

## PLANTA DE COMPOSTAJE Y ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA DE EPELE, GUIPÚZCOA

**Juan Luis BELLOD THOMAS**

Ingeniero de CCyP

CESMA Ingenieros S.L.

[cesma@cesmaing.com](mailto:cesma@cesmaing.com)

**David SANZ CID**

Ingeniero de CCyP

CESMA Ingenieros S.L.

[cesma@cesmaing.com](mailto:cesma@cesmaing.com)

### RESUMEN

Para la redacción del proyecto constructivo de la “Planta de Compostaje y Estación de Transferencia de Epele”, fue necesario dotar al proyecto base del grado de detalle requerido para su ejecución, tratando, al mismo tiempo, de industrializar los elementos estructurales con objeto de reducir el plazo de ejecución, aún a costa de un diseño estructural más complejo. Los cambios se realizaron sin variar la concepción y vista original del edificio, manteniendo su estética en líneas generales. Gracias al empleo de metodologías de cálculo sofisticadas y a soluciones estructurales poco convencionales, se consiguió una optimización significativa del coste y plazo final de la obra.

### ABSTRACT

The project for the Composting Plant and Transfer Station in Epele, Guipuzcoa, required very detailed information and, at the same time, the prefabrication of most of the structural members, in order to reduce as much as possible the construction time, although it meant a more complex structural design. The changes made did not affect the main concept or the visual appearance of the building. The adoption of sophisticated calculation methods and non-conventional structural solutions led to a significant improvement of the original project, both in terms of cost and time.

**PALABRAS CLAVE:** ligereza, pórticos metálicos, grandes luces, unión atornillada, funcionalidad

**KEYWORDS:** lightness, steel frames, large spans, bolted connections, functionality

### 1. Introducción

A la hora de abordar las obras de la nueva “Planta de Compostaje y Estación de Transferencia de Epele”, situada en la población de Bergara (Guipúzcoa) y, en concreto, para la redacción del proyecto constructivo, fue necesario subsanar las deficiencias de definición existentes en el proyecto base, dotándolo del grado de detalle requerido en una obra de estas características.

Al mismo tiempo se trató de que cada uno de los elementos estructurales fuera lo más industrializado posible, como medio para conseguir reducir el tiempo de ejecución a fin de cumplir los plazos establecidos para su construcción, aún a costa de un diseño estructural más complejo.

Todos los cambios se realizaron sin variar la concepción original del edificio ni su vista general, manteniendo su estética en líneas generales, aunque se procuró que todos los cambios en la geometría de la estructura mejorasen la apariencia final de la obra.

### 2. Condicionantes

El proyecto de la estructura estaba muy condicionado por la orografía de la zona, una compartimentación muy rígida para el procesado y almacenamiento de los residuos y la presencia

constante de maquinaria en el interior del edificio para las labores de explotación. Por todo ello el resultado debe contemplar una estructura con múltiples zonas diferenciadas, en la que deben minimizarse los elementos resistentes para el libre tránsito de la maquinaria y con unas condiciones de cimentación muy heterogéneas por la distinta profundidad de afloramiento del terreno resistente.

La reducción del peso total de la estructura metálica, muy elevado en el proyecto base, también fue uno de los objetivos fundamentales durante la redacción del proyecto de construcción, ya que la planta de compostaje se cimenta sobre rellenos artificiales compuestos principalmente por gravas con arcillas o por arcillas limosas con bastante grava, que podían dar problemas importantes de asentamientos.

### 3. Descripción de la estructura

Para dar solución a la anterior problemática, se diseñó una estructura muy ligera mediante pórticos metálicos de grandes luces, arriostrados por una potente chapa grecada que también hace las funciones de cerramiento. Los dinteles de los pórticos se materializan mediante celosías tubulares, curvas o rectas, en función de la luz de cada zona de trabajo.

