

UNIVERSIDAD DE OVIEDO



*DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN E
INGENIERÍA DE FABRICACIÓN*



TESIS DOCTORAL

*OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL
EDIFICIO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN
SOSTENIBLE INDUSTRIALIZADA EN
BASE ACERO*

AUTOR: RICARDO TUCHO ALONSO

DIRECTORES: Dr. RICARDO VIJANDE DIAZ

Dr. JOSÉ MANUEL SIERRA VELASCO

Marzo 2012



RESUMEN DEL CONTENIDO DE TESIS DOCTORAL

1.- Título de la Tesis	
"OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL EDIFICIO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE INDUSTRIALIZADA EN BASE ACERO"	"OPTIMIZATION OF BUILDING'S LIFECYCLE BY MEANS OF INDUSTRIALIZED AND SUSTAINABLE STEEL BASED CONSTRUCTION"
2.- Autor	
Nombre: Ricardo Tucho Alonso	
Programa de Doctorado: Diseño, Construcción y Fabricación	
Órgano responsable: Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación	

RESUMEN (en español)

En esta tesis se plantea un cambio integral en la metodología del proceso de la edificación, desde su concepción y diseño pasando por las fases de fabricación industrializada de los componentes, construcción en obra, fase de uso y de fin de uso del mismo. La fase de desecho desaparecería ya que no habría desechos por reutilizarse o reciclarse el 100% de los componentes y materiales que se proponen para utilizar.

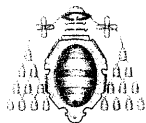
Con este nuevo enfoque se pretende que la construcción de viviendas sea más segura (la construcción tiene actualmente unos índices de siniestralidad muy altos en España), más eficiente (tanto en la construcción en sí como en su fase de uso) y más sostenible (0 residuos en todas las fases, incluido la de fin de uso).

Para conseguirlo se utiliza como material base el acero, lo que supone una reducción considerable del peso del edificio frente a los tradicionales de hormigón, lo que redundará en mejoras medioambientales y económicas. Y este material es 100% e infinitamente reciclable sin perder sus propiedades.

Esta tesis es fruto del trabajo realizado durante el desarrollo del proyecto CETICA "La Ciudad Eco-tecnológica", proyecto código CEN-20072012 del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) en la tercera convocatoria del Programa CENIT, que forma parte del Programa Ingenio 2010 del Ministerio de Innovación liderado por ArcelorMittal y que se ha realizado desde Julio de 2007 a Diciembre de 2010.

Los objetivos que se persiguen son:

- Plantear el Ciclo de Vida del edificio en su conjunto, desde la fase de diseño hasta la de fin de uso, con el fin de mejorar la sostenibilidad y la eficiencia de la construcción.
- Mejorar las condiciones de trabajo, especialmente para la reducción de la siniestralidad laboral del sector.
- Optimizar procesos mediante la industrialización para:
 - Reducir los tiempos de construcción (incluyendo fabricación en factoría y montaje en obra), sin aumentos de coste que lo hagan inviable.



- Mejorar la eficiencia de consumos energéticos del edificio, tanto en su construcción como en su fase de uso.
- Aumentar el uso de materiales sostenibles y ecológicos, especialmente el acero en edificación.

La metodología propuesta que consigue optimizar el ciclo de vida se puede resumir en las siguientes fases :

- Fase de diseño.
 - En ella se definen los componentes en base acero innovadores para una edificación sostenible, en 2 y 3 dimensiones, para configurar un catálogo que permita la construcción de un edificio en base a estos componentes.
 - Creación de una plataforma software de diseño que optimiza los tiempos de diseño, con una librería de componentes (1D, 2D, 3D) en base acero que reducen los pesos del edificio y da una salida con los componentes listados para fabricación, automatizando el proceso logístico.
 - La fase de diseño no termina como tradicionalmente con el proyecto, sino que continúa durante todo el ciclo de vida del edificio, para una mejora del mismo
- Fase de fabricación de los componentes del edificio.
 - Una única línea de fabricación industrializada para los elementos 2D estructurales (100% acero) a los que se añaden las capas de prestaciones: fuego, acústica y vibraciones, aislamiento térmico, acabado final, etc...
 - Los trabajos más específicos del edificio se realizan en fábrica, en ambiente controlado, por personal especializado y maquinaria de última generación.
- Fase de construcción (montaje de los componentes en obra).
 - Nuevo sistema de montaje más seguro, trabajando siempre a nivel 0 (minimizando el riesgo de caídas) y elevando los pisos mediante sistemas de gatos neumáticos.
 - No hay soldadura ni ambientes húmedos (ni hormigón ni proyecciones). Los módulos húmedos (baños, cocinas) van preinstalados de fábrica, en obra sólo se realizan los enganches entre módulos.
- Fase de uso.
 - El mantenimiento del edificio es controlado mediante sensores que ayudan a alargar la vida del mismo y a que se encuentre siempre en óptimas condiciones de funcionamiento y uso.
- Fase de fin de uso.
 - "Deconstrucción" (deshacer la construcción) y desmontaje del edificio, no demolición.
 - Cada componente se separa en materiales, que se tratan de manera única a cada uno de ellos. Si se puede reutilizar se reutiliza, sino se recicla. El acero es 100% reciclable sin perder sus propiedades.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a los directores de la tesis, Ricardo Vijande y José Manuel Sierra, el esfuerzo y las horas dedicadas para llevar este trabajo a buen puerto y mejorar el resultado del mismo. También al personal del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Oviedo por no sólo este trabajo sino muchos a lo largo de mis estudios y carrera profesional.

También a la empresa ArcelorMittal por el trabajo y el permitirme especialmente participar en el proyecto sobre el que se basa la tesis, todo un ejemplo de las posibilidades del I+D en la empresa y con la colaboración de socios y centros tecnológicos. A ellos también mi agradecimiento por el desarrollo profesional. Con el riesgo de olvidarme de alguno quiero agradecer especialmente a Faustino Obeso, a Nicolás de Abajo, a Leticia Zárate, a Ramón Laso y a María José Sánchez la ayuda, la confianza y el apoyo en estos años. Sin ellos esto no sería posible.

Por último, que no menos importante, a la familia. A Laura, por quererme, por apoyarme y ayudarme y estar ahí siempre. A mis hijos para que algún día lean esto y puedan entender por qué si su padre es ingeniero es también doctor. A mi hermano que me ha enseñado siempre a ser mejor persona. A mi madre a la que debo todo y esto también, por supuesto. A mi padre, tutor permanente en la sombra. Este trabajo es tuyo y tu insistencia al final tuvo sus frutos. Y un recordatorio final para una persona que ya no está pero que siempre fue mi ídolo y que seguro estaría feliz de este momento. Para ti también, abuelo Paco.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. ANTECEDENTES	15
1.2. OBJETIVOS	16
1.3. DESARROLLO DEL TRABAJO	18
2. ESTADO DEL ARTE	22
2.1. INTRODUCCIÓN	22
2.2. CICLO DE VIDA	23
2.2.1. Objetivo y alcance del ACV	24
2.2.2. Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)	26
2.2.3. Evaluación del impacto del análisis del ciclo de vida (EICV)	27
2.2.4. Interpretación del ciclo de vida	28
2.3. CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD	29
2.3.1. Certificación energética de los edificios (España)	30
2.3.2. Certificación VERDE - GBC (España)	32
2.3.3. Certificación LEED (USA)	33
2.3.4. Certificación BREEAM (Reino Unido)	34
2.3.5. Certificación CASBEE (Japón)	35
2.4. CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA	37
2.4.1. Proceso de construcción tradicional	37
2.4.2. Proceso de construcción modular de edificios	40
2.4.3. Construcción industrializada en España	47
2.4.4. Construcción industrializada en Europa	50
2.4.5. Construcción industrializada en el resto del mundo	56
2.5. EL ACERO EN CONSTRUCCIÓN	59
2.5.1. Acero Laminado en Caliente	60
2.5.2. Acero conformado en frío	70
3. METODOLOGÍA PROPUESTA	70
3.1. INTRODUCCIÓN	70
3.2. FASES DE LA METODOLOGIA PROPUESTA PARA LA EDIFICACIÓN	70
3.2.1. FASE DE DISEÑO. PROYECTO	70
3.2.2. FASE DE FABRICACIÓN DE COMPONENTES. CIBAS y UCAS	70

3.2.3.	MONTAJE	70
3.2.4.	USO Y MANTENIMIENTO	70
3.2.5.	DECONSTRUCCIÓN	70
3.3.	<i>EL CICLO DE VIDA CERRADO DEL EDIFICIO</i>	70
4.	CASO DE ESTUDIO. VALIDACIÓN DE RESULTADOS	70
4.1.	<i>INTRODUCCIÓN</i>	70
4.2.	<i>COMPONENTES DISEÑADOS</i>	70
4.2.1.	Componentes 1D.....	70
4.2.2.	Componentes 2D.....	70
4.2.3.	Componentes 3D.....	70
4.2.4.	Desarrollo detallado: Componente 2D Forjado	70
4.3.	<i>PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS COMPONENTES DISEÑADOS</i> ...	70
4.3.1.	Fabricación del CIBA Forjado 2D	70
4.3.2.	UCA Forjado 2D	70
4.4.	<i>MONTAJE EN OBRA</i>	70
4.4.1.	Definición del edificio.....	70
4.4.2.	Montaje del edificio por medios tradicionales.....	70
4.4.3.	Montaje automatizado del edificio	70
4.5.	<i>INSPECCIONES Y MANTENIMIENTO</i>	70
4.5.1.	Sensores	70
4.5.2.	Libro de mantenimiento del edificio	70
4.6.	<i>DESMONTAJE DEL EDIFICIO Y TRATAMIENTO A LOS COMPONENTES</i>	70
4.6.1.	Desmontaje del edificio	70
4.6.2.	Desmontaje de los componentes. Forjado	70
5.	CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS	70
5.1.	<i>CONCLUSIONES</i>	70
5.2.	<i>FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</i>	70
6.	BIBLIOGRAFÍA	70
	ANEJOS	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Etapas de la tesis	18
Figura 2.- Etapas del ACV [AENOR].....	24
Figura 4.- Alcance del ACV.....	25
Figura 4.- Pilares de la sostenibilidad	29
Figura 5.- Sello de eficiencia energética [BOE]	30
Figura 6.- Logotipo de Certificación Verde [GBC].....	32
Figura 7.- Sellos de certificación LEED.....	34
Figura 8.- Logotipo de BREEAM.....	35
Figura 9.- Logotipo de CASBEE	36
Figura 10.- Edificios en construcción mediante sistemas tradicionales	38
Figura 11.- Secuencia de montaje de un módulo	42
Figura 12.- Módulos en la fábrica.....	44
Figura 13.- Montaje de la cubierta	45
Figura 14.- Montaje en obra.....	46
Figura 15.- Módulo 3D Habidite	48
Figura 16.- Ejemplo de desarrollo proyecto INVISIO	49
Figura 17.- Sistema NCC Komplet.....	51
Figura 18.- Ejemplo de construcción NCC Komplet.....	52
Figura 19.- Módulo 3D [CORUS]	53
Figura 20.- Fabricación y montaje de módulos [CORUS].....	54
Figura 21.- Logotipo de Manubuild	55
Figura 22.- Filosofía del proyecto Manubuild.....	55
Figura 23.- Logotipo de I3CON.....	56
Figura 24.- Método Obayashi.....	57
Figura 25.- Estructura metálica en USA.....	58
Figura 26.- Proceso de galvanizado en baño caliente.	67
Figura 27.- Detalle de aplicación de pintura intumescente en una viga para una entrepanta	70
Figura 28.- Perfiles de acero conformado en frío empleados en construcción.....	70
Figura 29.- Protección de perfiles de acero conformado en frío mediante placas..	70
Figura 30.- Edificios en construcción	70
Figura 31.- Demolición de un edificio.....	70

Figura 32.- Ejemplo de pantalla de programa BIM [Graphisoft]..... 70

Figura 33.- Filosofía de la tecnología BIM [Autodesk] 70

Figura 34.- Ejemplo de cálculo realizado con Tekla Structures [Tekla] 70

Figura 35.- Incendio de un edificio 70

Figura 36.- Barandilla y pasamanos de seguridad de utilización 70

Figura 37.- Ejemplo de solución antivibratoria [VibraStop] 70

Figura 38.- Ejemplo de envolvente eficiente del edificio 70

Figura 39.- Instalación de climatización en una vivienda 70

Figura 40.- Trabajos de soldadura en obra 70

Figura 41.- Trabajos de hormigonado en obra 70

Figura 42.- Componente UCA con su parte estructural (CIBA) y capas de prestaciones 70

Figura 43.- Ejemplo de unión viga-pilar con placas soldadas en fábrica y atornilladas en obra 70

Figura 44.- Elementos 2D horizontales y verticales en un edificio 70

Figura 45.- Ejemplos de módulos de comunicaciones 3D [CORUS] 70

Figura 46.- Ejemplos de módulos húmedo 3D [WalkerModular] 70

Figura 47.- Análisis de prestaciones y verificación de las mismas en el proceso de diseño de nuevos componentes constructivos 70

Figura 48.- Boceto - prediseño de componentes a desarrollar 70

Figura 49.- Comprobación estructural mediante elementos finitos 70

Figura 50.- Ensayo de tracción realizado al componente con equipamiento del proyecto 70

Figura 51.- Ensayo de fuego del UCA forjado 70

Figura 52.- Esquema de planta de edificación modularizada [Modultec] 70

Figura 53.- Fábrica de edificación modular [Modultec] 70

Figura 54.- Propuesta de planta de componentes industrializados 70

Figura 55.- Sistema de Fabricación Flexible 70

Figura 56.- Sistema reconfigurable 70

Figura 57.- Ejemplo de líneas de fabricación de CIBAs 70

Figura 58.- Ejemplo de instalaciones colocadas en un UCA 70

Figura 59.- Ejemplo de módulo 3D húmedo de cocina 70

Figura 60.- Ejemplo de líneas de fabricación de UCAs 70

Figura 61.- Montaje bottom-up 70

Figura 62.- Montaje Top-down 70

Figura 63.- Puente grúa 70

Figura 64.- Detalle de robot en la grúa 70

Figura 65.- Montaje del edificio 70

Figura 66.- Elevación de cubiertas industriales 70

Figura 67.- Sistema de montaje de un tanque o silo metálico 70

Figura 68.- Sistema de montaje jack-block 70

Figura 69.- Placas solares en un edificio 70

Figura 70.- Componente de fachada con placas fotovoltaicas verticales 70

Figura 71.- Instalaciones domóticas en un edificio 70

Figura 72.- Célula de carga flexible [FlexiForce]..... 70

Figura 73.- Colocación de fibra óptica dentro de una estructura 70

Figura 74.- Micro-Cámara de vídeo. 70

Figura 75.- Control de fugas mediante cables 70

Figura 76.- Sistema de detección de fugas..... 70

Figura 77.- Edificio de estructura metálica..... 70

Figura 78.- Demolición de un edificio 70

Figura 79.- Refuerzo de la estructura para el desmontaje..... 70

Figura 80.- Desmontaje mediante grúa torre 70

Figura 81.- Montacargas de fachada especiales para cargas voluminosas 70

Figura 82.- Plataformas elevadas por cremallera 70

Figura 83.- Sistema de elevación automático 70

Figura 84.- Desmontaje y paletizado de UCAs de cubierta 70

Figura 85.- Secuencia de desmontaje mixta (grúa + lift-slab)..... 70

Figura 86.- Ejemplo de desmontaje de UCA húmedo..... 70

Figura 87.- Ejemplo de línea de desfabricación de UCA húmedo 70

Figura 88.- Ciclo de vida ABIERTO tradicional del edificio 70

Figura 89.- Ciclo de vida CERRADO del edificio con la nueva metodología 70

Figura 90.- Sistema Quicon de unión viga-perfil [SCI] 70

Figura 91.- Panel de fachada..... 70

Figura 92.- Fachada fotovoltaica..... 70

Figura 93.- Partición interior..... 70

Figura 94.- Cubierta detalle..... 70

Figura 95.- Componente de cubierta 70

Figura 96.- Componente 3D módulo de comunicaciones 70

Figura 97.- Vista 3D del módulo de comunicaciones..... 70

Figura 98.- Componente 3D húmedo. Vista plano..... 70

Figura 99.- Componente 3D húmedo – vista tridimensional 70

Figura 100.- Representación del CIBA forjado 70

Figura 101.- Detalle del perfil en C del forjado..... 70

Figura 102.- Representación de las uniones del forjado..... 70

Figura 103.- Análisis de elementos finitos al forjado..... 70

Figura 104.- Ensayo de forjado. Balsa, forjado y caballetes..... 70

Figura 105.- Sección del UCA de forjado propuesto..... 70

Figura 106.- Detalle de modificación del perfil del CIBA para conformar el UCA. ... 70

Figura 107.- Vista explosionada de los elementos que componen el UCA 70

Figura 108.- Simulación de resistencia al fuego [ABAQUS] 70

Figura 109.- Vista 3D de la solución a fuego planteada 70

Figura 110.- Modelo térmico 2D completo 70

Figura 111.- Gráfica de temperaturas 70

Figura 112.- Gráfica de deformaciones..... 70

Figura 113.- Horno de ensayos - sección 70

Figura 114.- Prototipo para ensayos a fuego..... 70

Figura 115.- Ejemplo de aplicación de protección contra el fuego 70

Figura 116.- Gráfica de temperaturas 70

Figura 117.- Predicción de aislamiento acústico [INSUL] 70

Figura 118.- Predicción de impacto sonoro 70

Figura 119.- Solución a ruido del forjado. Alzado 70

Figura 140.- Solución a ruido del forjado. Vistas 3D..... 70

Figura 121.- Resultados gráficos de los ensayos de aislamiento a ruido aéreo..... 70

Figura 122.- Resultados gráficos de ensayos de aislamiento a ruido de impacto. . 70

Figura 123.- Diagrama temperaturas (modelo de suelo) 70

Figura 124.- Flujos de temperaturas (modelo de suelo) 70

Figura 125.- CIBA Forjado seco unidireccional..... 70

Figura 126.- Proceso plegado (izda.) y de estampación (dcha.) 70

Figura 127.- Esquema línea de fabricación de forjado unidireccional 70

Figura 128.- Alimentador de bobinas 70

Figura 129.- Maquinaria de la línea de fabricación de perfiles 70

Figura 130.- Estación de soldadura del CIBA..... 70

Figura 131.- Esquema general del Árbol de Producto (arriba) y distribución general de la planta de un edificio (abajo).....	70
Figura 132.- Distribución de la línea de conformado de chapa.....	70
Figura 133.- Distribución de la línea de perfiles en C	70
Figura 134.- Estación de ensamblaje del forjado unidireccional.....	70
Figura 135.- Vista en planta de la fábrica de CIBAs	70
Figura 156.- UCA Forjado Unidireccional	70
Figura 137.- Disposición de las placas de aislante	70
Figura 138.- Capa de panel Vidiflor [Knauff].....	70
Figura 139.- Panel OSB [Thermochip]	70
Figura 140.- Tablero OSB. Colocación Uniones	70
Figura 141.- Línea automática para procesado de lana de roca	70
Figura 142.- Línea automática para procesado de Capas de Prestaciones	70
Figura 143.- Línea principal del montaje de la UCA forjado	70
Figura 144.- Distribución en planta (izda.) y alzado (dcha.) del edificio tipo.....	70
Figura 145.- División del edificio en componentes.....	70
Figura 146.- Ubicación de los distintos componentes en la planta del edificio.	70
Figura 147.- Distribución espacial de la obra.....	70
Figura 148.- <i>Ubicación de los núcleos de comunicaciones</i>	70
Figura 149.- Montaje de los núcleos de comunicaciones	70
Figura 150.- División del edificio en zonas.....	70
Figura 151.- Colocación de los pilares. Ubicación.....	70
Figura 152.- Colocación de los pilares. Vista 3D	70
Figura 153.- Detalle unión a la cimentación.....	70
Figura 154.- Colocación de las vigas de la zona 3	70
Figura 155.- Montaje de las vigas	70
Figura 156.- Detalle de la unión entre pilar y viga.....	70
Figura 157.- Vista en planta de la zona 3 con forjados.....	70
Figura 158.- Edificio con forjados.....	70
Figura 159.- Unión entre forjados y vigas	70
Figura 160.- Vista en planta de la zona 3 con los paneles de división estructurales70	
Figura 161.- Montaje de los paneles de separación entre viviendas	70
Figura 162.- Instalación de los componentes propios de cada vivienda.....	70
Figura 163.- Vista en planta de la zona 3 con los paneles de fachada.....	70

Figura 164.- Colocación de los paneles de fachada 70

Figura 165.- Detalle de la colocación de los paneles de fachada 70

Figura 166.- Colocación de la cubierta 70

Figura 167.- Ejemplo de software de control simultaneo de los gatos [DL] 70

Figura 168.- Gatos hidráulicos de elevada capacidad de carga (dcha.) y sus correspondientes “Power-packs”(a la izda.) [DL]..... 70

Figura 169.- Zonas principales del edificio..... 70

Figura 170.- Guías y gatos sobre el módulo de comunicaciones 70

Figura 171.- Unión viga-pilar que permite el paso de los gatos 70

Figura 172.- Gatos montados sobre pilares 70

Figura 173.- Puntos de apoyo para el izado de la planta..... 70

Figura 174.- Puntos de apoyo adicionales entre planta y núcleo 70

Figura 175.- Elevación de la planta con un núcleo de doce metros de largo 70

Figura 176.- Guiado de la planta y detalle del extremo de la viga 70

Figura 177.- Aspecto general de la planta 70

Figura 178.- Unión entre planta y pilares (superior e inferior)..... 70

Figura 179.- Unión entre planta y pilares desde el interior 70

Figura 180.- Aspecto general de la planta 70

Figura 181.- Riesgo de colapso de los pilares por pandeo..... 70

Figura 182.- Diseño del arriostramiento para evitar interferencias con la planta 70

Figura 183.- Colocación de tirantes que eviten interferencias con la planta..... 70

Figura 184.- Edificio en construcción con arriostramientos. 70

Figura 185.- Fibra Óptica colocada sobre la viga. 70

Figura 186.- Techo y zona de apoyo en forjado (izda.). Detalle del apoyo (dcha.) . 70

Figura 187.- Sensórica Integrada en las paredes de los módulos húmedos..... 70

Figura 188.- Robots sobre guías flexibles de ventosas [ABB] 70

Figura 189.- Inspección mediante Flex-track sobre pilar 70

Figura 190.- Robot trepador autónomo [Fatronik]..... 70

Figura 191.- Esquema del sistema colgante de inspección automatizado 70

Figura 192.- Vista de una parte del edificio antes de ser desmontada 70

Figura 193.- Colocación del arriostramiento sobre el edificio 70

Figura 194.- Instalación de los gatos trepadores en planta baja 70

Figura 195.- Secuencia de desmontaje mediante el método Lift-slab 70

Figura 196.- Diseño UCA Forjado..... 70

Figura 197.- Desplazamiento entre estaciones de trabajo..... 70
Figura 198.- Robot (izda.) y volteador (dcha.) 70
Figura 199.- Layout línea des-fabricación UCA forjado 70



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Impactos a considerar.....	33
Tabla 2.- Valores de límite elástico f_y y resistencia última a tracción f_u para acero laminado estructural.....	61
Tabla 3.- Tipos y grados de acero según norma UNE-EN 10025 certificados en España por la marca N de AENOR	62
Tabla 4.- Ejemplos de entornos exteriores y su categoría.....	63
Tabla 5.- Ejemplos de entornos interiores y su categoría.....	63
Tabla 6.- Espesor del revestimiento de cinc según EN ISO 1461	67
Tabla 7.- Valores de resistencia R en función del uso y la altura	68
Tabla 8.- Tipos de acero conformado en frío [EN 1993-1-1:2006. Tabla 3.1ª]	70
Tabla 9.- Resistencia al fuego de edificios [CTE]	70
Tabla 10.- Etapas del diseño de componentes según metodología definida.....	70
Tabla 11. Parámetros constructivos para distintos usos de edificación.....	70
Tabla 12.- Componentes del edificio.....	70
Tabla 13.- Requisitos analizados en el diseño de los componentes	70
Tabla 14.- Diagnóstico basado en análisis DAFO para perfiles 1D de acero	70
Tabla 15.- Preferencias en tamaños [UNE 41604]	70
Tabla 16.- Normativa europea de transporte especial por carretera [UE, -27-].....	70
Tabla 17.- Dimensiones de los componentes	70
Tabla 18.- Acciones a considerar en edificación.....	70
Tabla 19.- Flechas admisibles que garantizan la integridad de los forjados según el Documento Básico SE “Seguridad Estructural” [CTE].....	70
Tabla 20.- Frecuencia propia de vibración según diferentes normativas.....	70
Tabla 21.- Priorización de prestaciones para cada familia de UCAs	70
Tabla 22.- Ventajas e inconvenientes del método	70
Tabla 23.- Ficha de partición interior.....	70
Tabla 24.- Requisitos objetivo para el Forjado ligero de acero.....	70
Tabla 25.- Cuadro resumen con las características del CIBA forjado	70
Tabla 26.- Primer análisis de objetivos para el diseño inicial del forjado.....	70
Tabla 27.- Descripción las capas que componen la primera propuesta de UCA.....	70
Tabla 28.- Resultados de la simulación al fuego	70

Tabla 29.- Estimación del comportamiento acústico de la solución obtenida en el diseño acústico teórico del UCA de forjado	70
Tabla 30.- Tabla resumen de resultados	70
Tabla 31.- Transmitancia térmica media limite de fachadas, suelos y cubiertas [CTE]	70
Tabla 32.- Resultados obtenidos de la simulación.....	70
Tabla 33.- Sistema modificado de forjado como resultado de la campaña experimental acústica y a fuego	70
Tabla 34.- Grado de cumplimiento de requisitos normativos cuantificados.....	70
Tabla 35.- Grado de cumplimiento de requisitos Normativos no cuantificados por el UCA de forjado ligero de acero.....	70
Tabla 36.- Grado de cumplimiento de requisitos funcionales por el UCA de forjado ligero de acero	70
Tabla 37.- Coste del componente forjado dividido en sus capas.....	70
Tabla 38.- Coste de ejecución material del forjado.....	70
Tabla 39.- Grado de cumplimiento de requisitos generales de competitividad por el UCA de forjado ligero de acero.....	70
Tabla 40.- Comparativa del grado de competitividad entre soluciones tradicionales y el forjado de acero diseñado.....	70
Tabla 41.- Componentes del forjado seco unidireccional	70
Tabla 42.- Coste mensual de cada línea (€/mes)	70
Tabla 43.- Estimación del coste del CIBA forjado unidireccional.....	70
Tabla 44.- Ejemplo de lista de materiales del edificio	70
Tabla 45.- Productividad del forjado unidireccional	70
Tabla 46.- Capacidad de fabricación de la línea de chapa grecada	70
Tabla 47.- Capacidad de fabricación de la línea de perfiles en C.....	70
Tabla 48.- Tiempo de ciclo de la preparación de Capas de Prestaciones.....	70
Tabla 49.- Tiempo de ciclo de la preparación de lana de roca	70
Tabla 50.- Tiempo de ciclo preparación Subconjunto Instalaciones.....	70
Tabla 51.- Tiempo de ciclo preparación Subconjunto Suelo.....	70
Tabla 52.- Tiempo de ciclo de la estación OP10	70
Tabla 53.- Tiempo de ciclo de la estación OP20	70
Tabla 54.- Costes de maquinaria asociados a la línea.	70
Tabla 55.- Costes de materia prima.....	70
Tabla 56.- Estimación de coste del UCA forjado unidireccional.	70
Tabla 57.- Desglose del tipo y número de CIBAs por planta	70

Tabla 58.- Característica principales del gato trepador 70

Tabla 59.- Peso del forjado 70

Tabla 60.- Peso del panel de fachada 70

Tabla 61.- Peso del panel de división interior 70

Tabla 62.- Estimación del peso de la planta 70

Tabla 63.- Pesos, por zonas, de la planta..... 70

Tabla 64.- Cálculo del peso por apoyo en cada zona 70

Tabla 65: Coste equipamiento de izado autotrepante 70

Tabla 66.- Tabla de sensores 70

Tabla 67.- Tiempos de deconstrucción 70

Tabla 68.- Tiempos de proceso 70

Tabla 69.- Costes de desmontaje 70

Tabla 70.- Tiempo de ciclo de la des-fabricación UCA. 70

Tabla 71.- Costes de maquinaria asociados a la línea 70

Tabla 72.- Estimación de coste des-fabricación UCA forjado unidireccional..... 70

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El mundo de la construcción ha sufrido como pocos la reciente crisis económica, causada en gran parte por la “burbuja inmobiliaria”. Esto ha provocado que el sector de la construcción residencial (o edificación) se tenga que replantear no sólo cuánto fabricar sino también cómo.

La edificación, especialmente en España, es un sector cuyas técnicas, frente a otros sectores industriales y productivos que han sufrido verdaderas revoluciones como el del automóvil, apenas han variado su forma de proceder. Si bien en los últimos años se observa una tendencia hacia el fomento de productos prefabricados, todavía en la mayoría de las obras de edificación se trabaja de una manera manual y artesanal con muchos oficios (carpintería, fontanería, electricistas, encofradores, etc...) trabajando en paralelo o esperando su turno, lo que implica frecuentemente retrasos en la obra.

El análisis del ciclo de vida del producto, más conocido como Life Cycle Assessment (LCA), "análisis de la cuna a la tumba", o, más comúnmente, balance ambiental, es una herramienta que sirve de ayuda al diseño ya que investiga y evalúa los impactos ambientales de un producto o servicio durante todas las etapas de su existencia (extracción, producción, distribución, uso y desecho).

En esta tesis se plantea un cambio integral en la **metodología** del proceso de la edificación, desde su concepción y **diseño** pasando por las fases de **fabricación industrializada** de los componentes, **construcción** en obra, fase de **uso** y de **fin de uso** del mismo. La fase de desecho desaparecería ya que no habría desechos por reutilizarse o reciclarse el 100% de los componentes y materiales que se proponen para utilizar.

Con este nuevo enfoque se pretende que la construcción de viviendas sea **más segura** (la construcción tiene actualmente unos índices de siniestrabilidad muy altos en España), **más eficiente** (tanto en la construcción en sí como en su fase de uso) y **más sostenible** (0 residuos en todas las fases, incluido la de fin de uso).

Destacar también que para conseguirlo se utiliza como material base el **acero**, sustituyendo en la medida de lo posible a elementos tradicionales como el hormigón que requieren la fabricación in situ y fases de secado, por tratarse de componentes húmedos en base agua. Esto supone una **reducción de tiempo** (no es necesario esperar periodos de fraguado) y de **ahorro de materias primas** (agua, bien escaso). Además la utilización del acero supone una reducción considerable del peso del edificio, lo que redundará en mejoras medioambientales y económicas. Y este material es **100% e infinitamente reciclable** sin perder sus propiedades.

Esta tesis es fruto del trabajo realizado durante el desarrollo del proyecto CETICA “La Ciudad Eco-tecnológica”, proyecto código CEN-20072012 del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) en la tercera convocatoria del Programa CENIT, que forma parte del Programa Ingenio 2010 del Ministerio de Innovación liderado por ArcelorMittal y que se ha realizado desde Julio de 2007 a Diciembre de 2010.

1.2. OBJETIVOS

El objetivo principal de la tesis, tal y como se adelantaba en el párrafo anterior, es plantear una metodología innovadora para la construcción y fabricación de un edificio que abarque todo el ciclo de vida, partiendo de un análisis profundo de las distintas fases del mismo, y del proceso de fabricación industrializada de los componentes basados en acero.

