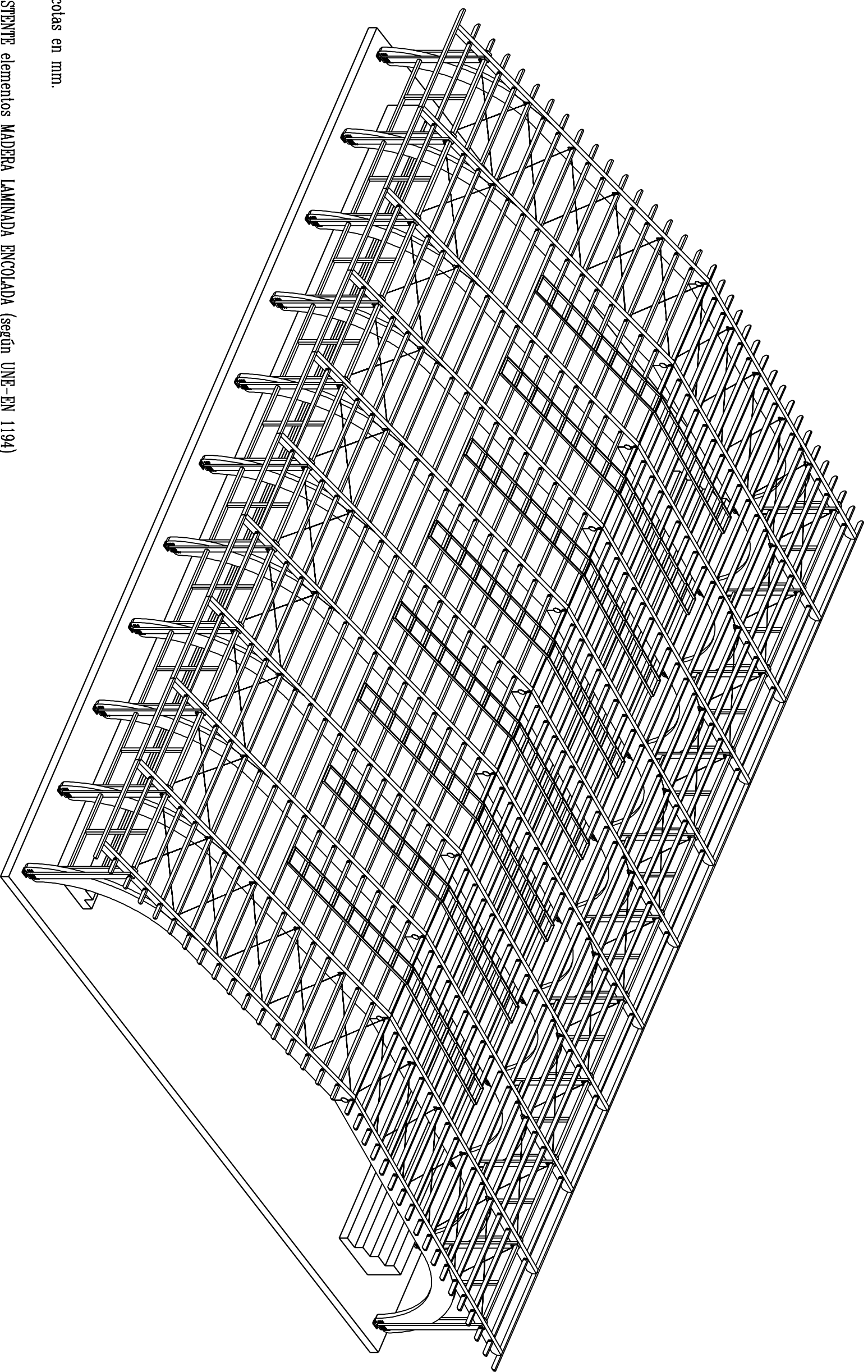
PLANO:

MONTAJE I

FECHA: 02-2015

ESCALA: 1:250

N PLANO: P-16



Notas:

1- Todas las colas en mm.

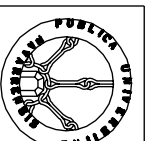
2- CLASE RESISTENTE elementos MADERA LAMINADA ENCOLADA (según UNE-EN 1194)

2.1- Estructura PRINCIPAL. (Pórticos): Especie Picea Abies, Categoría GI-28c

2.2- Estructura SECUNDARIA (Correas): Especie Picea Abies, Categoría GI-24h

3- CALIDAD ACERO LAMINADO S275JR (según UNE-EN 10025), tratamiento GALVANIZADO en CALIENTE (según UNE-EN 1461).

4- TORNILLERA según DIN 931 (Tornillos), DIN 934 (Tuercas) y DIN 9021 (Arandelas).



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERO  
INDUSTRIAL

PROYECTO:

**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

REALIZADO:  
Aguirre Palomino, Alberto

FIRMA:

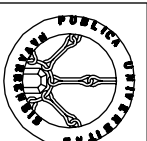
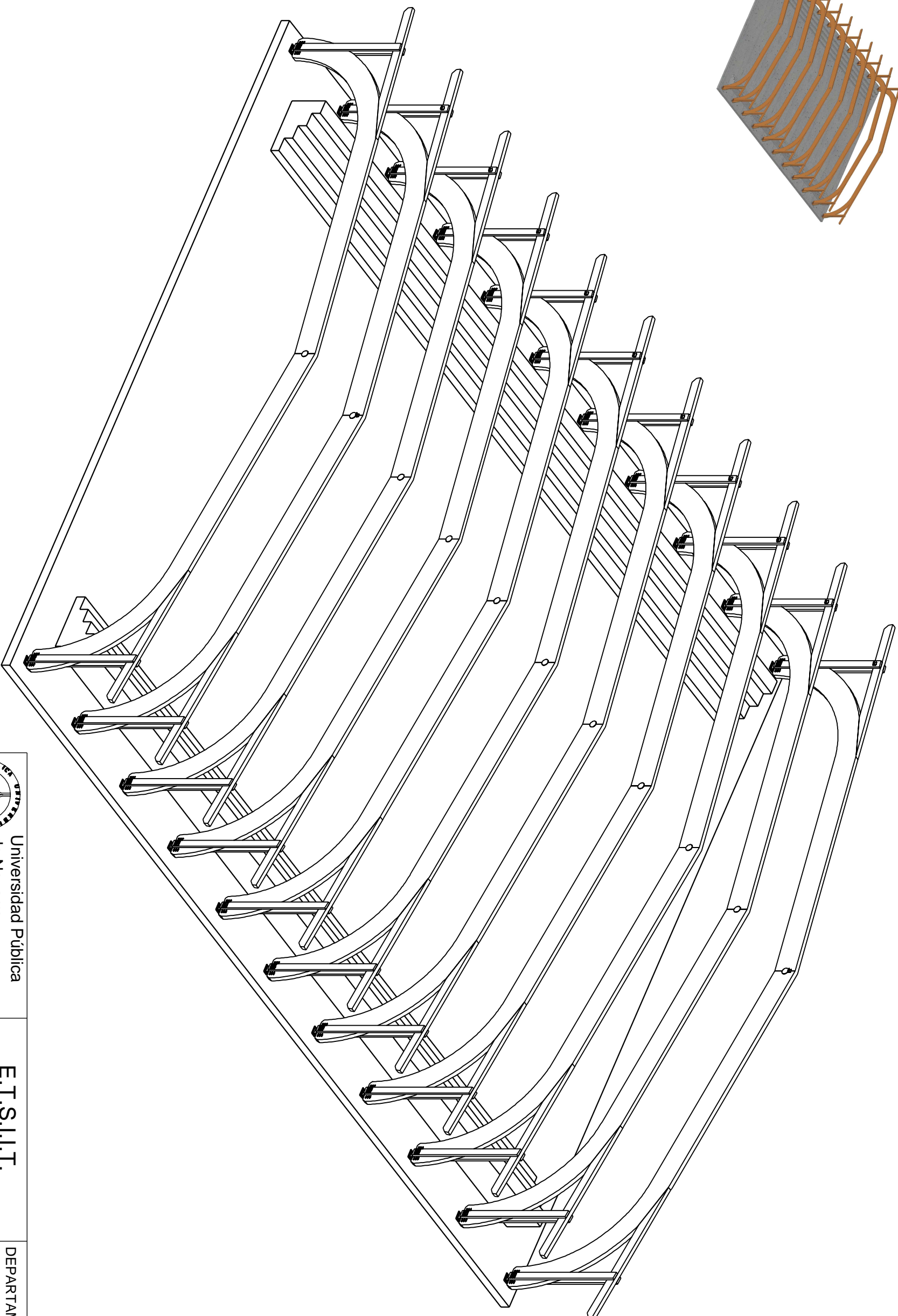
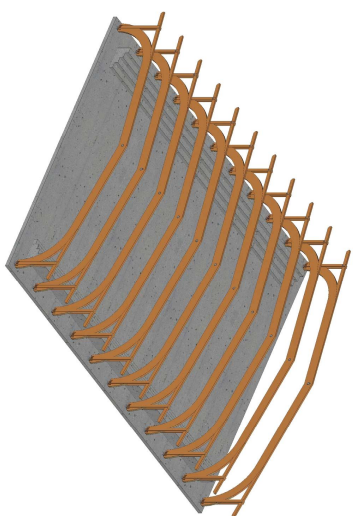
PLANO:

MONTAJE II

FECHA: 02-2015

ESCALA: 1:250

N PLANO: P-17



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERO  
INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

REALIZADO:  
Aguirre Palomino, Alberto

### Cubrición Pista Polideportiva en VIANA

FIRMA:

PLANO:

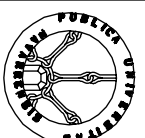
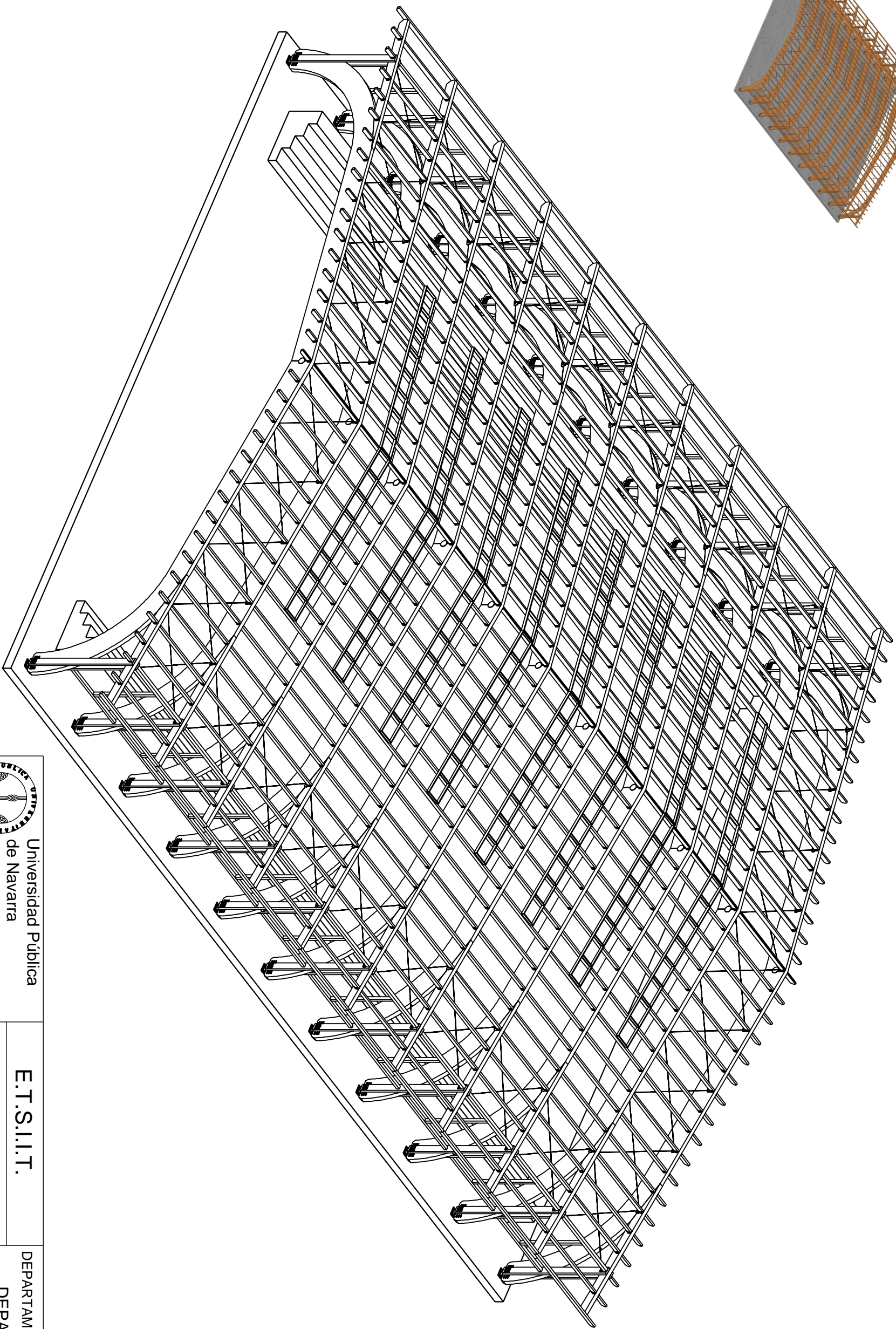
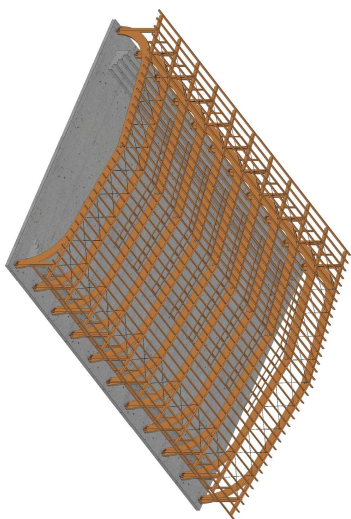
MONTAJE III