Con este planteamiento se pudo optimizar la solución estructural del proyecto original, compuesta por un entramado de vigas en dos direcciones con arriostramientos adicionales, reduciendo el número de elementos y simplificando la ejecución, reduciéndose también el número de uniones necesarias en obra, que debían ser atornilladas por requerimiento de la propiedad. La estructura metálica descansa sobre unos muros prefabricados de hormigón que permiten la separación física de los diferentes espacios.



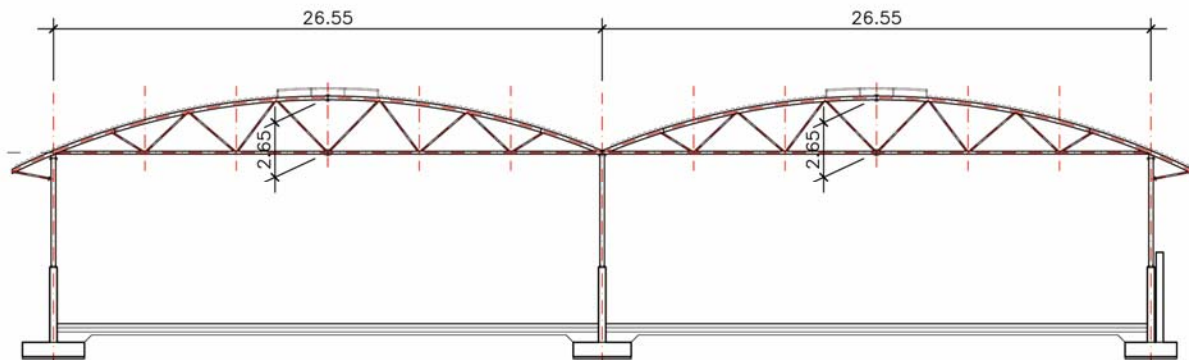
**Figura 1. Vista general.**

El edificio principal, que es el que ha necesitado de la redacción de un proyecto específico detallado de construcción y al que se refiere el presente artículo, se compartimenta en los siguientes espacios: edificio de maduración, edificio de mezcla, edificio de recepción y descarga de material, edificio de almacén, edificio de almacén de estructurante no triturado, túneles de biooxidación y biofiltro.



**Figura 2. Planta general. En verde se marcan los edificios objeto del proyecto constructivo.**

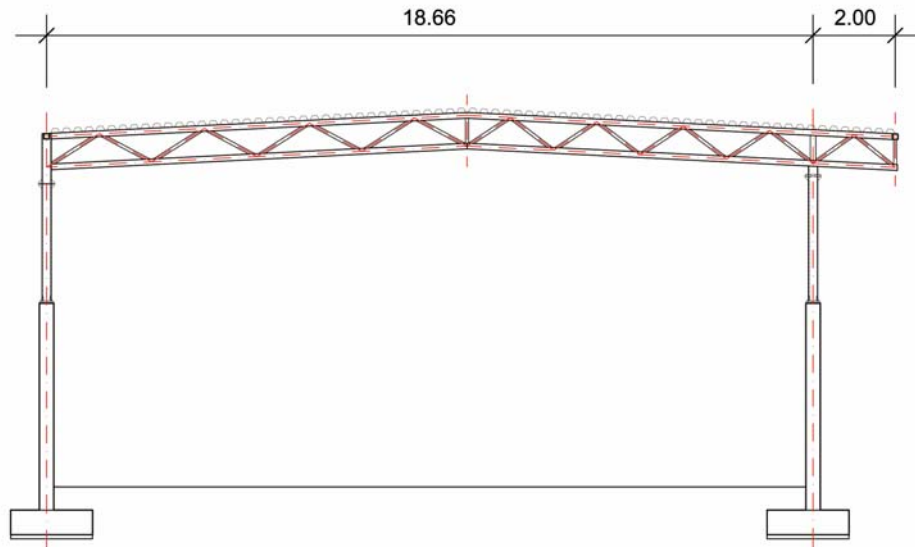
La cubierta de los edificios de maduración y de mezcla, con luces máximas de 26,55 m y 22,55 m respectivamente, se resuelve mediante celosías en forma de arco con flecha máxima en centro de vano de 2,65 m y perfiles con sección tubular cuadrada y rectangular. Para el edificio de descarga de material, con luz máxima de 25 m, se dispone una solución similar con flecha máxima de 2,5 m.