Desarrollando este objetivo principal en una serie de objetivos concretos serían:



- Plantear el Ciclo de Vida del edificio en su conjunto, desde la fase de diseño hasta la de fin de uso, con el fin de mejorar la **sostenibilidad y la eficiencia** de la construcción.
- Mejorar las **condiciones de trabajo**, especialmente para la reducción de la siniestralidad laboral del sector
- **Optimizar** procesos mediante la **industrialización** para:
 - Reducir los **tiempos** de construcción (incluyendo fabricación en factoría y montaje en obra), sin aumentos de **coste** que lo hagan inviable
 - Mejorar la **eficiencia de consumos energéticos** del edificio, tanto en su construcción como en su fase de uso
 - Aumentar el uso de materiales sostenibles y ecológicos, especialmente el **acero en edificación**.

El presente trabajo se circunscribe únicamente a la construcción residencial multi-vivienda, es decir, bloques de viviendas (pueden tener bajos comerciales en planta baja y oficinas en las primeras plantas, a modo de mixticidad de usos)

No se consideran edificaciones especiales como grandes almacenes, colegios o rascacielos (más de 10 plantas) por suponer edificaciones singulares que requieren medidas individualizadas.

Tampoco las viviendas individuales unifamiliares, por considerarse desde el punto de vista de la sostenibilidad como poco recomendables dada la cantidad de recursos que necesita (empezando por el suelo, y los problemas de transporte que acarrea)

Además, dentro de lo que es el proceso de construcción de un edificio, no se considera la primera fase de movimientos de tierras y urbanización, por considerarse procesos más propios de obra civil que de edificación.

1.3. DESARROLLO DEL TRABAJO

En primer lugar se realizará una pormenorizada **revisión del estado del arte** de la construcción industrializada, tanto a nivel nacional como mundial a través de los últimos proyectos de investigación realizados y publicaciones científicas recientes.

Posteriormente se plantea y define la **nueva metodología**, aplicándola posteriormente al caso concreto de un edificio tipo de viviendas, de 5 plantas de altura y varias viviendas por piso, analizando y evaluando sus diferencias e innovaciones con la edificación actual, desde las distintas fases planteadas con anterioridad, hasta cubrir la totalidad del ciclo de vida del edificio.

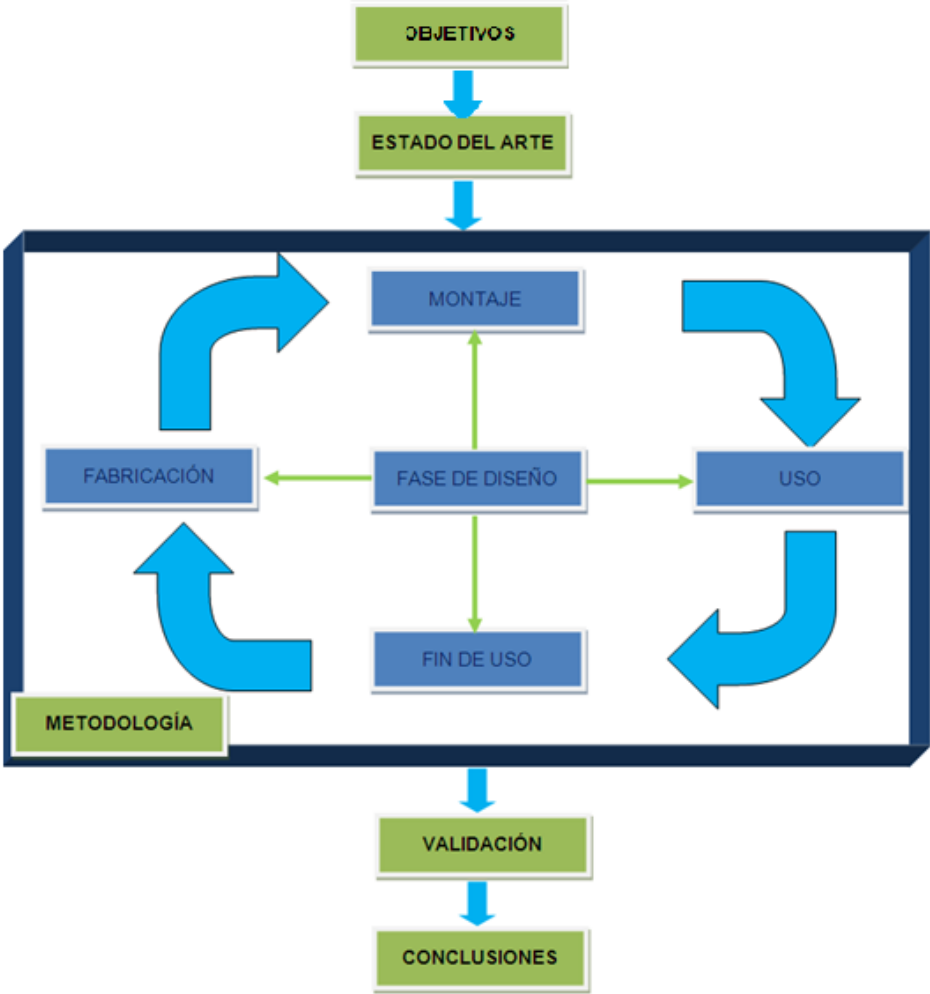


Figura 1.- Etapas de la tesis



El desarrollo que se propone queda gráficamente recogido en la *Figura 1*.

El ciclo de vida del edificio no contempla que tras el fin de uso se desaproveche ningún componente ni material, que volverán a la cadena de fabricación y montaje del edificio, lo que supone una **novedad** que este trabajo recoge respecto al ciclo de vida tradicional del edificio. La fase de diseño debe de alimentar a cada fase del proceso siendo una fase viva desde el inicio del proyecto y que no termina con el mismo sino con el fin del uso del edificio.

Las fases que se muestran en el gráfico anterior resaltan la **metodología propuesta para la edificación** que se resume a continuación:

- **Fase de diseño.**

- Componentes en base acero innovadores para una edificación sostenible, en 2 y 3 dimensiones, para configurar un catálogo que permita la construcción de un edificio en base a estos componentes.
- Creación de una plataforma software de diseño que optimiza los tiempos de diseño, con una librería de componentes (1D, 2D, 3D) en base acero que reducen los pesos del edificio y da una salida con los componentes listados para fabricación, automatizando el proceso logístico
- La fase de diseño no termina como tradicionalmente con el proyecto, sino que continúa durante todo el ciclo de vida del edificio, para una mejora del mismo

- **Fase de fabricación de los componentes del edificio**

- Una única línea de fabricación industrializada para los elementos 2D estructurales (100% acero) a los que se añaden

las capas de prestaciones: fuego, acústica y vibraciones, aislamiento térmico, acabado final, etc...

- Los trabajos más específicos del edificio se realizan en fábrica, en ambiente controlado, por personal especializado y maquinaria de última generación.

- **Fase de construcción (montaje de los componentes en obra)**

- Nuevo sistema de montaje más seguro, trabajando siempre a nivel 0 (minimizando el riesgo de caídas) y elevando los pisos mediante sistemas de gatos neumáticos
- No hay soldadura ni ambientes húmedos (ni hormigón ni proyecciones). Los módulos húmedos (baños, cocinas) van preinstalados de fábrica, en obra sólo se realizan los enganches entre módulos

- **Fase de uso**

- El mantenimiento del edificio es controlado mediante sensores que ayudan a alargar la vida del mismo (50-75 años, según el CTE [*Ministerio de Vivienda, -48-*]) y a que se encuentre siempre en óptimas condiciones de funcionamiento y uso

- **Fase de fin de uso**

- “*Deconstrucción*” (deshacer la construcción) y desmontaje del edificio, no demolición
- Cada componente se separa en materiales, que se tratan de manera única a cada uno de ellos. Si se puede reutilizar se

reutiliza, sino se recicla. El acero es 100% reciclable sin perder sus propiedades.

La fase de fin de uso no es la última, ya que el proceso no termina realmente sino que realimenta a un nuevo proyecto, un nuevo edificio que aprovechará los materiales y componentes del anterior



2. ESTADO DEL ARTE

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se revisa el estado actual del conocimiento relacionado con los distintos conceptos y componentes que configuran el conjunto del trabajo desarrollado en la presente tesis.

En primer lugar se realiza una revisión del **ciclo de vida**, herramienta de análisis de la sostenibilidad de un producto o un servicio, centrado en este caso en su aplicación a la edificación.

A continuación se considera la **construcción sostenible e industrializada**, para lo cual se revisa brevemente lo que se considera sostenibilidad y se muestran los métodos existentes de evaluar el grado de sostenibilidad de un edificio. Para cerrar este apartado se describe la construcción industrializada como contrapunto a la tradicional y sus diferencias con la modular, describiéndose cada una de ellas con ejemplos reales de desarrollo, bien mediante empresas ya consolidadas o proyectos de investigación.

Para finalizar el estado del arte se realiza un análisis del **acero** como material base **en la construcción** y en concreto en la edificación, desde las diferentes gamas de productos hasta las distintas soluciones planteadas en acero, que constituyen aspectos fundamentales de la metodología propuesta en la tesis dada sus características sostenibles y su facilidad de industrialización.



2.2. CICLO DE VIDA

El análisis de ciclo de vida, ACV, es una técnica para evaluar los potenciales impactos ambientales y consumo de recursos asociados con un producto mediante:

- La recopilación de un inventario de las entradas y salidas relevantes de un sistema.
- La evaluación de los potenciales impactos medioambientales – emisiones, vertidos, generación de residuos y consumos de recursos - asociados con esas entradas y esas salidas.
- La interpretación de los resultados de las fases de análisis de inventario y evaluación de impacto de acuerdo con los objetivos del estudio.

Se tienen en cuenta los aspectos medioambientales y los impactos potenciales a lo largo de la vida del producto, desde la adquisición de las materias primas hasta la producción, uso y eliminación:

- Uso de recursos
- La salud humana
- Consecuencias ecológicas.

En términos anglosajones el análisis de ciclo de vida (Life Cycle Assessment – LCA) evalúa lo que denominan “cradle to grave” (de la cuna a la tumba) frente al tradicional enfoque de la industria hasta entonces del “cradle to gate” (de la cuna a la puerta de la factoría). [*Hans de Bruijn et al, -36-*]

Con el enfoque tradicional el análisis se detenía en cuanto el producto (o proceso) se expendía al cliente, sin preocuparse por el transporte, uso y posterior tratamiento una vez finalizado su uso. Con el ACV (o LCA en inglés) el análisis se extiende al ciclo completo del mismo, y se hace un especial énfasis en la fase de uso, por ser, en la mayoría de los casos

(desde luego en el caso de un edificio) la más importante en cuanto a duración y recursos.

Las etapas en las que se estructura el ACV, según la norma ISO 14040 [AENOR, -6-] son las siguientes (ver *Figura 3*):

- a) Definición de objetivo y alcance del ACV
- b) Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)
- c) Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)
- d) Interpretación del ciclo de vida

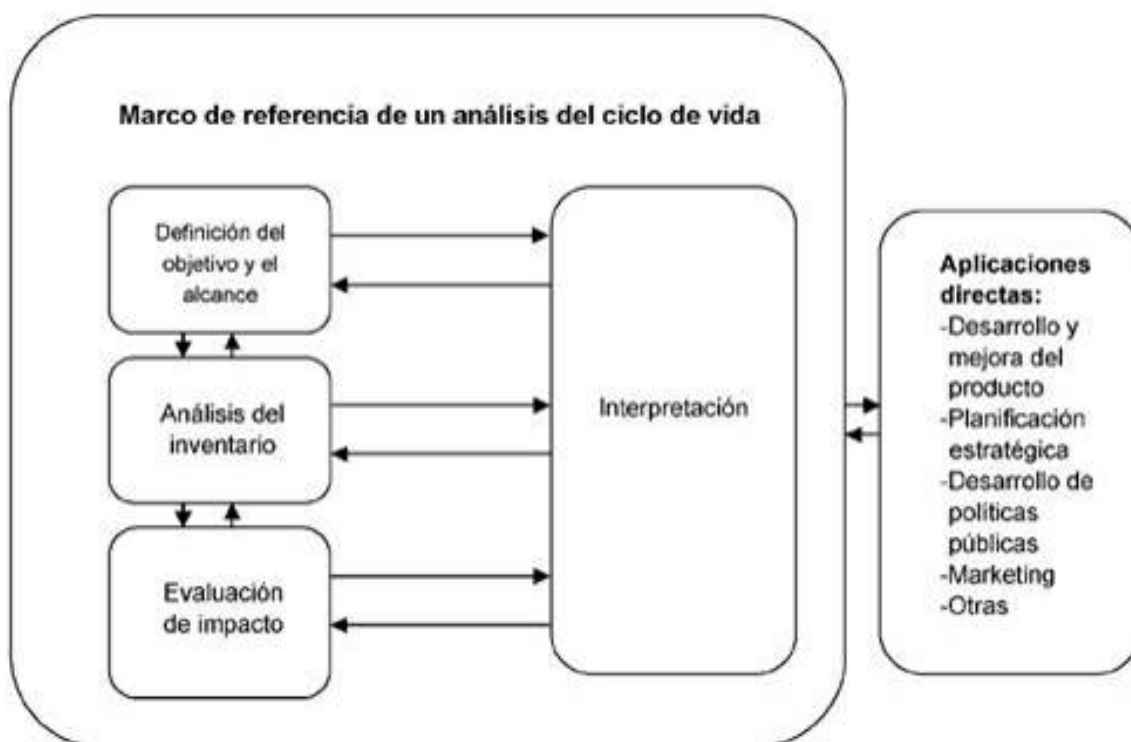


Figura 2.- Etapas del ACV [AENOR]

2.2.1. Objetivo y alcance del ACV

Se debe indicar con claridad el producto, proceso o servicio a analizar, así como los motivos que llevan a realizarlo, además de definir la unidad funcional.

El alcance de un ACV debe de incluir los límites del sistema y el nivel de detalle, dependiendo del uso y del tema previsto en el análisis.

Fijar los límites del estudio es una de las tareas más complicadas e importantes, ya que si no el análisis puede ser demasiado complejo si no se acota el número de variables a revisar.

El sistema tendrá unas entradas y unas salidas. Las entradas serán las materias primas y la energía necesaria para desarrollar el producto o proceso, mientras que las salidas (una vez terminado el uso del producto) serán los subproductos obtenidos durante el proceso, así como los impactos medioambientales a la atmósfera (emisiones), al agua (vertidos) y al suelo (residuos sólidos).

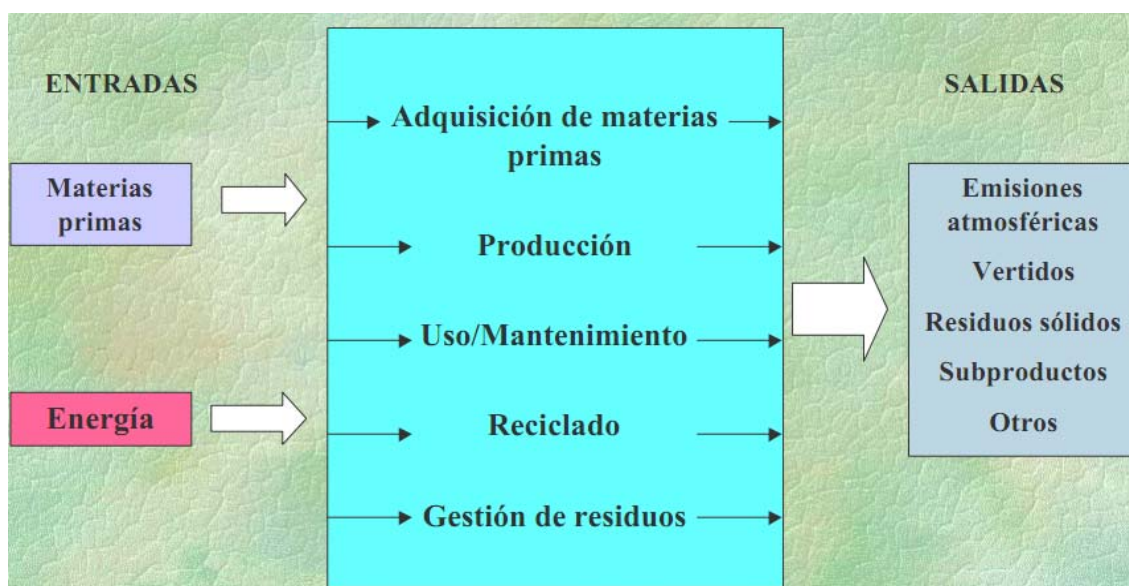


Figura 3.- Alcance del ACV

En cuanto a la unidad funcional, que es la que se quiere evaluar, será el edificio, y su duración (fase de uso) de 75 años (valor recomendado por el Green Building Council (GBC)). [Annette Osso et al., -14-]

2.2.2. Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)

Esta fase es la más larga y laboriosa ya que hay que realizar una recogida de datos y preparar el procedimiento de cálculo para cuantificar los impactos medioambientales del producto o proceso.

El ACV modela el ciclo de vida de un producto como un “sistema de producto”, el cual desempeña una o más de las funciones.

Un sistema de producto se divide en los procesos unitarios que lo componen

Una vez recopilados los datos, se pasa al cálculo que según la norma ISO 14040 debe incluir la validación de los datos recopilados, la relación de los datos con los procesos unitarios y por último la relación de los datos con la unidad funcional [*Hans de Bruijn et al, -36-*]

En el caso del edificio estos procesos unitarios serían:

- Obtención de las materias primas
- Fabricación
- Transporte
- Montaje o construcción
- Uso y mantenimiento
- Fin de vida

En el caso de un edificio residencial, las fases de la recopilación de datos serían [*Tove Malmqvist et al, -58-*]:

- Fase de producto donde están incluidas la extracción de materias primas, la manufactura de productos intermedios y los productos finales
- Fase de diseño y construcción del edificio, donde se incluye el transporte hasta obra y la construcción

- Fase de uso y mantenimiento: donde se incluyen todas las funcionalidades de los componentes, el mantenimiento, reparación y rehabilitación.
- Fase de fin de vida: donde se contemplan los impactos ambientales de la deconstrucción, reciclaje y reutilización y gestión en vertedero

2.2.3. Evaluación del impacto del análisis del ciclo de vida (EICV)

De acuerdo a la Norma ISO 14040, la fase de evaluación de impacto de un ACV tiene como propósito evaluar cuán significativos son los impactos ambientales potenciales utilizando los resultados del Inventario de Ciclo de Vida.

En general este proceso implica la asociación de los datos de inventario con las categorías de impactos ambientales específicos y con los indicadores de esas categorías para entender estos impactos.

Cuestiones tales como la elección y la evaluación de categorías de impacto pueden introducir subjetividad en la fase de la EICV. Dependiendo de las categorías de impacto seleccionadas, el resultado de la Evaluación del Impacto de ciclo de vida puede ser sesgado.

Por otra parte, hay que tener presente la propia calidad de los resultados del Inventario de ciclo de vida. Muchos parámetros ambientales son muy difíciles de cuantificar y, en consecuencia, aquellos resultados obtenidos a partir de estimaciones pueden tener una calidad muy pobre, y estar condicionando el resultado final.

Por lo tanto, la transparencia es crítica en la evaluación del impacto a fin de asegurar que las suposiciones están claramente descritas e informadas.



Las categorías de impacto para un edificio según la norma [AENOR,-6-] son las siguientes:

- Cambio climático
- Destrucción de la capa de ozono
- Acidificación
- Eutrofización
- Formación de smog fotoquímico
- Radiación
- Toxicidad humana
- Ecotoxicidad
- Agotamiento de los recursos abióticos
- Uso de los recursos bióticos
- Usos del suelo

2.2.4. Interpretación del ciclo de vida

Es la fase del ACV en la cual los resultados del análisis de inventario y de su posterior evaluación de impacto se valoran en conjunto. Se deben proporcionar elementos coherentes con el objetivo y el alcance, con unas conclusiones que indiquen las limitaciones y den recomendaciones de mejora.

La interpretación del ciclo de vida pretende dar una lectura comprensible, completa y coherente de los resultados del ACV.

Esta fase puede suponer un proceso iterativo de revisión y actualización del alcance del análisis, o bien de los datos reunidos para que sean coherentes con el objetivo definido.

El ACV se presenta en modo de informe.

2.3. CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD

La sostenibilidad, o más concretamente el desarrollo sostenible, comenzaron a utilizarse en los 80, siendo su definición más extendida “desarrollo que satisface las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas”. [*Comisión Brundtland, -22-*]

La sostenibilidad va más allá de los problemas medioambientales, ya que se sustenta en otros dos pilares más: la vertiente social y la económica (ver *Figura 4*).

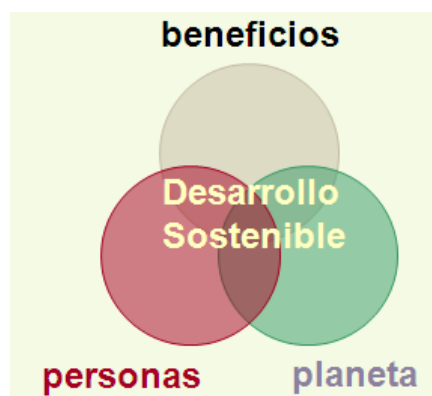


Figura 4.- Pilares de la sostenibilidad

La *Carta de Aalborg*, aprobada por los participantes en la *Conferencia europea sobre Ciudades Sostenibles*, celebrada en Dinamarca en 1994, sienta las bases del entendimiento de los problemas de insostenibilidad del planeta [*EU, -26-*]:

- El 50% de todos los recursos mundiales se destinan a la construcción
- El 45% de la energía generada se utiliza para calentar, iluminar y ventilar edificios
- El 40% del uso global del agua es para construcción
- El 50% del calentamiento mundial lo produce el consumo de combustible fósil en edificios

Por todo ello en los últimos años se ha hecho un especial énfasis en la mejora de estos niveles y para ello se habla de temas como eficiencia energética en edificación, nuevos materiales, reutilización y reciclaje, términos todos ellos ligados a la sostenibilidad.

Al igual que existen certificaciones medioambientales o de eficiencia energética, han comenzado a surgir certificaciones que van más allá y se consideran **certificaciones en desarrollo sostenible**.

Se resumen a continuación los certificados más importantes, indicando las características de estudio para poder evaluar qué términos, qué características y qué valores han de ser tenidos en cuenta para evaluar la sostenibilidad de un edificio.

En primer lugar a nivel nacional se hace una breve descripción de la normativa en vigor, que se limita a evaluar la eficiencia energética del edificio y un sello de sostenibilidad de reciente creación.

En el resto del mundo hay multitud de sistemas, siendo los más prestigiosos y reconocidos el LEED (USA), BREEAM (Reino Unido) y CASBEE (Japón).

2.3.1. **Certificación energética de los edificios (España)**



Figura 5.- Sello de eficiencia energética [BOE]

A nivel estatal destaca la certificación energética, como única certificación de carácter obligatorio. Tiene su origen en una directiva europea. La normativa de referencia es el *Real Decreto 47/2007, de 19 de enero*, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción que transpone parcialmente una directiva europea relativa a la eficiencia energética de los edificios. [*Ministerio de Vivienda, -50-*]

El procedimiento de certificación de eficiencia energética, regulado en esta norma, se aplica a:

- Edificios de nueva construcción.
- Reforma o rehabilitaciones de edificios con más de 1.000 metros de superficie útil donde se renueve más del 25%.
- Se excluyen determinadas edificaciones como los protegidos históricamente o los edificios aislados con superficie inferior a 50 metros.

El certificado de eficiencia energética recogerá como mínimo la siguiente información:

- Identificación del edificio.
- Normativa energética aplicable en el momento de la construcción.
- Descripción de las características energéticas del edificio.
- Calificación energética del edificio.
- Pruebas, inspecciones y comprobaciones realizadas.

El certificado de eficiencia energética del edificio terminado se incorporará al libro del edificio.

La etiqueta de eficiencia energética (ver *Figura 5*) es el instrumento que garantiza el derecho de información de los consumidores, y por tanto, debe incluirse en las ofertas, promoción o publicidad dirigida a la venta o arrendamiento.

2.3.2. Certificación VERDE - GBC (España)

Realizada por el Green Building Council de España (*Figura 6*), supone el reconocimiento por una organización independiente tanto del promotor como del proyectista de los valores medioambientales de un edificio una vez se ha comprobado la correcta evaluación de la metodología aprobada.



Figura 6.- Logotipo de Certificación Verde [GBC]

En la *Tabla 1* se ven los impactos considerados y sus unidades de medida.

IMPACTO	INDICADOR
Cambio Climático	kg de CO ₂ eq
Aumento de las radiaciones UV a nivel del suelo	kg de CFC11 eq
Pérdida de fertilidad	kg de SO ₂ eq
Pérdida de vida acuática	kg de PO ₄ eq
Producción de cáncer y otros problemas de salud	kg de C ₂ H ₄ eq
Cambios en la biodiversidad	%
Agotamiento de energía no renovable, energía primaria	MJ
Agotamiento de recursos no renovables diferente de la energía primaria	kg de material

IMPACTO	INDICADOR
Agotamiento de agua potable	m ³
Uso del suelo	m ²
Agotamiento de suelo para depósito de residuos no peligrosos	m ³
Peligro por la disposición o almacenamiento de residuos peligrosos	kg
Peligro por la disposición o almacenamiento de residuos radiactivos	kg
Salud, bienestar y productividad para los usuarios	%
Riesgo financiero o beneficios por los inversores-Coste del Ciclo de Vida	€/m ²

Tabla 1.- Impactos a considerar

La puntuación se establece de 0 a 5 en función de su mejor comportamiento.

2.3.3. Certificación LEED (USA)

El sistema de certificación para nuevos proyectos y construcciones urbanas LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) for Neighborhood Developmnet fue presentado como tal casi diez años después de la primera versión de la certificación para edificaciones. En 2007 fue presentada la versión piloto de la certificación y en agosto de 2009 -después de dos años de pruebas y revisiones por las organizaciones responsables- fue presentada la versión final de la certificación.

La certificación para urbanismo es voluntaria y tiene como finalidad reconocer las prácticas del sector que cumplan con las estrategias diseñadas a partir de criterios de sostenibilidad que colaboran para reducir los impactos generados por la actividad de la construcción.

El reconocimiento se formaliza con un certificado emitido por la organización, en el que se identifica el sistema de certificación que se ha utilizado, el objeto certificado y la clasificación obtenida. Además, se concede la utilización de una de las cuatro marcas LEED relacionadas con el grado de la certificación conseguida (ver *Figura 7*).



Figura 7.- Sellos de certificación LEED

Los requerimientos del LEED for Neighborhood Development están organizados en cuatro categorías: tres compuestas tanto por prerequisites (obligatorios para obtener la certificación final) como por créditos que llevan asociados puntos para la calificación del objeto evaluado y otra categoría llamada Innovation & Design Process que no presenta ningún requerimiento obligatorio.

La certificación final del objeto de evaluación se obtiene a partir del cumplimiento de todos los prerequisites y la suma directa de los puntos de los créditos cumplidos de todas las categorías, según la escala de puntos alcanzados: certificado (40-49 pts), plata (50-59), oro (60-79) y platino (más de 80 puntos)

2.3.4. Certificación BREEAM (Reino Unido)

El sistema de certificación BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) para urbanismo, desarrollado por la organización BRE (Building Research Establishment) Global de Reino Unido fue presentado primeramente como versión piloto en 2008, casi veinte años después de que

la organización hubiera empezado a desarrollar procedimientos de certificación para la edificación y ya tiene su versión definitiva (ver logotipo en *Figura 8*).

Según la organización, la certificación pretende colaborar en cuatro objetivos específicos: reducir los impactos generales del urbanismo; reconocer los proyectos y comunidades según sus beneficios ambientales, sociales y económicos; proporcionar una etiqueta creíble para urbanismos enfocada en la sostenibilidad; estimular la demanda y asegurar el desarrollo efectivo de comunidades sostenibles.



Figura 8. - Logotipo de BREEAM

El resultado de la evaluación está determinado por el porcentaje total de los créditos obtenidos y ponderados con valores establecidos para cada región que se aplica el sistema de evaluación, según la escala de porcentajes:

- 1- Pass (entre 25 y 39%).
- 2- Good (entre 40 y 54%).
- 3- Very Good (entre 55 y 69%).
- 4- Excellent (entre 70 y 84%).
- 5- Outstanding (más del 85%).

En la actualidad tiene versión para España.

2.3.5. Certificación CASBEE (Japón)

El CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) *for Urban Development* presentado en 2007 fue desarrollado por el *Institute for Building Environment and Energy Conservation-IBEC*

conjuntamente con representantes de la industria local y representantes del medio académico e institucional de Japón (ver logotipo en *Figura 9*).



Figura 9.- Logotipo de CASBEE

Los parámetros de evaluación son organizados a partir de dos temas conceptuales base, la Calidad ambiental interior del proyecto “Q” (*Quality*) y la Carga ambiental al exterior “L” (*Load*), que han sido definidos a partir de los límites de influencia del objeto evaluado: el límite hipotético de la edificación y el límite hipotético del área urbana evaluada.

Para la evaluación y clasificación del objeto de certificación se ha creado el indicador BEE - Building Environmental Efficiency obtenido a partir de la función Q/L para cada categoría. Según la organización el indicador permite sintetizar el resultado de la evaluación y la presentación de los resultados.

La certificación final se obtiene a partir del valor del indicador BEE final, resultado de la media ponderada de los indicadores BEE de cada categoría:

- BEE = 3.0 o más, Q=50 o más: *Excellent (S)* * * * * * 5 estrellas
- BEE entre 1.5 y 3.0: *Very Good (A)* * * * * 4 estrellas
- BEE entre 1.0 y 1.5: *Good (B+)* * * * 3 estrellas
- BEE entre 0.5 y 1.0: *Fairly Poor (B-)* * * 2 estrellas
- BEE menor de 0.5: *Poor (C)* * 1 estrella

2.4. CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA

El mundo de la construcción, especialmente en España, es un sector tradicional con métodos inmovilistas [*Alfonso del Águila, -11-*], ajenos en general a los avances de la técnica en otros sectores como el de los bienes de equipo o el automóvil.

Sin embargo, existen en algún caso en España y sobre todo en Europa, Estados Unidos y Japón experiencias en nuevas metodologías de construcción.

A continuación se comenta brevemente qué se entiende en este trabajo por construcción tradicional para, a continuación, describir nuevos modelos, algunos de ellos basados en realidades empresariales o en proyectos de investigación. Además se estudia el paso intermedio entre construcción tradicional e industrializada: la construcción modular.

2.4.1. *Proceso de construcción tradicional*

La obra de edificación en España sigue habitualmente las siguientes fases [*ITEC, -43-*]:

- Demoliciones (de edificaciones existentes previamente, sólo en caso que existiesen)
- Movimiento de tierras (para adecuar la parcela a la obra a realizar)
- Red horizontal de saneamiento
- Instalación de grúa torre
- Cimentaciones
- Estructura (generalmente de hormigón armado, también pueden ser metálicas)
- Cubiertas



- Albañilería y fachadas (incluye divisiones interiores)
- Revestimientos horizontales
- Revestimientos verticales
- Pavimentos y solados



Figura 10.- Edificios en construcción mediante sistemas tradicionales

- Carpintería y cerrajería
- Vidriería
- Instalaciones:
 - Transporte (Ascensores)
 - Protección contra incendios

- Fontanería
- Electricidad
- Gas y climatización
- Telecomunicaciones
- Otros (seguridad, etc...)
- Pintura y remates finales
- Urbanización del entorno

Gran parte de estos trabajos se hacen directa y manualmente en la propia obra, con multitud de oficios que en numerosas ocasiones interfieren los unos con los otros, provocando retrasos en el planning de obra. Además, hay un problema añadido que es el de la seguridad y salud de los trabajadores de construcción. Según las estadísticas oficiales [SEOPAN, -17-] la siniestralidad en la construcción es una de las mayores de los trabajos en España (y en el mundo).

Frente a sectores como el del automóvil, que han sabido incorporar los avances de la técnica en los últimos años y adaptarse con éxito a la automatización de los procesos, con maquinaria robotizada y la constante reducción de costes aumentando la productividad, la construcción sigue en general con una labor basada en oficios, desarrollados in situ sin ninguna estandarización y poca o nula automatización.