FECHA: 02-2015

ESCALA: 1:250

N PLANO: P-18





Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERO  
INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

REALIZADO:

Aguirre Palomino, Alberto

FIRMA:

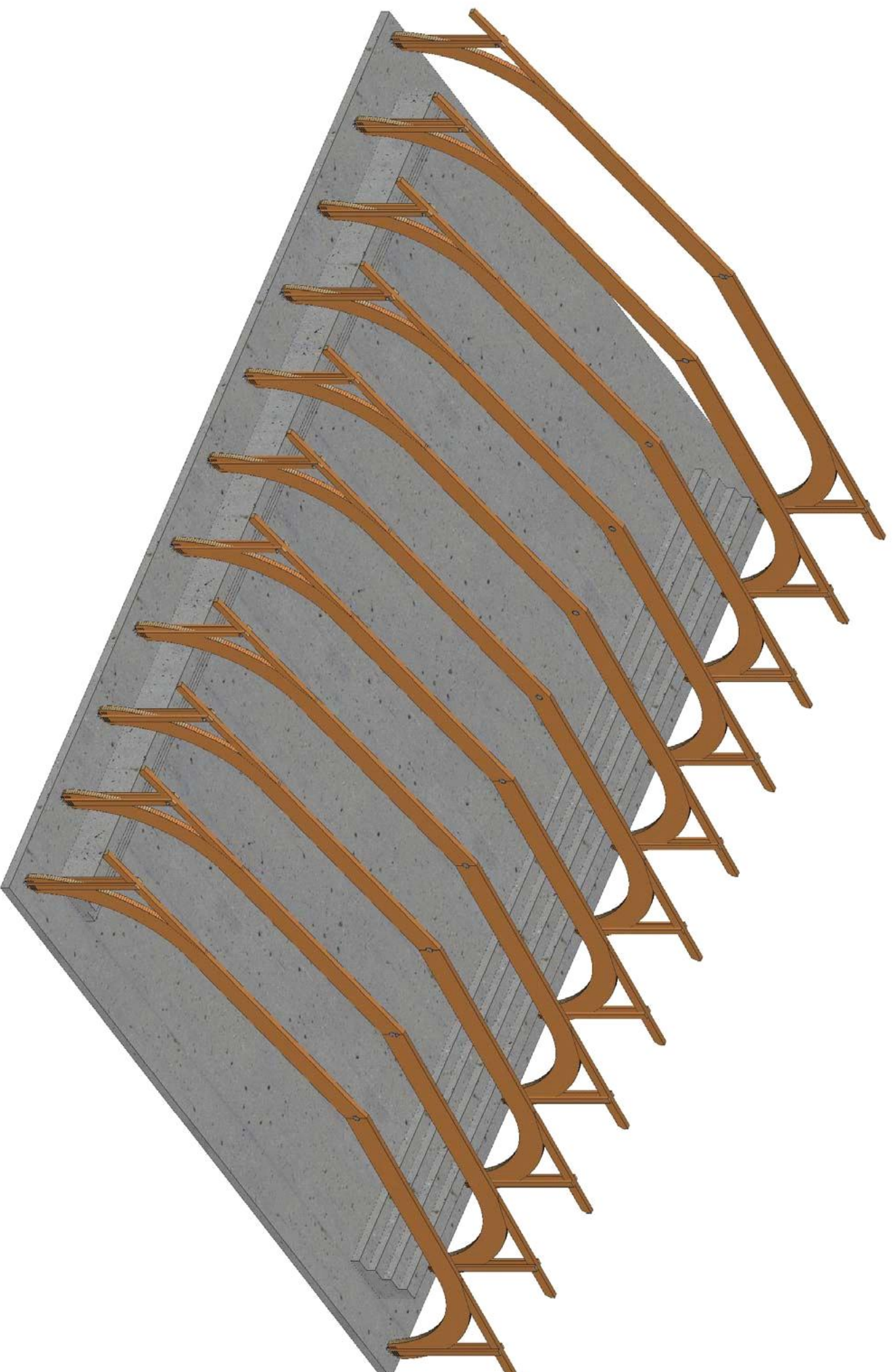
PLANO:

MONTAJE IV

FECHA:  
02-2015

ESCALA:  
1:250

N PLANO:  
P-19



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERO  
INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

REALIZADO:

Aguirre Palomino, Alberto

FIRMA:

PLANO:

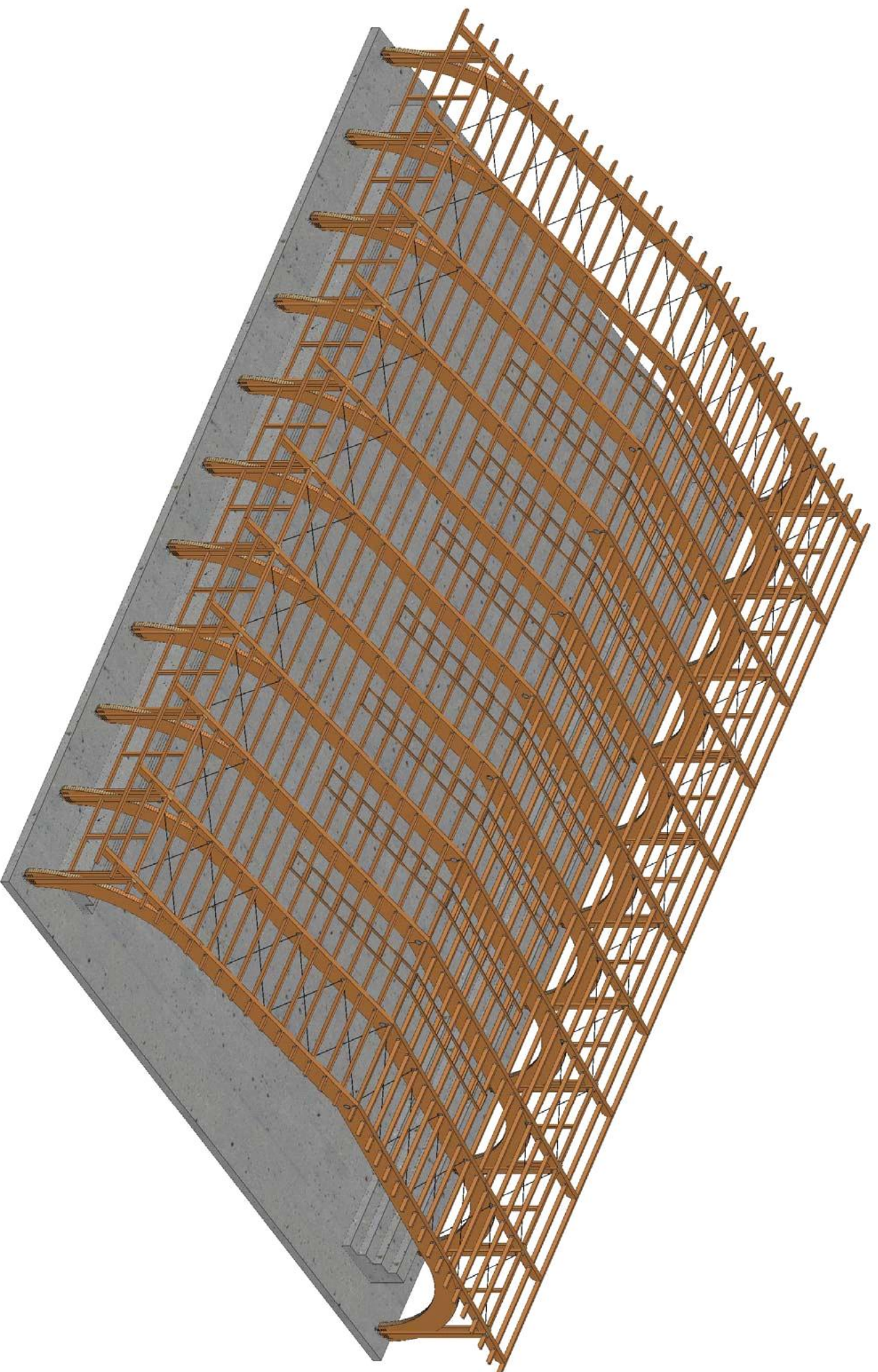
INFOGRAFIA I

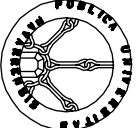
FECHA:  
02-2015

ESCALA:

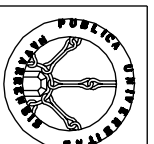
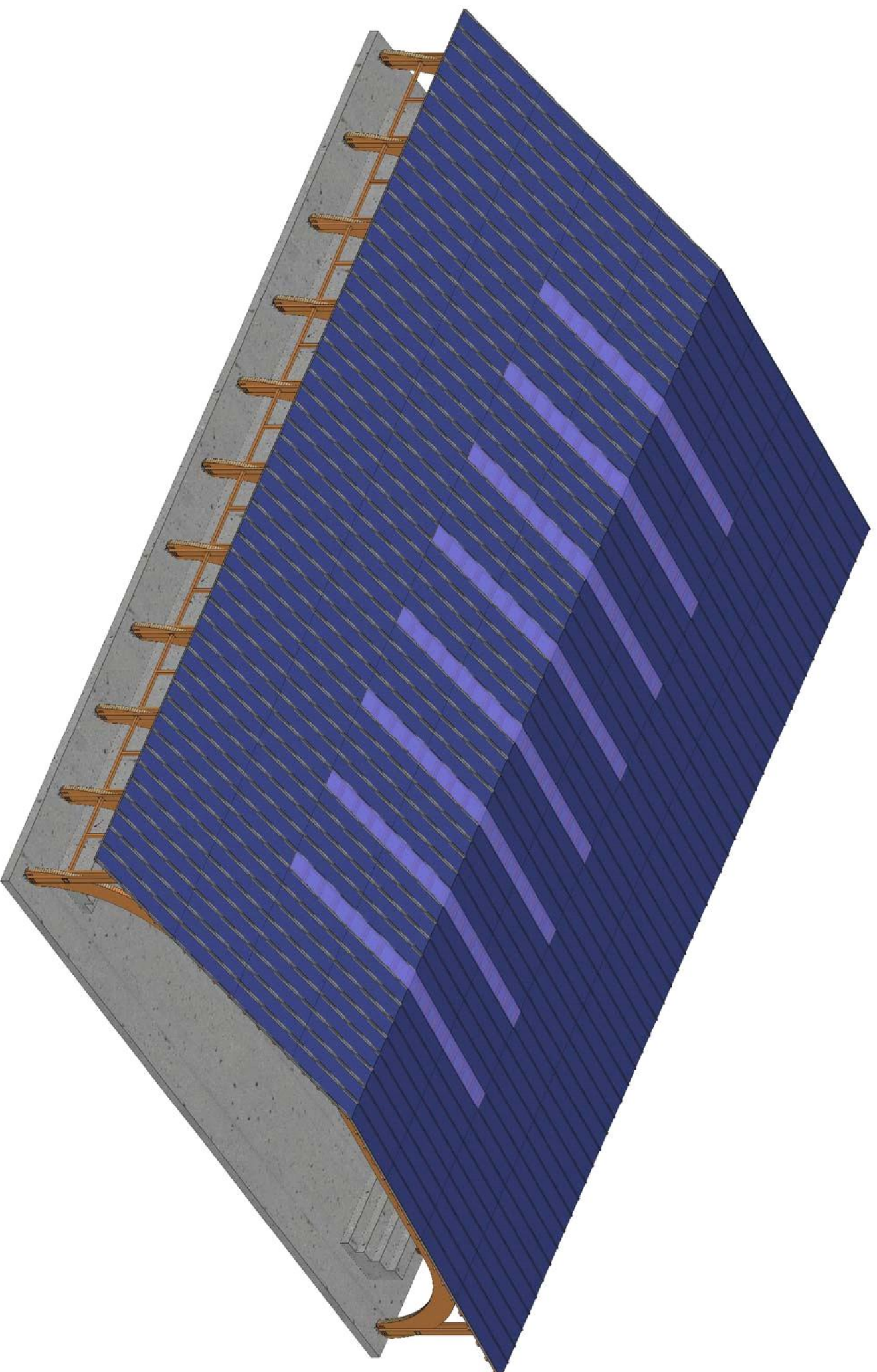
N PLANO:  
P-20





 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	<b>E.T.S.I.I.T.</b>	DEPARTAMENTO: <b>DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL</b>
	INGENIERO INDUSTRIAL	
PROYECTO: <b>Cubrición Pista Polideportiva en VIANA</b>	REALIZADO: Aguirre Palomino, Alberto	
FIRMA:		
PLANO: INFOGRAFIA II	FECHA: 02-2015	ESCALA: N PLANO: P-21





Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERO  
INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO:  
DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS E ING. RURAL

PROYECTO:

**Cubrición Pista Polideportiva en VIANA**

REALIZADO:

Aguirre Palomino, Alberto

FIRMA:

PLANO:

INFOGRAFIA III

FECHA:

02-2015

ESCALA:

N PLANO:

P-22



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

Cubrición PISTA POLIDEPORTIVA en VIANA, Navarra

PLIEGO de CONDICIONES

Alberto Aguirre Palomino

José Vicente Valdenebro García

Pamplona, 19 de Febrero de 2015

### 3. PLIEGO de CONDICIONES

El pliego de condiciones junto con los planos constituyen extensiones del contrato entre propiedad y contratista para la ejecución de un proyecto, y como tales deben intentar responder, junto al resto de cláusulas del contrato, a las preguntas: ¿qué?, ¿cómo?, ¿cuándo?, ¿cuánto? y ¿qué ocurre si no se cumple?. Con los planos se pretende responder al ¿qué? y ¿cómo? de manera gráfica, y con el pliego de condiciones, al resto de cuestiones de manera escrita.