**Figura 3. Celosías decubierta en edificio de maduración**

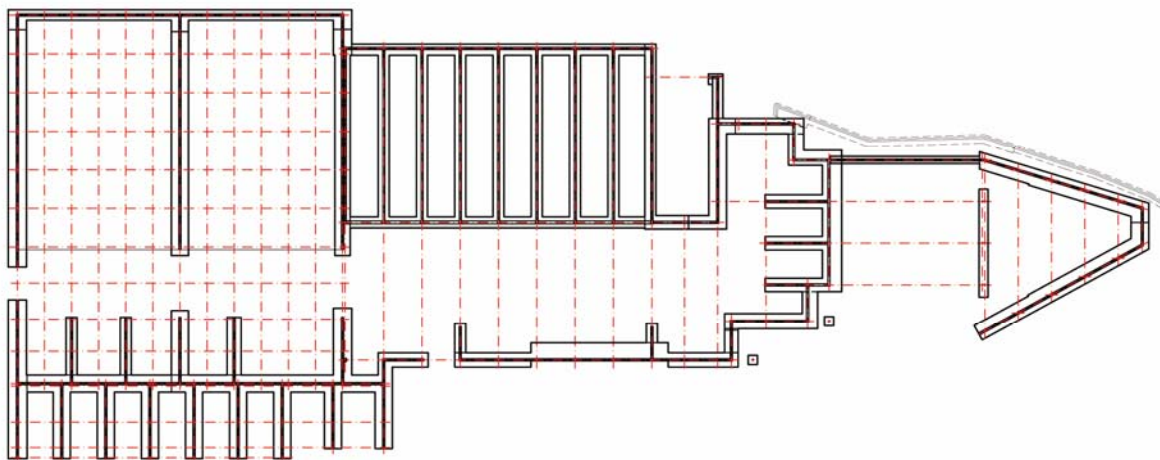
En el edificio de almacén, debido a la reducida luz máxima de 5,8 m de su cubierta, se disponen pórticos con perfiles tubulares simples de 0,25 m de canto.

En el resto de edificios, descarga y almacén de estructurante no triturado, con luces máximas respectivas de 12,4 m y 18,7 m, se disponen celosías tubulares de canto constante de 0,75 m a ejes de tubos. En el segundo de ellos la cubierta se define a dos aguas mientras que el primero tiene pendiente única.



**Figura 4. Celosías decubierta en edificio de almacén de estructurante no triturado.**

Todas las cubiertas apoyan sobre pilares metálicos tubulares de 250x250 mm de sección que, a su vez, descansan sobre muros de hormigón, que materializan la compartimentación del edificio, cimentados superficialmente con zapatas corridas.