Así, las obras de construcción de edificios de 5 plantas se alargan habitualmente en 18 meses, sin contar los habituales retrasos que acompañan a estas obras.

La reciente crisis del sector debe de suponer un estímulo para que se cambien viejos hábitos y la construcción se modernice con la fabricación industrializada.

2.4.2. *Proceso de construcción modular de edificios*

El primer paso en el proceso de industrialización de la construcción es la modularización. La construcción modular se basa en realizar los edificios en fábricas, para su posterior desmontaje en módulos y su transporte y montaje en la ubicación de la obra.

El grado de acabado de estos módulos es variable, pudiendo llegar a obra completamente finalizados o bien con la fase de acabado por instalar, que se haría de manera tradicional una vez montados los módulos en obra.

Esta técnica es muy utilizada en el Reino Unido y en los Estados Unidos, principalmente en el sector de las viviendas unifamiliares y edificios singulares tipo hoteles, hospitales y colegios. En España existen varias empresas dedicadas a la construcción modular, una de las cuales, MODULTEC Modular Systems, situada en Gijón (Asturias) ha sido visitada para estudiar su proceso productivo.

2.4.2.1. *Diferencias con la construcción tradicional*

En estos procesos se observa que la construcción modular difiere de la construcción tradicional en el uso preferente de estructuras metálicas, siempre más rigurosas en cuanto a calidad y medidas, más ligeras y adaptables, en sustitución de los elementos estructurales de hormigón tradicionales (más pesados y de ejecución no siempre fiable), y en la realización, según el caso, de un 80 a un 100 por ciento de los oficios (albañilería, instalaciones, acabados, etc.) en fábrica.

La ejecución en fábrica, elimina las dificultades que generan las inclemencias del tiempo, aumenta los niveles de seguridad de los operarios y permite realizar los trabajos de forma planificada y continua, consiguiendo una reducción drástica del plazo de entrega de la obra en condiciones de uso.

La adecuada distribución de las infraestructuras y el empleo de canalizaciones y soluciones técnicas para alojar las instalaciones, hace posible la reforma de las mismas sin tener que realizar ningún trabajo destructivo sobre la estructura o tabiquería del edificio.

Previamente a la construcción, se debe de realizar en cada caso la ingeniería de desarrollo y detalle necesaria para fabricar el edificio cuyo diseño inicial ha sido normalmente aportado por el cliente.

Cada edificio se toma como un proyecto nuevo, no existiendo catálogo de módulos ni estandarización de los mismos, haciéndose a medida según trabajo.

2.4.2.2. Centro de Producción

La fabricación de los módulos será realizada en un Centro de Producción, debidamente dimensionado para satisfacer la capacidad anual de fabricación establecida en la planificación o en el volumen de edificios contratados.

En los centros de producción se puede trabajar mediante jornadas partidas de trabajo o mediante turnos, dependiendo del tipo de tarea y de los picos de producción que en cada caso se produzcan.

Al ser una construcción industrializada, las tareas están perfectamente estructuradas, definidas, debiendo ser la planificación de las mismas exacta, sin pérdida de días, o incluso de horas entre unas y otras. La distribución de tareas se realiza al inicio de la obra, mediante un planning exacto de fábrica y montaje.

Al ser además un trabajo que se realiza bajo techo (en fábrica), con unas buenas condiciones de trabajo, estabilidad laboral, y seguridad, el rendimiento de las tareas es elevado, redundando directamente en la reducción de plazos de la ejecución de las tareas.

Esto nos lleva a otro factor de importancia en la reducción del plazo de ejecución de la obra, que es la eliminación de las condiciones climáticas

como factor de análisis de los días útiles de trabajo, dentro la parte de obra modular, al realizarse ésta bajo techo, en fábrica. La adversidad de este fenómeno incide notablemente sobre los rendimientos de las actividades “in situ”, que es un porcentaje menor de la obra total en el sistema modular.

Así, un edificio de 5 plantas se podría fabricar en 8 meses (montaje en obra incluido)



Figura 11.- Secuencia de montaje de un módulo

2.4.2.3. Trabajos a realizar en fábrica

La fábrica típica está constituida por varias zonas o naves claramente diferenciadas con tres actividades principales: Almacén de materias primas, Primera transformación metálica y Ensamblaje del edificio.

Dos de ellas son receptoras de materias primas: el Almacén y la Nave de Transformación, mientras que la zona de ensamblaje es más bien receptora de elementos estructurales elaborados en la zona de transformación metálica, o de materiales del almacén de la fábrica, además de oficios diversos de subcontratistas. Mientras que el almacén recibe materiales de construcción ya elaborados para su instalación en los edificios modulares, la nave de transformación recibe materiales metálicos transformables, por ejemplo bobinas de chapa y perfiles metálicos.



- **Almacenaje**

En el Almacén se guardan etiquetados con su número de obra correspondiente, todos aquellos materiales y equipos necesarios para la elaboración de los trabajos a realizar en fábrica.

Desde el estudio de ingeniería se realiza un programa detallado de las necesidades de stock previsto antes del comienzo de las obra, tratando de aplicar el concepto fabril de “just in time”, y consiguiendo almacenar en fábrica sólo los materiales necesarios en cada momento.

- **Transformación de la estructura**

Ya realizado su cálculo, el estudio de detalle correspondiente a la estructura, es en la zona de Transformación metálica, donde a partir del acero se elaboran las estructuras metálicas de los módulos previamente diseñados y programados por la oficina técnica, con una maquinaria totalmente adaptada a la ejecución de una obra modular de estructura metálica.

Las bobinas de chapa una vez recibidas, se almacenan en líneas de apilado diseñadas para tal fin. Estas bobinas son en su mayor parte de chapa galvanizada o chapa lacada. Las bobinas son introducidas en la línea de corte que endereza la chapa y realiza los cortes longitudinales y transversales, pasando entonces a la etapa de punzonado y plegado, de manera que esta adquiera las formas y cualidades mecánicas requeridas.

Las transformaciones de los perfiles laminados estructurales normalizados se realizan en dos fases, la primera de ellas realizará el taladrado y corte de los diferentes perfiles y la segunda de ellas es una línea de granallado cuyo fin es adecuar la superficie de estos perfiles a los requisitos de la línea de pintura o prepintado.

Tras la transformación de los elementos de acero, tanto de chapa como de perfiles laminados y conformados, se procede al ensamblaje de los mismos (*Figura 12*).

Primero realizando los elementos bidimensionales: bases, cubiertas y elementos industrializados planos. Para las repetitivas se utilizará una célula de soldadura robotizada mientras que para el resto se utilizará la soldadura manual.

Estos elementos estructurales son sometidos a un recubrimiento superficial de pintura epoxi en la línea de pintura en polvo o prepintado.



Figura 12.- Módulos en la fábrica

- **Ensamblaje de la estructura**

Después del proceso de pintado se pasará a la nave de Ensamblaje, donde los elementos estructurales planos se ensamblan en elementos tridimensionales autoportantes llamados módulos.

Para empezar se presentan grupos de bases dentro de la nave, unidas tal y como deberían de quedar “in situ”.

Se nivelan correctamente comprobando los nudos y a continuación se realizan los pasatubos en la posición de paso de las instalaciones, se coloca el mallazo correspondiente y finalmente se hormigonan.

En este punto ya se pueden conformar los elementos tridimensionales, colocando los pilares sobre las bases y levantando sobre ellos las cubiertas, módulo a módulo, comprobando también las uniones de los mismos a nivel de cubierta (*Figura 13*).



Figura 13.- Montaje de la cubierta

- ***Equipamiento de los módulos***

A partir de este punto el resto de la obra se ejecuta como la construcción tradicional, con los distintos oficios: albañilería de cartón-yeso y cerramientos

de panel sándwich, revestimientos, instalaciones, etc. pero en el interior de una nave industrial.

La ejecución en fábrica, elimina las dificultades que generan las inclemencias del tiempo, aumenta los niveles de seguridad de los operarios y permite realizar los trabajos de forma planificada y continua, consiguiendo una reducción drástica del plazo de entrega.

Terminada la producción o construcción en taller, se procede a llevar a cabo los trabajos de logística (carga, transporte, descarga) y montaje de los módulos.

2.4.2.4. Trabajos a realizar en obra. Logística y montaje

La edificación modular se envía desde fábrica hasta su destino, evitando el deterioro de los materiales al “envasar” los módulos en plástico y al cargarlos en transportes especiales, empleando los medios de elevación adaptados a las dimensiones y pesos de cada caso (ver Figuras 11 y 14).

Se dispone de una flota de camiones con plataformas extensibles para portar los módulos desde su centro de fabricación hasta su emplazamiento final.



Figura 14.- Montaje en obra

Para la descarga en obra, realizada con personal especializado, disponiendo un área aproximadamente al borde del perímetro de la situación final de la



edificación, para colocar los aparatos de elevación: grúas en general de 120Tn-300 Tn.

Esta superficie estará y tendrá la resistencia necesaria para soportar la carga de los aparatos elevadores, pero sin urbanizar durante el ensamblaje, para no deteriorar posibles pavimentos, bordillos,...

Asimismo, se dispondrá un área de almacenaje próxima a la obra donde los camiones esperarán una entrada. A ser posible, la circulación de éstos en la obra tendrá una entrada y una salida no coincidentes, y deberán poder pasar al lado de los aparatos de elevación, para que la descarga de los módulos conlleve el menor desplazamiento posible.

Con la cimentación ya realizada “in situ”, los módulos se dispondrán encima de ella y se irán ensamblando uno a uno.

Posteriormente se rematarán todas las uniones, es decir, colocando las piezas de revestimiento que se hayan dejado a tal efecto, ej.: hileras de gres, y realizando las uniones de los conductos de las instalaciones, por conectores como en la instalación eléctrica, o bien, por uniones termosoldadas o roscadas como en la instalación de fontanería.

Finalmente, se realizara la puesta en marcha y prueba de los distintos equipos, procediendo entonces a la entrega y recepción de la obra.

2.4.3. Construcción industrializada en España

En España se están produciendo en los últimos años intentos por implantar edificación industrializada bien sea a través de proyectos de investigación o de empresas, si bien la actual crisis ha dejado muchas de ellas en stand by, como es el caso de que veremos a continuación.

- **Empresas**

Habidite [*Dossier*, -35-] es una empresa ubicada en el País Vasco, que se dedica a la construcción de edificios basados en módulos 3D de hormigón

que se ensamblan en obra mediante el vertido de hormigón entre juntas, consiguiendo un edificio homogéneo y estructuralmente solidario que exteriormente no difiere de uno tradicional y se puede transportar en fase de acabado a obra.

Los módulos 3D se componen de un armado metálico de acero corrugado y posterior hormigonado del mismo (ver *Figura 15*)



Figura 15.- Módulo 3D Habidite

Las dimensiones de los módulos son 3,3 x 6,6 metros de planta y de 3 m de altura.

Los acabados e interiores son configurables en una gran gama de soluciones.

El principal inconveniente, además del coste de transporte, es que en obra se hormigonan unos módulos con otros, por lo que no se pueden desmontar los módulos una vez terminado el ciclo de vida de los edificios, y es necesaria la demolición del mismo con los problemas de reutilización y reciclaje que ello supone.

- Proyectos**

Aparte del proyecto CETICA “La Ciudad Ecotecnológica” [DYNA, -30-] en el que se desarrolla la presente tesis, existen otros proyectos en España dedicados a la industrialización de la vivienda, entre el que destaca INVISO (Industrialización de Viviendas Sostenibles), Proyecto Singular y Estratégico (Ministerio de Educación y Ciencia), dirigido por la constructora Dragados desarrollado entre los años 2007 y 2011.

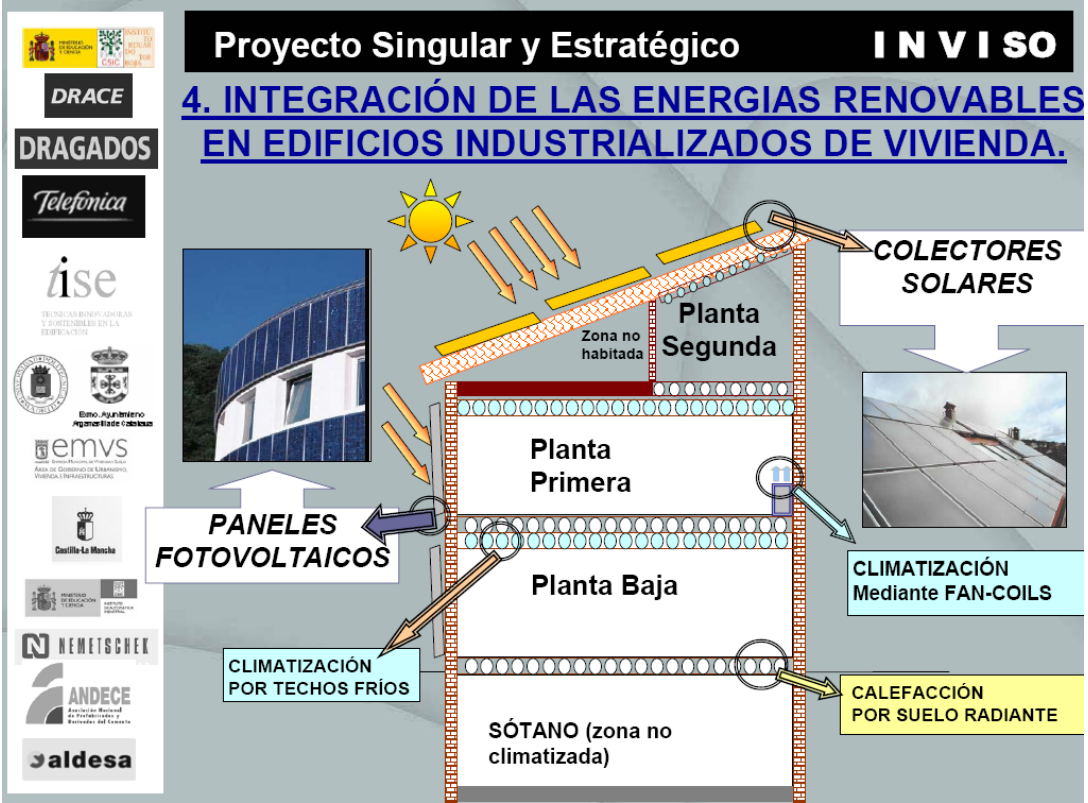


Figura 16.- Ejemplo de desarrollo proyecto INVISO

Los objetivos del proyecto son:

- Alcanzar la máxima sostenibilidad en la producción y uso de viviendas*

Mejorar la eficiencia de las técnicas y procedimientos de construcción (materiales, elementos y ejecución) lo que implica la racionalización de todo el proceso, consiguiendo:

- alto grado de industrialización,
- reducción de los plazos globales de ejecución,
- reducción del coste total, por ahorro de tiempo.

Mejorar la calidad del producto final y la durabilidad de sus elementos, supone un menor gasto en el uso y mantenimiento del edificio.

Reducir la necesidad de mantenimiento, en sus diversas variantes significa:

- reducción de consumo energético,
- reducción de la necesidad de reposición y reparación, gracias a la mejor calidad y durabilidad de materiales y elementos.

Mejorar la funcionalidad de la vivienda, con un alto nivel de confort, gracias al control automático del uso funcional (Domótica) abarcando todos los aspectos de habitabilidad.

- *Optimizar la producción y mantenimiento de viviendas*

Se hace necesario entender según INVISIO la construcción de viviendas como un proceso global que incluye desde la redacción del proyecto hasta la finalización de su ejecución, y el mantenimiento durante su vida útil, pasando por la fabricación de materiales y elementos componentes, tanto constructivos como de instalaciones; deben estar implicados, pues, todos los agentes intervinientes.

2.4.4. Construcción industrializada en Europa

Los principales polos del desarrollo de estas soluciones están en el Reino Unido y el norte de Europa, principalmente Escandinavia. Igualmente se

reseñan aquí los trabajos realizados por empresas y proyectos de investigación.

- **Empresas**

- *NCC Komplet*

Diseñado por la empresa sueca constructora NCC (*Figura 17*).

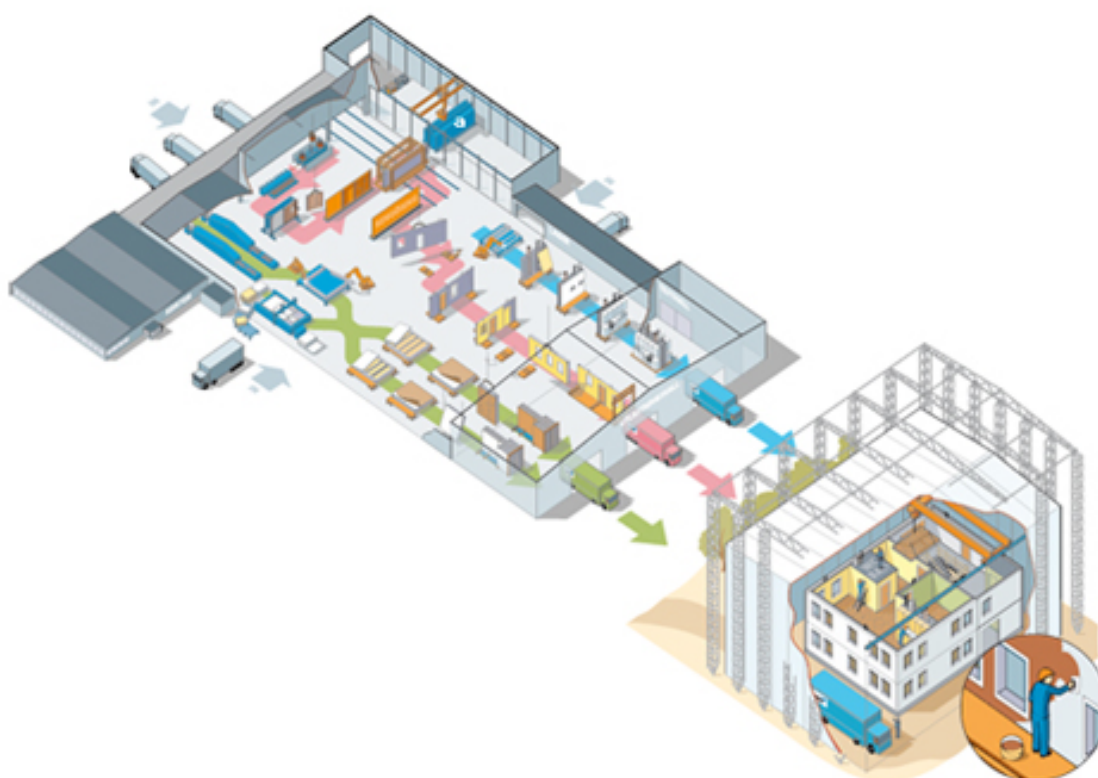


Figura 17.- Sistema NCC Komplet

Este modelo se basa en el trabajo en fábricas que suministran paneles a la obra, mediante distintas líneas de fabricación. Estos paneles se trasladan a obra, donde se habilita una estructura especial para la construcción del edificio.

Esta estructura auxiliar (*Figura 18*) es re-aprovechable para nuevas obras, se trata de naves desmontables de estructura metálica recubierta por lona que permite realizar toda la obra en condiciones interiores, sin problemas climatológicos, y con puentes grúas que facilitan el transporte y montaje de los módulos hasta su lugar de colocación en el edificio.



Figura 18.- Ejemplo de construcción NCC Komplet

Tiene costes extras por la colocación (y posterior desmontaje) de la estructura auxiliar, pero el tiempo final de construcción se ve reducido por evitar problemas climatológicos. Téngase en cuenta que esta empresa está ubicada en Suecia, donde las condiciones atmosféricas en invierno son extremas.

- o *Corus*

Actualmente Tata Steel, tiene un sistema de edificación industrializada en Inglaterra, donde existe un buen número de

empresas más como Kingspain, Framing Solutions, NG Bailey, Terrapin, etc...

Corus tiene una división de su rama de construcción dedicada a la construcción industrializada de módulos denominada *Living Solutions*.

El sistema consiste en unos módulos 3D (*Figura 19*) en base acero revestidos de diversos materiales y con las instalaciones integradas.

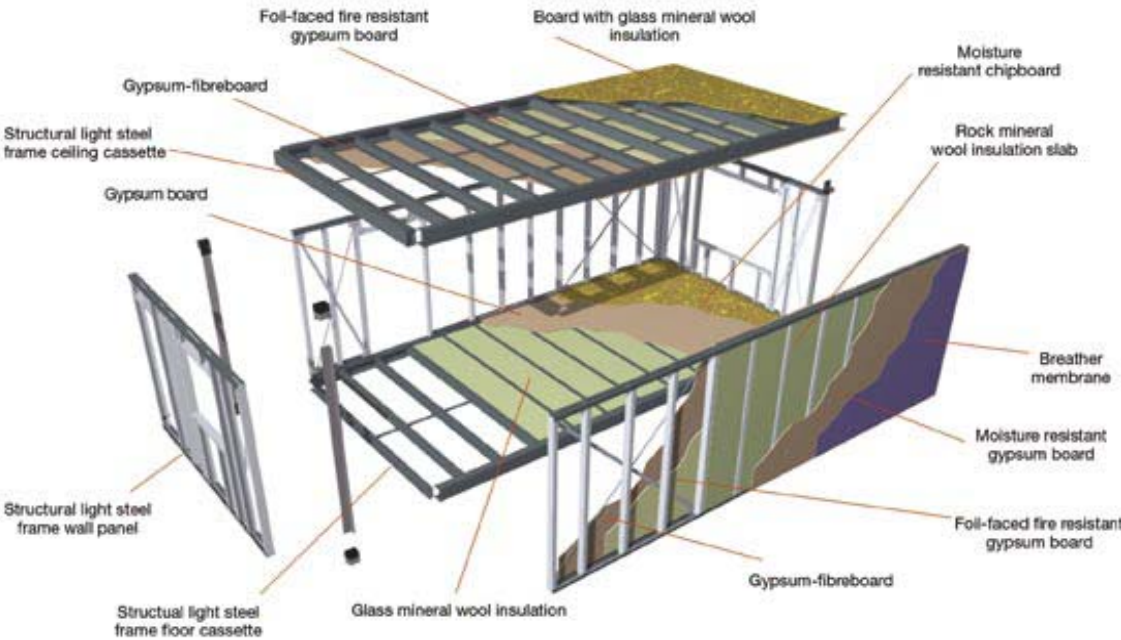


Figura 19.- Módulo 3D [CORUS]

Estos módulos se montan en la fábrica y posteriormente se trasladan mediante transporte especial a la obra, donde se montan mediante maquinaria tradicional y se rematan con la fase de acabado final (*Figura 20*).



Con motivo de la compra de Tata Steel y la crisis económica, Living Solutions cerró sus puertas en 2010.



Figura 20.- Fabricación y montaje de módulos [CORUS]

- **Proyectos**

Son bastantes los proyectos que se han desarrollado a nivel Unión Europea, tanto RFCS como programas marco, para desarrollar estos sistemas. Destacamos dos como los más interesantes.

- *ManuBuild (Figuras 21 y 22)*

Proyecto europeo dentro del VI Programa Marco de la Unión Europea, desarrollado durante los años 2005 a 2009, con un

consorcio compuesto por empresas como Corus, Dragados, EMVS de Madrid, NCC, VTT, Ciria, etc...



Figura 21.- Logotipo de Manubuild

El proyecto se basa en el conocido “Open Building Manufacturing”, o construcción abierta en fábricas, donde la fabricación es la pieza clave y en obra se realiza simplemente un montaje de lo fabricado en condiciones adecuadas en factorías.

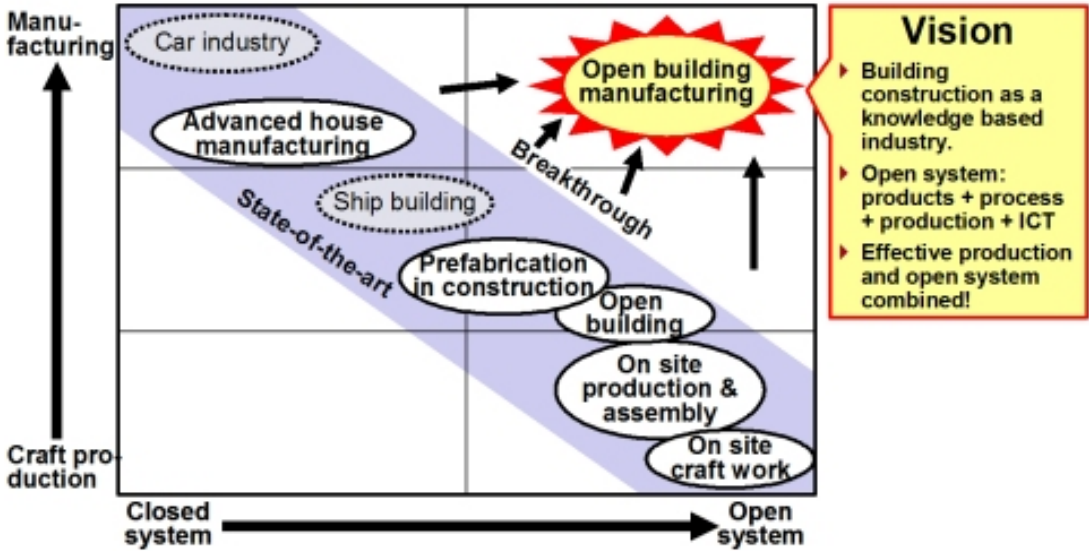


Figura 22.- Filosofía del proyecto Manubuild

Se han realizado varias Conferencias, siendo públicos sus resultados, así como concursos de ideas arquitectónicas para dar relevancia y difusión al mismo. [*Abdul Samad et al, -2-*]

o *I3CON (Figura 23)*

Proyecto igualmente desarrollado en el VI Programa Marco de la UE, con un consorcio de 20 empresas liderados por la española Dragados, con socios como Saint Gobain, VTT, Thales, BSCRIA, etc... Su duración fue de 4 años, entre 2006 y 2010.



Figura 23.- Logotipo de I3CON

El título del proyecto hace referencia a los principales objetivos del mismo como son la construcción industrializada, integrada e inteligente.

Al igual que Manubuild el proyecto ha realizado dos grandes conferencias públicas, en Reino Unido y España, difundiendo sus resultados. [*Jan Wallis et al, -41-*]

2.4.5. Construcción industrializada en el resto del mundo

Aparte de en Europa, dos son los grandes focos de conocimiento y empresas dedicadas a la construcción industrializada: Japón y Estados

Unidos. Si bien China y otras partes de Asia están empezando igualmente a desarrollar sistemas, todavía están lejos de estos dos países.

- **Japón**

Es la cuna de estos desarrollos, y donde se realizan aún a día de hoy los principales avances, arrastrados por las innovaciones en sectores como la electrónica y automoción, que consiguen trasladar al mundo de la edificación.

Como ejemplo, se muestra un sistema desarrollado por una de las mayores ingenierías del mundo, Obayashi, consistente en la construcción de una cubierta sobre una serie de grúas y montacargas robóticos (*Figura 24*).



Figura 24.- Método Obayashi

Los segmentos estructurales se van llevando a obra siguiendo un programa muy preciso, en el que cada pieza está identificada con su posición final en el edificio.

Guiada por un programa informático, un conjunto de grúas sube la pieza hasta su lugar correspondiente. Luego las piezas pasan a una serie de grúas que lo llevan a su posición final. Cuando las vigas ya están en su sitio los operarios pueden realizar las labores de atornillado y amarre desde la seguridad de una plataforma de trabajo.

Una vez terminado un nivel o piso, se eleva la “factoría” un nivel y el proceso comienza de nuevo. Cuando el edificio está terminado la cubierta se apoya en las columnas y se fija, pasándose a convertir en la cubierta del edificio.

- **Estados Unidos**



Figura 25.- Estructura metálica en USA

La tipología de la construcción en Estados Unidos difiere mucho de la española, especialmente una gran mayoría de los americanos viven en casas unifamiliares, no en bloques de vivienda, con lo que la industrialización de la construcción en este caso no va tanto a métodos novedosos de montaje y fabricación sino a la estandarización de las viviendas.

Las casas americanas en su mayoría están construidas en estructura ligera de madera o de acero “light steel framing” (ver *Figura 25*). Ejemplos de empresas pueden ser East Coast Modular Homes [www.eastcoastmodular.com/], North American Housing [www.northamericanhousing.com/], etc...

2.5. EL ACERO EN CONSTRUCCIÓN

En este trabajo se apuesta por la industrialización de la construcción, y para que ésta pueda ser llevada a cabo con éxito es imprescindible tomar como material base uno que permita tanto un nivel de estandarización grande como infinitas posibilidades a la hora de combinarse para formar diferentes productos.

En la edificación tradicional el elemento estructural por antonomasia es el hormigón, bien sea sólo o en compañía de acero, lo que le convierte en hormigón armado. Sin embargo, en edificación industrial (naves industriales) está mucho más extendido el uso de estructuras metálicas que permiten luces mayores y una mayor precisión en su ejecución.

El hormigón presenta como inconvenientes su peso, que supone una mayor necesidad de estructura en los edificios, y su constitución, en gran parte agua, con lo que implica de tiempos de fraguado y de dificultad de controlar



sus tolerancias a nivel de milímetros (mm), algo que con acero se obtiene sin dificultad dado lo preciso de su corte y manipulación.

Si bien en la actualidad en el mundo del hormigón existen intentos en cuanto a tratar de sistematizar e industrializar sus procesos, cuyo ejemplo más claro es la utilización de placas alveolares prefabricadas, todavía es práctica extendida el hormigonado in situ en obra, con la imposibilidad de sistematizar un proceso que se convierte en único dado que el material es acuoso y una vez se seca no se puede reformar.

Para la estructura de los edificios planteados se utilizará por tanto el acero, pero eso no supone que no se usen otros materiales en los edificios, ya que a la estructura de los edificios, y más aun según el nuevo planteamiento del Código Técnico de la Edificación (CTE), hay que sumarle una serie de capas a modo de prestaciones para aspectos como la protección contra el fuego, el ruido, aislantes, etc... [*Ministerio de vivienda, -48-*]

Tanto el acero como el resto de materiales que se plantean en esta metodología son elementos existentes actualmente en el mercado, lo que facilita la implantación en un breve periodo de tiempo de la misma sin necesidad de nuevos desarrollos en lo relativo a nuevos materiales.

Los aceros empleados son de dos tipos, según su manera de fabricación: laminados en caliente (producto plano, bobina) y conformados en frío (producto largo, perfil), que se resumen a continuación.

2.5.1. Acero Laminado en Caliente

2.5.1.1. Clases de acero

Los tipos de acero se establecen en función de sus características mecánicas y se identifican mediante un número que indica el valor mínimo garantizado del límite elástico, expresado en N/mm².



Según el Eurocódigo ENV – Parte 3 los tipos de acero se muestran en la *Tabla 2* [AENOR, -3-]:

Norma y grado del acero	Espesor nominal			
	t= 40mm		40 mm < t = 80mm	
	f _y (N/mm ²)	f _u (N/mm ²)	f _y (N/mm ²)	f _u (N/mm ²)
EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	470
S450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	335	470
S420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S275 M/ML	275	390	255	370
S355 M/ML	355	490	335	470
S420 M/ML	420	520	390	520
S460 M/ML	460	540	430	540
EN 10025-5				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

Tabla 2. - Valores de límite elástico f_y y resistencia última a tracción f_u para acero laminado estructural

El grado está determinado por el valor de la energía absorbida en el ensayo de flexión por choque (resiliencia) y por la soldabilidad.