El pliego abarca cuatro tipos básicos de condiciones:

- *Técnicas*: hacen referencia a los trabajos que hay que realizar, las características y calidad de los materiales, cuidados especiales y detalles concretos a tener presente durante la ejecución, y a los controles y ensayos de calidad preceptivos. Al pliego de condiciones técnicas, se le conoce también como *especificaciones técnicas*, por traducción directa del correspondiente término en inglés.
- *Facultativas*: hacen referencia a los derechos y obligaciones de las partes y sus representantes, en el momento de ejecutar el proyecto.
- *Económicas*: hacen referencia a las garantías, la formación de precios, las formas de abono y las indemnizaciones por incumplimiento.
- *Legales*: hacen referencia al perfil de contratista, la forma de adjudicación, el tipo de contrato, la obligatoriedad de suscripción de seguros de responsabilidad civil y otros asuntos relacionados.

En los proyectos generalmente, no suele ser práctica habitual redactar condiciones facultativas, económicas y legales. En todo caso, pueden incluirse directamente en el articulado del contrato, siendo exclusivamente las especificaciones técnicas, las que acompañan al pliego de condiciones.

Una *especificación técnica* puede definirse, como una descripción para la construcción o compra de un producto o servicio, lo suficientemente detallada que permita, construir o comprar dicho producto o servicio, a entera satisfacción de las partes implicadas. Constituyen el núcleo central del pliego de condiciones, por la repercusión económica y de carácter civil o penal, que puede tener la incorrecta redacción o falta de alguno de sus apartados. El nivel de calidad, fiabilidad y seguridad de un proyecto, se garantiza en buena parte, por la correcta redacción de las especificaciones técnicas. Las especificaciones técnicas, pueden clasificarse por su contenido en:

- *Funcionales*: hacen referencia a las funciones o usos del objeto o servicio descrito, sin detenerse en los aspectos formales.
- *Descriptivas*: hacen referencia a los aspectos estéticos, formales, dimensionales o de características de los materiales.
- *Por referencia a norma*: hacen referencia a alguna norma, para describir el producto o servicio, especificar materiales, procesos de fabricación y controles o ensayos.



En el pliego de condiciones del proyecto se incluirán:

- Las prescripciones técnicas particulares exigibles a los productos, equipos y sistemas y a la ejecución de cada unidad de obra.
- Las condiciones en la ejecución de las obras definiendo, en su caso, la modalidad de control de calidad, el control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas, el control de ejecución de la obra y el control de la obra terminada, estableciendo la documentación exigible, los distintivos de calidad o evaluaciones técnicas de la idoneidad admitidos para su aceptación y, en su caso, los ensayos a realizar, los criterios de aceptación y rechazo, y las acciones a adoptar en cada caso. Asimismo, se establecerá el plazo de garantía de cada componente.
- Si para una misma obra se prevén distintos tipos de un mismo producto, se detallarán separadamente cada uno de ellos, indicándose las zonas en que habrán de ser empleados.
- En el pliego se exigirá, cuando sea oportuno o cuando esté reglamentado, la colocación en el lugar de la obra que especifique, de una placa con el valor máximo de la sobrecarga admisible para el uso de esa zona del edificio.

*Documentación final de obra.* La documentación final de obra incluirá:

- Los planos completos de todos los elementos y partes de la obra, que reflejen con precisión la obra realmente construida, así como la documentación acreditativa de que es conforme con el *CTE*.
- La documentación acreditativa de que se han cumplido las especificaciones de control de calidad especificadas en el proyecto, en las instrucciones de la dirección facultativa y en el *CTE*.

*Instrucciones de uso y plan de mantenimiento.*

- En las instrucciones de uso se recogerá toda la información necesaria para que el uso del edificio sea conforme a las hipótesis adoptadas en las bases de cálculo.
- De toda la información acumulada sobre una obra, las instrucciones de uso incluirán aquellas que resulten de interés para la propiedad y para los usuarios, que como mínimo serán:
  - Las acciones permanentes y sobrecargas de uso.
  - Las deformaciones admitidas, incluidas las del terreno, en su caso.
  - Las condiciones particulares de utilización, como el respeto a las señales de limitación de sobrecarga, o el mantenimiento de las marcas o bolardos que definen zonas con requisitos especiales al respecto.
  - En su caso, las medidas adoptadas para reducir los riesgos de tipo estructural.

El plan de mantenimiento, en lo correspondiente a los elementos estructurales, se establecerá en concordancia con las bases de cálculo y con cualquier información adquirida durante la ejecución de la obra que pudiera ser de interés, e identificará el tipo de los trabajos de mantenimiento a llevar a cabo, lista de los puntos que requieran un mantenimiento particular, el alcance, la realización y la periodicidad de los trabajos de conservación y un programa de revisiones.

### 3.1 Pliego de condiciones CIMENTACIÓN

La cimentación constituye el elemento intermedio, que permite transmitir las cargas que soporta una estructura al suelo adyacente, de modo que no rebase la capacidad portante del suelo, y que las deformaciones producidas en éste, sean admisibles para la estructura. Por tanto, para realizar una correcta cimentación, habrá que tener en cuenta las características geotécnicas del suelo, y además dimensionar el propio cimiento como elemento de hormigón, de modo que sea suficientemente resistente. Deberá cumplir, tres requisitos fundamentales:

- El nivel de la cimentación deberá estar a una profundidad tal, que se encuentre libre del peligro de heladas, cambios de volumen del suelo, capa freática o excavaciones posteriores.
- Tendrá unas dimensiones tales, que no superen la estabilidad o capacidad portante del suelo.
- No deberá producir un asiento en el terreno, que no sea absorbible por el mismo.

Muchos suelos, fundamentalmente los que tienen arcillas expansivas, varían mucho de volumen según su contenido de humedad. Dichos suelos deberán evitarse o recurrir a unas cimentaciones más profundas, que apoyen en terrenos más estables. Otras veces, sin llegar al caso anterior, las alternancias de estaciones secas y húmedas, o la proximidad de árboles caducifolios con riego, o la rotura de conducciones de agua, generan hinchamiento del suelo, que pueden producir el fallo de la estructura. Por ello conviene alejar la cimentación de todas las causas citadas, como medida de precaución.

También es importante, la existencia de cimentaciones colindantes. Deberán estar, si es posible, a la misma profundidad. En el caso de tener que profundizar más, deberán tomarse las precauciones necesarias, y tener el mínimo tiempo posible descubierta la excavación, para producir la menor variación en el contenido de humedad del suelo. Siempre es preferible alejar lo más posible las cimentaciones, de construcciones contiguas.

Una primera clasificación, divide las cimentaciones en dos grupos:

- Superficiales: cuando el nivel de cimentación, es inferior a cuatro veces la dimensión menor del cimiento.
- Profundas: cuando el nivel es superior, a diez veces la dimensión menor.

La exploración del terreno es necesaria, para proporcionar datos sobre:

- La profundidad de la capa freática.
- Las diferentes capas del terreno, conociendo su inclinación, espesor y características mecánicas y químicas.
- Muestras del suelo, para conocer otras características mecánicas, y la capacidad de asientos sobre suelos inalterados.

El número y profundidad de las tomas a realizar, bien mediante excavaciones o mucho más frecuente, mediante sondeos mecánicos, se especifica en el documento *CTE-DB-SE-C* del vigente código técnico. Con carácter general, el número de puntos de muestreo, será tres, para una profundidad determinada por el tipo de terreno.

Los valores y especificaciones que deben proporcionar los estudios geotécnicos con carácter general, son:

- Cota de cimentación.
- Presión vertical admisible (hundimiento).
- Presión vertical de servicio (asientos tolerables).
- Módulo de balasto, empujes activo, pasivo y de reposo.
- Asientos diferenciales esperables y admisibles.
- Situación del nivel freático.
- Agresividad del terreno y de las aguas.

*Consideraciones generales:* todos los agentes que participan en el proyecto, construcción, control y mantenimiento, están obligados a conocer y aplicar las especificaciones técnicas, que a continuación van a enumerarse. Para asegurar que una estructura de hormigón satisface los requisitos establecidos en *Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08*, los agentes que intervengan deben comprobar el cumplimiento de las exigencias que se establecen en la misma para el proyecto, la ejecución, el control y el mantenimiento de la estructura. Para justificar que la estructura cumple las exigencias, el Autor del Proyecto y la Dirección Facultativa podrán:

- Adoptar soluciones técnicas que sean conformes con los procedimientos que contempla esta Instrucción, cuya aplicación es suficiente para acreditar el cumplimiento de la exigencias establecidas en la misma.
- Adoptar soluciones alternativas que se aparten parcial o totalmente de los procedimientos contemplados en esta Instrucción. Para ello, el Autor del Proyecto y la Dirección Facultativa pueden, en uso de sus atribuciones, bajo su personal responsabilidad y previa conformidad de la Propiedad, adoptar soluciones alternativas (mediante sistemas de cálculo, disposiciones constructivas, procedimientos de control, etc., diferentes), siempre que se justifique documentalmente que la estructura cumple las exigencias de esta Instrucción porque sus prestaciones son, al menos, equivalentes a las que se obtendrían por la aplicación de los procedimientos de ésta.

*Condiciones administrativas:* los productos de construcción que van a utilizarse, están fabricados o comercializados legalmente en los Estados miembros de la Unión Europea, y aseguran en cuanto a la seguridad y el uso al que están destinados, un nivel equivalente al que exige esta Instrucción.

*Condiciones técnicas de los productos:* los materiales y los productos de construcción que se incorporan con carácter permanente a las estructuras (hormigón, cemento, áridos, acero corrugado, armaduras elaboradas, sistemas de pretensado, elementos prefabricados) presentan las características suficientes para que la estructura cumpla las exigencias, para lo que deberá comprobarse su conformidad. Las características de los materiales empleados, en su caso, para la elaboración de los productos anteriores, deberán permitir que éstos, tras su elaboración, en su caso, cumplan las exigencias, por lo que deberán cumplir las especificaciones establecidas para dichos materiales.

*Condiciones técnicas del proyecto:* el proyecto describe fielmente la estructura, justificando la solución adoptada y definiendo las exigencias técnicas de las obras de ejecución, con el detalle suficiente, para que puedan valorarse e interpretarse inequívocamente durante su ejecución. En particular, el proyecto define las obras proyectadas con el detalle adecuado, de modo que pueda comprobarse explícitamente que las soluciones adoptadas cumplen las exigencias. Esta definición incluye, al menos, la siguiente información:

- las características técnicas de cada unidad de obra, con indicación de las condiciones para su ejecución y las verificaciones y controles a realizar, para comprobar su conformidad con lo indicado en el proyecto.
- las características técnicas mínimas que deben cumplir los productos, equipos y sistemas que se incorporen de forma permanente a la estructura proyectada, así como sus condiciones de suministro, las garantías de calidad y el control de recepción que deba realizarse.
- las verificaciones y pruebas de carga que, en su caso, deban realizarse sobre la estructura construida.
- las instrucciones de uso y mantenimiento de la estructura.

*Condiciones técnicas de la ejecución:* las obras de ejecución de la estructura, se llevarán a cabo con sujeción al proyecto y a las modificaciones que, bajo su responsabilidad y en uso de sus atribuciones, autorice la Dirección Facultativa, con la conformidad, en su caso, de la Propiedad. Además, deberán ser conformes a las instrucciones de la Dirección Facultativa, a la reglamentación que sea aplicable y a las normas de buena práctica constructiva. Durante la construcción, se desarrollarán las actividades de control necesarias para comprobar la conformidad de los procesos empleados en la ejecución, la conformidad de los materiales y productos que lleguen a la obra, así como la conformidad de aquéllos que se preparen en la misma con la finalidad de ser incorporados a ella con carácter definitivo.

*Requisitos:* de conformidad con la normativa vigente, y con el fin de garantizar la seguridad de las personas, los animales y los bienes, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente, las estructuras de hormigón deben ser idóneas para su uso, durante la totalidad del período de vida útil para la que se construye. La Propiedad, por tanto, deberá fijar previamente al inicio de proyecto, la vida útil nominal de la estructura, que no podrá ser inferior a lo indicado en las correspondientes reglamentaciones específicas.

### 3.2 Pliego de condiciones MADERA ASERRADA

Las exigencias actuales de calidad y seguridad en la construcción, ponen de manifiesto la necesidad de caracterizar la madera como material estructural, al igual que ocurre con otros materiales. En el siglo pasado, se ha producido un abandono progresivo del uso de la madera para construir estructuras, hasta el punto de que se ha convertido en una verdadera dificultad encontrar tanto madera adecuada para la construcción, como carpinteros o técnicos suficientemente formados para proyectarlas.

La actual legislación, en particular la Ley de Ordenación de la Edificación (Ley 38/1999 de 5 de Noviembre, LOE) aumenta las garantías de las construcciones de cara al consumidor final estableciendo, entre otras, unas responsabilidades que deben ser asumidas por los diferentes agentes que intervienen en la edificación. La madera estructural, se ve afectada por esta ley, como cualquier otro material estructural, pero va acompañada de un cierto desconocimiento, y la consiguiente desconfianza que genera entre los agentes aseguradores. Todo esto ha puesto de manifiesto, por un lado, que existe un gran volumen de obra con estructura de madera y, por otro, que no se conocen suficientemente las herramientas necesarias y disponibles para su control técnico.

En esta línea se enmarcan las iniciativas, que la normativa europea ha venido desarrollando en los últimos tiempos. Entre ellas cabe destacar, la adopción de un sistema único de clases resistentes, en el que se articulan las diferentes normas de clasificación visual de la madera aserrada, así como el *Eurocódigo 5*, que constituye la base fundamental del Código Técnico de la Edificación. También la Directiva Europea de Productos de la Construcción, plantea unas bases para el marcado y reconocimiento comercial de los requisitos exigibles a nivel europeo, a los productos que se incorporen a la construcción.