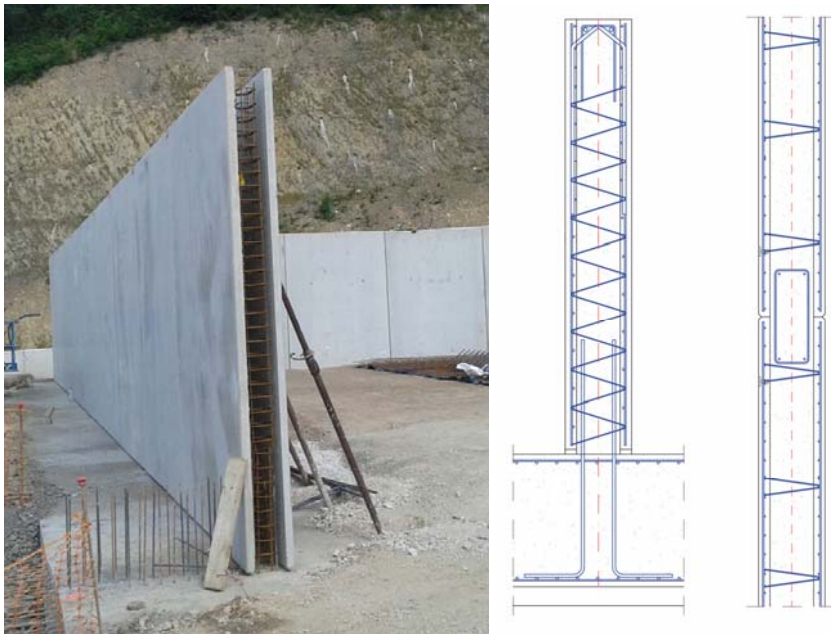
**Figura 5. Planta de muros y cimentaciones.**

#### **4. Elementos de hormigón**

Uno de los cambios más relevantes planteado a la hora de redactar el proyecto de construcción de las obras, es la sustitución de los muros de hormigón armado, definidos en el proyecto base de las obras, por muros prefabricados, con el objetivo de acelerar el proceso de montaje en obra.

Se cambian los muros in situ de 0,3 m de espesor iniciales por muros prefabricados de 0,35 m de espesor, compuestos por módulos de 2,49 m de longitud y constituidos por una doble placa de hormigón armado prefabricado de 0,06 m de espesor unidas entre sí por celosías de barras de acero de armar, cuyo interior se rellena posteriormente en obra.

En la zona interior se dispone la armadura de espera de las cimentaciones, la armadura de continuidad entre los distintos módulos, la armadura de coronación y las barras de anclaje para los pilares metálicos.

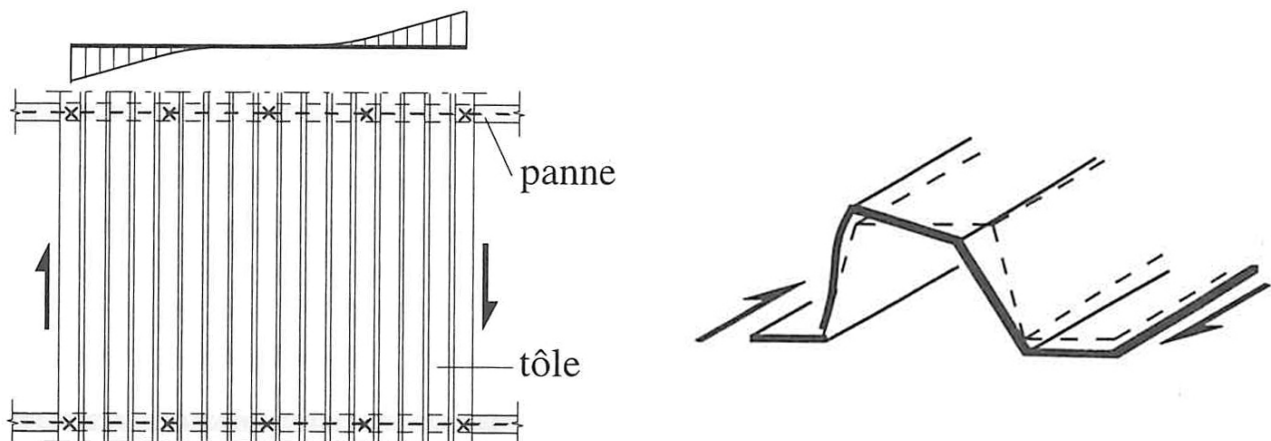


**Figura 6. Muros prefabricados (vista en obra, alzado y planta).**

Con esta modificación se consigue reducir notablemente el tiempo de ejecución en obra, al evitar la disposición de encofrados y al limitar notablemente la colocación de armadura, a costa de un incremento considerable del estudio de la geometría y principalmente de los detalles estructurales.