La designación de los aceros laminados en caliente para perfiles estructurales de uso general se indica en la Norma UNE-EN 10025. De acuerdo con esta designación, los tipos y grados de acero son los siguientes [AENOR, -9-]: (*Tabla 3*)



TIPO	GRADO	DESIGNACION
S 235	JR	S 235 JR
	J0	S 235 J0
	J2	S 235 J2
S 275	JR	S 275 JR
	J0	S 275 J0
	J2	S 275 J2
S 355	JR	S 355 JR
	J0	S 355 J0
	J2	S 355 J2

Tabla 3.- Tipos y grados de acero según norma UNE-EN 10025 certificados en España por la marca N de AENOR

2.5.1.2. *Protección anticorrosiva*

- Entornos interiores y exteriores

El acero expuesto en entornos interiores y exteriores puede estar sujeto a corrosión, dependiendo de las características específicas del entorno. No obstante es posible prescribir sistemas de protección que garantizarán una durabilidad del acero.

La clasificación de un entorno viene determinada por la norma EN ISO 12944-2 [AENOR, -10-] y se indica en las *Tablas 4 y 5* a continuación

C1	Se considera que ningún entorno exterior corresponde a esta categoría
C2	Áreas rurales con baja polución de contaminantes
C3	Atmósferas industriales y urbanas con polución moderada de dióxido de azufre. Áreas costeras con baja salinidad
C4	Áreas costeras e industriales con salinidad moderada
C5I	Áreas industriales con alta humedad y atmósferas agresivas
C5M	Áreas costeras y fuera de la costa con alta salinidad

Tabla 4.- Ejemplos de entornos exteriores y su categoría

C1	Edificios con calefacción con atmósferas limpias, ej.: oficinas, tiendas, colegios, hoteles.
C2	Edificios sin calefacción donde puede ocurrir condensación, ej.: almacenes, centros deportivos.
C3	Edificios de fabricación con alta humedad y cierta polución en el aire, ej.: plantas de elaboración de alimentos, lavanderías,...
C4	Plantas químicas, piscinas de natación, astilleros.
C5I, C5M	Edificios con condensaciones casi permanentes y alta polución. Estos edificios tienen atmósferas con un riesgo altos de corrosión.

Tabla 5.- Ejemplos de entornos interiores y su categoría

Según la norma descrita, las estructuras expuestas a la categoría de entornos C1 no requieren protección contra la corrosión. Si se requiere pintar por razones estéticas, se pueden usar sistemas de revestimiento para categoría C2.

- Revestimientos con pintura

Los revestimientos con pintura son el método más importante para la protección del acero estructural contra la corrosión. Las pinturas están compuestas por pigmentos dispersos en un aglutinante, el cual a su vez está disuelto en un disolvente o emulsificado en agua.

Cuando se aplican pinturas, antes de la evaporación del disolvente producen una “película húmeda”. Cuando el disolvente se evapora, el aglutinante y los pigmentos se mantienen en la superficie como una “película seca”. La especificación del espesor de la película se da generalmente en términos del espesor de la película seca.

- Clasificación de las pinturas

Las pinturas se aplican en varias capas, una sobre la otra. Generalmente, estas capas son la imprimación, las capas intermedias y la capa de acabado o acabado final.

Con respecto a su clasificación, las imprimaciones para acero generalmente se clasifican de acuerdo a los pigmentos que inhiben la corrosión, por ejemplo imprimaciones a base de fosfato de cinc e imprimaciones de cinc metálico. Además, cada uno de estos pigmentos puede utilizarse con una variedad de resinas aglutinantes que producen imprimaciones alquílicas de fosfato de cinc, imprimaciones epóxicas de fosfato de cinc, etc.

Las capas intermedias y de acabado se clasifican de acuerdo a su aglutinante, por ejemplo alquílicas, epóxicas,...

Los sistemas de pintura no se deben considerar sólo como varias capas superpuestas. Deben considerarse los siguientes aspectos:

- Condiciones de la superficie antes de aplicar la pintura (limpieza y preparación mecánica)

- Selección de materiales de recubrimiento y composición del sistema.
- Límites superior e inferior para el espesor de la película seca.
- Condiciones ambientales durante la aplicación y secado de los materiales de recubrimiento.
- Condiciones de exposición previstas, vida útil y coste.

La imprimación se aplica sobre la superficie limpia de acero y su función es humedecer la superficie, asegurar una buena adhesión para las siguientes capas e inhibir la corrosión.

Las capas intermedias constituyen el volumen del espesor del sistema de recubrimiento. Estas capas pueden ser capas selladoras que reducen la penetración de la humedad, o capas formadas que incrementan la protección en general al incrementar el espesor.

La capa final o capa de acabado es la primera barrera contra el entorno. Proporciona el color requerido, el brillo y una superficie resistente del sistema de recubrimiento.

- Imprimaciones en taller

Cuando se ha limpiado una superficie de acero, es deseable pintarla tan pronto como sea posible para mantenerla libre de óxido hasta que se efectúe el pintado final. Esto se efectúa aplicando imprimaciones de prefabricación inmediatamente después del proceso de limpieza a chorro automática.

El proceso de fabricación no debería verse obstaculizado por estas imprimaciones. El fabricante de la imprimación debe suministrar un certificado de soldadura. Además de este certificado, debería disponer de un certificado de sanidad para asegurar que el humo

emitido por la imprimación no exceda los límites apropiados de exposición.

En general, los tipos genéricos de imprimaciones de prefabricación son los siguientes:

- Imprimaciones anticorrosivas: las imprimaciones anticorrosivas son productos a base de butiral polivinílico.
 - Imprimaciones epóxicas: las pinturas poliamidas son las más populares.
 - Imprimaciones epóxicas de cinc: cauchos clorados, resinas fenólicas o resinas epóxicas catalizadas.
 - Imprimaciones a base silicatos de cinc
- Galvanización en caliente

El proceso consiste en la aplicación de una capa de cinc mediante inmersión de los elementos de acero en un baño de cinc fundido.

Para ello se debe eliminar cualquier resto de grasa o aceite, con agentes desengrasantes, tales como soluciones alcalinas o agentes ácidos desengrasantes. Después se lavan los componentes en un baño con agua, que evitan que las soluciones desengrasantes estén presentes en las siguientes etapas del proceso. Se limpia con ácido eliminando el óxido y la escamación. Nuevamente se limpian los componentes con agua, para evitar la presencia de residuos de ácido en las siguientes etapas. A continuación se sumerge el acero en un agente fundente para asegurar un buen contacto entre el cinc y el acero durante el proceso de galvanizado. Se secan los elementos en un horno o con aire caliente y se sumerge el acero en un baño de cinc fundido a una temperatura que varía entre 440 °C y 460 °C. A estas temperaturas el cinc reacciona con el acero formando una aleación integral

de cinc/hierro con la superficie de acero. Finalmente, el acero galvanizado puede ser enfriado en agua o al aire.

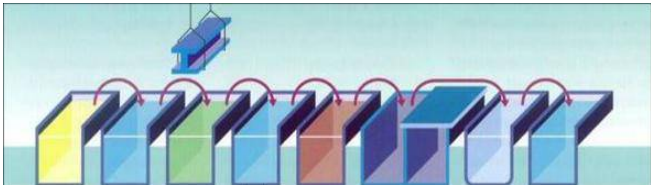


Figura 26.- Proceso de galvanizado en baño caliente.

Las especificaciones de los estándares para el baño galvanizado en caliente para acero estructural se indican en EN ISO 1461. En esta norma se especifica el espesor medio mínimo (*Tabla 6*) de acuerdo al espesor del producto de acero [AENOR, -7-].

Espesor	Valor mínimo en un punto (μm)	Valor promedio mínimo (μm)
Acero ≥ 6 mm	70	85
3 mm \leq Acero < 6 mm	55	70
1,5 mm \leq Acero < 3 mm	45	55
Acero $< 1,5$ mm	35	45
Moldes ≥ 6 mm	70	80
Moldes ≥ 6 mm	60	70

Tabla 6.- Espesor del revestimiento de cinc según EN ISO 1461

2.5.1.3. Protección contra el fuego

El objetivo principal de la seguridad ante incendio consiste en garantizar la seguridad de las personas dentro y en las inmediaciones del edificio. Como objetivo secundario estaría la protección de la estructura y los bienes contenidos en el edificio. Para ello resulta fundamental asegurar la estabilidad de la estructura durante un período mínimo de tiempo que permita la evacuación segura del edificio. Es por ello que todos los códigos y reglamentos de edificación de los países exigen unos requisitos mínimos

(Tabla 7) de resistencia al fuego de la estructura [*Ministerio de Vivienda, -48-*].

Uso del sector de incendio considerado	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante altura de evacuación del edificio		
		< 15m	< 28m	≥ 28m
Vivienda unifamiliar	R 30	R 30		
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	R 120	R 60	R 90	R 120
Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	R 120	R 90	R 120	R 180
Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso)		R 90		
Aparcamiento (situado bajo un uso distinto)		R 120		

Tabla 7.- Valores de resistencia R en función del uso y la altura

En cuanto al comportamiento de estructuras metálicas frente al fuego se debe considerar que el aumento de la temperatura disminuye el módulo de resistencia y el límite elástico de los elementos en base a acero. Al analizar si una estructura resiste el tiempo suficiente para una situación determinada, ésta tendrá dos respuestas posibles:

- Que la estructura resista el tiempo requerido, sin necesidad de ninguna protección adicional.
- Que la estructura no resista lo suficiente, por lo que habrá que combinar la estructura de acero con alguna protección, hasta alcanzar el tiempo requerido. También existen técnicas constructivas con las cuales se pueden llegar a conseguir hasta R60.

En los casos que sea necesaria una resistencia adicional, existen una serie de tratamientos tradicionales al acero para mejorar sus prestaciones frente al fuego, cuya finalidad es evitar la pérdida de estabilidad de la estructura



debido al incremento de la temperatura provocado por la acción de un incendio. Existen varias formas de protección, entre las que destacan los morteros, las pinturas intumescentes y los paneles de silicato cálcico.

A continuación se definen de forma general las características técnicas de una serie de soluciones comerciales para la protección del acero estructural, siguiendo la normativa existente UNE –EN 1363, en función de la resistencia a un fuego normalizado requerida. [AENOR, -4-]

- **Paneles de silicato cálcico:** La protección de elementos estructurales mediante paneles de silicato cálcico hidratado, sometidos a autoclave, y reforzados con fibras especiales les confieren una gran estabilidad, incluso en condiciones extremas y continuadas de humedad o alta temperatura. Otra característica de estos paneles es que no se desmoronan, reblandecen o sufren distorsiones por estas causas.
- **Morteros:** Es un producto proyectable a base de ligantes hidráulicos, áridos ligeros y aditivos especiales que proporciona a las estructuras metálicas (vigas, pilares, cerchas,...) una resistencia a un fuego normalizado, R, entre 15 y 240 minutos.

Asimismo, para la protección de elementos resistentes, tanto de acero como de hormigón armado, existen morteros proyectables de lana de roca, los cuales forman revestimientos homogéneos, continuos, sin juntas ni fisuras, que protegen a las estructuras de la acción térmica del incendio. Los espesores de la protección necesarios con este tipo de soluciones dependen de la resistencia frente a un fuego normalizado requerida y de la masividad del perfil a proteger.

- **Pinturas intumescentes:** Este tipo de protección consiste en un revestimiento cortafuego de intumescencia progresiva, lo que significa que, al entrar en contacto con la llama, reacciona hinchándose y formando un aislamiento multicelular termo resistente de muy baja

conductividad térmica que impide la propagación y que protege al acero de un aumento excesivo de la temperatura.

Como el desarrollo es paulatino se consigue retardar la acción destructora del incendio sobre los elementos constructivos. Una vez efectuada su labor, calcina sin producir ni comunicar llama.



Figura 27.- Detalle de aplicación de pintura intumescente en una viga para una entreplanta

Las resistencias pueden llegar hasta los R 120, pero a costa de emplear espesores de pinturas muy elevados, con el coste económico que ello supone. Otro inconveniente de este tipo de producto es que no es apto para la protección de uniones.

2.5.2. Acero conformado en frío

2.5.2.1. Fabricación

El proceso de conformado en frío consiste en transformar mecánicamente un producto plano, generalmente flejes procedentes de bobinas de acero, que puede incluir algún tratamiento previo, siendo el galvanizado el más común.

Durante el conformado en frío, el fleje recibe su nueva forma mediante un proceso que consta de diferentes etapas, plegando y moldeando la chapa de



acero a través de rodillos, sin exceder la capacidad de deformación del material. Para ello, se le aplica una elevada presión a la chapa que se encuentra a temperatura ambiente, es decir, que durante el proceso de conformado en frío no se aplica tratamiento térmico.

Según el Eurocódigo 3 [AENOR, -3-], los tipos de acero conformados en frío son los que se muestran en la Tabla 8:

Tipo de acero	Norma	Tipo
Aceros estructurales no aleados. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro para aceros estructurales no aleados	EN 10025:2	S 235 S 275 S 355
Tipo de acero	Norma	Tipo
Aceros estructurales laminados en caliente. Parte 3: Condiciones de suministro para aceros estructurales soldables normalizados de grano fino.	EN 10025:3	S 275 N-NL S 355 N-NL S 420 N-NL S 460 N-NL
Tipo de acero	Norma	Tipo
Aceros estructurales laminados en caliente. Parte 4: Condiciones de suministro para aceros laminados estructurales soldables termomecánicamente de grano fino	EN 10025:4	S 275 M-ML S 355 M-ML S 420 M-ML S 460 M-ML

Tabla 8.- Tipos de acero conformado en frío [EN 1993-1-:2006. Tabla 3.1ª]

Para estructuras en edificación se emplean espesores entre 1 y 3 mm. Para elementos no portantes la sección es menor pudiendo ser estos hasta de 0,6mm. Al tratarse de espesores de chapa pequeños, con el plegado de la misma se busca un incremento de la capacidad resistente obteniendo así una estructura ligera. El diseño de la sección vendrá condicionado por el uso al que se vaya a destinar el elemento.

Asimismo, se pueden combinar diferentes secciones para obtener mejores propiedades. En la *Figura 28* se muestran distintas secciones de acero conformado en frío.

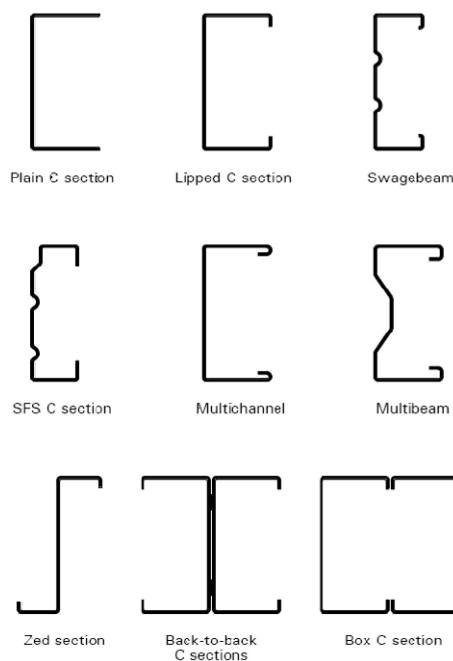


Figura 28.- Perfiles de acero conformado en frío empleados en construcción

- **Durabilidad y resistencia al fuego**

La durabilidad entendida como resistencia a la corrosión de estos perfiles está asegurada por el propio material que parte de bobinas de acero galvanizados en continuo.

Para lograr una adecuada resistencia al fuego estos elementos no deben quedar nunca expuestos si no que deben quedar protegidos por revestimientos siendo los más habituales:

- Para elementos verticales: Protección mediante placas de materiales minerales resistentes al fuego.
- Para elementos horizontales: Para el caso de los forjados de chapa colaborante, estos se diseñan como elementos mixtos de acero y hormigón con los que se pueden obtener las

resistencias al fuego requeridas sin necesidad de protección adicional.

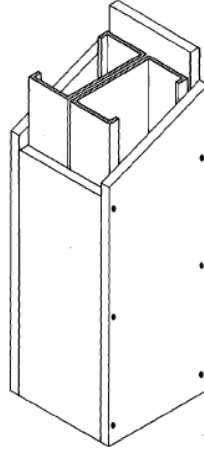


Figura 29.- Protección de perfiles de acero conformado en frío mediante placas

3. METODOLOGÍA PROPUESTA

3.1. INTRODUCCIÓN

Tal y como se ha desarrollado en el apartado del estado del arte (ver *Apartado 2.4*), es necesario, una vez estudiada la metodología tradicional de construcción e incluso la construcción modular, dar un paso más con una metodología que modifique la manera actual de construir edificios.



Figura 30.- Edificios en construcción

El hecho que en las últimas décadas la construcción haya sido un negocio floreciente ha ayudado a que los cambios hayan sido mínimos, pero la actual crisis va a obligar (lo está haciendo ya) a un replanteamiento general de la situación. La ocasión es la idónea para que las constructoras vean como una necesidad **nuevos métodos más eficientes**, rápidos y seguros que acorten significativamente el periodo de ejecución de la obra.

Pero para que la obra se reconduzca es necesario un **cambio global** del **proceso** (en el **ciclo de vida** del edificio en su conjunto) que también afecte al periodo **de diseño** (*Apartado 3.2.1*) del edificio, ya que la fase llamada tradicionalmente de proyecto es igualmente clave en la mejora del proceso, puesto que si los ingenieros y arquitectos pueden conocer y desarrollar las

nuevas técnicas (prefabricación, modularización, construcción industrializada) podrán implantarlas y condicionar su uso en la **fase de construcción**, que se divide en dos etapas según su lugar de ejecución: la **fase de fabricación** (*Apartado 3.2.2*) a realizar en un ambiente controlado industrial y la **fase de montaje** (*Apartado 3.2.3*) en la obra, in situ en el lugar de emplazamiento del edificio.

La **fase de uso** (*Apartado 3.2.4*) del edificio es clave en temas como la Eficiencia Energética. Los edificios consumen hasta el 50% de la energía generada en España, principalmente en climatización (calor en invierno, frío en verano). La fase de uso es la más importante del ciclo de vida del edificio (si se estima una vida útil de 50 años, como indica el CTE)

Por último, el **fin de uso** (*Apartado 3.2.5*) del edificio es un tema que tradicionalmente se ha solventado con el derribo (*Figura 31*) y escombrado del mismo y traslado a vertedero. Hoy por hoy la legislación se va haciendo más y más exigente (y lo será mucho más en un futuro no muy lejano con disposiciones de la UE en tramitación), por lo que esta fase deberá de ser tomada en cuenta en el estudio global del edificio, para tener previsto la reutilización o el reciclaje de sus materiales y componentes.

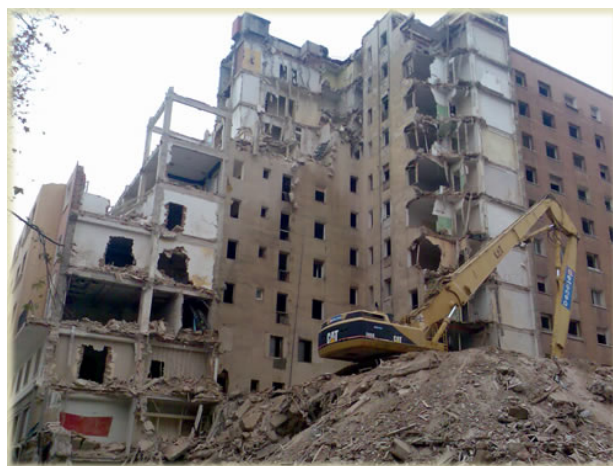


Figura 31.- Demolición de un edificio



3.2. FASES DE LA METODOLOGIA PROPUESTA PARA LA EDIFICACIÓN

De acuerdo con lo que se viene indicando en el presente trabajo se consideran las siguientes fases en la metodología de la construcción del edificio:

- Fase de Diseño (tradicionalmente llamada de proyecto)
- Fase de Fabricación (de componentes)
- Fase de Montaje (en obra)
- Fase de Uso y mantenimiento
- Fase de Deconstrucción (o de fin de uso)

A continuación se pasa a describir en profundidad cada una de estas fases que componen a su vez el ciclo de vida de un edificio.

3.2.1. FASE DE DISEÑO. PROYECTO

La fase de diseño del edificio tradicionalmente se circunscribía a la fase inicial del proyecto, previa a la construcción del edificio. En muchas ocasiones la dirección de obra no coincide con el proyectista, lo que da lugar a que se hagan modificaciones in situ en la obra fruto de la improvisación, bien por falta de detalles en el proyecto, o por errores de interpretación del mismo.

A día de hoy, con los ordenadores y el software especializado, es cada vez más sencillo y necesario ampliar la fase de diseño a lo largo de la construcción del edificio, para facilitar el trabajo y reducir los errores y los habituales retrasos del sector.

Se distinguen los siguientes trabajos a realizar en esta fase:



- **Diseño arquitectónico.**

La fase de diseño pura o de dibujo del edificio debe de realizarse utilizando las nuevas herramientas al alcance que facilitan el trabajo tanto de diseño como de re-diseños sucesivos tan propios de esta fase. Para ello la mejor herramienta al alcance es la tecnología B.I.M (Building Information Modelling). Ver *Figura 32*

Supone dar un paso más al CAD (Computer Aided Design) o diseño asistido por ordenador. Los archivos no sólo contienen información gráfica sino información acerca de los materiales, valores de eficiencia energética, precios, volúmenes, pesos, etc... que una vez modificada la parte gráfica se actualizan automáticamente. [Harvey M. Bernstein et al, -38-]

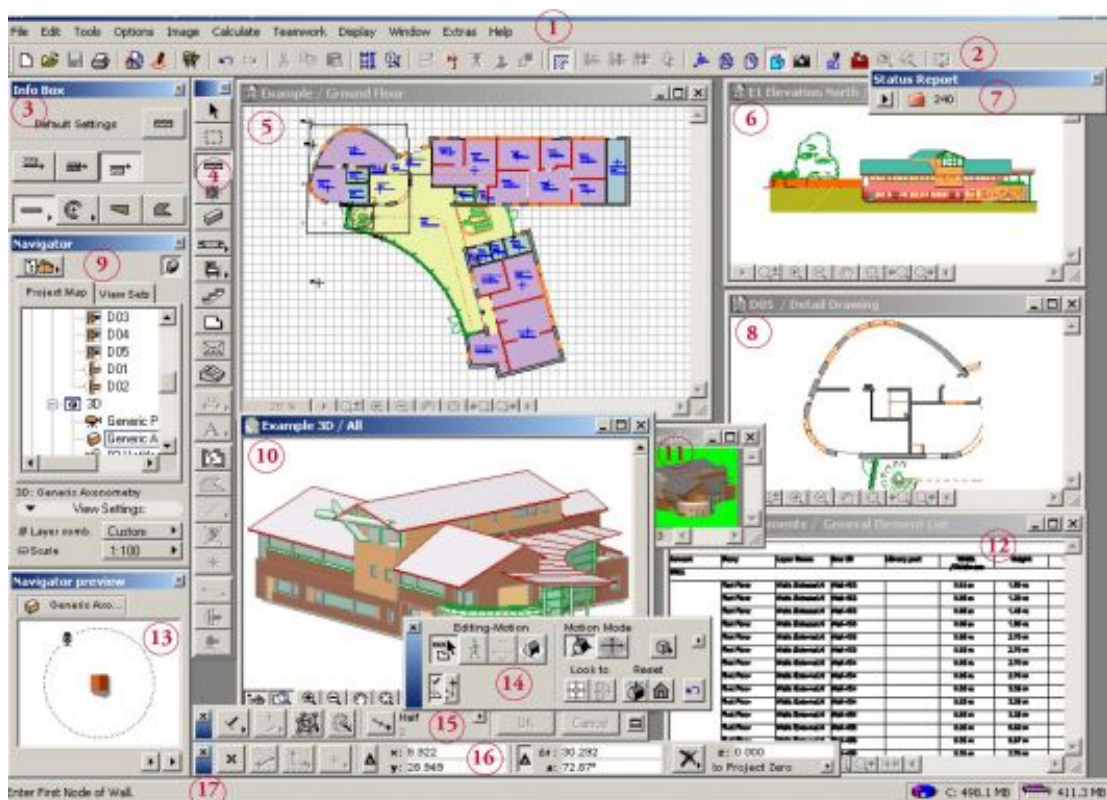


Figura 32.- Ejemplo de pantalla de programa BIM [Graphisoft]

Existen en el mercado diversas soluciones comerciales con tecnología BIM (Autodesk, Graphisoft, Nemetscheck). Si bien en estos momentos el precio de los programas llega a duplicar (hasta 12.000 € la licencia) a los programas CAD, la maduración del mercado en los próximos años hará bajar los precios y convertirse en estándar en construcción.

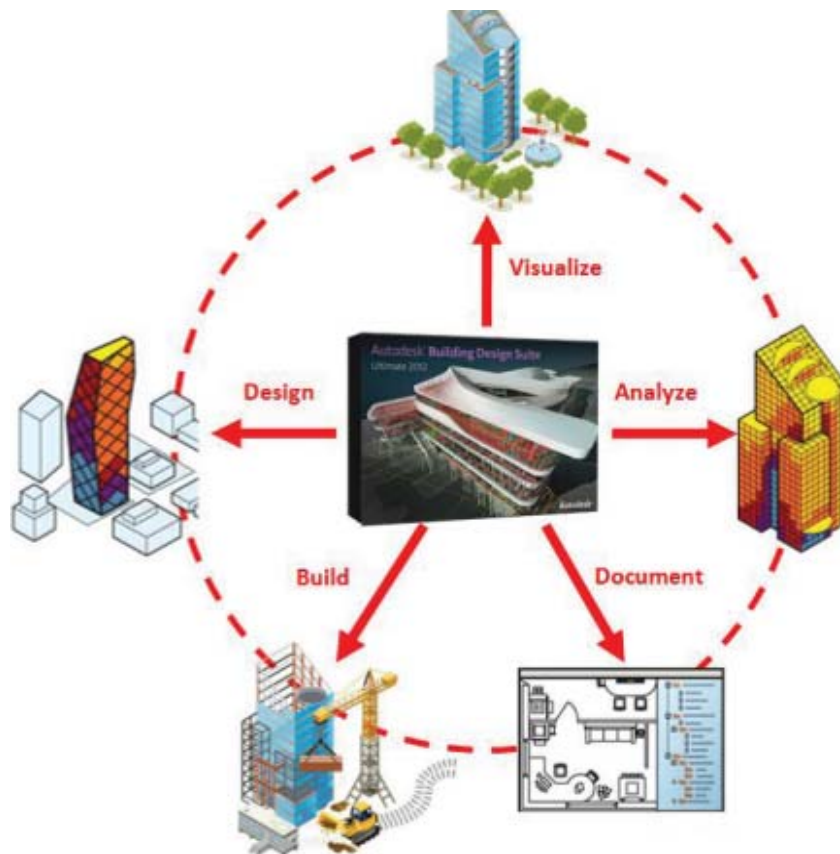


Figura 33.- Filosofía de la tecnología BIM [Autodesk]

Este software permite controlar no sólo la parte de diseño sino que permite realizar simulaciones energéticas [Harvey M. Bernstein et al, - 37-], control de la logística de la obra y las mediciones, control de las modificaciones de planos y listas de materiales, etc... (Figura 33)

- **Cálculo de estructuras**

Además del diseño del edificio, es necesario realizar un estudio y cálculo de estructuras en función de las necesidades que plantea el Código Técnico de la Edificación (CTE) con respecto a las cargas, el viento, la nieve, los terremotos y demás elementos a considerar en dichos cálculos. Al igual que en temas de diseño, hoy por hoy estos trabajos se realizan mediante ordenadores y software específico, como Tekla Structures (ver *Figura 34*) o las españolas Tricalc o Cype. En sus últimas ediciones incluyen compatibilidad con archivos BIM comentados en el punto anterior y también tienen módulos para el diseño de instalaciones, que se verá más adelante.

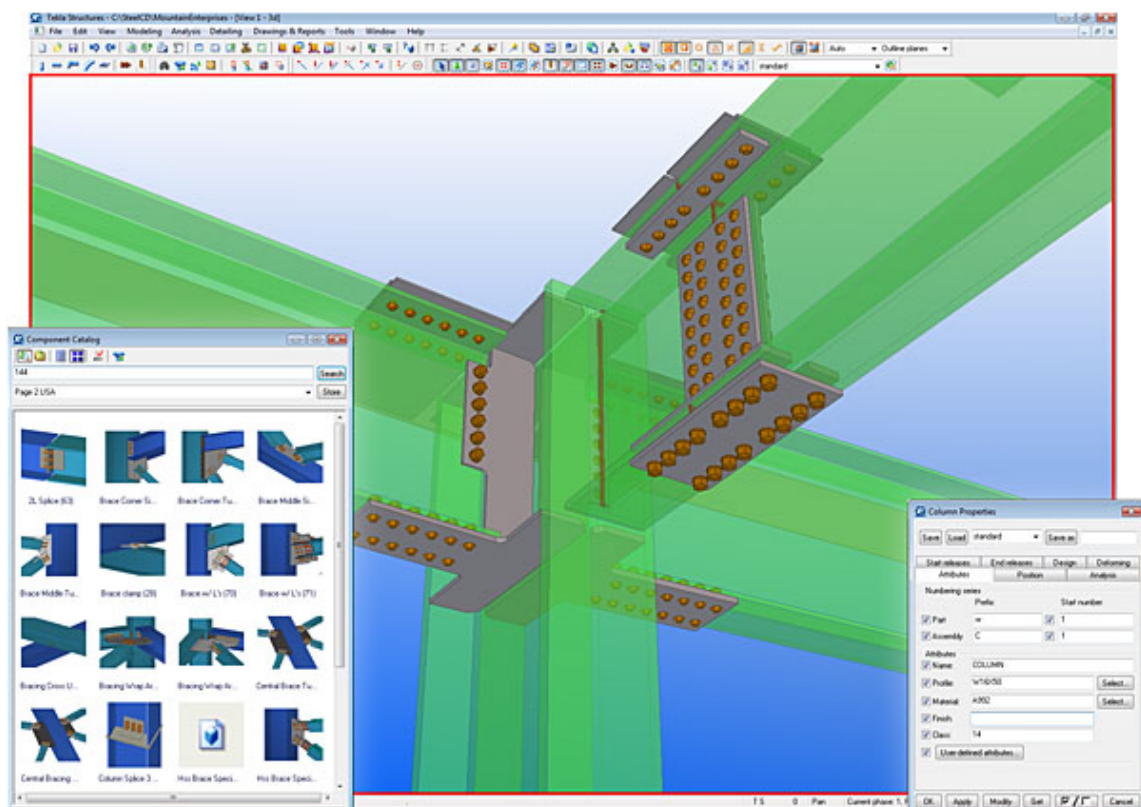


Figura 34.- Ejemplo de cálculo realizado con Tekla Structures [Tekla]

- **Otros cálculos**

El código técnico [*Ministerio de Vivienda, -48-*] obliga además de comprobar y verificar la estabilidad o seguridad estructural (SE), comentado en el punto anterior, a otra serie de requisitos como son:

- Seguridad en caso de incendio. (SI). *Figura 35*



Figura 35.- Incendio de un edificio

El CTE regula los sectores o divisiones que deben de considerarse en un edificio, así como marca los valores mínimos de resistencia al fuego de las estructuras (en minutos), y da pautas de protección activa y pasiva. Se debe acompañar la justificación en el proyecto. (Ver *Tabla 9*)

Elemento	Resistencia al fuego			
	Plantas bajo rasante	Plantas sobre rasante en edificio con altura de evacuación:		
		h ≤ 15 m	15 < h ≤ 28 m	h > 28 m
Paredes y techos ⁽²⁾ que separan al sector considerado del resto del edificio, siendo su uso previsto: ⁽⁴⁾				
- Sector de riesgo mínimo en edificio de cualquier uso	(no se admite)	EI 120	EI 120	EI 120
- Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	EI 120	EI 60	EI 90	EI 120
- Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	EI 120 ⁽⁵⁾	EI 90	EI 120	EI 180
- Aparcamiento ⁽⁶⁾	EI 120 ⁽⁷⁾	EI 120	EI 120	EI 120
Puertas de paso entre sectores de incendio	E ₂ t-C5 siendo t la mitad del tiempo de resistencia al fuego requerido a la pared en la que se encuentre, o bien la cuarta parte cuando el paso se realice a través de un vestíbulo de independencia y de dos puertas.			