Es por ello, que la utilización de madera aserrada en estructuras, requiere caracterizar el material, mediante la determinación fiable de sus propiedades mecánicas y otras características relacionadas con su comportamiento al fuego y su durabilidad, que se han tenido en cuenta en el Proyecto de la estructura.

Existen diferentes especies de madera que crecen en circunstancias muy dispares y que, a su vez, presentan diferentes singularidades naturales, como nudos, fendas o gemas, por lo que se trata de un material muy heterogéneo. Así, teniendo en cuenta sus particularidades naturales y su procedencia, se puede clasificar la madera por especie y calidad. A cada combinación de especie, calidad y procedencia, se le asigna unos valores de resistencia, elasticidad y densidad que caracterizan el material. Estos valores se agrupan en un sistema de clases resistentes.

La completa definición de una estructura a nivel de proyecto, es fruto de un proceso iterativo entre diseño y cálculo. El diseño depende sobre todo de la experiencia y conocimientos del proyectista, pero para el cálculo se dispone de herramientas y normas que garantizan la seguridad de la estructura de madera, al mismo nivel de cualquier otro material. El método de cálculo que actualmente encuentra mayor aceptación, y hacia el cual convergen las normas de los países europeos, es el *Eurocódigo 5*. Este método parte de los valores de resistencia característica y módulos de elasticidad, tal y como se recogen en el sistema de clases resistentes de la normativa europea.

El pliego de condiciones para cada una de las especies utilizadas, deberá contener:

- *Especie de madera:* Las denominaciones de las especies de madera pueden ser múltiples y variadas; a menudo una misma especie se describe con varios nombres vulgares y comerciales, y a veces una denominación puede servir para nombrar varias especies. Como criterio fundamental, se recomienda que la denominación comercial de la madera, vaya acompañada siempre de su nombre botánico.
- *Calidad de madera:* Con el fin de simplificar el proceso de cálculo, se ha establecido en Europa, un sistema de clases resistentes en el que puedes encuadrar todas las especies de madera. El sistema de clases adoptado, es el definido en la norma **UNE EN 338: Madera estructural. Clases resistentes**.
- *Dimensiones y tolerancias:* la construcción con madera está especialmente indicada para la industrialización del proceso, lo que obliga a una normalización de las dimensiones del producto. Las dimensiones nominales de las piezas de madera, son las especificadas en el proyecto de estructura, o también las especificadas por el aserradero. Las dimensiones reales de las piezas, podrán variar ligeramente con respecto a las nominales, respetando unas tolerancias. Éstas se establecen en la norma **UNE EN 336: Madera estructural. Dimensiones y Tolerancias**. El grueso medio y el ancho medio de la pieza, no deberán ser menores que las dimensiones nominales, y como mínimo se deberán cumplir las tolerancias de la clase menos exigente de la norma (clase I). En la longitud de la pieza, no se admiten desviaciones negativas.
- *Contenido en humedad:* el contenido de humedad de la madera, en el momento de su puesta en obra, es un parámetro de relevancia. Su importancia radica en el hecho de que la madera es un material higroscópico, que tiende a un equilibrio con las condiciones ambientales, y en su característica de aumentar o disminuir de volumen, según aumente o disminuya su contenido de humedad. Este hecho origina una variación de sus dimensiones transversales. Además existen otros factores relacionados con la humedad, como son la variación de las propiedades mecánicas con el contenido de humedad (que deben considerarse en el proceso de cálculo) y el índice de riesgo de ataques de origen xilófago que existe cuando el contenido de humedad supera un valor determinado. En la norma **UNE EN 13183: Contenido de humedad de una pieza de madera**, se definen los términos relativos al contenido de humedad utilizados en las normas europeas.
- *Tratamiento:* las propiedades de la madera que tienen repercusión directa con la protección son, la durabilidad natural y la impregnabilidad. La primera indica la resistencia intrínseca de la madera frente a los agentes xilófagos, y la segunda la mayor o menor aptitud para la penetración de los productos de protección en el interior de la madera. La norma **UNE EN 350-2: Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera**, recoge la información disponible sobre la durabilidad frente a los distintos agentes xilófagos y la impregnabilidad de las distintas especies de madera.
- *Sellos o marcas de Calidad:* el proceso de clasificación en un aserradero, debe quedar garantizado por una certificación otorgada por un organismo competente



- *Control ejecución de obra:* durante la construcción, el director de la obra controlará la ejecución de cada unidad de obra verificando su replanteo, los materiales que se utilicen, la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos, así como las verificaciones y demás controles a realizar para comprobar su conformidad con lo indicado en el proyecto, la legislación aplicable, las normas de la buena práctica constructiva y las instrucciones de la dirección facultativa. Se adoptarán los métodos y procedimientos que se contemplen en los Documentos de Evaluación técnicas de idoneidad para el uso previsto de productos y sistemas innovadores.
- *Almacenamiento de producto:* El almacenamiento de las piezas o elementos en obra debe tratarse con precaución, ya que de lo contrario un elemento correctamente fabricado puede verse alterado, menguado de prestaciones e incluso llegar a resultar inaceptable si no se toman las debidas precauciones, como:
  - Proceder a la descarga del material, elevándolo en el sentido de colocación.
  - Evitar el contacto con el suelo.
  - Almacenar sobre una superficie plana siguiendo instrucciones del fabricante.
  - Si el material está seco, se almacenará en macizo, pero siempre en lugares ventilados y bajo cubierta, y sobre elevar la madera del suelo, entre 20-30cm.
  - Proteger el material de la intemperie; los elementos no deben exponerse innecesariamente a condiciones climáticas más severas que las que tendrán, cuando esté terminada la estructura.
  - Proteger al elemento del agua o humedades elevadas. Si la madera se moja durante su puesta en obra, debe ser dejada secar al aire, antes de proceder a la colocación de los elementos.
  - Se recomienda no poner madera en servicio, con contenidos de humedad superiores al 20%. En caso de que esto fuera imposible, deberán adoptarse medidas para evitar la deformación excesiva de la madera, en tanto se seca.
- *Control de montaje:* durante las operaciones de montaje de la estructura pueden producirse solicitaciones a los elementos, superiores a los de servicio, o en direcciones para los que la pieza puede no estar dimensionada, por ello es básico operar metodológicamente, teniendo en cuenta los aspectos siguientes:
  - Evitar sobretensiones en las piezas, ya sea en operaciones de elevación como de apoyo circunstancial.
  - Efectuar un apuntalamiento provisional que permita mantener los elementos convenientemente aplomados y correctamente espaciados, a fin de evitar daños o derrumbes ocasionados por cargas laterales.
  - Las piezas torcidas, con hendiduras o con defectos de fijación en las uniones, deberían sustituirse.

## **ABETO ROJO (*Picea Abies*)**

*Procedencia y disponibilidad:* se encuentra muy extendida en el centro y en el Norte de Europa, principalmente en Escandinavia, Polonia y Rusia. En España, se ha introducido su cultivo en algunas localidades del Pirineo y Cantabria, en concepto de ensayo o de repoblación protectora. Sus masas forestales, producción y exportación, son importantes. Es la especie más utilizada en Europa, para la fabricación de estructuras de madera laminada encolada.

*Descripción de la madera:* el color de la madera varía del blanco amarillento, para la de los últimos anillos de crecimiento, hasta el amarillo rojizo, para la de los anillos de crecimiento iniciales. La madera de albura no se diferencia de la del duramen. Los anillos de crecimiento son visibles y están muy marcados. Los radios leñosos son poco visibles y en los cortes radiales aparecen como un fino mallado, un poco más sombreado que el fondo. La fibra es muy recta, y el grano es fino. Presenta un olor resinoso muy persistente en verde, que desaparece rápidamente al secarse. Puede producir alergias en las mucosas.

### *Propiedades físicas.*

- Densidad: 440-470 Kg/m<sup>3</sup>
- Contracción: medianamente nerviosa.
- Coeficiente de contracción volumétrica: 13-14%
- Coeficiente de contracción tangencial: 9%
- Coeficiente de contracción radial: 4-4,5%
- Dureza: entre 1,2 y 1,6 (semidura).

### *Propiedades mecánicas (madera libre de defectos).*

- Flexión estática: 65-77 N/mm<sup>2</sup>
- Módulo de elasticidad: 10000-12000 N/mm<sup>2</sup>.
- Compresión axial: 40-50 N/mm<sup>2</sup>.
- Cortante: 5-7,5 N/mm<sup>2</sup>.
- Flexión dinámica: 4-5 N/mm<sup>2</sup>.

*Secado:* la velocidad de secado es rápida. Presenta elevados riesgos de que aparezcan fendas de testa, debido a su escasa cohesión transversal, y de que salten nudos. En el secado al aire se recomienda utilizar rastreles de gran espesor, para facilitar la circulación del aire. El tiempo de secado al aire, para alcanzar un contenido de humedad comprendido entre 13 y el 17%, para piezas de 27mm de grueso, es de 2 a 4meses, y de 4 a 9 meses, para gruesos de 50mm.

*Durabilidad natural e impregnabilidad:* la madera está clasificada como poco durable, frente a la acción de los hogos y sensible a las termitas. Tanto la madera de albura como la de duramen, son sensibles a la acción de los anóbidos y de los cerambícidos. La madera de duramen, es poco o no impregnable; la de albura es poco impregnable, y presenta una gran variabilidad de comportamiento.

*Aserrado:* se realiza sin dificultad, aunque un exceso en la velocidad de alimentación, puede provocar una superficie de corte repelosa. Presenta buenas aptitudes para la obtención de chapa por desenrollado y mediante corte a la plana. Debido a la dureza de los nudos, se recomienda realizar un vaporizado previo entre 65 y 70°C.

*Mecanizado:* no suele presentar problemas, aunque la dureza de sus nudos puede hacer que salten durante su cepillado o moldurado, y también se pueden producir arranques de fibras, en piezas con la fibra inclinada o en piezas de madera procedente de árboles muy jóvenes. Se recomienda trabajar con los útiles muy afilados.

*Encolado:* no presenta problemas. En el clavado y atornillado, se recomienda hacer taladros previos, o en su defecto espaciar los clavos y tornillos, y no colocarlos alineados. De todas formas, su resistencia al arranque suele ser baja.

*Pintado:* no presenta problemas, pero no absorbe los tintes y los barnices de poro abierto de forma uniforme, y las superficies quedan con distinta intensidad de tono o color. Además hay que tener en cuenta, que cuando se expone al sol, la resina puede subir y producir exudaciones.

*Sello de calidad AITIM:* se trata del sello de calidad nº21 de AITIM para la madera aserrada de uso estructural, para especies de coníferas, de acuerdo con la norma **UNE EN 56544: clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural**. Se realiza una primera visita de inspección al aserradero, en la que se comprueba que dispone de los medios necesarios para la clasificación y el procedimiento de control interno, que debe estar implantado con una antelación de 6 meses. Actualmente AITIM, realiza dos visitas de inspección, en las que comprueba el control interno y verifica, mediante muestreo, la clasificación realizada. Se basa en el control de los siguientes aspectos:

- Calidad estructural visual de la madera.
- Tolerancias dimensionales respecto a las escuadrías nominales.
- Contenido de humedad.
- Cualificación del clasificador de madera estructural.

*Marcado CE:* el 21 de Diciembre de 1988, se redactó la Directiva de Productos de la Construcción 89/106/CEE, cuya trasposición a España, se llevó a cabo por el Real Decreto 1630/1992 de 24 de Diciembre (BOE 9 de Febrero de 1993). La Directiva Europea de Productos de la Construcción, exige de forma obligatoria, que todos los productos que se vean afectados por esta Directiva, incorporen el marcado CE. La implantación de la Directiva para los diferentes productos, se canaliza a través de la norma **UNE EN 14081: Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular**.

### 3.3 Pliego de condiciones MADERA LAMINADA

Son elementos estructurales, formados por el encolado de láminas de madera con la dirección de la fibra básicamente paralela. El espesor de láminas oscila habitualmente entre 20mm de mínimo y 45mm de máximo, siendo frecuentes espesores de 38mm. El número de láminas será en general igual o superior a 4. Los materiales que se utilizan para su fabricación son madera maciza estructural, adhesivos estructurales, productos protectores y productos de acabado.

*Especie de madera:* **PICEA ABIES**. Normalmente no es necesario llegar a especificar la especie de madera, ya que priman más las propiedades estructurales, salvo que se requiera por motivos estéticos, o porque necesiten un tratamiento protector específico. Se define por la denominación comercial, y se añadirá el nombre botánico para mayor precisión, de acuerdo con la norma **UNE-EN 13556: Madera aserrada. Nomenclaturas de las maderas utilizadas en Europa**. Si se desea identificar fehacientemente la especie de madera del suministro, se acudirá a laboratorios especializados. La especie de madera empleada en la fabricación, cumple los siguientes requisitos:

- Dispone de valores de resistencia mecánica estudiados, y de una norma o procedimiento de clasificación aceptado. Pueden utilizarse por ejemplo, las especies citadas en la norma **UNE-EN 386: Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación**.
- Ha sido utilizada con éxito, en fabricación de madera laminada y/o dispone de estudios favorables sobre su aptitud al encolado con los adhesivos a utilizar.
- Es adecuada por durabilidad natural, o aptitud al tratamiento protector necesario, para la situación en la que va a estar instaladas las piezas. Es una de las especies más utilizadas en Europa, que vulgarmente se conoce como abeto o falso abeto (para clase de servicio 1 y 2). El pino silvestre se utiliza, principalmente cuando se requiere un tratamiento en profundidad (para clase de servicio 3) por su aptitud a este tipo de tratamientos.