### 5. Sistema de arriostrado

Con objeto, una vez más, de simplificar y aligerar las cubiertas, se elimina el sistema de correas y cruces de San Andrés previsto en el proyecto base en el plano de cubierta, y se dispone una chapa grecada de gran canto (111 mm) que, además de servir como cerramiento resistiendo las cargas del acabado y sus sobrecargas, es capaz, gracias a la rigidez en su plano, de arriostrar los pórticos de cubierta. De esta forma no es necesario disponer cruces de San Andrés en el plano de la cubierta.



**Figura 7. Esquema de funcionamiento de la chapa grecada como arriostramiento.**

Con este sistema de arriostrado entre pórticos se obtiene una estructura limpia, ligera y ordenada.



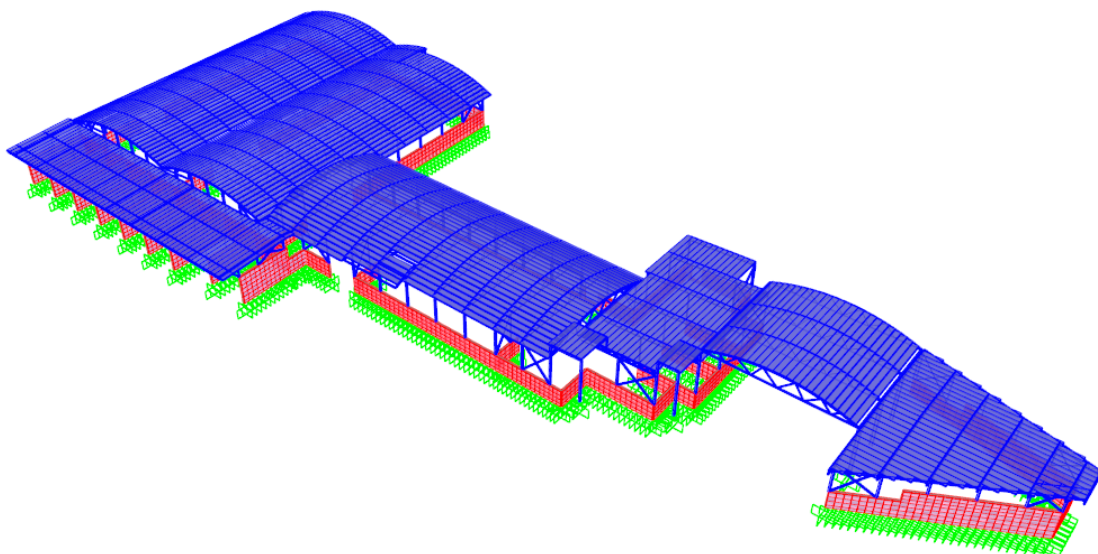
**Figura 8. Aspecto definitivo interior de la cubierta.**

Para el arriostrado de los paramentos verticales, se disponen cruces de San Andrés en ambas direcciones limitando su número lo máximo posible.

## **6. Dimensionado de los elementos**

### **6.1. Modelo de cálculo**

Debido a las numerosas interacciones entre las cubiertas de los diferentes espacios, se realiza un único modelo global de cálculo de elementos finitos, en el que se incluyen todos los elementos que conforman la estructura. Puesto que se trata de una estructura con elementos esbeltos, se realiza un cálculo con no linealidad geométrica para considerar los esfuerzos en 2º orden globales de la estructura.