Tabla 9.- Resistencia al fuego de edificios [CTE]

o Seguridad de utilización. (SU)

Se busca mejorar la calidad de los edificios en relación con los accidentes que se producen en su uso normal, es decir, cuando éstos y sus elementos se utilizan para lo que fueron proyectados (sin pretender regular el uso malintencionado o imprudente de edificios)

En el Código Técnico de la Edificación se han identificado y se regulan los siguientes riesgos en los edificios:

- Caídas, que pueden producirse por resbalamientos, discontinuidades en el pavimento, cambios de nivel, diseño de escaleras y rampas o durante las tareas de limpieza de los acristalamientos exteriores. (Figura 36)
- Impacto o atrapamiento con elementos del edificio
- Aprisionamiento en recintos
- Accidentes derivados de una iluminación inadecuada
- Accidentes derivados de situaciones con alta ocupación
- Ahogamiento en piscinas, depósitos, pozos y similares

- Accidentes derivados de la presencia de vehículos en movimiento
- Accidentes derivados de la acción del rayo



Figura 36.- Barandilla y pasamanos de seguridad de utilización

- Higiene, salud y medioambiente. (HS)

El documento de Salubridad del Código Técnico CTE, en sus distintas secciones, trata de afrontar diversos problemas de la edificación en España que afectan a la higiene y salud de las personas y a la protección del medioambiente en el entorno edificatorio. Se abordan los problemas de humedad en los edificios, también se regulan las instalaciones de suministro de agua y de evacuación, la ventilación y la eliminación y gestión de residuos generados en los edificios.

Es muy importante contar con estos aspectos en la fase de diseño y de proyecto para evitar accidentes y vertidos en obra.

- Protección contra el ruido. (HR)

El ruido y las vibraciones es uno de los grandes caballos de batalla de la construcción, especialmente de la metálica. Para ello son necesarias detallar las soluciones que eviten la propagación del sonido y las vibraciones en las estructuras (ver ejemplo en *Figura 37*).

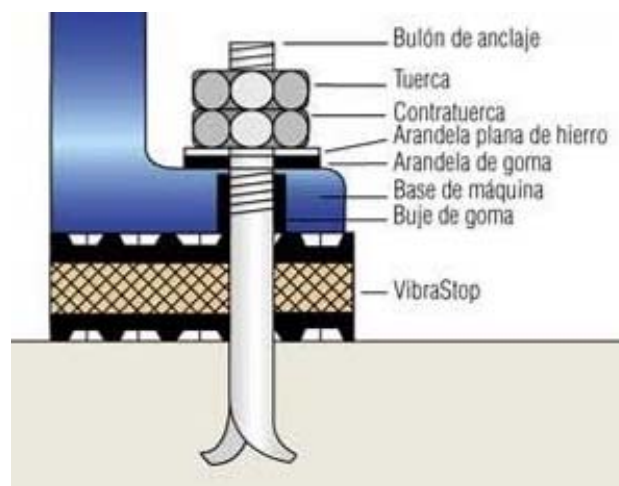


Figura 37.- Ejemplo de solución antivibratoria [*VibraStop*]

- Ahorro de energía y aislamiento térmico. (HE)

Uno de los aspectos más importantes ya en la actualidad y que sin duda aumentará su importancia en el futuro va es la eficiencia energética.

El primer paso para consumir menos energía es que los edificios tengan un aislamiento en su envolvente óptimo, que

impida las pérdidas de calor en invierno y la excesiva insolación y calentamiento de las casas en verano (*Figura 38*).



Figura 38.- Ejemplo de envolvente eficiente del edificio

Mediante técnicas pasivas (mejores aislamientos y acabados) o activas (generación de energía) en el futuro se debe buscar el balance energético 0 del edificio (es decir, que lo que consume se auto-produzca y por tanto no gaste energía). Hoy por hoy el compromiso de la UE es reducir para 2020 un 20% la energía consumida en los edificios, y estas medidas se harán más y más restrictivas. [*European Union, -28-*]

- **Instalaciones**

Tan importante como la estructura y la envolvente del edificio, como sus materiales, son las instalaciones que discurren por ellos y que constituyen parte fundamental del edificio.



El proyecto debe de considerar todas las instalaciones a realizar, con planos detallados y detalles de su ubicación y características. Gran parte del software de diseño y cálculos incluyen módulos de instalaciones que facilitan la labor del proyectista

Se consideran las siguientes instalaciones [Edwin Wellpott, -24-]:

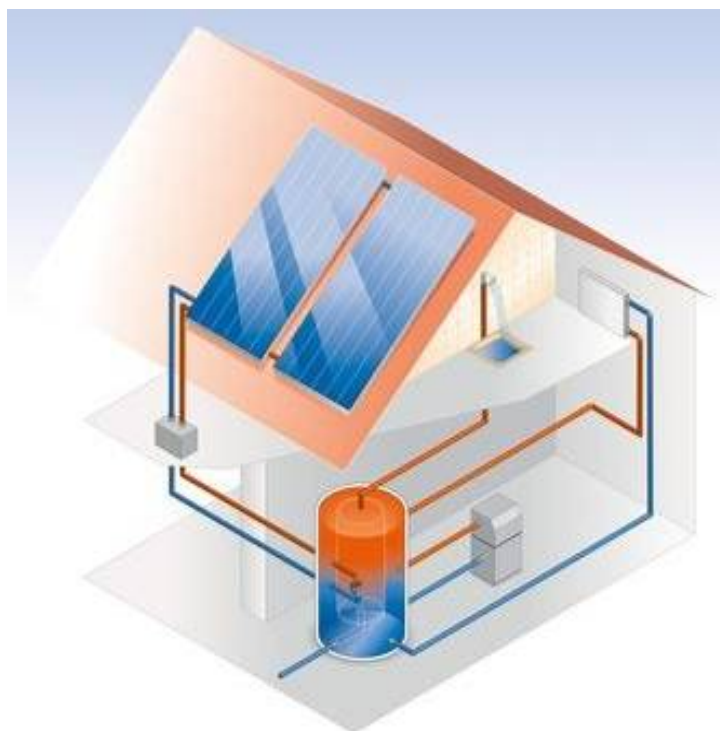


Figura 39.- Instalación de climatización en una vivienda

- Instalación eléctrica
- Instalación de climatización (ver Figura 39)
- Instalación de calefacción
- Instalación de ventilación
- Instalación de agua caliente sanitaria
- Instalación de fontanería
- Instalación de aguas residuales

- Instalación de telecomunicaciones
- Domótica: sensores
- Instalaciones térmicas solares y fotovoltaicas
- Ascensor
- Instalación de gas

Una parte fundamental del éxito de una construcción sostenible y eficiente de un edificio radica en la fase de proyecto. El diseño propiamente dicho no termina en esta fase sino que permanece en cada una de las fases de constitución del mismo: construcción, montaje, uso y fin de uso.

3.2.2. FASE DE FABRICACIÓN DE COMPONENTES. CIBAS y UCAS

Para ayudar a la consolidación de la construcción industrializada, es necesario que existan componentes que faciliten la labor en fábrica y permitan que el trabajo en obra sea solamente de montaje, evitando fabricar in situ. Para conseguir esto las premisas son:

- Evitar las soldaduras en obra (*Figura 40*). Los trabajos de soldadura, que requieren personal experto en obra y dependen mucho de las condiciones climatológicas, se deben circunscribir a la fábrica. Allí puede realizarse de manera automatizada mediante robots y en una atmósfera perfectamente controlada, en condiciones de seguridad y medio ambiente adecuadas.



Figura 40.- Trabajos de soldadura en obra

- Evitar los trabajos “húmedos” en obra: aquellos que implican trabajar con agua o soluciones acuosas que exijan tiempos de curado o secado: hormigonado (ver Figura 41), enfoscado, pintado, etc...estos trabajos caso de necesitarse deberán igualmente realizarse en la fábrica y transportarse completados a obra, donde se realizarán trabajos menores (juntas, acabados, detalles, etc...)



Figura 41.- Trabajos de hormigonado en obra

En este trabajo se da un paso más allá y como se verá en el apartado siguiente, **se prescindirá del hormigón por completo en los componentes del edificio**. Esto no es imprescindible y mediante componentes con hormigón en fábrica o prefabricados como placas alveolares se podría igualmente cumplir el objetivo.

Con estas premisas, y como se ha comentado en el apartado anterior, el diseño tiene una parte fundamental en esta fase también del edificio, y se ha creado una **metodología para el diseño de los componentes**, que se verá a continuación teniendo en todo momento en cuenta a la hora del diseño su fase de fabricación y también su montaje y desmontaje en obra, y la posibilidad de reutilización o reciclaje de sus materiales.

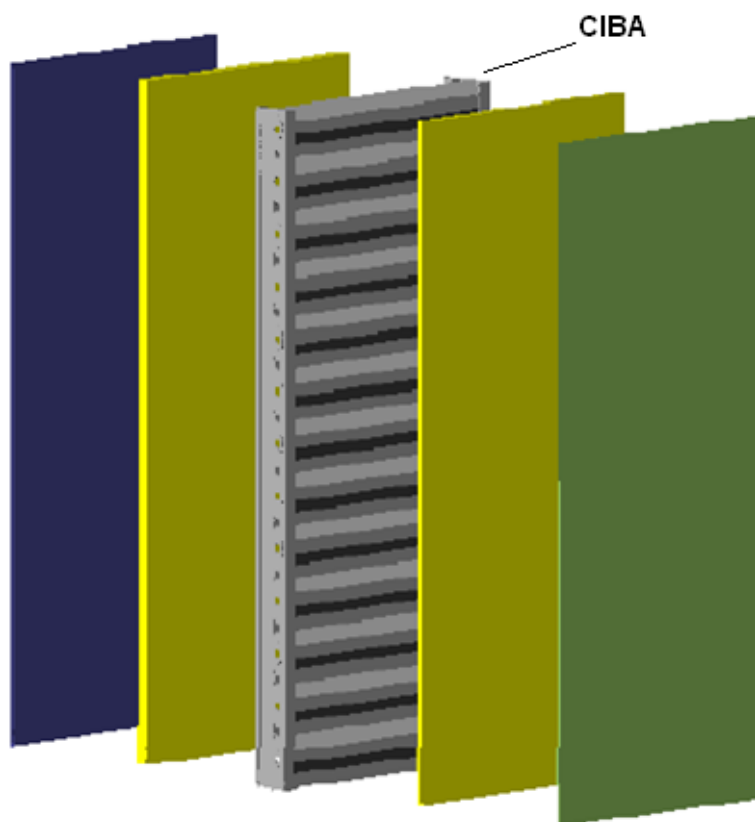


Figura 42.- Componente UCA con su parte estructural (CIBA) y capas de prestaciones



Como base para el diseño se ha partido de dividir los componentes en dos fases (ver *Figura 42*): una primera en el que el componente cumple su función estructural, que será dada por el acero, y que denominaremos **Componentes Industrializados Basados en Acero (CIBA)**, y la segunda fase en el que el componente se completa con una serie de capas de prestaciones, de diversos materiales, para cumplir los requerimientos normativos de aislamiento térmico, fuego y vibraciones, e incluso acabados, y que denominaremos **Unidades Constructivas Avanzadas (UCA)**.

Resulta importante en este punto clarificar, para evitar confusiones, que a lo largo de todo este documento la denominación de “componente” se va a utilizar para el producto final compuesto tanto por un CIBA como por el UCA resultante del mismo, por lo que en lo sucesivo, al hablar de componentes se estará haciendo referencia al componente constructivo final, entendido en la mayoría de los casos como un UCA.

Para el proceso de diseño y desarrollo de **CIBAs** se plantean las siguientes **etapas de actuación**, tanto para el componente como para sus sistemas de unión, analizando exclusivamente el comportamiento estructural:

- *Prediseño.*
- *Diseño constructivo y análisis de especificaciones.*
- *Sistemas de unión.*
- *Validación de los diseños constructivos planteados*
- *Industrialización*

Para el proceso de diseño y desarrollo de los **UCAs** las **fases** serán (partiendo del CIBA previamente diseñado):

- *Verificación de los objetivos establecidos para los UCAs.*
- *Capas prestacionales para cumplimiento normativo.*
- *Simulación para la evaluación de las prestaciones obtenidas*

- *Viabilidad para la fabricación industrializada*
- *Fabricación de modelos experimentales.*
- *Validación final de diseño.*

Partiendo de estos puntos se ha diseñado una tabla (*Tabla 10*) y un procedimiento de diseño que junta el diseño de CIBAs y UCAs en un único diseño de componentes, ya que el CIBA debe también tener en cuenta que no es un producto final, sino que su diseño se verá influido y condicionado por el UCA final, ya que solo éste permite cumplir los requisitos exigidos por la normativa para componentes y su posterior marcado CE o clasificación del componente como producto de construcción.

Etapa de diseño	Herramientas para el análisis y desarrollo del diseño
Definición de alcance y aplicación	Estado del arte Tipologías edificatorias Análisis estratégico, DAFO Planteamiento de líneas de acción
Planteamiento de los requisitos de los Componentes	Normativa actual Estudio de soluciones similares en el mercado.
Prediseño	Bocetos. Herramientas de CAD
Primer Análisis Diseño inicial	Adaptación de la solución Herramientas de CAD Propuesta de componente Fabricación y montaje
Análisis prestación estructural ⇒ CIBAs y uniones	Normativa Estructural y/o documentos de reconocido prestigio Simulaciones numéricas basadas en el Método de los Elementos Finitos Ensayos. Pueden estar bajo norma o no.

Etapa de diseño	Herramientas para el análisis y desarrollo del diseño
<p>Análisis del resto de prestaciones ⇒ UCAs</p>	<p>Según la prestación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Simulaciones numéricas basadas en el Método de los Elementos Finitos - Ensayos (bajo norma o no).
<p>Diseño Final / Validación</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Valoración del resto de prestaciones. - Industrialización de la solución

Tabla 10.- Etapas del diseño de componentes según metodología definida

A continuación en los siguientes apartados se va a proceder a desarrollar en detalle el alcance y objetivos de cada una de las etapas así como la forma de acometerlas de acuerdo a los planteamientos acordados en la presente tesis.

3.2.2.1. **Definición de alcance y aplicación**

Es el inicio del proceso de diseño y en el mismo se deberá de establecer el fin para el que se van a destinar los componentes y para ello hay que describir el entorno y la forma de trabajar de los mismos.

El primer paso es definir los **parámetros constructivos** (ver *Tabla 11*) que permitirán diseñar los nuevos componentes. Para ello se han tenido en cuenta valores típicos de edificación tradicional en residencial, comercial y servicios y también de edificación industrializada [ITEC, -43-].

PARÁMETROS CONSTRUCTIVOS	RANGOS TÍPICOS DE EDIFICACIÓN RESIDENCIAL	RANGOS TÍPICOS DE EDIFICACIÓN COMERCIAL Y SERVICIOS	RANGOS TÍPICOS CORRESPONDIENTES A EDIFICACIÓN INDUSTRIAL
Luces entre pilares (m)	4,00 – 6,00	> 6,00	Pequeños almacenes: 12,00 Naves industriales típicas sin puentes grúa: 25,00 No existen limitaciones de luces y es el proceso productivo el que define la dimensión. Hasta 100m para hangares.
Modulación típica de retícula de pilares (m)	4,00 x 6,00	Edificios de oficinas pequeños: 6,00 x 7,50 Edificios de uso terciario u oficinas grandes: 7,50 x 7,50, 6,00 x 12,00	Naves industriales típicas: 6,00 x 25,0 No existen limitaciones de modulación y es el proceso productivo el que la define. Es relativamente frecuente espaciar los pórticos a 12m y distancias superiores, por ejemplo en acerías, astilleros...
PARÁMETROS CONSTRUCTIVOS	RANGOS TÍPICOS DE EDIFICACIÓN RESIDENCIAL	RANGOS TÍPICOS DE EDIFICACIÓN COMERCIAL Y SERVICIOS	RANGOS TÍPICOS CORRESPONDIENTES A EDIFICACIÓN INDUSTRIAL
Altura libre (m) Distancia entre los acabados de techo y suelo.	2,50	2,50 – 3,25	Naves industriales típicas: > 10,00 Según necesidades de producción. Algunos procesos siderúrgicos que requieren puentes grúa a diferentes niveles o maquinaria especial, llegan fácilmente a los 30m.
Canto del forjado (cm) Incluye la estructura de vigas	25 + 5	> 30 Dependiendo de la densidad de instalaciones y el empleo de suelos técnicos y falsos techos se puede alcanzar fácilmente 100cm.	Para las zonas de oficina, los datos indicados en la columna central son de aplicación. Para la zona productiva, generalmente edificios de una única planta el dato no es relevante.

Tabla 11. Parámetros constructivos para distintos usos de edificación

Es también importante, dado que se trata de industrializar la construcción, buscar una **estandarización** lo más universal posible para evitar convertir dicha edificación en un nicho exclusivo de mercado, sino abarcar todos los sectores, incluida rehabilitación o construcción tradicional. Para ello los componentes se adhieren a la norma *UNE 41604 “Construcción de edificios. Coordinación dimensional y modular. Principios y reglas.”*. Esta norma marca valores a considerar como el módulo base M que equivale a 100 mm, y que en construcción es habitual utilizar la regla 3M (es decir, incrementar las dimensiones de 300 en 300 mm) [AENOR, -8-]. Como elemento base para los componentes metálicos, teniendo en cuenta las bobinas de acero y considerando la regla del 3M, es habitual partir de 1200 mm, valor considerado de partida y que incrementándose de 300 en 300 mm llega a las dimensiones máximas de 6000 mm o incluso en determinadas ocasiones 7200 mm (valores habituales en forjados) o 12000 mm (en vigas y pilares)

Partiendo de estas premisas, los componentes diseñados son de 1, 2 y 3 Dimensiones (ver *Tabla 12*) y pretende cubrir el total de elementos del edificio:

COMPONENTES	
1D	Vigas
	Pilares
2D	Forjado
	Fachada
	Particiones interiores
	Cubierta
3D	Módulo de comunicaciones
	Módulo húmedo

Tabla 12.- Componentes del edificio

- En **1D** los elementos fundamentales son las vigas y pilares, que forman la armadura del edificio. Estos elementos tienen en la actualidad una gama completa de soluciones, por lo que los nuevos diseños no van encaminados a nuevas formas sino a que las vigas y pilares salgan de fábrica preparados para que en obra solo se unan mediante tornillería, evitando las soldaduras en obra (ver *Figura 43*). En fábrica en cambio sí que se realizaría la soldadura del pilar con las placas que les une con otros elementos 1D.

Los pilares y vigas irían ya con sus tratamientos anticorrosión, pintura y si fuera necesario de protección contra el fuego instalados de fábrica.

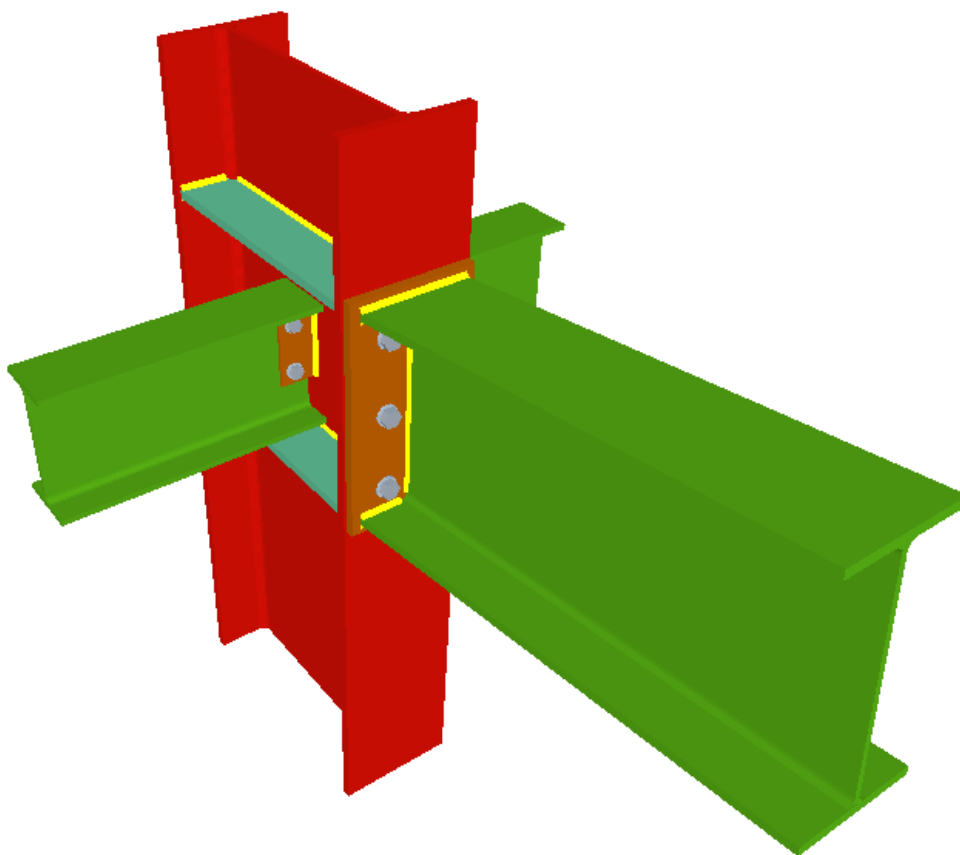


Figura 43.- Ejemplo de unión viga-pilar con placas soldadas en fábrica y atornilladas en obra



- Los **componentes 2D** constituyen los elementos más importantes del diseño del edificio, con paramentos horizontales (forjados y cubiertas) y verticales (fachadas y particiones) que se apoyan en los elementos 1D (vigas y pilares) para componer el entramado del edificio (ver *Figura 44*).

Estos componentes serán novedosos en cuanto no tienen hormigón, sino que son una solución seca. En todo caso esta metodología podría funcionar igualmente con soluciones de hormigón prefabricado, siempre que el hormigonado se realice en fábrica y en atmósfera y calidad controlada.

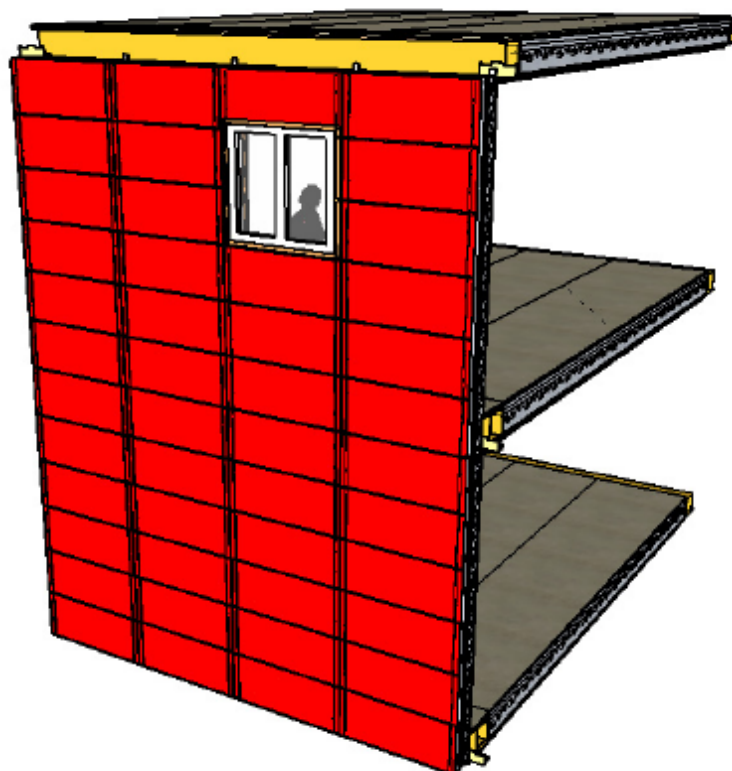


Figura 44.- Elementos 2D horizontales y verticales en un edificio

El optar por soluciones sin hormigón supone ahorros hasta del 30% en peso total del edificio.

En el *Apartado 5.2* de la presente tesis se desarrollan los componentes diseñados.

- Los **componentes 3D** se tratan de reducir al máximo por un motivo relacionado con la logística: el transportar volúmenes grandes vacíos supone un sobre coste importante y también fabricar 3D supone unas instalaciones e inversiones importantes. Por tanto, y contrario a la edificación modular que sí fabrica y transporta 3D, se propone que sea en su mayor parte 2D los componentes a fabricar y será al montarse in situ en la obra cuando se componga el 3D, con el consiguiente ahorro de costes.

Sólo los elementos considerados singulares serán 3D desde obra, y se circunscriben a dos grupos:

- Módulo de comunicaciones, conteniendo la escalera, el ascensor y el *patinillo* de instalaciones (lugar donde se ubican los pasos de instalaciones, cables, tuberías, etc...), que irá preinstalado completamente de obra (ver *Figura 45*).



Figura 45.- Ejemplos de módulos de comunicaciones 3D [CORUS]

Su importancia radica en que son el núcleo estructural del edificio y sobre los cuales se va arriostrando la estructura del mismo de vigas y pilares.

- o Módulo húmedo, que son aquellos que tienen instalaciones de agua, cocinas y baños, que tienen un número importante de instalaciones e incluso mobiliario y acabados (Azulejos, cerámica) que pueden ir totalmente instalados de fábrica y en obra se unan tipo “plug&play” (se colocan y se conectan directamente, como un periférico del ordenador). No son estructurales, se integran en la estructura existente del edificio (ver *Figura 46*). Son muy populares en la cultura anglosajona, denominándose pods.

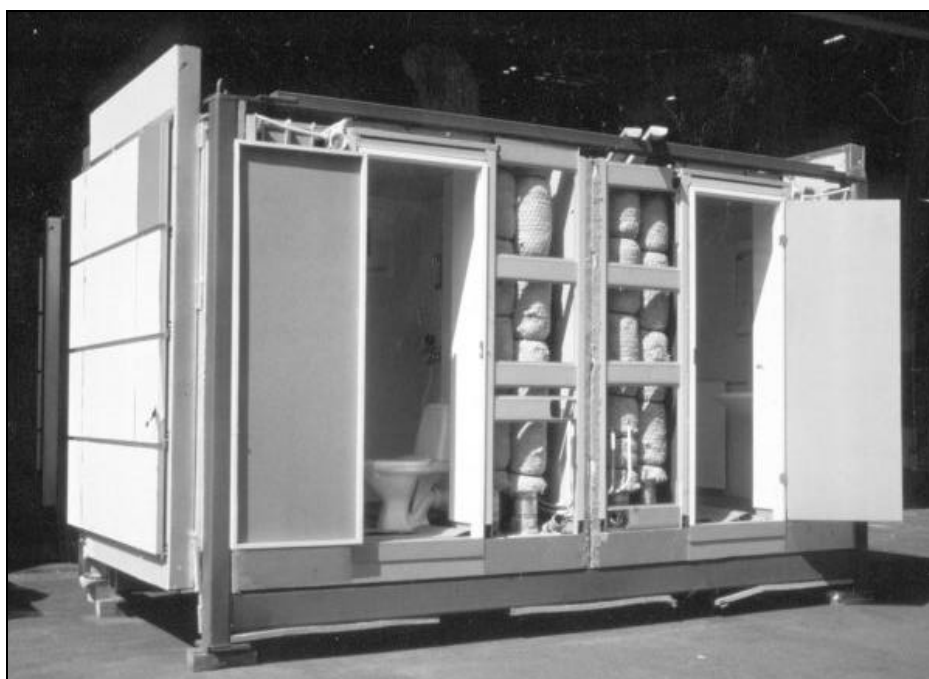


Figura 46.- Ejemplos de módulos húmedo 3D [WalkerModular]

En el *Apartado 4.2* de la presente tesis se desarrollan los componentes diseñados.

3.2.2.2. *Planteamiento de los requisitos de los Componentes*

Una vez que se ha definido en la anterior fase la aplicación y el entorno en el que van a trabajar los componentes, así como los componentes necesarios para cubrir la totalidad de necesidades del edificio, el siguiente paso es identificar y seguidamente cuantificar los requisitos que deben cumplir los elementos, distinguiendo entre requisitos normativos y funcionales. Los normativos son aquellos que deben cubrirse por imperativo legal y los funcionales los que atienden a necesidades de los procesos de fabricación, transporte y montaje relacionados con el carácter industrializado del sistema constructivo y que influirán en el nivel de competitividad de la solución que se adopte.

A la hora de plantear los requisitos se debe tener en cuenta la distinción entre CIBAs y UCAs, entendiéndose el UCA como el componente ya finalizado y el CIBA como el esqueleto o bastidor del mismo, que tal y como se ha planteado en la metodología tiene una etapa de diseño individualizada.

En la *Tabla 13* se presentan los requisitos para los componentes contemplados, quedando estos agrupados de la siguiente forma:

- **Aspectos generales de Competitividad:** Atendiendo a aspectos de coste, peso y dimensiones,
- Aspectos normativos relacionados con el **comportamiento estructural:** Para el análisis del CIBA vienen cuantificados y definidos por la normativa actual (CTE).
- Aspectos normativos relacionados con el **comportamiento a fuego, térmico y acústico:** Para el análisis del UCA vienen cuantificados y definidos por la normativa actual (CTE).
- Aspectos normativos relacionados con la **sostenibilidad y la seguridad:** Para el análisis del UCA vienen identificados pero no cuantificados por la normativa actual (CTE).

- **Aspectos funcionales:** Relacionados con los procesos de fabricación transporte y montaje del componente final (UCA), así como por la posibilidad de integrar instalaciones y que revertirán directamente en la competitividad del diseño final adoptado.

FICHA DE REQUISITOS PARA COMPONENTES				
Requisito		Descripción		
Aspectos generales de Competitividad		Coste total de ejecución por m ² (puesto en obra)		
		Dimensiones		
		Peso (kg)		
		Compatibilidad con sistemas estructurales		
NORMATIVO (CUANTIFICADOS)	CIBA		Cuantificación	
	Comportamiento Estructural	Acciones consideradas		
		ELU	Resistencia estructural	$E_d \leq R_d$
			Estabilidad	Análisis de 1er orden
		ELS	Deformación (Flecha)	$L/300 < 20 \text{ mm}$
			Vibraciones	Frecuencia natural = 16.4 Hz
		Tratamientos de protección anticorrosiva		
	UCAS		Cuantificación	
	Comportamiento a Fuego	Tiempo de Resistencia, Aislamiento e integridad según curva normalizada	RF/EI	
	Comportamiento acústico	Aislamiento y a ruido aéreo	REI > 60	
Aislamiento acústico a ruido de impactos		$D_{nT,A} \text{ (dBA)} > 50$ ($R_A \sim 53 - 55$)		

	Aislamiento térmico	Transmitancia térmica máxima simple y máxima media	$L_{n,w}(dB) < 65$ ($L_{n,w} \sim 63$)
		Aparición de condensaciones	No
NORMATIVO (NO CUANTIFICADOS)	Sostenibilidad medioambiental	% en peso de contenido reciclado	
		% en peso susceptible de ser reciclado	
		% susceptible de ser reutilizado	
	Prevención de riesgos laborales	Disminución de riesgos en taller	
		Disminución de riesgos en obra	
	Prev. Usuarios	Identificación de posibles riesgos	
FUNCIONAL	Fabricación, transporte y montaje	Transporte	
		Tolerancias de montaje	
		Tolerancias de fabricación	
		Rendimientos de montaje	
		Tipología de unión (taller)	
		Tipología de unión (obra)	
	Instalaciones susceptibles de ser integradas	Electricidad	
		Calefacción / Suelo térmico	
		Climatización / Aire acondicionado	
		Señales / Datos	
		Renovables	
		Abastecimiento de agua	
		PCI	

Tabla 13.- Requisitos analizados en el diseño de los componentes

El objetivo es ir a un proceso de “consolidación” de los requisitos, partiendo del cumplimiento que se ha definido al principio del proceso. Para ello se



toma en primer lugar un requisito determinado e identificado como principal, se analiza y se pasa a otro requisito de segundo orden, y tras el análisis se vuelve a confirmar el cumplimiento del primero antes de pasar al requisito de tercer orden tras cuyo análisis se verificarán el requisito principal y el de segundo orden.