*Contenido de humedad:* la madera deberá tener la humedad, lo más parecida a la humedad de equilibrio higroscópico, correspondiente a las condiciones higrométricas de servicio (**Obra cubierta, pero abierta → 16-20%**). De esta manera, se reducen los movimientos que podría tener a causa de la variación de su grado de humedad, producidos por una variación de sus dimensiones. Cuando aumenta dicho contenido se hincha, mientras que cuando disminuye, se contrae o merma. Estos movimientos, sólo tienen lugar cuando su contenido de humedad se encuentra por debajo del punto de saturación de las fibras (cuando no hay agua libre). Las variaciones dimensionales inevitables, dependerán de la fluctuación periódica de las condiciones ambientales. La medición del contenido de humedad de la madera se realizará directamente con xilohigrómetro de resistencia, inmediatamente a la recepción y apertura de los paquetes procedentes de la fábrica, según **UNE-EN 13183-1: Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Determinación por el método de secado en estufa**. En caso de dudas, se enviarán distintas muestras representativas envueltas en plástico retráctil a laboratorios especializados y acreditados, o se solicitará una inspección de comprobación a un organismo de reconocido prestigio.

*Dimensiones y tolerancias:* se han especificado las dimensiones nominales de las piezas, referidas a un contenido de humedad de referencia del 12%. Los valores nominales de anchura, altura y longitud de las piezas se comprobarán de acuerdo con las tolerancias especificadas en la norma **UNE-EN 14080: Estructuras de madera. Madera laminada encolada y madera maciza encolada: requisitos**. Las tolerancias dimensionales para la anchura de la sección transversal, altura de la sección transversal, longitud de un elemento recto y desviación máxima de ángulos de la sección transversal en relación con el ángulo recto, coinciden con las de la norma **UNE-EN 390: Madera laminada encolada. Dimensiones y tolerancias**. Para la comprobación de las dimensiones se utilizarán calibres y flexómetros. Se podrá realizar directamente en obra o acudir a técnicos cualificados o laboratorios acreditados.

- Anchura de la sección transversal:  $\pm 2\text{mm}$ .
- Altura de la sección transversal:
  - Para  $h \leq 400\text{mm}$ :  $(-2\text{mm}, +4\text{mm})$ .
  - Para  $h > 400\text{mm}$ :  $(-0,5\%, +1\%)$ .
- Longitud de un elemento recto:
  - Para  $L \leq 2\text{m}$ :  $\pm 2\text{mm}$ .
  - Para  $2\text{m} < L \leq 20\text{m}$ :  $\pm 0,1\%$ .
  - Para  $L > 20\text{m}$ :  $\pm 20\text{mm}$ .
- Los ángulos de la sección transversal, no deben desviarse respecto a un ángulo recto, en más de 1:50.
- Deformación máxima para piezas rectas, medida en el punto más desfavorable en una longitud de 2m:  $\pm 4\text{mm}$ .
- Deformación máxima para piezas curvas por metro longitud desarrollada:  $\pm 2\text{mm}$ .

*Clases resistentes:* se especifica su clase resistente **GL-24h** y **GL-28c** según la norma **UNE-EN 14080: Estructuras de madera. Madera laminada encolada y madera maciza encolada**. En el caso de que se considere necesaria su comprobación, se acudirá a laboratorios acreditados y centros de reconocido prestigio, para definir los ensayos y/o controles a realizar. Su comprobación puede realizarse mediante:

- Ensayo destructivo de piezas en laboratorio acreditado (no se suele realizar).
- Ensayos de uniones dentadas de las láminas que se utilicen para su fabricación, y de delaminación de muestras extraídas de piezas fabricadas.
- La revisión de los registros de control del fabricante y/o ensayando en su caso, uniones dentadas de láminas similares a las utilizadas en la fabricación.

*Calidad de encolado:* se especifica el cumplimiento de las especificaciones definidas en la norma **UNE-EN 14080: Estructuras de madera. Madera laminada encolada y madera maciza encolada: requisitos**, en función de su situación en interior o exterior (clases de servicio) que le corresponda. En caso de que se considere necesario, se ensayará de acuerdo con la norma **UNE-EN 14080** (delaminación) en laboratorios acreditados.

*Tratamiento protector preventivo:* se especifica el tratamiento requerido, en función de su clase de uso y de la durabilidad natural de la madera, según **UNE-EN 335-2: Durabilidad de la madera y sus productos derivados**, además de exigir el correspondiente certificado de tratamiento de la madera; como medida adicional se puede especificar, siempre que sea factible por el tipo de protector, la comprobación de las penetraciones y retenciones de los protectores de madera, por laboratorios especializados. Teniendo en cuenta lo anterior, se especifica y exigirá al fabricante o suministrador:

- **Clase de uso II** (cubierta, pero abierta). Cuando no es posible determinar con suficiente precisión la clase de riesgo de un elemento, o cuando distintas partes de un mismo elemento quedan clasificadas en distintas clases de riesgo, las decisiones se deberán tomar, basándose en la menos favorable de éstas.
- Producto protector: **LASUR al AGUA (Xylazel)**. En algunos protectores de la madera, existe el riesgo de deslavado, si elemento de madera tratado no está suficientemente protegido tras el tratamiento y antes de su empleo. Esto es de especial significación, en las clases de riesgo I y II, en que los elementos quedan expuestos a la intemperie, durante la construcción. En estas circunstancias, y si el protector es deslavable, es esencial cubrir el elemento o protegerlo de alguna otra forma tras el tratamiento, durante el transporte de acopio y montaje, así como durante su empleo.
- Sistema de aplicación: **PINCELADO**.
- Certificado de tratamiento que avale la penetración y retención de protector para la clase de uso especificada de acuerdo con la norma **UNE-EN 335-2: Durabilidad de la madera y sus productos derivados**.

*Productos de acabado superficial:* en el caso de que se especifique la aplicación de un producto de acabado superficial para la madera situada al exterior, se exigirá la garantía decenal cuando sea requerido por las compañías de seguros, o una garantía de 5 años. En todo caso se exigirá al suministrador, que aporte la correspondiente garantía y que especifique el mantenimiento recomendado. Se especificará el mantenimiento de los productos de acabado en las fichas técnicas del fabricante. Cuando se requiera su comprobación, es necesario acudir a laboratorios especializados. La elección del producto de acabado depende del aspecto buscado, de la especie de madera y de la durabilidad que se garantiza, se especificará entre la gama de productos disponibles:

- En blanco (sin acabado para especies con durabilidad natural suficiente).
- Color (si se utilizan lasures, barnices especiales para exteriores).
- Acabado especial (los obtenidos con productos naturales, tipo aceites o ceras).



*Resistencia al fuego:* este parámetro hace referencia al comportamiento exigible a la estructura, de acuerdo con el *Documento Básico de Seguridad contra Incendios (DB-SI)* del Código Técnico de la Edificación, y se ha comprobado su cumplimiento mediante cálculo, según lo especificado en dicho documento. El parámetro de cálculo dependiente de la madera, es la velocidad de carbonización, que si no se protege con otros materiales independientes, toma los valores eficaces de 0,7 mm/min en madera laminada encolada.

*Marcado CE:* el 21 de Diciembre de 1988, se redactó la Directiva de Productos de la Construcción 89/106/CEE, cuya trasposición a España, se llevó a cabo por el Real Decreto 1630/1992 de 24 de Diciembre (BOE 9 de Febrero de 1993). La Directiva Europea de Productos de la Construcción, exige de forma obligatoria, que todos los productos que se vean afectados por esta Directiva, incorporen el marcado CE. La implantación de la Directiva para los diferentes productos, se canaliza a través de la norma **UNE EN 14081: Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular.**

- Se dispone del correspondiente **marcado CE**.
- En la recepción de producto se comprobará que éstos, llevan el marcado CE.

*Sellos o marcas de calidad voluntaria:* si se considera necesario, se exigirá:

- Sello de calidad voluntario: se ha comprobado la vigencia de los correspondientes certificados de Sellos o Marcas de Calidad voluntarios: firma de persona física, fecha de validez, originalidad del documento (no se admitirán fotocopias).
- Certificación medioambiental de la procedencia de la madera. **PEFC**

*Almacenamiento de productos:* las condiciones de almacenamiento, serán:

- Se comprobará que el material venga con los paquetes correctamente identificados, y el embalaje de plástico protector, en buenas condiciones.
- Se comprobará la documentación acompañante al suministro, de acuerdo con las indicaciones del pliego y el pedido realizado.
- Debe almacenarse bajo cubierta en un lugar bien ventilado, o bien al exterior por corto espacio de tiempo, envuelto en los paquetes de plástico del fabricante y bajo lonas impermeables. Las pilas estarán sobreelevadas del suelo unos 20-30 cm.
- Si la madera se moja durante su puesta en obra, debe dejarse secar al aire antes de proceder a la colocación de elementos y sistemas auxiliares, que impidan su correcta ventilación (por ejemplo plásticos).
- Por precaución, la madera tratada químicamente con protectores deberá ser manipulada con guantes y si se corta o taladra, deberá emplearse mascarilla.
- En el caso de vigas de gran longitud, deberán evitarse las deformaciones y distorsiones que puedan producirse en el levantamiento desde la posición horizontal a la vertical.

- Durante el almacenaje, transporte y montaje, se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio, se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos.
- Los elementos de madera almacenados en obra, deberán protegerse adecuadamente frente a la intemperie, evitando que queden almacenados en clases de uso distintas, para las que han sido diseñados o solicitados. Para clases de uso 1 y 2, una vez colocados, no es conveniente superar el plazo de un mes sin la protección de la cobertura.

*Herrajes:* la utilización de herrajes para la realización de uniones, es una evolución de las uniones mecánicas tipo clavija, ya que permite aumentar la capacidad de carga (se incrementan las superficies de apoyo de las piezas, por lo que el aplastamiento de la madera es menor). Están fabricados en chapa de acero, y se ha tenido en cuenta, a la hora de su diseño, los siguientes condicionantes:

- Las piezas de madera deben apoyar sobre la superficie del herraje, con el fin de evitar que, al entrar en carga, la madera quede colgada de los elementos de fijación, cuya misión es la de evitar desplazamientos. Es importante, que la madera no apoye sobre gruesos cordones de soldadura, que la elevan sobre la superficie del herraje.
- Es relevante evitar en lo posible, que las piezas de madera trabajen en tracción perpendicular a la fibra. Para ello, en el diseño de los herrajes, deberán primar disposiciones, en las que la madera trabaje a compresión.
- Entre el herraje y las piezas de madera, es recomendable que exista una cierta holgura (unos 2mm por cada cara), que facilite el montaje.
- El herraje debe permitir cierto giro en los apoyos de vigas. Estos giros, originados por deformaciones, pueden hacer que un herraje colocado en la parte superior de una viga, origine agrietamientos por sobretensión.
- La madera, debido a cambios en su contenido de humedad, sufre variaciones dimensionales, que pueden llegar a ser importantes. Este cambio dimensional, es más acusado en la sección transversal. Por esta razón, el herraje no deberá estar fijado, a lo largo de todo el canto de la pieza de madera.
- Los herrajes, al igual que la madera, deben estar protegidos frente a los efectos derivados de la humedad. Deben recibir un tratamiento protector en función de la clase de servicio, si bien lo habitual, es que todos los herrajes sean galvanizados en caliente, según *UNE-EN 1461: Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo.*

### 3.4 Pliego de condiciones PANEL SANDWICH

Los paneles sándwich para cerramiento son productos formados por un alma de material aislante y dos paramentos. Complementariamente, pueden añadirse otros elementos como, una barrera impermeable transpirable, una barrera de vapor y enrastrelados o rigidizadores.

*Tipo de panel:* **panel HABITAE IGNIS de CURBIPEFIL** (chapa de acero prelacado, lana de roca mineral y tarima de abeto). Previo al suministro, se exigirá al fabricante por parte de la empresa adjudicataria, la siguiente documentación:

- *Guía EOTA* que se debe aplicar para la definición de sus propiedades: paneles de cubiertas (Guía EOTA nº 16 parte 2); paneles para aplicaciones exteriores en muros y revestimientos (Guía EOTA nº 16 parte 3); y paneles para aplicaciones interiores muros y techos (Guía EOTA nº 16 parte 4).
- Se exigirán las fichas técnicas, y en su caso los certificados de calidad, marcado CE o cualquier otro tipo de certificación (certificado de origen de la madera aserrada, contenido o emisión de formaldehído de los tableros derivados de la madera, etc.), de cada uno de los materiales.

*Dimensiones y tolerancias:* **5000x1000mm** y **6500x1000mm**. A la hora de recepcionar el material, sólo se comprobará si existen indicios de incumplimiento. La comprobación de las dimensiones, requiere utilizar calibres flexómetros y reglas rígidas. Se puede realizar directamente en obra o acudir a técnicos cualificados o laboratorios acreditados. A falta de normativa de referencia se pueden adoptar las tolerancias dimensionales de:

- Longitud y anchura definidas en la norma **UNE-EN 324-1: Tableros derivados de la madera. Determinación de las dimensiones de los tableros. Parte 1: determinación del espesor, anchura y longitud.** de tableros derivados de la madera:
  - Longitud y anchura  $\pm 5$ mm.
  - Rectitud de cantos  $\pm 1,5$ mm/m.
  - Rectitud en escuadría  $\pm 2,0$ mm/m.
- Grosor según la norma **UNE-EN 336: Madera estructural. Medidas y tolerancias,** para madera aserrada estructural de gran escuadría:
  - Para gruesos  $\leq 100$ mm: (-1 / +1) mm.
  - Para gruesos  $> 100$  mm: (-1,5 / +1,5) mm.