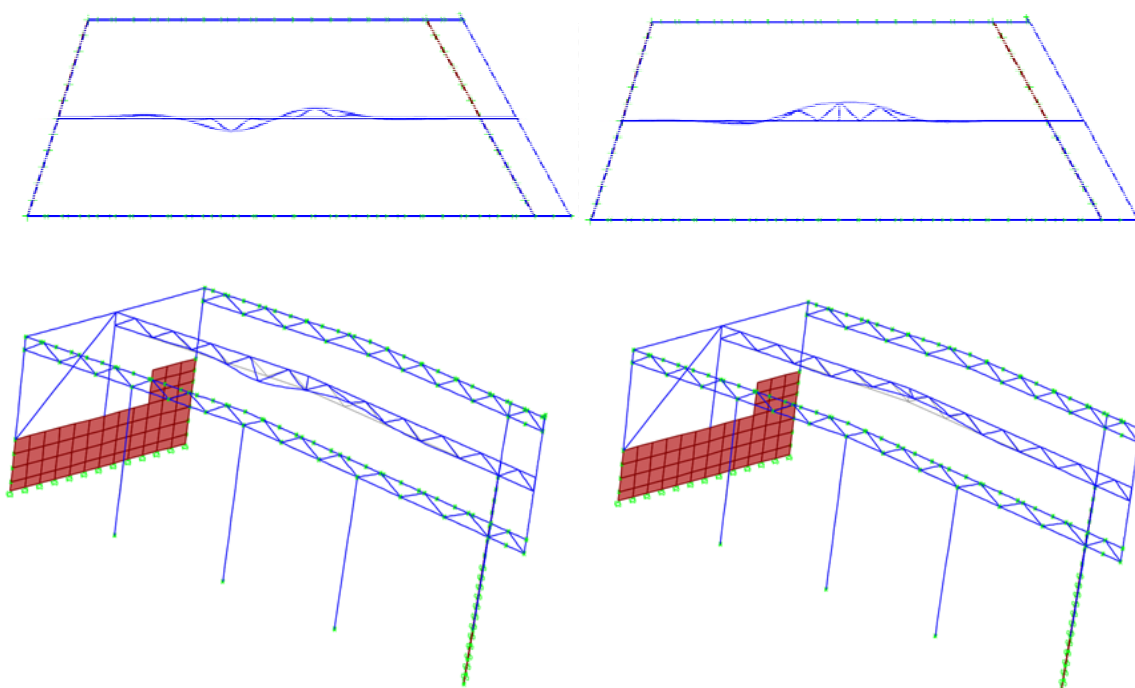


**Figura 9. Modelo general de cálculo de elementos finitos.**

## 6.2. Pandeo de elementos comprimidos

Puesto que uno de los objetivos fundamentales es la reducción del peso total de la estructura, se prestó especial atención a la verificación detallada de los elementos comprimidos frente al pandeo para evitar el sobredimensionado de los mismos. Para ello se consideraron los siguientes criterios de dimensionado:

- Todos los cordones superiores se consideran arriostrados fuera del plano de las celosías por la chapa grecada, por lo que no existe riesgo de pandeo. Para el pandeo en el plano de la celosía se considera una longitud de pandeo igual a 0,9 veces la distancia entre los nudos de las diagonales.
- Para todas las diagonales se considera una longitud de pandeo, tanto en plano de las celosías como fuera de él, igual a 0,9 veces su longitud.



**Figura 10. Modos de pandeo asimétrico y simétrico del cordón inferior.**

Como puede observarse en ambos modos de pandeo, la distancia máxima entre puntos de inflexión resulta igual a dos veces la distancia entre diagonales, por lo que adoptará este valor como longitud de pandeo.

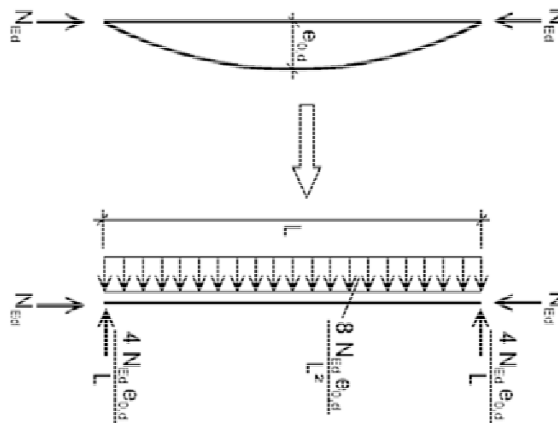
- Para los cordones inferiores de celosías de canto variable tipo arco, puesto que estas celosías cubren las zonas de mayor luz, siendo estos elementos los que pueden tener un mayor sobredimensionado al considerar métodos simplificados para la verificación frente al pandeo de sus elementos comprimidos, se realiza un cálculo con no linealidad geométrica y grandes deformaciones a partir de las imperfecciones iniciales.