El objetivo de este proceso cíclico de cumplimiento de los requisitos es el de converger en una solución que cubra los requisitos establecidos con el orden de prioridad acordado. Para ello, el primer paso viene recogido en el apartado 3.2.2.3. “Prediseño” en el que se analizan los aspectos generales de competitividad.

A continuación en el apartado 3.2.2.4. “Primer Análisis – Diseño inicial” se esboza el primer concepto de CIBA que será analizado en la siguiente fase, apartado 3.2.2.5. “Análisis prestación estructural – CIBA y uniones” fase que debe comprobar las exigencias estructurales cuantificadas en la tabla anterior y proporcionar el primer diseño de UCA.

En el apartado 3.2.2.6. “Análisis del resto de prestaciones - UCAs” se analizan el resto de prestaciones cuantificadas por la normativa es decir protección a fuego, térmica y acústica.

Los requisitos no cuantificables relacionados con la sostenibilidad se valoran de forma independiente con una herramienta de análisis de ciclo de vida debido a la complejidad de tener que incorporar en el proceso de diseño una herramienta tan amplia que necesita de un nivel de concreción muy específico y detallado para poder cuantificar impactos. No obstante se tienen en consideración aspectos generales sobre la sostenibilidad en el proceso de fabricación, reciclaje y reutilización de materiales y sistemas.

La parte de los riesgos relacionados con la fabricación y montaje requiere de la colaboración de expertos en sistemas industriales y se analizan al final del proceso, en el apartado 3.2.2.7. “Diseño Final / Validación” así como los

aspectos funcionales de fabricación, montaje y transporte junto con la integración de instalaciones.

En el gráfico de la *Figura 47* se resumen las actuaciones a realizar para un nuevo componente.

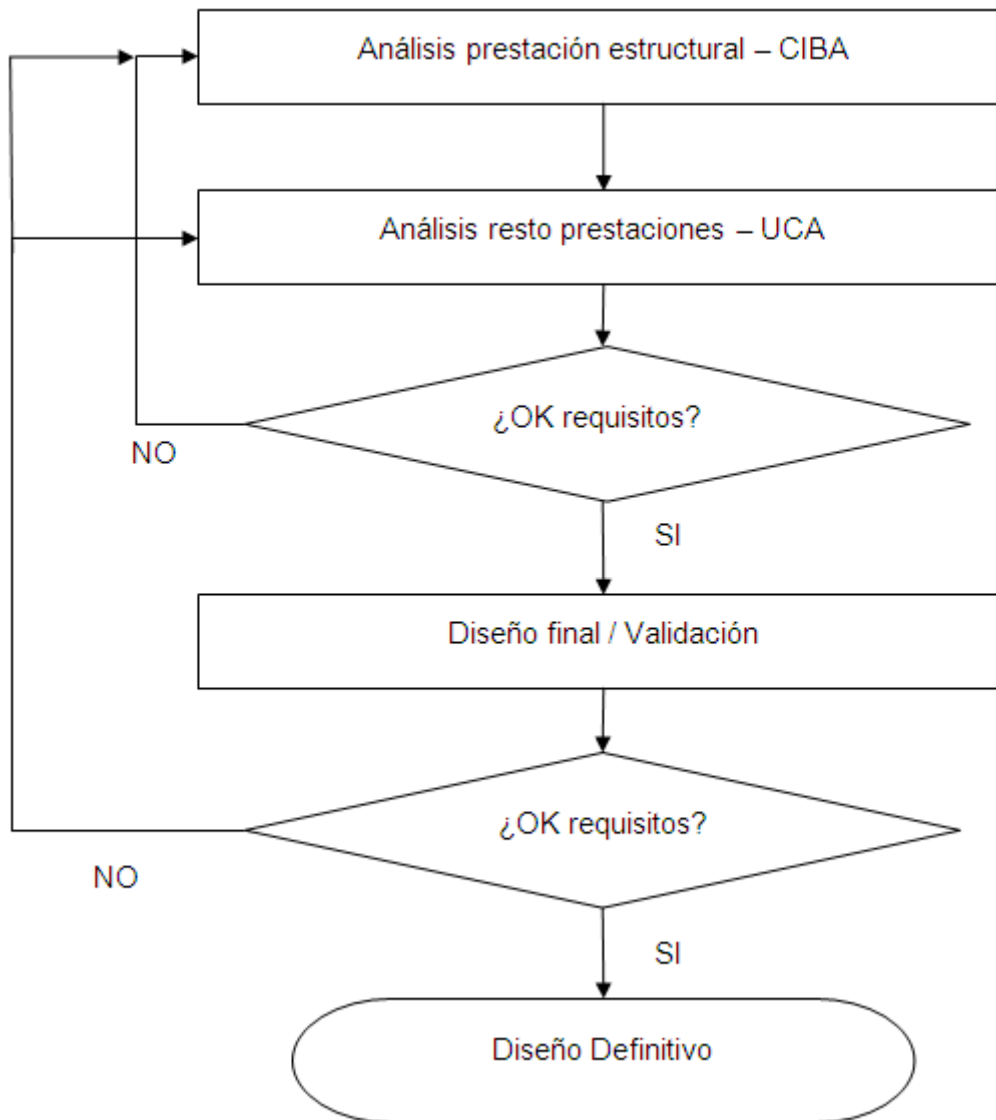


Figura 47.- Análisis de prestaciones y verificación de las mismas en el proceso de diseño de nuevos componentes constructivos



3.2.2.3. *Prediseño*

Esta fase es aquella destinada a la concepción y a la búsqueda de la idea principal de las características generales del componente constructivo. El objetivo principal es el de concebir el CIBA de una forma muy general, pero teniendo en cuenta que el objetivo último es llegar a una UCA que proporcione una serie de prestaciones. Si bien se debe hacer un esbozo de las UCAs derivados de este CIBA no es necesario llegar a concretar en detalle el componente final.

Las que sí deben quedar identificadas son las principales características del elemento, como los materiales de base a emplear, dimensiones generales aproximadas y plantear el modo en el que trabajarán mecánicamente. Se pueden recoger todos estos aspectos a modo de síntesis en un croquis del componente.

Se trata de hacer un repaso a los sistemas y tecnologías existentes y del estado del arte, valorar el análisis estratégico y el estudio DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades) o en inglés SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) de la primera fase de diseño, y contrastarlo con los requisitos planteados en la ficha que se ha definido en el apartado anterior.

Si bien es una etapa en la que se deben hacer análisis generales y reflexiones sobre la conveniencia del sistema planteado a modo de filtro inicial, no debe extenderse mucho en el tiempo con el fin de poder profundizar en el comportamiento del elemento en la siguiente fase.

A continuación se muestra en la *Tabla 14* un ejemplo de análisis DAFO para los elementos 1D de acero:

DEBILIDADES	AMENAZAS
<p>Falta de estandarización de detalles constructivos, especialmente uniones.</p> <p>Costes asociados a cambios de diseño durante el proceso de montaje.</p> <p>Influencia en el plazo de ejecución de la disponibilidad de perfiles.</p> <p>Coste de transporte de la estructura a obra.</p> <p>Seguridad ante incendio</p> <p>Protección anticorrosiva</p>	<p>Inercia (alta implantación del hormigón armado en estructuras de edificación, coste, adquisición de conocimiento...) al cambio a soluciones de perfiles de acero.</p> <p>Avance de soluciones estructurales de prefabricado de hormigón.</p> <p>Marco normativo actual: CTE, EAE y Eurocódigo 3.</p> <p>Percepción social de la estructura de acero (fuego, asociada a edificación industrial, esbeltez asociada a falta resistencia...).</p> <p>Mantenimiento anticorrosivo y de protección contra el fuego.</p>
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<p>Estandarización de perfiles en el mercado.</p> <p>Industrialización de la estructura.</p> <p>Seguridad laboral.</p> <p>Plazos de ejecución.</p> <p>Resistencia estructural.</p> <p>Durabilidad (asociada a sistemas de protección)</p> <p>Minimización de la superficie ocupada por la estructura.</p> <p>Reciclabilidad y reutilización.</p> <p>Adaptabilidad y flexibilidad de usos.</p>	<p>Avance de la industrialización en la construcción.</p> <p>Desarrollo de nuevos aceros y revestimientos para el acero (fuego y corrosión).</p> <p>Incremento de exigencias de minimización de impactos medioambientales en la construcción.</p>

Tabla 14.- Diagnóstico basado en análisis DAFO para perfiles 1D de acero

Los principales aspectos a analizar serán por tanto, aquellos que en la ficha de requisitos (*Tabla 13*) se han identificado como “Aspectos generales de Competitividad”:

- Coste total de ejecución por m² (puesto en obra): Sin duda el factor más determinante y que condiciona el éxito del producto. Este es un parámetro que va a estar presente en todas las fases del diseño y a pesar de que en este estado inicial del diseño resulta complicado

cuantificarlo debido a la falta de concreción de los elementos sí resulta fundamental empezar a esbozar un rango aproximado del posible coste del sistema. Se debe de conseguir igualarse a las soluciones existentes en el mercado (al menos) para lograr competir.

- Dimensiones: Se deben proponer las dimensiones generales (alto, largo y ancho) de este prediseño, en función del uso propuesto. En principio no deberían de verse alteradas de forma significativa a lo largo del proyecto, ya que una variación excesiva de las dimensiones tendría una influencia muy relevante en el resto de requisitos, modificando el planteamiento inicial. Se toman en consideración las recomendaciones de la Norma UNE 41604 de coordinación dimensional (ver *Tabla 15*), ya indicada con antelación.

	Multimódulos					
	3 M	6 M	12 M	15 M	30 M	60 M
Serie de valores	3 M					
	6 M	6 M				
	9 M					
	12 M	12 M	12 M			
	15 M			15 M		
	18 M	18 M				
	21 M					
	24 M	24 M	24 M			
	27 M					
	30 M	30 M		30 M	30 M	
	33 M					
	36 M	36 M	36 M			
	39 M					
	42 M	42 M				
	45 M			45 M		
	48 M	48 M	48 M			
		54 M				
		60 M	60 M	60 M	60 M	60 M
		66 M				
		72 M	72 M			
			75 M			
	78 M					
	84 M	84 M				
	90 M		90 M	90 M		
	96 M	96 M				
			105 M			
		108 M				
		120 M	120 M	120 M	120 M	
		etc.	etc.	etc.	etc.	

Tabla 15.- Preferencias en tamaños [UNE 41604]

Es también importante tener en cuenta la logística, esto es, el coste del transporte y las dimensiones juegan un papel muy importante con la relación entre precio y transportes especiales por carretera (ver *Tabla 16*), que se deben evitar siempre que sea posible (De ahí la prevalencia de sistemas 2D sobre los 3D)

	No se requiere ningún permiso (1)	Permiso de larga duración (2)	Eje de circulación (3) (nota: el establecimiento de ejes de circulación no es posible en Alemania)
Anchura	3 m	3,5 m	4,5 m
Longitud total (la combinación debe superar las pruebas de giro; véase el Anexo 2)	24 m	30 m	40 m
Altura total	Directiva 96/53/CE	4,2 m	4,4 m
Peso	Directiva 96/53/CE	80 toneladas	100 toneladas
Carga por eje			
Eje rígido	Directiva 96/53/CE	12 toneladas	12 toneladas
Eje pendular	12 toneladas	15 toneladas	15 toneladas

Tabla 16.- Normativa europea de transporte especial por carretera [UE, -27-]

Con estos elementos y los comentados anteriormente de necesidades de suministro de materiales (acero), se ha establecido una tabla (*Tabla 17*) con las dimensiones de los componentes, basándose también en el estado del arte para permitir que no se cierren a una propuesta especial sino tenga aplicaciones en otros sistemas constructivos (y para rehabilitación, donde el acero es muy competitivo y que con la crisis de 2009 pasa a ser un sector de mercado clave para el éxito de la propuesta).



	CIBAs desarrollados			Dimensiones (m)
CIBAS 1D	Uniones entre perfiles estructurales	Acero	Entre perfiles laminados en caliente	N/A
		Mixtas (acero + hormigón)	Entre pilares de acero y forjados de hormigón	N/A
CIBAS 2D	Forjados	Forjados de acero unidireccional		6,00 x 1,20 x 0,26
	Panel de fachada	Panel de acero		3,00 x 1,20 x 0,175
	Panel de compartimentación interior	Panel de estructura de acero		3,50 x 1,20 x 0,70
	Cubierta	Panel de acero		6,00 x 1,20 x 0,26
CIBAS 3D	Módulo tridimensional no estructural húmedo	Módulo no portante de perfiles conformados en frío		2,40 x 2,40 x 0,30
	Módulo de comunicaciones	Módulo de perfiles laminados en caliente y perfiles conformados en frío para crear un núcleo de arriostramiento		9,00 x 3,00 x 3,00

Tabla 17.- Dimensiones de los componentes

- **Peso:** El peso es consecuencia directa de la dimensión y revierte a su vez en el precio. Asimismo las consideraciones de transporte mencionadas en el punto anterior y los requisitos estructurales deberán ser considerados. En todo caso el peso al no tener hormigón se reduce considerablemente respecto a las soluciones existentes.
- **Compatibilidad con sistemas estructurales:** Con este parámetro se trata de analizar el sistema constructivo al que se quiere destinar el

producto, distinguiendo entre sistemas tradicionales e industrializados pero también analizando los casos más concretos de cada uno de ellos, que principalmente se caracterizan por el material empleado. Se pueden mencionar como sistemas más habituales los siguientes:

- Estructura metálica
- Hormigón in situ
- Prefabricado de hormigón
- Estructura modular con acero
- Estructura modular con madera
- Otros

Como ya se ha comentado, es primordial que se asegure la compatibilidad con el mayor número de sistemas posibles para asegurar la viabilidad económica de los componentes.

3.2.2.4. *Primer Análisis – Diseño inicial*

En esta fase se pretende obtener un primer estudio del componente verificando los parámetros indicados anteriormente y ahondando en otros aspectos de acuerdo al proceso de “consolidación” de requisitos que se ha expuesto en el apartado anterior de “Planteamiento de los requisitos de los Componentes”. Se realizará un primer análisis del comportamiento del CIBA como elemento estructural y se hará también una primera aproximación a la UCA final resultante.

De este análisis surgirán modificaciones a incorporar al diseño, buscando una solución más desarrollada, a la vez que se deberán definir otros elementos y materiales que se incorporan al CIBA para obtener un comportamiento más funcional como UCA.

En este primer estudio del componente se van a valorar principalmente aquellos aspectos generales relacionados con la competitividad que se han descrito en el punto anterior, pero se deben considerar, al menos de forma aproximada, los aspectos relacionados con los requisitos normativos y funcionales del UCA. Para ello se deben escoger un máximo de tres de estos requisitos, a los que el diseño propuesto debe dar respuesta.

Se escogerán esos tres requisitos “principales” de alguna de las siguientes familias de requisitos:

- *Requisitos normativos - Cuantificados:* Relacionados con el comportamiento estructural, de protección a fuego, térmico y acústico. A pesar de ser de obligado cumplimiento, resulta necesario escoger los requisitos principales únicamente de esta familia. Se pueden excluir algunos, siempre que en esta fase del diseño se observe la posibilidad de cubrir en fases más avanzadas del diseño, los requisitos no adoptados como principales.
- *Requisitos normativos - No cuantificados:* Relacionados con la sostenibilidad y la seguridad. Si bien pueden no estar debidamente cuantificados o resulta complicado asociar el objetivo buscado con el componente en proceso de diseño, se pueden utilizar herramientas que relacionen estas magnitudes con el diseño propuesto, pero se debe tener especial cuidado en el uso de herramientas aproximadas que permitan un análisis ágil ya que un estudio en detalle, en un diseño incipiente como el trabajado, resulta poco efectivo.
- *Funcional:* Relacionado con los procesos de fabricación, transporte y montaje e integración de instalaciones. A lo largo del desarrollo llevado a cabo en este proyecto se ha constatado que los requisitos funcionales generalmente no se deben considerar como principales, puesto que suelen ser el medio para llegar al objetivo último que es el nuevo producto. No obstante se puede dar algún caso excepcional en

el que se haya identificado alguno de estos requisitos como crítico y que el objetivo sea resolver un problema determinado relacionado con estos aspectos, tratándose en ese caso de un trabajo de rediseño de un producto más maduro que los desarrollados con esta metodología.

Con las conclusiones extraídas de la respuesta que tendrá el componente a los requisitos principales, se debe comenzar a proponer los elementos que componen el UCA. En este momento se deberá completar el diseño del CIBA dando en el apartado anterior con otra serie de materiales, productos y/o sistemas que busquen cumplir los requisitos principales y en la medida de lo posible satisfacer el resto de aspectos recogidos en la ficha de requisitos.

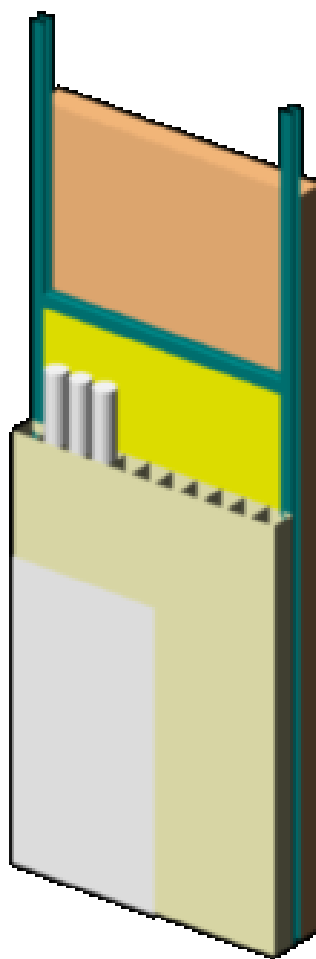


Figura 48.- Boceto - prediseño de componentes a desarrollar

Se debe procurar dar un cierto nivel de detalle en cuanto a unión entre capas, encuentros entre componentes o relación con otros sistemas presentes en el edificio a que vayan orientados, pero con el fin de no dilatar en exceso esta fase de definición del elemento, se debe continuar con el diseño ya que es en las siguientes etapas en las que se va a analizar con detalle cuál es el comportamiento de los elementos.

A partir de este punto empieza el análisis en detalle del comportamiento del UCA. Es muy importante tener en cuenta que se trata de un análisis complejo de varios aspectos diferentes del comportamiento del material que pueden entrar en conflicto, pero que en muchas ocasiones el análisis llevado a cabo requiere cierta información que no ha sido considerada hasta el momento o que no se ha llegado a definir con suficiente nivel de detalle, por lo que a lo largo del proceso se deberán asumir ciertos aspectos sobre el comportamiento o finalidad de los productos.

El estudio en detalle de las prestaciones se hará de forma “desacoplada” atendiendo a la filosofía de diseño planteada utilizando un sistema combinado de CIBA – UCA. El primer punto a analizar es la prestación estructural a la que da respuesta el CIBA y a continuación se estudian las prestaciones que proporciona el UCA.

Es a partir de este momento cuando comienza el análisis en detalle del componente, por lo que cuanto más definido esté, más fiables resultarán las conclusiones del estudio. No obstante al tratarse de nuevos desarrollos, cabe esperar que al afrontar el análisis de los primeros diseños falte información relevante sobre los mismos. Sin embargo estas tres últimas fases del desarrollo de componentes deben ser retroalimentadas por las conclusiones de la fase posterior repitiendo el ciclo hasta llegar a un diseño satisfactorio.



3.2.2.5. *Análisis de la prestación estructural – CIBA y uniones*

El análisis estructural es necesario para el caso de los CIBAs que tienen responsabilidad estructural, principalmente forjados y sistemas modulares compuestos por forjados y vigas. También se analizaron los elementos de envolvente puesto que a pesar de no tener la responsabilidad de soportar otros componentes, sí que están sujetos a acciones exteriores. Las normas que se han seguido son:

- *Código Técnico de la Edificación, CTE*
- *Instrucción de Acero Estructural, EAE*
- *Euro códigos Estructurales.*

Se han contemplado las siguientes formas de validación de la prestación estructural de los diseños de tanto de CIBAs como de sus uniones:

- En base a normativa y documentos de reconocido prestigio: Haciendo las comprobaciones necesarias tanto en ELU (Estado Límite Último) como en ELS (Estado Límite de Servicio), frente a las acciones contempladas para los usos que se prevean para el componente en estudio.

Se muestra en las *Tablas 18,19 y 20* como ejemplo los valores considerados para el forjado.

ACCIONES CONSIDERADAS				
	Acciones Permanentes		Acciones variables	
Acciones	Peso Propio del CIBA	35 kg/m²	Sobrecarga de uso	350kg/m²
	Peso de tabiquería	100 kg/m²		
	Peso de solado	85 kg/m²		

Coeficientes	Coef. de seguridad de cargas permanentes γ_G^{**}	1,35	Coef. de seguridad de cargas permanentes γ_Q^{**}	1,5
			Coef. simultaneidad ψ	-
COMBINACIÓN DE ACCIONES				
$(35+100+85)*1,35 + 350 * 1,5$				822 kg/m2

Tabla 18.- Acciones a considerar en edificación

<i>Características del piso</i>	<i>Flecha</i>
<i>Pisos con tabiques frágiles o pavimentos rígidos sin juntas</i>	<i>< L/500</i>
<i>Pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas</i>	<i>< L/400</i>
<i>En el resto de casos</i>	<i>< L/300</i>

Tabla 19.- Flechas admisibles que garantizan la integridad de los forjados según el Documento Básico SE “Seguridad Estructural” [CTE]

FRECUENCIA PROPIA DE VIBRACIÓN	
<i>Documento 0 de la EAE. Capítulo X “Estados límite de servicio”, Artículo 38.2 “Control de vibraciones en estructuras de uso público”</i>	
Tipo de estructura	Frecuencia propia (Hz)
Gimnasios y polideportivos	> 9
Salas de fiestas y locales sin asientos	>8
Estadios, locales de concierto o espectáculo con asientos fijos	>3,4
Oficinas, centros comerciales	>3

<i>Documento Básico SE “Seguridad Estructural” del CTE</i>	
Tipo de estructura	Frecuencia propia (Hz)
Gimnasios y polideportivos	>8
Salas de fiestas y locales de pública concurrencia sin asientos fijos	>7
Locales de espectáculos con asientos fijos	>3,4

Tabla 20.- Frecuencia propia de vibración según diferentes normativas

- En base a simulaciones numéricas. Principalmente, el Método de los Elementos Finitos (FEM) Se debe establecer una trazabilidad con el paso anterior para lo que se siguen las siguientes fases:
 - Modelización: Con el fin de que los esquemas de cálculo adoptados con sus inevitables simplificaciones, permitan reproducir los distintos estados límites o modos de fallo posibles.
 - Discretización en elementos finitos: Se describen los elementos finitos empleados, sus opciones y la teoría que subyace a su formulación, así como con la enumeración de las propiedades de los materiales.
 - Cargas y condiciones de contorno. Se emplearán con el fin de simular la situación real del componente en cada caso.
 - Técnica de cálculo: Se analizan los algoritmos de solución empleados en cada caso. Como regla general, las condiciones que en principio debe satisfacer todo análisis estructural son las de equilibrio y las de compatibilidad, teniendo en cuenta el comportamiento tenso-deformacional de los materiales

- Postproceso de resultados: Se revisan tanto los resultados del análisis estático: tensiones en resistencia y flechas (giros) en desplazamientos, así como la estabilidad elástica: modos de pandeo obtenidos (globales y locales), finalizando con la identificación de las frecuencias de vibración obtenidas con el análisis modal.
- Validación de resultados y conclusiones: Se revisan todos los comentarios de las fases anteriores validando el estudio y proponiendo, si se estima oportuno, modificaciones en el diseño.

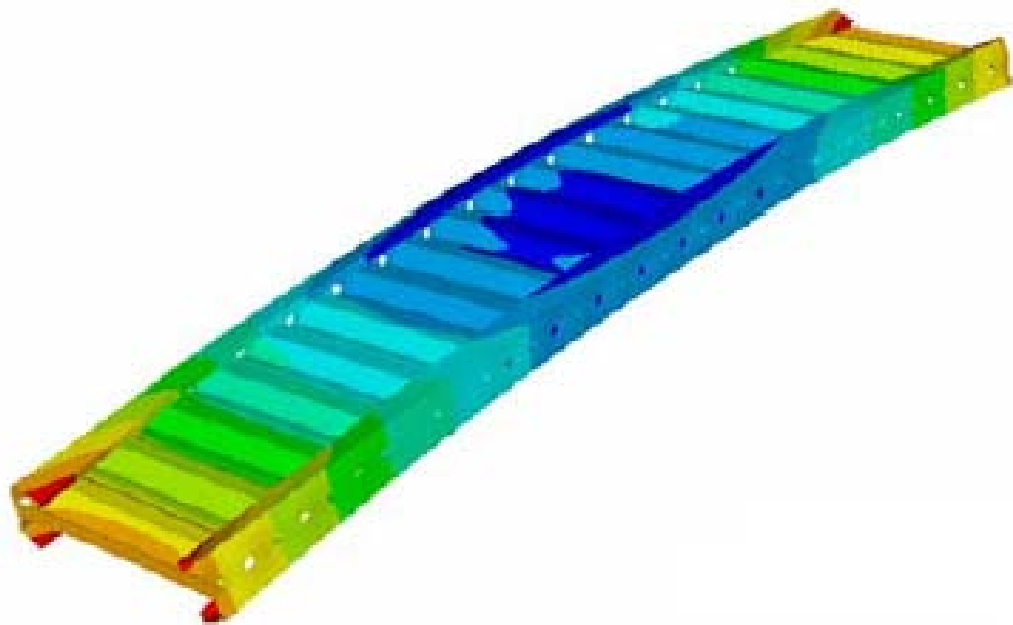


Figura 49.- Comprobación estructural mediante elementos finitos

- En base a validación experimental, pudiendo ser de aplicación normas de ensayo específicas. Para llevar a cabo el ensayo se deberá elaborar un “Plan de ensayos” que contenga los siguiente apartados:



- Alcance: Planteamiento de los objetivos del ensayo, qué se pretende y que se quiere analizar ELU o ELS, deformaciones locales.
- Metodología a emplear: Se trata de diseñar el ensayo (ejemplo en *Figura 50*) para analizar el objetivo planteado, en qué está basada así como las herramientas de soporte a emplear como las descritas anteriormente (MEF).
- Aplicación de cargas: Con las hipótesis adoptadas.



Figura 50.- Ensayo de tracción realizado al componente con equipamiento del proyecto

- Magnitudes a medir: Indicando dónde y que precisión.
- Numero de ensayos y probetas, muestras.
- Equipamiento a emplear y precisión del mismo

- Informe documentado del ensayo con los valores obtenidos.

Una vez cubierta esta fase, con el grado de profundidad que exija el componente y su grado de definición, se puede comenzar a analizar las otras prestaciones, pero para ello se tendrá que hacer una primera definición de la UCA describiendo el resto de capas que se incorporan al CIBA con el fin de obtener un componente constructivo de altas prestaciones.

3.2.2.6. *Análisis del resto de prestaciones – UCAs*

Esta resulta la fase más compleja en el desarrollo de nuevos componentes como los planteados, en los que además de un comportamiento estructural se le exige que ofrezca una serie de prestaciones más avanzadas dotándolo así de un comportamiento funcional integral que permita ofrecer productos con elevado grado tecnológico.

Es en este punto en el que se debe hacer un alto en el desarrollo del componente y hacer un análisis de cuál es el principal objetivo que se busca con el nuevo UCA; qué prestación es la que se quiere priorizar, para poner el énfasis en la resolución del problema planteado por ese requisito y en etapas posteriores del diseño, abordar el resto de prestaciones.

En este apartado se van a analizar los requisitos normativos cuantificados de la tabla de requisitos, excluyendo los requisitos estructurales estudiados en el apartado anterior y dejando los no cuantificados y los requisitos funcionales para la etapa posterior en el diseño.

Se va a realizar una priorización de las prestaciones, estableciendo tres grados de importancia de las mismas:

- Prestación principal: Es aquella considerada como NECESARIA y para la que se concibe el propio componente, sin cuya existencia el UCA no tiene razón de ser.

- Prestación de Segundo Orden: Es después de la prioritaria una prestación considerada IMPORTANTE, pudiendo llegar a ser crítica en la consecución de los objetivos planteados para el UCA, generalmente relacionada con los requisitos normativos.
- Prestación de Tercer Orden: Finalmente en esta categoría se engloban las prestaciones definidas como DESEABLES, que sin ser crítica, pueden suponer una ventaja competitiva

En este apartado de análisis de prestaciones de los UCAs se ha generado la *Tabla 21*. El requisito estructural analizado en el apartado anterior queda identificado en la columna “CIBA estructural” a modo informativo con el fin de identificar aquellos elementos que como ya se ha mencionado anteriormente además de soportarse a sí mismo funciona como estructura principal del edificio.

UCA	CIBA Estructural	Prestación Principal	Prestación de Segundo Orden	Prestación de Tercer Orden
Viga/Pilar 1D	√	Fuego		Acústica/Térmica
Forjado	√	Fuego	Acústica	Térmica
Fachada	X	Térmica	Fuego	Acústica
Cubierta	X	Térmica	Fuego	Acústica
Partición interior	√	Acústica	Térmica	Fuego
Módulo Comunicaciones	√	Fuego	Acústica	Térmica
Módulo húmedo	X	Acústica		Térmica/Fuego

Tabla 21.- Priorización de prestaciones para cada familia de UCAs



Resulta muy importante destacar que esta clasificación resulta ser totalmente subjetiva y que no pretende restar importancia a ninguno de los requisitos analizados, máxime cuando se tratan de exigencias normativas de obligado cumplimiento.

La verificación de las prestaciones de los UCAs se realiza de forma desacoplada, para luego al final de esta fase verificar el comportamiento global del diseño.

Para valorar las prestaciones se plantean tres niveles de verificación que serán aplicados de acuerdo al grado de importancia impuesto al requisito:

- Métodos simplificados que se puedan aplicar: Para prestaciones de tercer nivel únicamente, siempre que garanticen una fiabilidad de los resultados suficientes.
- Predicción mediante MEF: Para requisitos de segundo orden e incluso principales cuando el diseño propuesto pueda considerarse similar o equivalente a casos ya contrastados con esta técnica.
- Ensayos: Cuando debido a lo novedoso del sistema y/o la falta de información y bibliografía existente permitan una predicción fiable del comportamiento.

Por tanto en función de cada prestación a analizar habrá que valorar la conveniencia de usar uno u otro método en función del grado de fiabilidad del mismo y del grado de precisión buscado para la funcionalidad estudiada.

Esta fase de la metodología planteada para el diseño de nuevos componentes resulta ser un análisis muy específico de cada diseño en concreto y en este apartado de descripción de la metodología está planteado de una forma general para que cubra todos los diseños de componentes propuestos.



Figura 51.- Ensayo de fuego del UCA forjado

Resulta recomendable ver un ejemplo de aplicación de esta etapa de caracterización de componentes en el apartado 4.2. para el caso del forjado.

3.2.2.7. *Diseño Final / Validación*

De las conclusiones de los análisis de los puntos 3.2.2.5 y 3.2.2.6 de análisis de las prestaciones deben surgir propuestas de mejora sobre el diseño inicial e ir retroalimentando el proceso de definición del componente.

En esta búsqueda de una **solución óptima** se irán planteando diversas alternativas del diseño sobre las que habrá que valorar sus ventajas e inconvenientes con el objetivo último de revisar el grado de cumplimiento de todos los requisitos que se han plantado en la tabla de requisitos.