*Reacción al fuego y propagación de fuego exterior:* **CS2d0 la tarima de abeto va ignifugada, para junto con la lana de roca mineral y la chapa prelacada**, cumplir con las exigencias en cuanto a su reacción al fuego y propagación del fuego exterior, según el Código Técnico de la Edificación, en su documento referido a la Seguridad en caso de Incendio. Se exigirá al fabricante los correspondientes certificados e informes de ensayo de reacción al fuego y propagación de fuego exterior o su sello de calidad, si procede.

*Otras propiedades:* se ha comprobado la validez, en función de su aplicación y de las prestaciones que indica el Código Técnico de la Edificación, de las propiedades que se indican en las Guías EOTA, y que son:

- Resistencia mecánica y estabilidad (se limita a cargas de mantenimiento iguales o inferiores a 1 kN/m<sup>2</sup> y cargas permanentes y sobrecargas de nieve y viento).
- Permeabilidad al agua líquida.
- Permeabilidad al vapor de agua.
- Emisión de sustancias peligrosas.
- Variaciones dimensionales (relacionadas con la penetración de agua).
- Propiedades mecánicas para determinar si el panel es autoportante:
  - Resistencia mecánica.
  - Resistencia a tracción y compresión.
  - Efecto de la temperatura.
- Otras propiedades: impacto, arranque de fijaciones (objetos colgados y cargas excéntricas) y transitabilidad.
  - Aislamiento a ruido aéreo.
  - Aislamiento térmico.
  - Permeabilidad al aire.
  - Durabilidad.
- Fluencia.
- Agentes térmicos - Ensayos cíclicos climáticos.
- Agentes biológicos.

*Marcado CE:* el 21 de Diciembre de 1988, se redactó la Directiva de Productos de la Construcción 89/106/CEE, cuya trasposición a España, se llevó a cabo por el Real Decreto 1630/1992 de 24 de Diciembre (BOE 9 de Febrero de 1993). La Directiva Europea de Productos de la Construcción, exige de forma obligatoria, que todos los productos que se vean afectados por esta Directiva, incorporen el marcado CE.

- El panel IGNIS de Curbiperfil, dispone del **marcado CE**.
- En la recepción de producto se comprobará que éstos, llevan el marcado CE.

*Sellos o marcas de calidad voluntaria:*

- Sello de calidad voluntario: se ha comprobado la vigencia de los correspondientes certificados de Sellos o Marcas de Calidad voluntarios: firma de persona física, fecha de validez, originalidad del documento (no se admitirán fotocopias).
- Certificación medioambiental de la procedencia de la madera. **PEFC**

*Suministro, apilado y manipulación:* los paneles se presentan paletizados, siendo la dimensión del pallet, función de la dimensión de los paneles. En general los paneles se apilan de tal manera, que las caras del pallet expuestas a los agentes exteriores (superficie superior e inferior), sean las de la cara resistente del panel y no la decorativa. El flejado se realiza sobre cantoneras de plástico o cartón de alta densidad, en esquinas, cantos o zonas en contacto con el fleje, recubriéndose posteriormente con una bolsa o film plástico. Todos los pallets irán etiquetados, figurando en la etiqueta los siguientes datos:

- Nombre y dirección empresa suministradora.
- Número de pedido.
- Fecha de empaquetado.
- Composición del panel.
- Medidas del panel.
- N° de paneles por pallet.
- Además figurará la señalización de fragilidad y protección de la lluvia, y las instrucciones para su carga y descarga.

*Almacenamiento y manipulación de los paneles en obra:* los paneles, una vez recibidos en obra, deben mantenerse en su pallet sin desembalar hasta su colocación, sin quitar ni plásticos ni flejes, pues podrían arquearse. Además:

- Los pallets se almacenarán en lugares planos, limpios y protegidos (no se apilarán, más de dos paletas, una sobre otra).
- Los paneles tienen una cara decorativa, por lo que a la hora de desembalarlos, deberá hacerse de tal manera que esta cara no se deteriore, evitando que un panel deslice sobre el otro, lo que podría rayarla.
- Los paneles que se hayan desembalado y no se hayan colocado en la jornada laboral, así como los pallets abiertos, deben protegerse de la intemperie y colocarse en la siguiente jornada.
- Todos los elementos auxiliares del sistema (lengüetas, clavos y tornillos, material de sellado de juntas, barreras antihumedad), deben almacenarse en lugares protegidos y no desembalarlos hasta su uso.

- Los paneles se manipulan con herramientas y medios de carpintería: serruchos, sierra circular, brocas de madera, etc.
- Para el movimiento en obra de los pallets, tanto para su traslado como elevación, se recomienda el empleo de horquillas. Deben tener una longitud de uñas superiores a 1m, y estar separadas también 1m como mínimo.
- Si se emplean para su elevación, cadenas, cables o eslingas, hay que tener cuidado para no dañar los paneles, por lo que se deben de usar cantoneras resistentes en los puntos de contacto de esos elementos con los paneles.



### 3.5 NORMATIVA APLICABLE

- **CTE-DB-SE:** Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural; Real Decreto 314/2006.
- **CTE-DB-SE-AE:** Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación; Real Decreto 314/2006.
- **CTE-DB-SE-M:** Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural. Madera; Real Decreto 314/2006.
- **CTE-DB-SE-A:** Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural. Acero; Real Decreto 314/2006.
- **CTE-DB-SE-SI:** Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural. Seguridad estructural en caso de Incendio; Real Decreto 314/2006.
- **CTE-DB-SE-HS:** Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural. Salubridad; Real Decreto 314/2006.
- **Eurocódigo 1:** Bases de proyectos y acciones en estructuras.
- **Eurocódigo 3:** Diseño de estructuras metálicas.
- **Eurocódigo 5:** Proyectos de estructuras de madera.
- **UNE 56400:** Protección de la madera. Terminología.
- **UNE 56416:** Protección de la madera. Métodos de tratamiento.
- **UNE 56501:** Nomenclatura de las principales maderas de coníferas españolas.
- **UNE 56502:** Nomenclatura de las principales maderas de frondosas españolas o aclimatadas en España.
- **UNE 56504:** Nomenclatura de las principales maderas comerciales extranjeras de coníferas.
- **UNE 56529:** Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del contenido de humedad por desecación hasta el estado de anhídrido.
- **UNE 56530:** Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del contenido de humedad mediante higrómetro de resistencia.
- **UNE 56544:** Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural.
- **UNE 56545:** Clasificación visual de la madera aserrada de pino silvestre para usos no estructurales.

- **UNE-EN 301:** *Adhesivos fenólicos y aminoplásticos para estructuras de madera bajo carga. Clasificación y requisitos de comportamiento.*
- **UNE-EN 302-1:** *Adhesivos para madera de uso estructural. Métodos de ensayo. Parte 1: Determinación de la resistencia de la unión al cizallamiento por tracción longitudinal.*
- **UNE-EN 302-2:** *Adhesivos para madera de uso estructural. Métodos de ensayo. Parte 2: Determinación de la resistencia a la delaminación.*
- **UNE-EN 302-3:** *Adhesivos para madera de uso estructural. Métodos de ensayo. Parte 3: Determinación del efecto del ataque ácido a las fibras de madera debido a los tratamientos cíclicos de temperatura y humedad sobre la resistencia a la tracción transversal.*
- **UNE-EN 335-1:** *Durabilidad de la madera y de sus materiales derivados. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico. Parte 1: Generalidades.*
- **UNE-EN 335-2:** *Durabilidad de la madera y de sus productos derivados. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico. Parte 2: Aplicación a madera maciza.*
- **UNE-EN 335-3:** *Durabilidad de la madera y de sus productos derivados. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico. Parte 3: Aplicación a los tableros derivados de la madera.*
- **UNE-EN 336:** *Madera estructural. Coníferas y chopo. Dimensiones y tolerancias.*
- **UNE-EN 338:** *Madera estructural. Clases resistentes.*
- **UNE-EN 350-1:** *Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: Guía para los principios de ensayo y clasificación de la durabilidad natural de la madera.*
- **UNE-EN 350-2:** *Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 2: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.*
- **UNE-EN 351-1:** *Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores. Parte 1: Clasificación de las penetraciones y retenciones de los productos protectores.*
- **UNE-EN 351-2:** *Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores. Parte 2: Guía de muestreo de la madera tratada para su análisis.*
- **UNE-EN 380:** *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Principios generales para los ensayos de carga estática.*
- **UNE-EN 383:** *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de la resistencia al aplastamiento y del módulo de aplastamiento para los elementos de fijación tipo clavija.*

- **UNE-EN 384:** *Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.*
- **UNE-EN 385:** *Empalmes por unión dentada en madera estructural. Especificaciones y requisitos mínimos de fabricación.*
- **UNE-EN 386:** *Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación.*
- **UNE-EN 387:** *Madera laminada encolada. Empalmes mediante uniones dentadas de grandes dimensiones. Especificaciones y requisitos mínimos de fabricación..*
- **UNE-EN 390:** *Madera laminada encolada. Dimensiones y tolerancias.*
- **UNE-EN 391:** *Madera laminada encolada. Ensayo de delaminación de líneas de adhesivo.*
- **UNE-EN 392:** *Madera laminada encolada. Ensayo de esfuerzo cortante en líneas de adhesivo.*
- **UNE-EN 408:** *Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.*
- **UNE-EN 409:** *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación del momento plástico de los elementos de fijación tipo clavija.*
- **UNE-EN 460:** *Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Guía de especificaciones de durabilidad natural de la madera para su utilización según las clases de riesgo.*
- **UNE-EN 599-1:** *Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Prestaciones de los protectores de la madera determinadas mediante ensayos biológicos. Parte 1: Especificaciones para las distintas clases de riesgo.*
- **UNE-EN 599-2:** *Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Características de los productos de protección de la madera establecidas mediante ensayos biológicos. Parte 2: Clasificación y etiquetado.*
- **UNE-EN 912:** *Conectores para madera. Especificaciones de los conectores para madera.*
- **UNE-EN 1059:** *Estructuras de madera. Requisitos de producto para cerchas prefabricadas con conectores de placa metálica dentada.*
- **UNE-EN 1193:** *Estructuras de madera. Madera estructural y madera laminada encolada. Determinación de la resistencia al esfuerzo cortante y de las propiedades mecánicas en dirección perpendicular a la fibra.*
- **UNE-EN 1194:** *Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Clases resistentes y determinación de los valores característicos.*

- **UNE-EN 1195:** *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Comportamiento del cerramiento estructural de forjado.*
- **UNE-EN 1380:** *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Uniones estructurales con clavos, tornillos, clavijas y pernos.*
- **UNE-EN 1381:** *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Uniones estructurales grapadas.*
- **UNE-EN 1382:** *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Resistencia al arranque de los elementos de fijación en la madera.*
- **UNE-EN 1383:** *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Resistencia a la incrustación en la madera de la cabeza de los elementos de fijación.*
- **UNE-EN 1461:** *Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo.*
- **UNE-EN 1912:** *Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de especies y calidades visuales.*
- **UNE-EN 12871:** *Tableros derivados de la madera. Especificaciones y requisitos de los tableros estructurales para utilización en forjados, muros y cubiertas.*
- **UNE-EN 12872:** *Tableros derivados de la madera. Guía para la utilización de los tableros estructurales en forjados, muros y cubiertas.*
- **UNE-EN 13377:** *Viguetas prefabricadas de madera para encofrados. Requisitos, clasificación y evaluación.*
- **UNE-EN 13986:** *Tableros derivados de la madera para utilización en la construcción. Características, evaluación de la conformidad y marcado.*
- **UNE-EN 14592:** *Estructuras de madera. Elementos de fijación tipo clavija. Requisitos.*
- **UNE-EN 37-501:** *Galvanización en caliente. Características y métodos de ensayo.*
- **UNE-EN 37-505:** *Tubos de acero galvanizados en caliente. Características. Métodos de ensayo.*
- **UNE-EN 37-507:** *Recubrimientos galvanizados en caliente de tornillería y otros elementos de fijación.*
- **UNE-EN 10 142:** *Chapas de acero bajo en carbono, galvanizadas en continuo por inmersión en caliente para conformación en frío. Condiciones técnicas de suministro.*
- **UNE-EN 10 147:** *Chapas de acero de construcción, galvanizadas en continuo por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro.*



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

Cubrición PISTA POLIDEPORTIVA en VIANA, Navarra

## PRESUPUESTO

Alberto Aguirre Palomino

José Vicente Valdenebro García

Pamplona, 19 de Febrero de 2015

## 4. PRESUPUESTO

Un presupuesto consiste en la valoración a priori, de un producto o servicio. Esta valoración, se basa en la previsión del total de los costes involucrados, incrementados con el margen de beneficio previsto.

El presupuesto del proyecto, es el documento que tiene por finalidad dar una idea lo más aproximada posible, del importe de su realización.

Generalmente se conoce abreviadamente por presupuesto, al presupuesto de ejecución material, que no incluye los gastos generales de la empresa, ni el beneficio industrial, ni los honorarios de ingeniería. Se considera como presupuesto de contrata, al presupuesto de ejecución material, más el porcentaje de gastos generales de la empresa y beneficio industrial. A veces, cuando el cliente es una Administración Pública, se solicita el denominado presupuesto total para conocimiento de la administración, que se corresponde con el presupuesto de contrata, más los honorarios por proyecto y dirección de obra e instalación.

El presupuesto del proyecto corresponde con los costes de ejecución o instalación, y no con los costes de explotación. El presupuesto referido a los costes de explotación, se conoce como estudio económico. Para poder efectuar un presupuesto correctamente, debemos revisar algunos conceptos relativos al cálculo de costes:

- *Gasto*: En sentido económico, corresponde con la valoración de un acopio, compra o servicio. En sentido contable, corresponde con la valoración de la parte de los gastos económicos incorporados a la producción de la empresa, que ha producido ingresos.
- *Coste*: Corresponde con la valoración de la parte del acopio, compra o servicio que se incorpora a una producción determinada.
- *Pérdida*: Corresponde con la parte del gasto económico o del coste por el que no se ha obtenido ninguna compensación y no va a participar en los ingresos de la empresa.