Con las imperfecciones iniciales del cordón inferior se tiene en cuenta la inestabilidad global de los cordones como estructura, obteniéndose, directamente a partir del cálculo no lineal, los esfuerzos solicitantes de 2º orden. Una vez obtenidos estos esfuerzos, se realiza la verificación considerando, para la obtención de los axiles de compresión resistentes según EC, una longitud de pandeo igual a 0,9 veces la distancia entre diagonales, de forma que,

además de la inestabilidad global de la celosía como viga, se considera la inestabilidad local del cordón entre diagonales como elemento aislado.

Para la obtención de las imperfecciones iniciales se considera, del lado de la seguridad, la curva de pandeo “c”, de forma que el cálculo sea válido tanto para perfiles tubulares conformados en caliente como en frío. Por lo que la imperfección inicial a considerar es igual a  $e_0 = L / 200$ .

Para introducir las imperfecciones iniciales anteriores en el modelo de cálculo, se consideran una serie de cargas equivalentes a las mismas según el siguiente criterio.



**Figura 11. Definición de cargas equivalentes a las imperfecciones iniciales.**

Para la obtención de la carga equivalente a la imperfección inicial se considera, de lado de la seguridad y ante las posibles incertidumbres en las cargas permanentes definitivas, el axil  $N_{Ed}$  correspondiente a la siguiente combinación de cálculo siguiente:

$$0.90 \text{ PP} + 0.50 \text{ CM} + 1.50 \text{ VIENTO succión}$$

## 7. Detalles constructivos

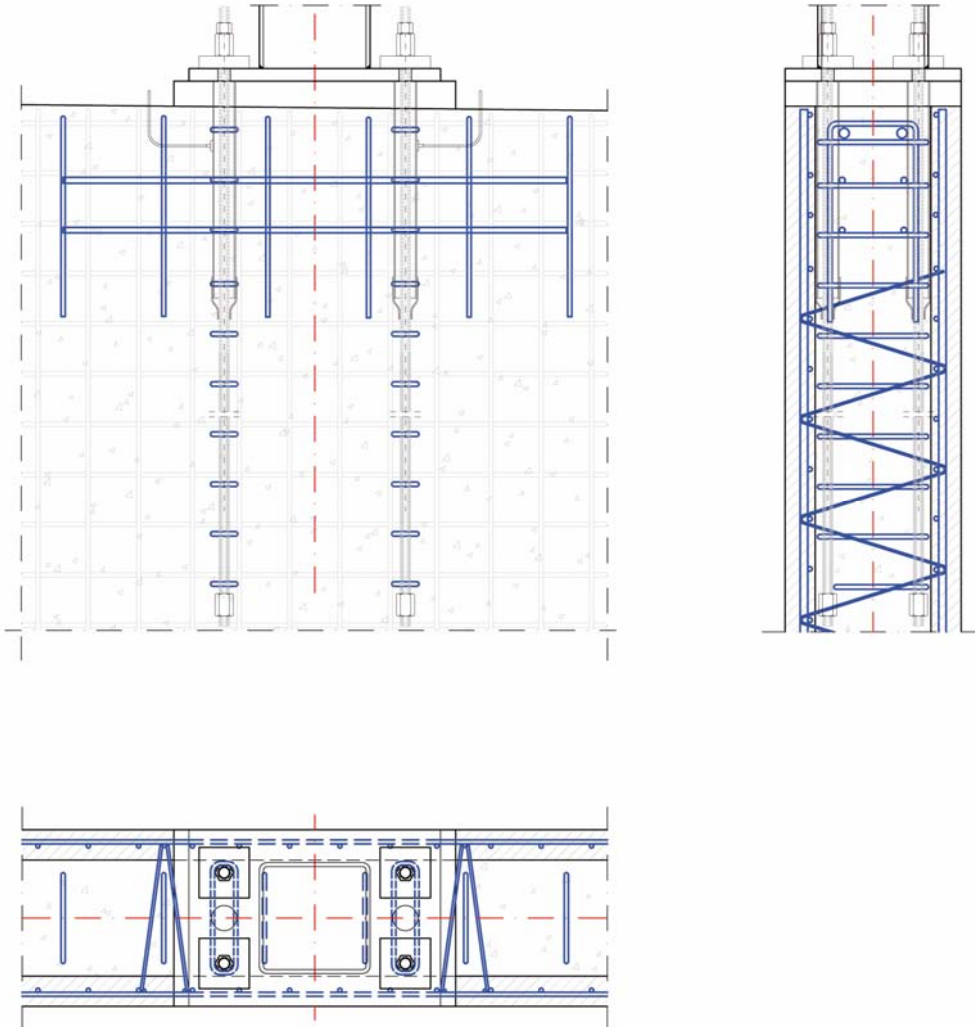
Con objeto de optimizar los tiempos de montaje de la estructura, todas las uniones en obra se definen atornilladas, diseñándose estas uniones, con carácter general, para ser capaces de transmitir los esfuerzos resistentes de los elementos que conectan.