Este proceso exigirá la modificación tanto del CIBA como del UCA y requerirá un nuevo análisis de alguna de las prestaciones ya analizadas anteriormente, pero para los requisitos funcionales que no han sido estudiados aún, así como para los normativos no cuantificados, se establecerá una priorización pero considerando únicamente aspectos considerados “críticos” o “no críticos”.

El objetivo de esta última fase es adoptar una solución de compromiso entre los diversas exigencias que se han planteado debe cubrir el componente y de esta forma obtener un diseño final que satisfaga al máximo todas estas necesidades.

Con un diseño ya completamente definido se puede proceder a revisar todos los puntos relacionados con la competitividad del sistema ya que se puede obtener una mejor estimación de coste, peso y dimensiones exactas así como trabajar otros aspectos como las exigencias y posibilidades de fabricación montaje y transporte.

Destacar finalmente que esta fase final del desarrollo de componentes es una etapa que está caracterizada por las particularidades y aspectos específicos de cada diseño y por eso en esta metodología viene recogido de forma general (ver apartado 4.2 para casos particulares de componentes).

3.2.2.8. *Fabricación*

Como se ha comentado en el apartado anterior de diseño de componentes, su fabricación y montaje se han tenido en cuenta a la hora de retroalimentar dicho diseño y ha sido factor fundamental a tener en cuenta tanto desde el punto de vista técnico como económico.

Se pretende dar un **nuevo enfoque** a la fabricación de componentes y de edificios. Actualmente, las empresas de edificación modularizada siguen el siguiente esquema en sus fábricas (*Figura 52*):

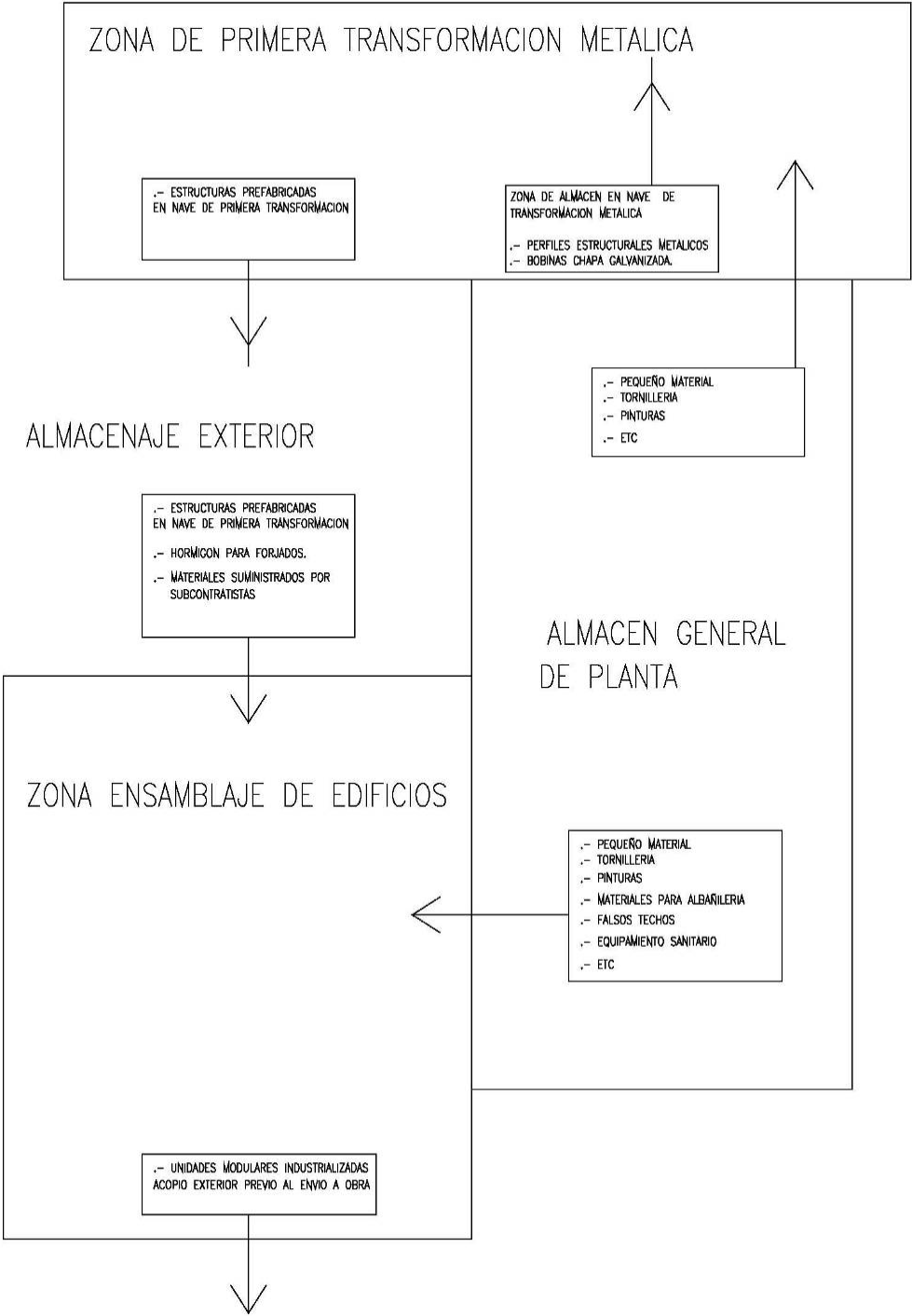


Figura 52.- Esquema de planta de edificación modularizada [Modultec]



Estas empresas tienen una zona de transformación metálica donde se transforma la materia prima (acero y hormigón) para crear los componentes que se ensamblan en una gran nave donde se monta el edificio y se le dota de instalaciones y acabados (ver *Figura 53*), para ser posteriormente desmontado y transportado en módulos a obra donde se re-ensamblará de manera definitiva.



Figura 53.- Fábrica de edificación modular [Modultec]

El **nuevo modelo** plantea eliminar la zona de transformación metálica ya que esos componentes se realizarán externamente en fábricas especializadas en una o varias líneas de fabricación (*Figura 54*).

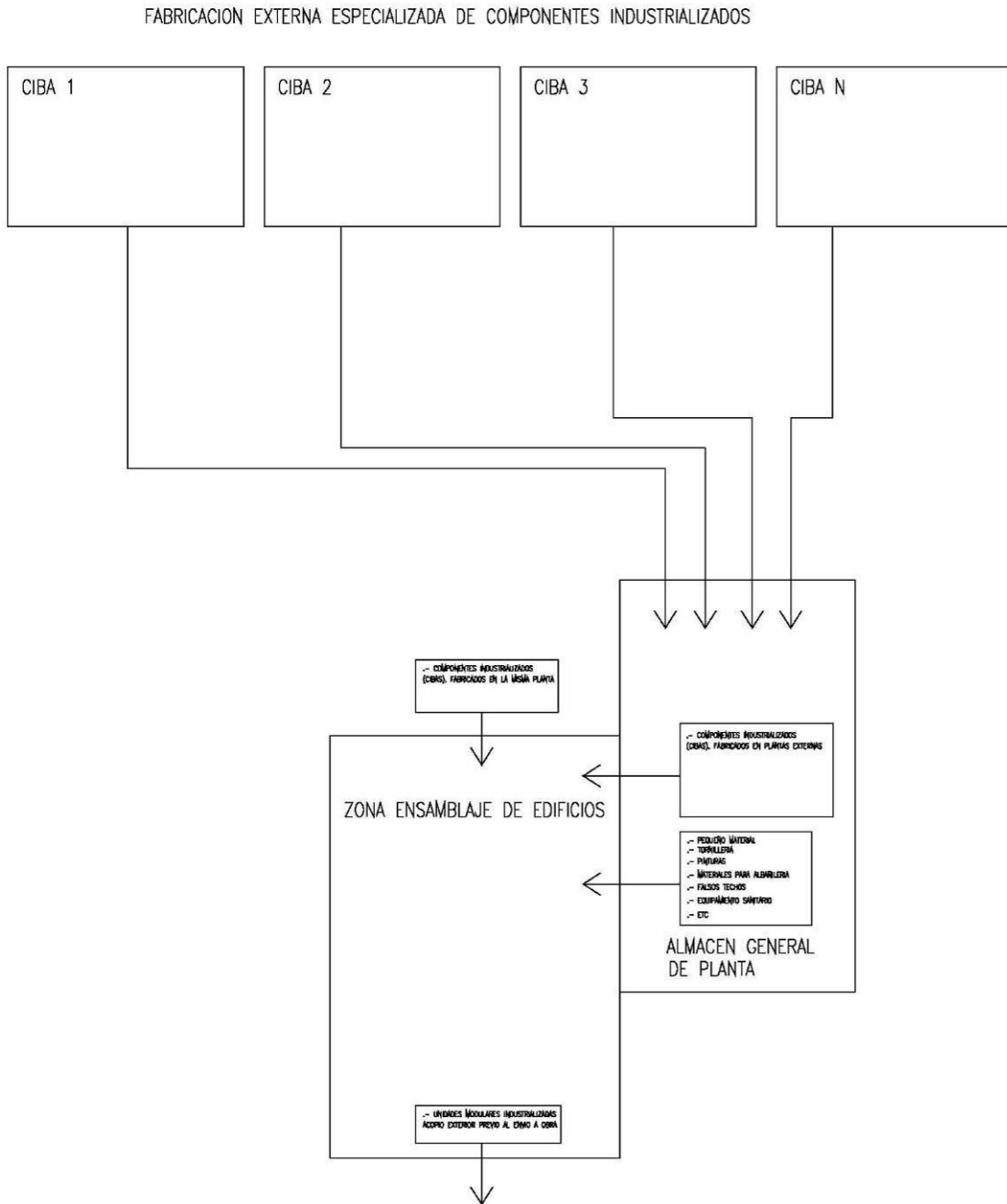


Figura 54.- Propuesta de planta de componentes industrializados

Al ser una edificación estandarizada basada en componentes de dimensiones conocidas no es necesario contar con una nave de montaje del edificio, sino que la zona de ensamblaje de edificios sería la propia obra donde llegarían los componentes 2D y 3D para ser ensamblados.

Se plantean por tanto dos tipos de fábricas: de CIBAs (estructurales), que sería de fabricación pura, y de UCAs (capas de prestaciones), que serían de ensamblaje de las capas con el CIBA hasta componer el UCA.

Cada componente 2D y 3D tendrá su propia línea de fabricación, si bien para facilitar la implantación y reducir los costes la línea de fabricación 2D de forjados, fachadas, particiones y cubiertas puede ser una única línea ya que el esqueleto del componente es muy parecido y permite jugar con las dimensiones de la maquinaria sin grandes complicaciones y poder tirar series de distintos componentes desde la misma línea con pequeñas variaciones.

- **Fabricación de CIBAs**

Como se ha indicado, serán necesarias 3 líneas de fabricación que cubren el total de los componentes: la línea 2D (para todos los componentes planos) y dos líneas 3D (una para el módulo de comunicaciones y otra para el módulo húmedo)

Como referencia para el diseño de las líneas de fabricación se ha tomado la industria que más ha avanzado en temas de industrialización: la del automóvil. En concreto se han estudiado dos tendencias en este sector que facilitan su integración en la industria de la construcción, los sistemas flexibles y los reconfigurables.

- Sistemas de Fabricación Flexible (FMS: *Flexible Manufacturing System*)

Sus pilares básicos son: eliminación de desperdicios, mejora continua y participación consciente del trabajador, a pesar de



que esta participación sea reducida desde el punto puramente de control de operación, en el caso de una célula de fabricación como lo es el FMS (*Figura 55*).

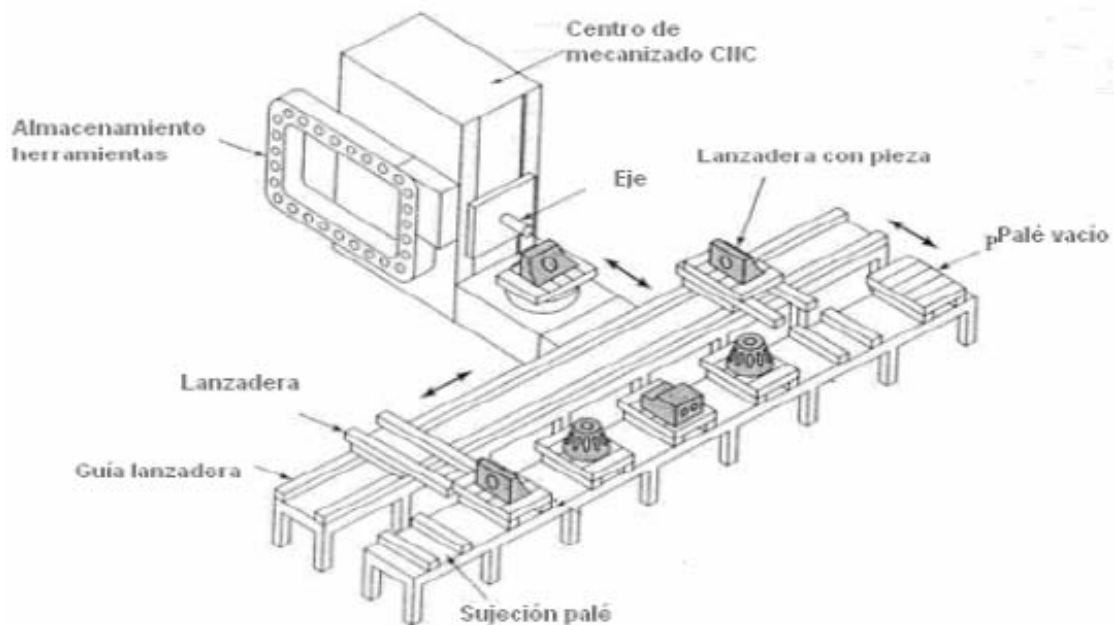


Figura 55.- Sistema de Fabricación Flexible

Los objetivos que se desean alcanzar con la fabricación flexible son:

- Reducción de los costes de fabricación, al eliminar operaciones innecesarias, transporte materiales y producto terminado, desperdicio de materiales y disminución efectiva de piezas defectuosas.
- Un incremento sustancial de los indicadores de Productividad, al incrementar los volúmenes de fabricación significativamente
- Un grado significativo de Calidad del producto terminado.

- Mejora el grado de satisfacción del cliente, al proporcionársele un producto de alta calidad y en tiempo,
- Reduce significativamente el espacio necesario o área de trabajo necesaria para la operación de equipo y maquinaria.
- Puede llevarse fácilmente al sistema JIT (Just in Time) lo que puede eliminar o disminuir significativamente las áreas de almacenamiento de producto terminado y materias primas

En general se puede concluir que la flexibilidad es un atributo general de su ámbito de acción, ya que hace flexible las aplicaciones tecnológicas, la fabricación, los productos, el diseño de productos y su adecuación a diferentes procesos.

- Sistemas de Fabricación Reconfigurables (RMS: *Reconfigurable Manufacturing System*)

Son sistemas que son capaces de adaptarse rápidamente a los requerimientos de cambio de mercado proporcionando la funcionalidad y capacidad necesarias en cualquier momento.

A diferencia de otros tipos de sistemas, los RMS (*Figura 56*) se instalan con la capacidad de producción y funcionalidad necesarias en ese momento pero que pueden ser mejoradas en un futuro cuando fuera necesario (se podrán añadir por ejemplo mecanismos auxiliares, ejes de movimiento, herramientas y controladores).

Por todo ello, este sistema permite:



- Lanzar un nuevo modelo de producto y adjudicarlo rápidamente. Tener un rápido ajuste de la capacidad del sistema de fabricación para las demandas del mercado.
- Rápida integración de nuevas funciones y procesos tecnológicos en sistemas ya existentes
- Fácil adaptación de cantidades variables de productos para un hueco en el marketing.



Figura 56.- Sistema reconfigurable

Las líneas de montaje reconfigurable: la capacidad de producción en el montaje de líneas puede verse aumentado a través de la duplicación y la modularización.

- Duplicación: (También conocida como integración vertical o línea central) significa un aumento de la capacidad añadiendo un nueva, normalmente de tamaño

pequeño, línea que se dedica a la producción de un producto determinado.

- Modularización: (también conocido como integración horizontal) involucra, añadiendo un módulo de trabajo paralelo o introduciendo automatización para ciertas operaciones. Normalmente, varios productos se montan en la misma línea.

En resumen, las características clave del sistema de fabricación reconfigurable son:

- Modularidad: diseño de todos los componentes del sistema, tanto el software como el hardware, para que sean modulares.
- Integrabilidad: diseñar sistemas y componentes para una rápida integración y una futura integración de tecnología.
- Convertibilidad: permite una rápida conversión entre los productos existentes y un rápido sistema de adaptación para futuros productos.
- Diagnóstico: identificar rápidamente las fuentes de los problemas de calidad
- Personalización: diseño de sistema de capacidad y flexibilidad (hardware y controles) para unir a la aplicación.

Con estos criterios se han creado unas líneas (ver *Apartado 4.2* para ver en detalle una línea completa) de fabricación, donde se han analizado la maquinaria, el personal necesario, el coste, el control de calidad y la logística.

A modo de ejemplo se muestra (*Figura 57*) la línea de fabricación del CIBAs donde estaría todos los módulos 2D fabricados

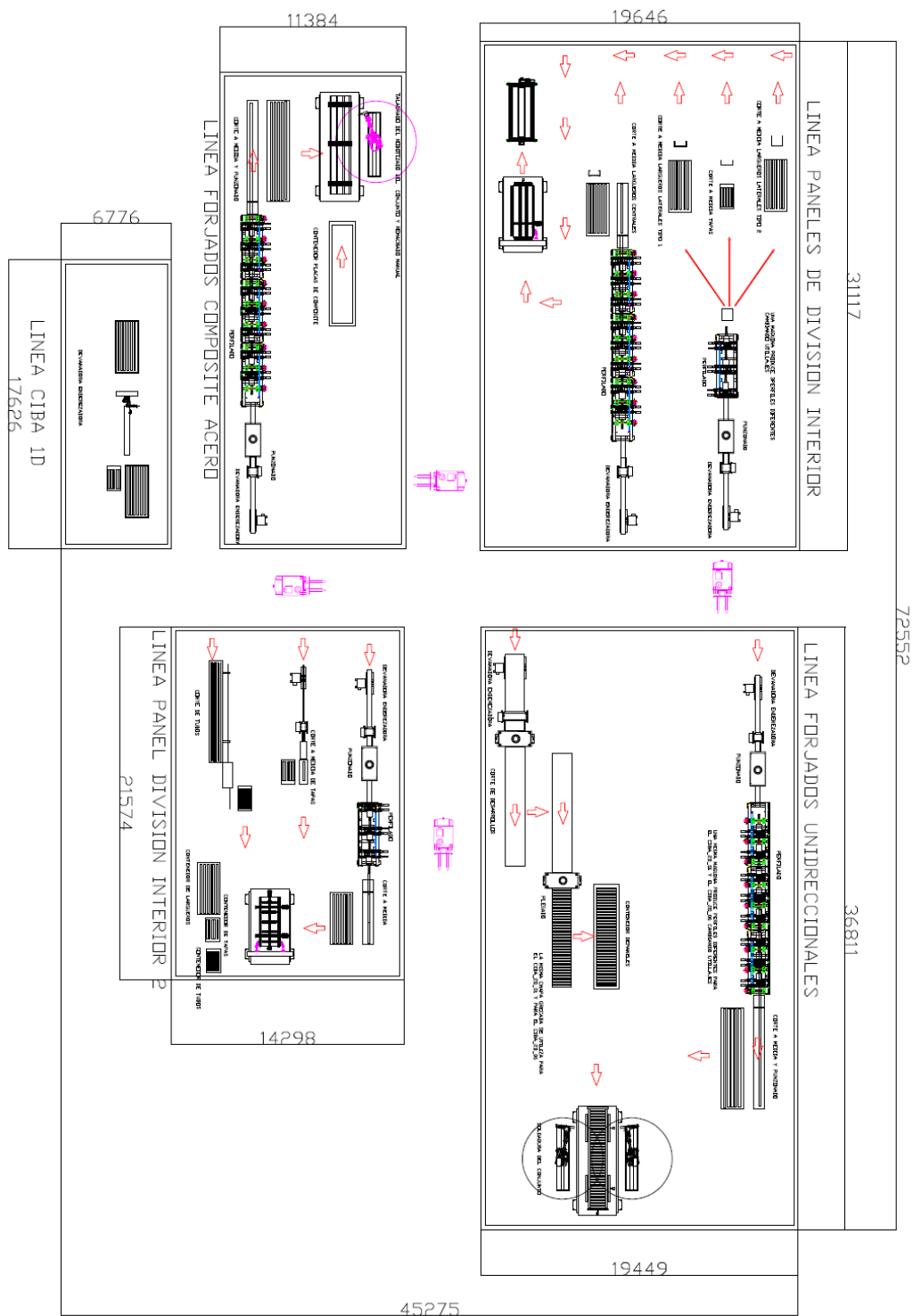


Figura 57.- Ejemplo de líneas de fabricación de CIBAs

- Fabricación de UCAs

Las fábricas de UCAs, con el planteamiento comentado, son en realidad fábricas de ensamblaje de componentes.

Su materia prima serán el CIBA estructural y las distintas placas que sirven para dar las prestaciones que exigen la normativa: protección contra el fuego, aislamiento térmico, aislamiento y vibraciones.

La fábrica se compondrá por tanto de una especie de cadena de montaje similar a la del automóvil, en la que en este caso al CIBA (como si fuera el chasis del vehículo) se le van colocando las diferentes capas en un orden determinado.

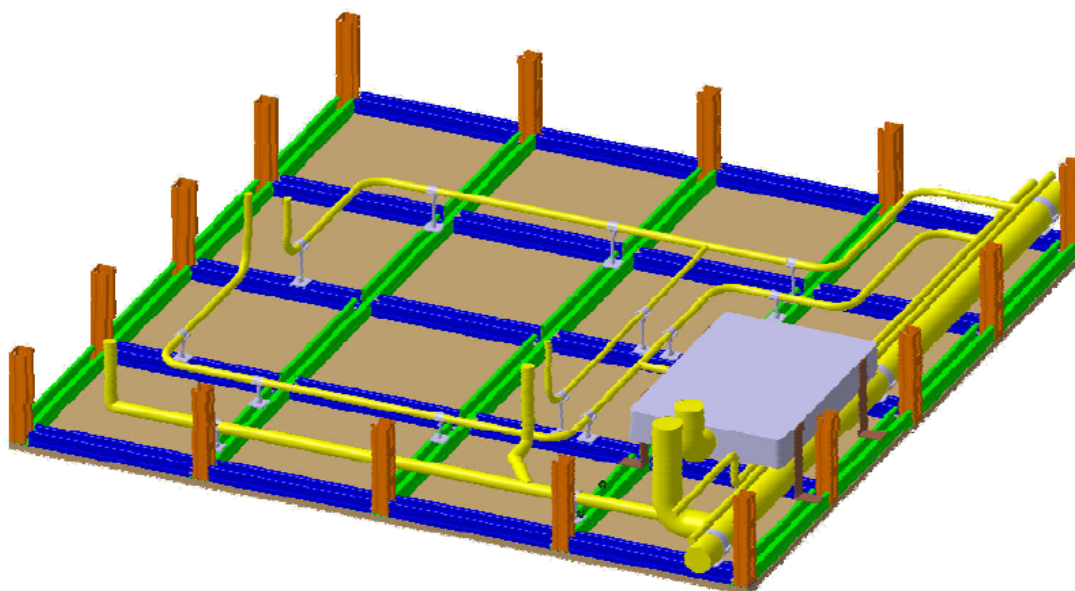


Figura 58.- Ejemplo de instalaciones colocadas en un UCA

Una de las ventajas que tienen estos componentes es que permiten además preinstalar las distintas instalaciones eléctricas, fontanería, climatización, domótica, datos ,etc... que luego en obra se unirán con los otros módulos mediante sistemas rápidos tipo plug&play, juntas, etc... (*Figura 58*)



En el caso de los módulos húmedos 3D (*Figura 59*) irán a obra completos, incluido el mobiliario de grifería, baño, lavabo, bañera (en el caso del baño) y de los electrodomésticos (lavadora, lavavajillas, horno, vitrocerámica, microondas, etc...) en el caso de la cocina. Estos módulos como ya se ha comentado no son estructurales y se “enchufan” en las estructuras del edificio.



Figura 59.- Ejemplo de módulo 3D húmedo de cocina

En el *Apartado 4.2* se verá en detalle una fábrica de componentes con todos sus valores y resultados. En la *Figura 60* se muestra una de ellas a modo de ejemplo (módulo húmedo)

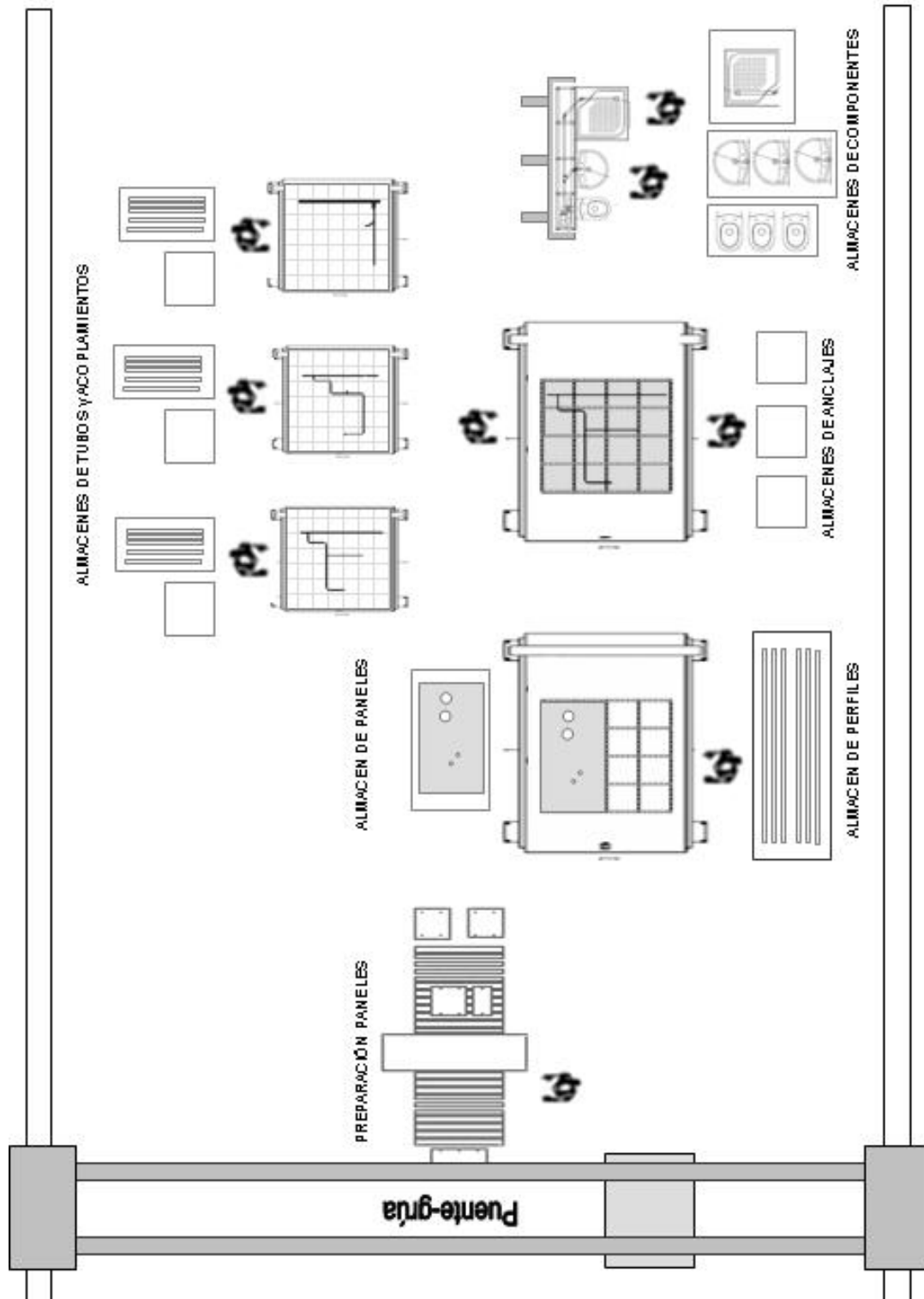


Figura 60.- Ejemplo de líneas de fabricación de UCAs

3.2.3. **MONTAJE**

El trabajo en obra mediante esta novedosa metodología no es más que una operación de montaje, de ensamblaje de los componentes 1D, 2D y 3D ya fabricados y que llegarán a la obra para proceder a su montaje.

La construcción del edificio se comienza partiendo de las zapatas de hormigón, que se ejecutan de forma tradicional y no están incluidas en el alcance de la presente tesis, que se circunscribe al estudio del edificio en planta baja y superior, sin estudiar nivel bajo suelo tipo parking y movimientos de tierra. Sobre estas zapatas se comienza a levantar el edificio.

La secuencia exacta de levantamiento del edificio dependerá en gran medida de la disponibilidad de espacio en el solar de la obra, dado que condicionará la ubicación de la grúa o elementos de elevación, la logística de suministro etc...

Para dar una amplia gama de posibilidades, de las más sencillas y tradicionales a las más novedosas (y económicamente más costosas) se han desarrollado cinco posibilidades de montaje:

- **Sistema *Bottom up***

El más tradicional, literalmente significa del suelo hacia arriba, manera tradicional de levantamiento de un edificio (pero no única como se verá más adelante)

El primer paso es colocar los módulos de comunicaciones (ver *Figura 61*), por ser el núcleo estructural del edificio. A continuación se colocarán los pilares del edificio, y a continuación se sigue un proceso iterativo piso a piso:

- Vigas horizontales del piso
- Forjados

- Paneles de división interior (son estructurales al igual que el forjado)
- Módulos húmedos (baños y cocinas)
- Fachadas

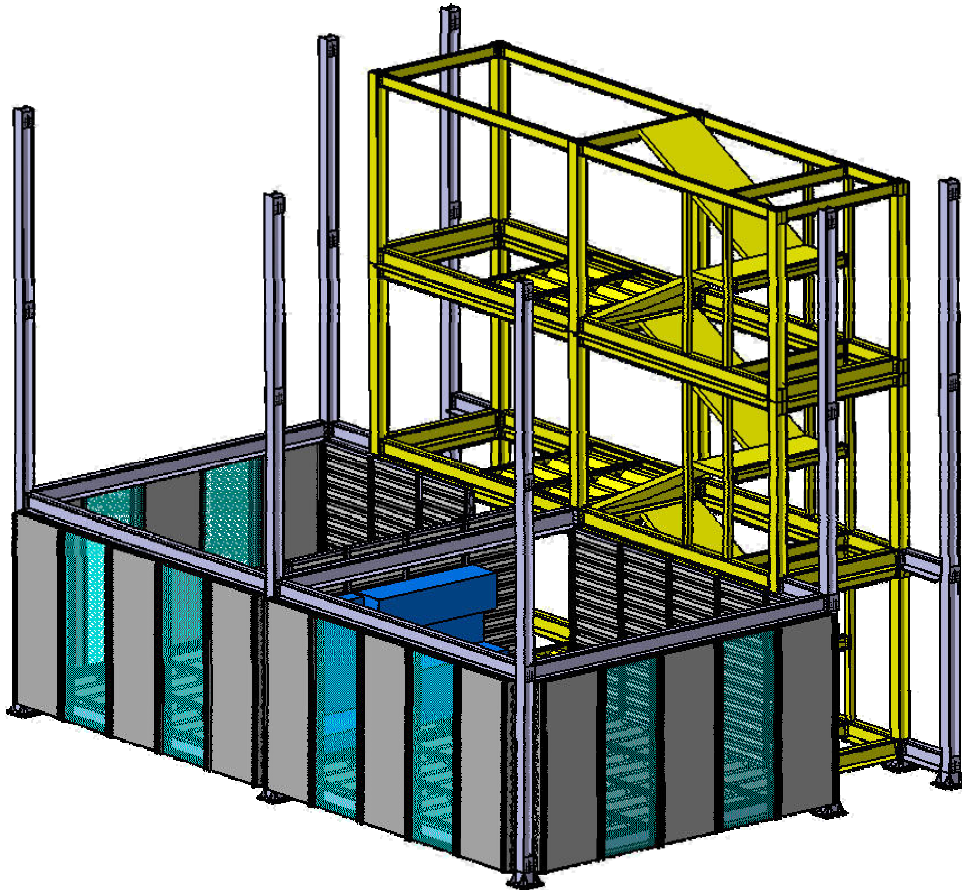


Figura 61.- Montaje bottom-up

Así sucesivamente hasta el total de plantas del edificio, donde se colocarán las cubiertas como cierre final del mismo.