La parte del gasto económico que se incorpora a la producción, se convierte en coste. El coste que participa de los ingresos de la empresa, se convierte en gasto contable. El coste que no tiene ninguna posibilidad de convertirse en gasto contable, se convertirá en pérdida.

- *Ingreso*: Corresponde con el valor de los productos o servicios que vende la empresa. Es decir, el producto del precio, por la cantidad de productos o servicios vendidos.
- *Margen*: Es la diferencia entre el ingreso generado por la venta de un producto o servicio, y su coste de producción.
- *Resultado*: Es la diferencia entre ingresos y costes más pérdidas, en un determinado período de tiempo.



Capítulo 4.1.1 CIMENTACIÓN							
	Unidades	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	€/ud	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>3</sup>	€
<b>ACONDICIONAMIENTO del TERRENO</b>							
Se tenderá a que el movimiento de tierras se adapte al paisaje natural, dentro de las necesidades de zonificación y viales afectados, según NTE, Diseño Explanaciones							
NORMATIVA APLICABLE:							
→ CTE-Documento Básico-Seguridad Estructural: CIMIENTOS							
→ NTE-ADE: Acondicionamiento del terreno. Desmontes: explanaciones.							
→ NTE-ADV: Acondicionamiento del terreno. Desmontes: vaciados.							
→ NTE-ADZ: Acondicionamiento del terreno. Desmontes: Zanjas y pozos.							
→ PG-3: Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes.							
DESBROCE y LIMPIEZA mediante medios mecánicos. Profundidad mínima 25cm	1	3000			0,8		2400
DESMONTE en TIERRA con medios mecánicos. Clasificación PG-3	1		1500			1,75	2625
TERRAPLENADO con material de la propia excavación. Clasificación materiales según PG-3	1		2500			9,3	23250
EXCAVACIÓN en ARCILLA semidura, con medios manuales y rebajamiento del nive freático	1		2000			28,5	57000
RELLENO para BASE de PAVIMENTO; zahorra natural caliza, con bandeja vibrante de guiado	1		500			23,5	11750
NIVELACIÓN SOLERA de hormigón en masa con fibra. Tipo de vertido con bomba.	1	2030			12		24360
							121385
<b>ZAPATAS</b>							
NORMATIVA APLICABLE:							
→ CTE-Documento Básico-Seguridad Estructural: SALUBRIDAD.							
→ CTE-Documento Básico-Seguridad Estructural: CIMIENTOS.							
→ Instrucciones de Hormigón Estructural (EHE-08).							
→ NTE-EME: Estructuras de madera: Encofrados.							
→ NTE-CSZ: Cimentaciones superficiales: Zapatas.							
Capa de HORMIGÓN de LIMPIEZA DE 30cm y nivelados de fondos de cimentación.	1	260			9		2340
Sistema de encofrado recuperable para ZÁPATA de cimentación de madera de 26mm.	1	260			30		7800
HORMIGÓN HA-25/P/20Ia	1		50			160	8000
Acero en BARRAS CORRUGADAS elaboradas en taller industrial, según UNE-EN 10080 B 500 S	1		50			95	4750
Sistema de encofrado recuperable para VIGAS de ATADO entre zapatas de cimentación de madera.	1	150			20		3000
HORMIGÓN HA-25/P/20Ia	1		100			160	16000
Acero en BARRAS CORRUGADAS elaboradas en taller industrial, según UNE-EN 10080 B 500 S	1		100			95	9500
Sistema de encofrado recuperable para ENANOS de CIMENTACIÓN de sección rectangular.	1	15			40		600
HORMIGÓN HA-25/P/20Ia	1		3			160	480
Acero en BARRAS CORRUGADAS elaboradas en taller industrial, según UNE-EN 10080 B 500 S	1		3			95	285
GESTIÓN de RESIDUOS.	1						3000
Control de CALIDAD y ENSAYOS.	1						5000
							60755

Capítulo 4.1.2 CIMENTACIÓN							
	Unidades	Kg	m <sup>3</sup>	€/ud	€/Kg	€/m <sup>3</sup>	€
<b>CHAPAS de ANCLAJE</b>							
→ Herrajes según UNE EN 10025: Productos laminados en caliente de acero no aleado, para construcciones metálicas.							
→ ACERO 275JR laminado en caliente.							
→ Recubrimiento según UNE EN 1461: Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos de acero.							
→ Tornillería según UNE EN 37507: Recubrimientos galvanizados en caliente de tornillería y otros elementos de fijación.							
→ TORNILLO métrico de cabeza hexagonal según DIN 931, calidad acero 8,8.							
→ TUERCA métrica hexagonal según DIN 934, calidad acero 8,8.							
→ ARANDELA de ala ancha según DIN 9021, calidad acero 8,8.							
<b>Chapa anclaje sobre ZAPATA (500x600x20mm)</b>	<b>22</b>	1100			3		<b>3300</b>
SKR20180 Anclaje tornillable	<b>264</b>			1,25			<b>330</b>
TUERCA M24mm según DIN 934	<b>264</b>			0,75			<b>198</b>
ARANDELA φ24mm según DIN 9021	<b>264</b>			0,5			<b>132</b>
<b>HEB 450 (Longitud 250mm)</b>	<b>22</b>	980			3		<b>2940</b>
<b>Chapa anclaje (300x450x30mm)</b>	<b>264</b>	700			3		<b>2100</b>
		<b>2780</b>					<b>9000</b>

Capítulo 4.2.1 ESTRUCTURA							
	Unidades	Kg	m <sup>3</sup>	€/ud	€/Kg	€/m <sup>3</sup>	€
<b>Estructura PRINCIPAL</b>							
→ Estructura según UNE EN 386: Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación.							
→ Madera PICEA ABIES según UNE EN 336: Madera estructural. Dimensiones y tolerancias.							
→ Clase resistente GL-28c según UNE EN 338: Madera estructural. Clases resistentes.							
→ Clase de RIESGO II según UNE EN 599-1: Durabilidad de la madera. Prestación de los protectores.							
→ Herrajes según UNE EN 10025: Productos laminados en caliente de acero no aleado, para construcciones metálicas.							
→ ACERO 275JR laminado en caliente.							
→ Recubrimiento según UNE EN 1461: Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos de acero.							
→ Tornillería según UNE EN 37507: Recubrimientos galvanizados en caliente de tornillería y otros elementos de fijación.							
→ TORNILLO métrico de cabeza hexagonal según DIN 931, calidad acero 8,8.							
→ TUERCA métrica hexagonal según DIN 934, calidad acero 8,8.							
→ ARANDELA de ala ancha según DIN 9021, calidad acero 8,8.							
<b>Viga PÓRTICO 240x1200mm</b>	<b>22</b>		<b>140</b>			600	<b>84000</b>
<b>Herraje APOYO H1</b>	<b>22</b>	<b>400</b>			3		<b>1200</b>
BULÓN φ40mm según DIN 603	<b>22</b>			50			<b>1100</b>
ARANDELA φ40mm según DIN 9021	<b>44</b>			2,5			<b>110</b>
<b>Herraje APOYO H2</b>	<b>22</b>	<b>2350</b>			3		<b>7050</b>
TORNILLO M20x460mm según DIN 931	<b>264</b>			0,5			<b>132</b>
TORNILLO M20x220mm según DIN 931	<b>264</b>			0,5			<b>132</b>
TUERCA M20mm según DIN 934	<b>528</b>			0,25			<b>132</b>
ARANDELA φ20mm según DIN 9021	<b>1056</b>			0,25			<b>264</b>
<b>Herraje CUMBRERA H3</b>	<b>11</b>	<b>550</b>			3		<b>1650</b>
TORNILLO M20x270mm según DIN 931	<b>198</b>			0,5			<b>99</b>
TUERCA M20mm según DIN 934	<b>198</b>			0,25			<b>52</b>
ARANDELA φ20mm según DIN 9021	<b>396</b>			0,25			<b>99</b>
<b>Viga de PENDIENTE 240x440mm</b>	<b>22</b>		<b>16</b>			550	<b>8800</b>
<b>Herraje PÓRTICO H4</b>	<b>22</b>	<b>865</b>			3		<b>2595</b>
TORNILLO M20x270mm según DIN 931	<b>176</b>			0,5			<b>88</b>
TUERCA M20mm según DIN 934	<b>176</b>			0,25			<b>44</b>
ARANDELA φ20mm según DIN 9021	<b>352</b>			0,25			<b>88</b>
<b>PILAR doble 120x360mm</b>	<b>44</b>		<b>12</b>			550	<b>6600</b>
TORNILLO M20x510mm según DIN 931	<b>484</b>			0,5			<b>242</b>
TUERCA M20mm según DIN 934	<b>484</b>			0,25			<b>121</b>
ARANDELA φ20mm según DIN 9021	<b>968</b>			0,25			<b>242</b>
<b>MONTAJE (Medios auxiliares para descarga, manipulación e izado, incluidos)</b>							<b>15160</b>
<b>TRANSPORTE 21000mm, para 4750mm de gálibo</b>	<b>3</b>						<b>15000</b>
		<b>4165</b>	<b>168</b>				<b>145000</b>

Capítulo 4.2.2 ESTRUCTURA							
	Unidades	Kg	m <sup>3</sup>	€/ud	€/Kg	€/m <sup>3</sup>	€
<b>Estructura SECUNDARIA</b>							
→ Estructura según UNE EN 386: Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación.							
→ Madera PICEA ABIES según UNE EN 336: Madera estructural. Dimensiones y tolerancias.							
→ Clase resistente GL-24h según UNE EN 338: Madera estructural. Clases resistentes.							
→ Clase de RIESGO II según UNE EN 599-1: Durabilidad de la madera. Prestación de los protectores.							
→ Herrajes según UNE EN 10025: Productos laminados en caliente de acero no aleado, para construcciones metálicas.							
→ ACERO 275JR laminado en caliente.							
→ Recubrimiento según UNE EN 1461: Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos de acero.							
→ Tornillería según UNE EN 37507: Recubrimientos galvanizados en caliente de tornillería y otros elementos de fijación.							
→ TORNILLO métrico de cabeza hexagonal según DIN 931, calidad acero 8,8.							
→ TUERCA métrica hexagonal según DIN 934, calidad acero 8,8.							
→ ARANDELA de ala ancha según DIN 9021, calidad acero 8,8.							
<b>CORREA 100x240mm</b>	<b>310</b>		<b>36</b>			500	<b>18000</b>
BSA estribo liso BSA 100160	620	930			3		2790
CLAVO ANKER φ4x50mm según DIN 1052	12400			0,05			620
<b>Correa CIERRE 120x240mm</b>	<b>20</b>		<b>3</b>			500	<b>1500</b>
BSA estribo liso BSA 120160	40	60			3		180
CLAVO ANKER φ4x50mm según DIN 1052	800			0,05			40
<b>Correa VUELO 100x240mm</b>	<b>66</b>		<b>2</b>			500	<b>1000</b>
BSA estribo liso BSA 100160	66	99			3		300
CLAVO ANKER φ4x50mm según DIN 1052	1320			0,05			75
<b>Cabio POLICARBONATO 40x140</b>	<b>176</b>		<b>3</b>			500	<b>1500</b>
Tornillo HBS para madera según DIN 1052	2180			0,25			545
<b>MONTAJE (Medios auxiliares para descarga, manipulación e izado, incluidos)</b>							<b>5000</b>
<b>TRANSPORTE normal</b>	<b>1</b>						<b>2500</b>
		<b>1089</b>	<b>44</b>				<b>34050</b>

Capítulo 4.2.3 ESTRUCTURA							
	Unidades	Kg	m <sup>3</sup>	€/ud	€/Kg	€/m <sup>3</sup>	€
<b>ARRIOSTRAMIENTO</b>							
→ Estructura según UNE EN 386: Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación.							
→ Madera PICEA ABIES según UNE EN 336: Madera estructural. Dimensiones y tolerancias.							
→ Clase resistente GL-24h según UNE EN 338: Madera estructural. Clases resistentes.							
→ Clase de RIESGO II según UNE EN 599-1: Durabilidad de la madera. Prestación de los protectores.							
→ Herrajes según UNE EN 10025: Productos laminados en caliente de acero no aleado, para construcciones metálicas.							
→ ACERO 275JR laminado en caliente.							
→ Recubrimiento según UNE EN 1461: Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos de acero.							
→ Tornillería según UNE EN 37507: Recubrimientos galvanizados en caliente de tornillería y otros elementos de fijación.							
→ TORNILLO métrico de cabeza hexagonal según DIN 931, calidad acero 8,8.							
→ TUERCA métrica hexagonal según DIN 934, calidad acero 8,8.							
→ ARANDELA de ala ancha según DIN 9021, calidad acero 8,8.							
<b>CORDÓN superior 160x240mm</b>	20		3			500	1500
BSA estribo liso BSA 100160	40	60			3		180
CLAVO ANKER $\phi$ 4x50mm según DIN 1052	800			0,05			40
<b>CORDÓN inferior 160x160mm</b>	20		2			500	1000
BSA estribo liso BSA 160120	40	60			3		180
CLAVO ANKER $\phi$ 4x50mm según DIN 1052	800			0,05			40
<b>PENDOLÓN 160x160mm</b>	20		2			500	1000
BSA estribo liso BSA 160120	40	60			3		180
CLAVO ANKER $\phi$ 4x50mm según DIN 1052	800			0,05			40
<b>VARILLAS arriostramiento <math>\phi</math>20mm de 5825mm. Acero S275JR según UNE EN 10025</b>	16	225			3		675
Herraje ARRIOTRAMIENTO A1	32	128			3		384
TORNILLO M20x270mm según DIN 931	128			0,5			64
TUERCA M20mm según DIN 934	128			0,25			32
<b>VARILLAS arriostramiento <math>\phi</math>20mm de 5850mm. Acero S275JR según UNE EN 10025</b>	24	350			3		1050
Herraje ARRIOTRAMIENTO A1	48	192			3		576
TORNILLO M20x270mm según DIN 931	192			0,5			96
TUERCA M20mm según DIN 934	192			0,25			48
ARANDELA $\phi$ 20mm según DIN 9021	192			0,25			48
<b>VARILLAS arriostramiento <math>\phi</math>20mm de 5875mm. Acero S275JR según UNE EN 10025</b>	32	450			3		1350
Herraje ARRIOTRAMIENTO A1	64	256			3		768
TORNILLO M20x270mm según DIN 931	256			0,5			128
TUERCA M20mm según DIN 934	256			0,25			64
<b>MONTAJE (Medios auxiliares para descarga, manipulación e izado, incluidos)</b>							2200
<b>TRANSPORTE normal</b>	1						500
		1781	7				12143