**Figura 12. Detalles atornillados para uniones en obra.**



También es necesario destacar los detalles de anclaje de los pilares metálicos en la coronación de los muros de hormigón, ya que fue necesario compatibilizar el diseño de una unión empotrada con la particular geometría de los muros prefabricados. El empotramiento se garantizó con el empleo de barras de acero de alta resistencia a las que se les aplicó un par de apriete equivalente al 50% de su carga en rotura para garantizar un adecuado comportamiento frente a la fatiga y evitar el levantamiento de la placa de anclaje para las cargas en servicio de la estructura.



**Figura 13. Detalles de anclaje de pilars metálicos.**

## 8. Conclusiones

La nueva Planta de Compostaje y Estación de Transferencia de Epele, es un claro ejemplo de cómo, gracias a la dedicación de tiempo y recursos a la fase de proyecto, es posible optimizar no sólo el material necesario para dar solución estructural al edificio, sino también reducir el plazo de ejecución, con el ahorro económico que la combinación de ambos elementos supone en el coste final de la obra.

Es necesario destacar que una parte importante del ahorro económico finalmente obtenido, se ha conseguido mediante un estudio detallado de la estructura, el empleo de metodologías de cálculo sofisticadas y gracias a soluciones estructurales poco convencionales, garantizado, además, un alto valor estético del resultado final, para lo que es necesaria una presencia e implicación significativa de la ingeniería durante todas las fases de obra.



**Figura 14. Vista interior de edificio de mezcla terminado.**

## 9. Ficha técnica de la estructura

### Datos de la obra

Ubicación	Bergara (Guipúzcoa)
Año de ejecución	2015
Propiedad	Consortio de Residuos de Guipúzcoa
Proyecto constructivo y asistencia técnica	CESMA Ingenieros
Constructora	UTE Serbitzu Elkartea SL / FCC / Construcciones Murias
Arquitectura	INAK Ingeniaritza

### Datos técnicos

Superficie	7.660 m <sup>2</sup>
Luz máxima	26,55 m
Flecha de celosías curvas	2,25 m
Canto de celosías rectas	0,75 m
Canto de chapa grecada	0,111 m
Cuantía de acero estructural	20 kg/m <sup>2</sup>
Presupuesto de ejecución material	1.253.228 €

**Tabla 1. Resumen características de las estructuras.**