Capítulo 4.3.1 CUBIERTA								
	Unidades	m	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	€/m	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>3</sup>	€
<b>Panel IGNIS CURBIMETAL (14/80/0,6)</b>								
rtificado para una Reacción al Fuego como elemento constructivo de techo para zona ocupable CS2d0 (según CTE-DB-Seguridad frente a incend								
→ Chapa de Acero prelacado 0,5mm; color Azul Mar metalizado.								
→ Lana de Roca 80mm; resistencia al fuego A1 (material incombustible).								
→ Tarima de PINO 10mm ignifugado; color Rubio claro.								
<b>Panel IGNIS (14/80/0,6) de 5000mm</b>	<b>280</b>		<b>1400</b>			35		<b>49000</b>
Tornillo autoperforante SPP63125 Cabeza avellanada; Galvanizado	<b>2800</b>							<b>700</b>
Montaje (Medios auxiliares para descarga e izado, incluidos)			1400			10		<b>14000</b>
<b>Panel IGNIS (14/80/0,6) de 6500mm</b>	<b>104</b>		<b>676</b>			35		<b>23660</b>
Tornillo autoperforante SPP63125 Cabeza avellanada; Galvanizado	<b>1248</b>							<b>315</b>
Montaje (Medios auxiliares para descarga e izado, incluidos)			676			10		<b>6760</b>
<b>TRANSPORTE normal</b>	<b>3</b>							<b>2000</b>
			<b>2076</b>					<b>96435</b>
<b>POLICARBONATO CM 30/1000 (cara protegida frente a los rayos UV)</b>								
→ Densidad (Peso específico) = 1,2 gr/cm <sup>3</sup> (según ISO 1183: Métodos para determinar la densidad de plásticos no celulares).								
→ Transmisión de luz 81% (según DIN 5036-1: Propiedades radiométricas y fotométricas de los materiales; definición).								
<b>Placa POLICARBONATO 2m<sup>2</sup> de 4mm</b>	<b>80</b>		<b>160</b>			20		<b>3200</b>
Tornillo para exteriores de acero inoxidables KKF430	<b>640</b>							<b>320</b>
Montaje (Medios auxiliares para descarga e izado, incluidos)			160			10		<b>1600</b>
<b>TRANSPORTE normal</b>	<b>1</b>							<b>500</b>
			<b>160</b>					<b>5620</b>
<b>REMATES (Acero galvanizado)</b>								
Acero de bajo contenido en carbono, galvanizado en continuo por inmersión en caliente para su conformado en frío, según UNE-EN 10142								
<b>TAPAJUNTAS estanqueidad entre paneles, con brida de unión 4300mm</b>	<b>510</b>	2193				5		<b>10965</b>
Tape NERVIO frontal	<b>102</b>							
Medio tape NERVIO frontal	<b>4</b>							
<b>CUMBRERA troquelada CM1100 4000mm</b>	<b>13</b>	52				15		<b>780</b>
<b>Remate FRONTAL PMA042 1000mm</b>	<b>104</b>	104				10		<b>1040</b>
<b>Remate LATERAL PMA045 2000mm</b>	<b>43</b>	86				10		<b>860</b>
<b>Remate FRONTAL SUPERIOR PMA050 encuentro con Policarbonato 2000mm</b>	<b>160</b>	320				10		<b>3200</b>
								<b>16845</b>



Capítulo 4.3.2 CUBIERTA								
	Unidades	m	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	€/m	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>3</sup>	€
<b>PLUVIALES (Acero galvanizado)</b>								
Acero de bajo contenido en carbono, galvanizado en continuo por inmersión en caliente para su conformado en frío, según UNE-EN 10142								
<b>CANAL modelo MECAR PMA008; Espesor 0,6mm Longitud 4000mm</b>	<b>26</b>	104			58			<b>6032</b>
Conector CANAL PMA041 para bajante	24							288
TAPE cierre canal derecho PMA023	2							25
TAPE cierre canal izquierdo PMA039	2							25
Tirante armado canal PM012	44							176
Escuadra en Z PM022 para cuelgue de canal (una por panel)	104							624
EMBOCADURAS PMA021 $\phi$ 200mm	22							330
<b>BAJANTES PMA050 <math>\phi</math>200mm; espesor 3,9mm, según UNE-EN 1329-1</b>	<b>22</b>	190			26			<b>4940</b>
CODO para bajantes $\phi$ 200mm	44							528
Adhesivo para tubos y accesorios de PVC	1							532
<b>TRANSPORTE normal</b>	<b>1</b>							<b>500</b>
								<b>14000</b>

Capítulo 4.4 PROYECTO							
	m	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	€/m	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>3</sup>	€
<b>CIMENTACIÓN</b>							
ACONDICIONAMIENTO del TERRENO							121385
ZAPATAS							60755
CHAPAS de ANCLAJE							9000
							191140
<b>ESTRUCTURA</b>							
Estructura PRINCIPAL							145000
Estructura SECUNDARIA							34050
ARRIOSTRAMIENTO							12143
							191193
<b>CUBIERTA</b>							
Panel IGNIS CURBIMETAL (14/80/0,6)							96435
POLICARBONATO CM 30/1000							5620
REMATES (Acero galvanizado)							16845
PLUVIALES (Acero galvanizado)							14000
							132900
Estudio de SEGURIDAD y SALUD							6000
GESTIÓN de RESIDUOS							3000
<b>EJECUCIÓN de MATERIALES</b>							<b>524233</b>
<b>GASTOS GENERALES</b>							<b>41950</b>
<b>MARGEN INDUSTRIAL</b>							<b>62900</b>
<b>Impuesto Valor Añadido</b>							<b>132100</b>
							<b>762000</b>



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

Cubrición PISTA POLIDEPORTIVA en VIANA, Navarra

ANEXOS

Alberto Aguirre Palomino

José Vicente Valdenebro García

Pamplona, 19 de Febrero de 2015

## 5. EQUIPOS NECESARIOS

**Programa ROBOT Structural Analysis Professional.** El programa está concebido para la comprobación de sistemas planos y espaciales de barras de estructuras de madera, cualesquiera sean su geometría y apoyos, teniendo en cuenta las limitaciones de resistencia y deformación impuestas por la normativa vigente. Permite la utilización de secciones rectangulares simples y dobles. Las barras pueden ser de canto variable, de sección compuesta (formadas por dos piezas), y de directriz curva (discretizada en una poligonal).

Para la introducción de las características mecánicas de la madera, se adopta el sistema de clases resistentes definido en las normas *UNE-EN 338 “Madera estructural. Clases resistentes”* y *UNE-EN 1194 “Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Clases resistentes y determinación de los valores característicos”*.

La comprobación de las barras de madera, se realiza aplicando la norma *CTE-DB-SE-Madera*. La determinación de los esfuerzos en las barras se realiza mediante el método de cálculo matricial, planteando un sistema de ecuaciones lineales, del que se deducen los desplazamientos de los nudos. Conocidos los desplazamientos se calculan las fuerzas correspondientes en los extremos de cada barra y las restricciones en los apoyos. Para la consideración de las barras de sección variable en el proceso de cálculo matricial, el programa utiliza internamente una matriz de rigidez de la barra, con tres tramos de igual longitud, asignando a cada uno el área y la inercia promedios del tramo.

Para determinar las fuerzas de sección en el vano de cada barra, su longitud se divide en 20 secciones, calculando las solicitaciones en cada una de ellas. Además, se obtiene la flecha de cada sección en las que se ha dividido la barra aplicando el método del área-momento.

En el cálculo de las placas de anclaje y zapatas se aplican las especificaciones de la norma *EHE-99 “Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón armado o en masa”*, y el *CTE-DB-SE-Acero*.

**Microsoft EXCEL 2010.** Software de hoja de cálculo, que permite crear tablas que calculan de forma automática los totales de los numéricos que especifica, y por tanto analizar datos.

**CADWORK.** Programa para el diseño de estructuras, que engloba todas las soluciones necesarias para el sector de la construcción en madera laminada encolada, metálica y hormigón. En él se modela la estructura tridimensional, permitiendo analizar la geometría y diseñarla. Podemos además, generar los datos para las máquinas de tallado numérico. Los proyectos se elaboran de forma completa y racional, partiendo desde la fase de arquitectura, pasando por la concepción, hasta la fabricación manual o industrial.

El programa se estructura de forma lógica y comprensible, lo que permite un uso eficaz y rápido. En cada fase de la planificación, se dispone de herramientas específicas para la construcción en madera.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- *Beazley Mitchell; The Internacional Book of Wood: la madera*. Ed. BLUME 1986.
- *Arredondo y Verdú Francisco; Madera y Corcho*. Servicio de Publicaciones Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos de Madrid 1986.
- *Arriaga Martitegui Francisco, Peraza Sánchez Fernando, García Esteban Miguel y Guindeo Casasús Antonio; Especies de maderas para carpintería, construcción y mobiliario*. AITIM 2004.
- *Recopilación de Normas UNE; Madera para construcción (Tomo 9: construcción)*. AENOR 1998.
- *Natterer Julius, Sandoz Jean Luc, Rey Martial; Construction en Bois*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes 2004.
- *Orbe Aimar, Cuadrado Jesús, Rojí Eduardo y Maturana Aitor; Arquitectura y madera: Guía de diseño de elementos estructurales*. Egurtek 2008.
- *Dominique Daguzé; Conception des structures en bois lamellé collé*. Eyrolles 1987.
- *Parker Harry y Ambrose James; Diseño simplificado de estructuras de madera*. Limusa Wiley 2000.
- *Euchner Manfred y Genevrier Marc; Manuel des traits de charpente: assemblages de fermes, ruptures de toit et sablières montantes y lucarnes et structures transversales*. Eyrolles 1992.
- *Arriaga Martitegui Francisco y Peraza Sánchez Fernando; Diseño estructural en madera*. AITIM 1999.
- *Arguelles Álvarez Ramón y Arriaga Martitegui Francisco; Estructuras de madera: Diseño y cálculo*. AITIM 2000.
- *Documento Técnico CB71; Regles de calcul et de conception des charpentes en bois*. Ediciones Eyrolles 1984.
- *Arriaga Martitegui Francisco, Peraza Sánchez Fernando, Esteban Herrero Miguel y Asociación de Investigación Técnica de la Madera y Corcho; Madera aserrada estructural*. Mundi-Prensa 2003.
- *Queipo de Llano Moyá Juan, González Rodrigo Beatriz, Llinares Cervera Mariana, Villagrà Fernández Carlos y Gallego Guinea Virginia; Guía de la madera: Conceptos básicos de la construcción con madera*. Confemareda 2008.
- *Arriaga Martitegui Francisco, Esteban Herrero Miguel e Íñiguez González Guillermo; Guía de la madera: Productos de madera para la construcción*. Confemareda 2008.

- *Arriaga Martitegui Francisco, Esteban Herrero Miguel y Íñiguez González Guillermo; **Guía de la madera: Durabilidad.*** Confemareda 2008.
- *Palaia Pérez Liliana; **La conservación de la madera en los edificios antiguos.*** Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia 1998.
- *Vega Catalán Luis, Llinares Cervera Mariana, Villagrà Fernández Carlos, Gallego Guinea Virginia y González Rodrigo Beatriz; **Guía de la madera: Comportamiento frente al fuego.*** Confemareda 2008.
- *Arriaga Martitegui Francisco, Peraza Sánchez Fernando e Íñiguez González Guillermo; **Guía de la madera: Uniones.*** Confemareda 2008.
- *Labernia i Badia Carles; **Guía de la madera: Ejecución, control y mantenimiento.*** Confemareda 2008.
- *Arriaga Martitegui Francisco; **Manual Técnico: Uniones metálicas en estructuras de madera.*** T&T AGINCO 2004.
- *Wolfram Grauber; **Assemblages du bois.*** Ediciones VIAL 2002.
- *AITIM, Asociación de Investigación Técnica de Industrias de Madera y Corcho; **Medios de unión.***
- *ATEG, Asociación Técnica Española de Galvanización; **Galvanización en caliente: notas informativas.***
- *Holzforshung Munchen, Madera aserrada estructural (DIN 4074); **Clasificación de la madera según su resistencia estructural.***
- *Index Fixing Systems, Grupo Index; **Conectores para madera.***
- *CMBP; **Charpentés lamellés collés.***
- *Kaufmann; **Fabricación estructuras de madera laminada encolada.***
- *KLH Massivholz GMBH; **Paneles contralaminados.***
- *Maderkraft; **Información técnica de herrajes para estructuras de madera.***
- *Paul Gauthier; **Manuela técnico para la construcción con madera laminada.***
- *Rothoblaas, carpintería de madera; **Equipos y medios de unión para estructuras de madera.***
- *Simpson Strong Tie; **Conexiones para ensambladuras de madera.***
- *Curbiperfil, Panel Habitae Aeris (metal prelacado, núcleo aislante compuesto de poliestireno expandido y madera tablero OSB IV); **Acero y madera en una sola pieza.***