A medida que se van cerrando plantas se puede entrar a realizar trabajos de acabado (parquet, falso techo, juntas, pintura final, etc...).

Los componentes se colocan mediante sistemas de elevación tradicional como pueden ser grúa torre o camión grúa.

- **Sistema *Top-down***

Una de las inquietudes del proyecto consiste en identificar una secuencia de montaje del edificio que permita en la medida de lo posible optimizar el suelo disponible de modo que se ocupe el menor espacio posible alrededor del edificio. Se está acostumbrado a que, durante la construcción de un edificio, se utilicen las zonas anejas como almacén de materiales para la obra. Este almacén puede ocupar un gran espacio que es posible que no tengamos disponible. Esta situación es particularmente crítica cuando se construye en zonas ya edificadas en las que utilizar las zonas adyacentes supone invadir espacios en uso para otras funciones. Normalmente esto se traduce en cerrar calles al tráfico, con el trastorno que esto supone.

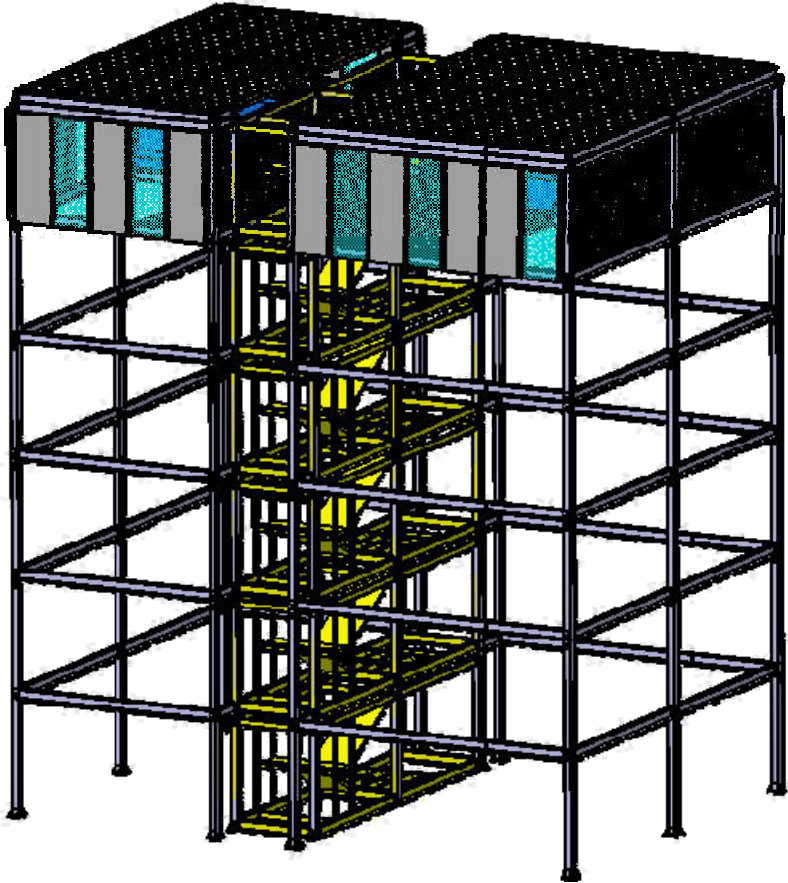


Figura 62.- Montaje Top-down

Para salvar esta problemática, se propone a continuación una secuencia de montaje alternativa del edificio, encaminada básicamente a aprovechar la planta del edificio como espacio útil para la obra durante todo el proceso de construcción. Para ello, la última zona a ocupar tiene que ser la planta baja. Esto nos lleva a que la construcción se oriente a edificar de arriba hacia abajo (*Figura 62*).

La secuencia de montaje sería igual en los dos primeros pasos a la anterior: colocación del núcleo del edificio (módulo 3D de comunicaciones) y de los pilares del mismo. A continuación se colocarán la totalidad de los pilares para formar el entramado estructural completo del edificio. Y el primer paso del montaje de los componentes 2D es la colocación de las cubiertas.

Una vez colocada la cubierta, se pasa a un desarrollo iterativo piso a piso (del último al primero) idéntico igualmente al montaje anterior, esto es:

- Forjados
- Paneles de división interior (son estructurales al igual que el forjado)
- Módulos húmedos (baños y cocinas)
- Fachadas

En este caso también los componentes se colocan mediante sistemas de elevación tradicional como pueden ser grúa torre o camión grúa.

Una ventaja adicional con este sistema respecto al anterior es que una vez se coloque la cubierta las plantas quedan resguardadas de las inclemencias del tiempo, especialmente de la lluvia con lo que se evita deterioro de materiales y se facilita el trabajo del personal de obra.

- **Sistema *torre de construcción***

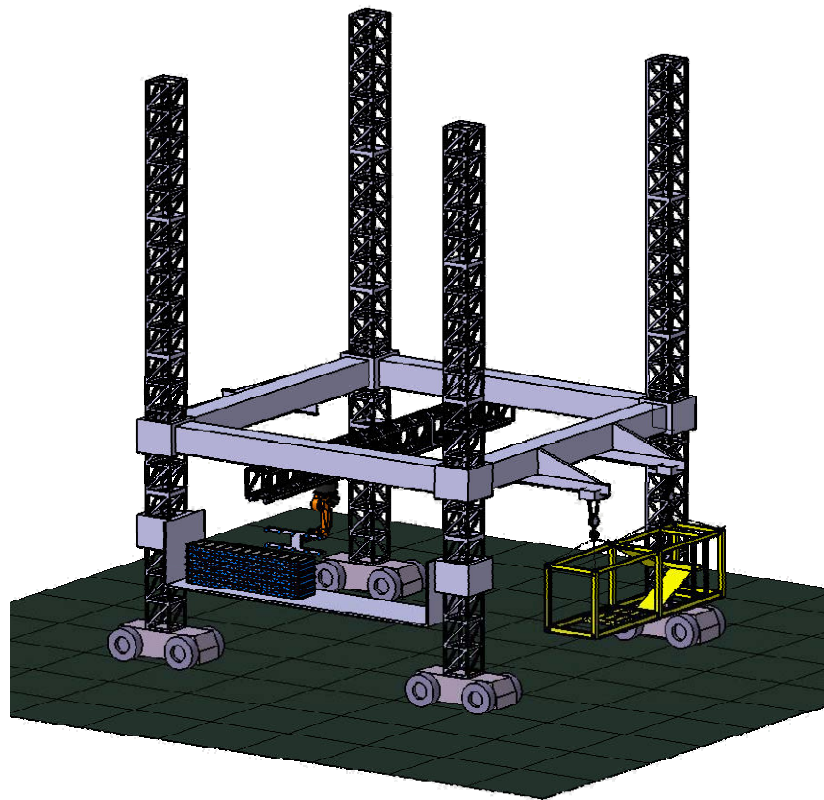


Figura 63.- Puente grúa

Este sistema se basa en los puentes grúas existentes en las naves industriales y las torres grúa existentes en las obras de construcción, creándose un nuevo concepto de grúa que combina ambos sistemas, como se ve en la imagen anterior.

La estructura de la “torre de construcción” consta de cuatro columnas principales (*Figura 63*), que podrían ser módulos comerciales para grúas, apoyadas sobre cuatro carros sobre ruedas, como las que se utilizan en las grúas de pórtico.

Sobre estas cuatro columnas se desplaza verticalmente una estructura tipo puente sobre la que van instalados a su vez una serie de puentes grúa. Estos puentes grúa se pueden mover transversalmente sobre el



mencionado puente principal y llevan varios polipastos eléctricos para el amarre y transporte longitudinal de la carga.

El edificio está constituido por componentes que se pueden clasificar, desde un punto de vista de tamaño y peso, en dos grupos:

- Los elementos grandes y pesados (>10 Tn), tridimensionales, principalmente núcleo de comunicaciones.
- Los componentes ligeros (<1Tn), bidimensionales, esencialmente paneles y forjados.

Existe también un tercer tipo de elementos, las vigas y pilares que constituyen el esqueleto del edificio, que se podrían considerar como unidimensionales, y que a efectos de manipulación y montaje se van a considerar, salvo posibles excepciones, también como componentes ligeros.

Para ayudar a los montajes y las uniones se pueden usar los polipastos del puente grúa por un robot de 6 ejes (*Figura 64*). Este robot va montado sobre un carro que le permite desplazarse longitudinalmente a lo largo del puente (7º eje).

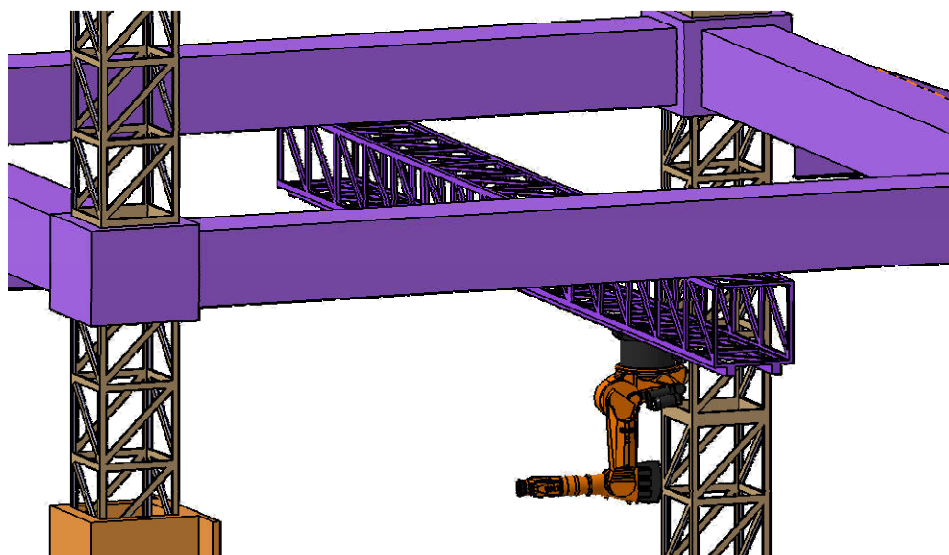


Figura 64.- Detalle de robot en la grúa

Este sistema supone una gran automatización del montaje del edificio (*Figura 65*) con los componentes diseñados, pero presenta varios inconvenientes que desaconsejan su utilización.

- Requieren de un espacio extra en la parcela del edificio ya que la superestructura debe de cubrir l totalidad del edificio. En edificios pequeños de pocas plantas puede ser técnicamente posible, pero en edificios de grandes dimensiones (bien en planta o en altura) sería inasumible
- El coste sería muy grande y si bien la torre se puede usar en varios edificios al año (dado que se reducen considerablemente los tiempos de construcción respecto de un edificio tradicional), supone un sobrecoste muy difícil de asumir y de una inversión muy arriesgada, más aún con la crisis actual en la edificación en España que lo deja como una propuesta de futuro.

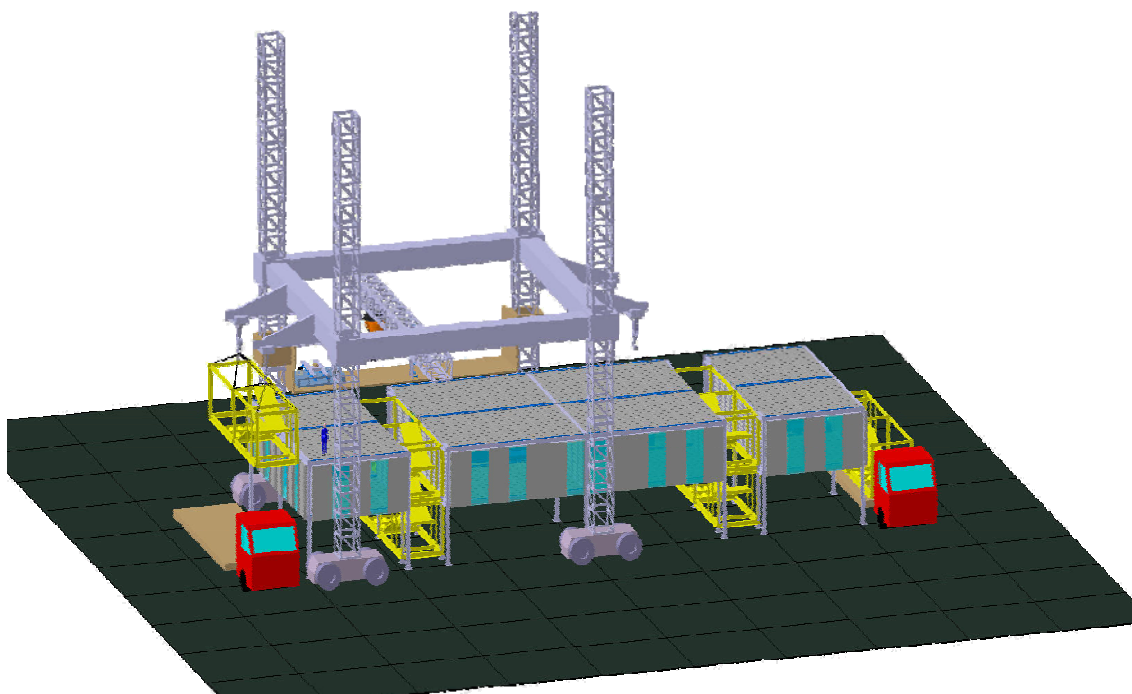


Figura 65.- Montaje del edificio

- **Sistema *Lift-slab***

Lift-slab (en español elevación de forjados) es un método de construcción desarrollado en los años 50 que, como su nombre indica, consiste en construir los forjados a nivel de suelo y luego elevarlos hasta la altura a la que tiene que ir colocado. Se trata de un método utilizado para forjados de hormigón. No se ha encontrado ninguna información sobre su aplicación para otro tipo de forjados, por ejemplo forjados de acero.

Es un sistema que proviene de Japón, si bien en España hay experiencias en obras industriales (naves, almacenes) para levantar las cubiertas de las naves de manera automatizada (*Figura 66*).

En la *Tabla 22* se citan las principales ventajas e inconvenientes del método Lift-slab.

LIFT-SLAB
VENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ☺ La construcción se hace a nivel de calle, condiciones de trabajo más seguras ☺ Permite establecer un “Tack-time” que optimice la logística de suministro ☺ Se puede proteger la zona de trabajo de inclemencias meteorológicas ☺ Mayor productividad que métodos tradicionales ☺ Ocupa poco espacio extra en planta ☺ El sistema de izado es sencillo y no requiere de inversiones excesivamente elevadas ☺ Tiempo de montaje, puesta a punto y desmontaje razonables ☺ Minimiza la necesidad de grúas
INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ☹ Riesgo inherentes de elevar estructuras de grandes dimensiones ☹ Posibles inestabilidades estructurales derivadas de construir de arriba hacia abajo. ☹ Requiere adaptar la estructura del edificio al sistema de montaje (definir uniones entre plantas y columnas)

Tabla 22.- Ventajas e inconvenientes del método

El método, adaptado a sistemas de componentes en acero, consiste en, mediante un sistema de gatos hidráulicos, elevar las plantas de los pisos desde planta 0 a la planta correspondiente completamente montado, de tal manera que el trabajo en altura sea simplemente desacoplar los gatos y sujetar la planta donde corresponde y realizar las juntas entre plantas.

Con este sistema se reducirían considerablemente los accidentes mortales en construcción, debidas en gran parte a caídas desde altura elevada.



Figura 66.- Elevación de cubiertas industriales

En el apartado 4.3 se desarrolla este método específico para el edificio tipo seleccionado en el presente trabajo.

- **Sistema *Jack-block***

El sistema “Jack-block” es un método constructivo similar al Lift-slab. El proceso comienza de la misma forma que en el Lift-Slab. Se construye el último piso del edificio a nivel de suelo, sobre una serie de gatos hidráulicos. Una vez terminada, se iza la planta el equivalente a su propia altura y se construye la siguiente planta debajo. A continuación el bloque constituido por las dos plantas se vuelve a elevar una altura, volviéndose a construir la siguiente planta debajo. El proceso se repite tantas veces como plantas tenga el edificio, igual que en el Lift-slab, con la particularidad de que cada vez el bloque que se eleva es más grande. Se trata en definitiva de aplicar el método que se utiliza en la construcción de grandes tanques hidráulicos (tank-jacking) (ver *Figura 67*).

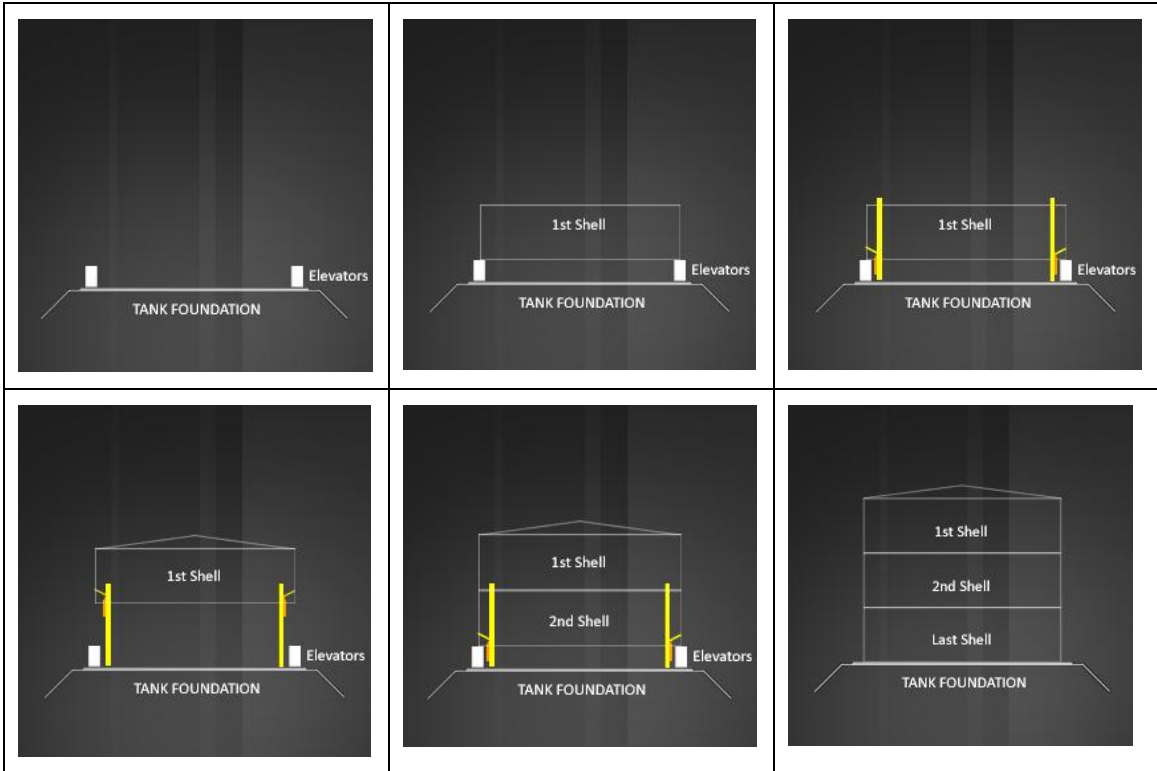


Figura 67.- Sistema de montaje de un tanque o silo metálico

Su principal ventaja respecto al método anterior es que el recorrido de los gatos hidráulicos es menor (hacen siempre el mismo recorrido, de una planta), pero a cambio cada vez tienen que soportar una mayor presión, ya que en el lift slab el peso es siempre el mismo (una planta) pero aquí se incrementa cada vez. En edificios de muchas plantas será técnicamente imposible poder levantar grandes pesos (harían falta muchos gatos o gatos de grandes dimensiones y prestaciones).

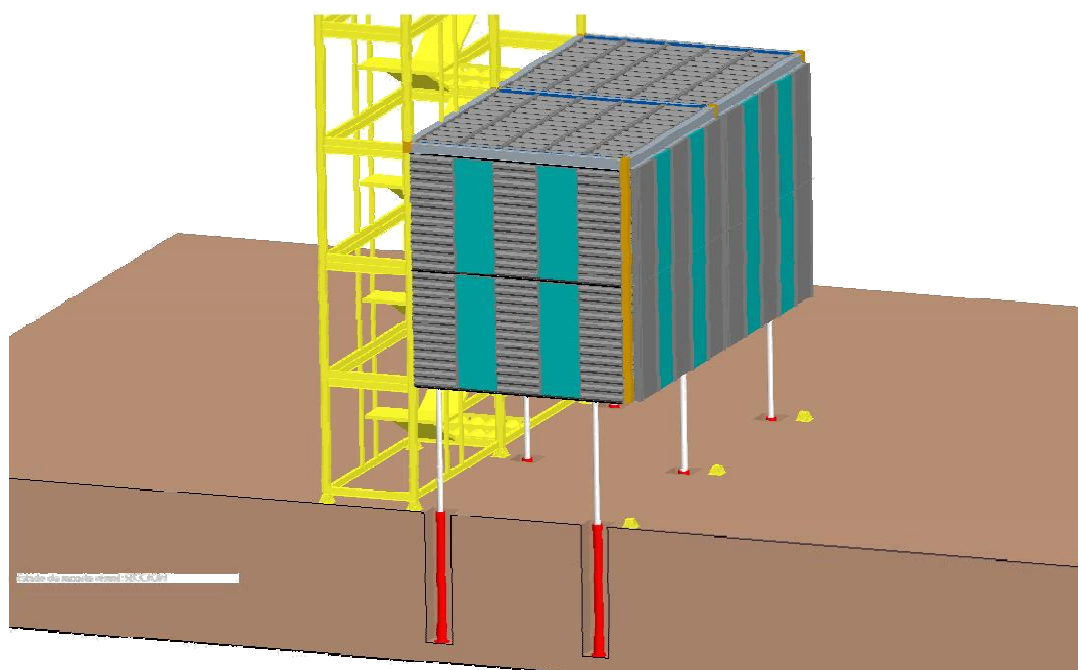


Figura 68.- Sistema de montaje jack-block

Estos métodos hidráulicos industrializados pueden suponer un sobrecoste respecto a métodos más tradicionales como los vistos top down y bottom up, pero suponen también una mejora de las condiciones de trabajo, una reducción de los tiempos de montaje y del espacio disponible en obra para acopio de materiales, ya que se

puede trabajar a nivel 0 en la planta baja montando los módulos y enviándolos posteriormente de manera automática a su ubicación.

De optar por este sistema son necesarias realizar trabajos previos durante el movimiento de tierra y trabajos bajo rasante, como se ve en la imagen anterior.

Los gatos hidráulicos y sus guías, una vez terminada la obra, se extraen de la estructura del edificio y se pueden reutilizar en nuevas obras de edificación

En el apartado 4.3 se incluye un análisis económico de la solución industrializada comparándola con los métodos tradicionales.

3.2.4. USO Y MANTENIMIENTO

Si comparamos en la variable tiempo la vida de un edificio, la fase de uso (que es generalmente de al menos 50 años) supone el 95% al menos del ciclo de vida del producto, por lo que esta fase es indiscutiblemente clave en la mejora de la sostenibilidad y el medio ambiente y energía del conjunto.

Obviamente para que un edificio se comporte de manera eficiente y sostenible es imprescindible que la fase de diseño (proyecto y componentes) sean adecuados, así como tener en cuenta factores muy importantes como la parcela, el posicionamiento del edificio en la misma, el posible sombreado de edificios adyacentes, el tráfico y las comunicaciones, las instalaciones accesibles, etc..

Dos aspectos son fundamentales para que durante la vida útil del edificio éste se comporte de manera adecuada a como estaba diseñado: el uso y el mantenimiento

- **Uso**

En esta fase tan importante, se trata de dotar al usuario de los medios adecuados para que pueda hacer un uso eficiente y ecológico del edificio

Estos medios deberán de ser hardware (sensores, placas solares, etc...) y también software (que regulen temperatura, energía, etc...)

- Energía. Placas solares (*Figura 69*)

Si bien se puede estudiar la utilización de otras fuentes de energía renovables como mini-eólica, geotermia o cogeneración, se va a optar por estudiar la energía en la que ahora mismo ahonda el CTE: energía solar, tanto térmica (que es obligatoria en edificación residencial en bloques de viviendas) como fotovoltaica (opcional, sólo obligatoria para el sector terciario en grandes superficies)



Figura 69.- Placas solares en un edificio

La normativa irá avanzando paulatinamente a conseguir que los edificios sean “islas energéticas”, donde el propio edificio se genere su propia energía que consuma y no gaste ni necesite energía de la red. Actualmente esto no es posible e incluso la normativa impide a día de hoy poder alimentarse de energía propia y de la red, teniendo que optar por vender la energía producida a la red y consumir de ésta, ante la imposibilidad de autoabastecerse al 100% (la ley permite o el 100% o el 0%, no hay términos medios)

Las placas de energía solar térmica se colocan en las cubiertas de los edificios y sirven al mismo para calentar el agua caliente sanitaria y/o la calefacción. La norma a día de hoy obliga a cubrir el 30% de las necesidades mediante esta técnica. En el componente cubierta está previsto que se pueda acoplar este tipo de placas y sus instalaciones auxiliares.

De cara a mejorar la eficiencia energética del edificio, más allá de donde marca la ley, surge la importancia de las placas fotovoltaicas. Éstas convierten la energía del sol (calor) en energía eléctrica.

Además de en cubierta, se plantea en el presente estudio incluirlas en fachada sur (donde inciden directamente los rayos del sol), bien vertical o con una inclinación (como toldo, cumpliendo además la función de reducir el calor en el interior de la vivienda por la menor incidencia directa de los rayos del sol). (*Figura 70*)

En el caso de paramento vertical, la placa solar se colocaría como última capa del panel fachada, integrado desde fábrica, con todos sus accesorios eléctricos (cableado, inversor, etc...)

incluidos y sólo teniendo que conectarse los unos con los otros en obra, en el trabajo de montaje de la fachada.

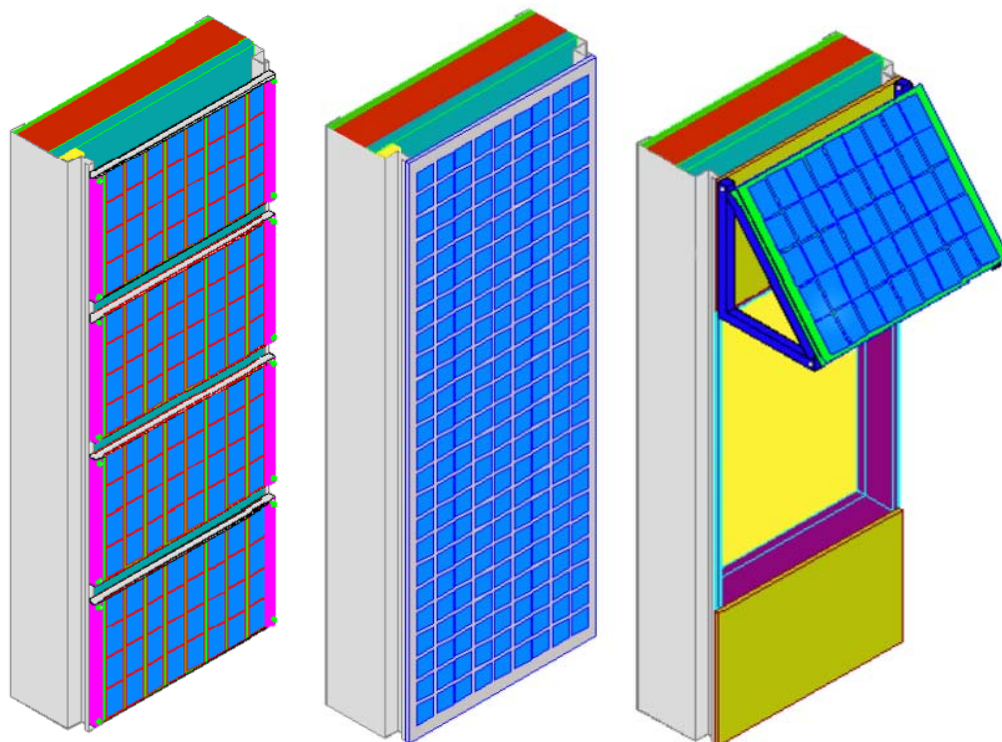


Figura 70.- Componente de fachada con placas fotovoltaicas verticales

- Sensores. Domótica (Figura 71)

Tan importante como tener unas instalaciones eficientes es contar con sistemas que permitan el uso de los mismos y su control, dando al usuario la posibilidad de controlar ciertos parámetros de temperatura, humedad, etc...que por un lado hagan la vida más cómoda al usuario pero también permitan ahorros energéticos.

Los componentes diseñados permiten contar con un cableado interior de datos y señales que faciliten la domótica del edificio, tanto al usuario final como a un control centralizado de ciertas actividades.



Figura 71.- Instalaciones domóticas en un edificio

En la actualidad se está dando un paso más allá en la domótica que es lo que se denomina inteligencia ambiental, en el que el sistema de control tiene la capacidad de aprender las conductas del usuario y se puede llegar a adelantar a sus órdenes mediante algoritmos basados en los gustos, el usuario y demás datos que se puedan introducir en la base de datos.

Sin embargo, salvo que por normativa se regule un mínimo o máximo de valores de (por ejemplo) climatización, si el usuario es el que tiene el mando es imposible controlar la eficiencia global del edificio, que dependerá del buen hacer de sus usuarios.

- **Mantenimiento**

Distinguimos entre métodos preventivos y métodos correctivos, debiendo prevalecer siempre los preventivos, de cara a evitar cualquier situación de peligro para la seguridad de los trabajadores. En el *Apartado 4.5* se desarrolla el mantenimiento a realizar en un edificio tipo.

- *Mantenimiento preventivo*

La característica principal de este tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar los fallos en su fase inicial, y corregirlos en el momento oportuno. El objetivo debe ser optimizar la vida del edificio y asegurar unas condiciones adecuadas para el usuario final.

Los diferentes tipos de mantenimiento preventivo que se podría realizar dentro del edificio, se podría dividir en:

1. Estructura del edificio. Al hablar de estructura hablamos de las diferentes partes del mismo, vigas, forjados y uniones entre elementos. Un mantenimiento preventivo sobre estos elementos, sería la colocación de sensores que midieran la humedad y la temperatura dentro de la estructura, para tratar evitar la corrosión del acero.

Otro tipo de mantenimiento preventivo sería la colocación de galgas en la estructura para comprobar la deformación que sufren los elementos durante la vida útil del edificio. Otro modo para medir la distribución de la carga, sería mediante la utilización de células de carga (*Figura 72*) en los puntos donde se transmite toda la carga.



Figura 72.- Célula de carga flexible [FlexiForce]

En la construcción actual de las grandes estructuras (puentes, túneles,...) se está comenzando a utilizar la fibra óptica. Con la fibra óptica se puede controlar la deformación, la temperatura, el ángulo de inclinación, etc...

La ventaja que ofrece la fibra óptica (Figura 73), sobre otros sensores es la facilidad de colocación, se trata de amarrarlo a la viga y medir la desviación que se tenga. Su inconveniente, el elevado precio del sistema.



Figura 73.- Colocación de fibra óptica dentro de una estructura

Otro sistema para controlar el estado de la estructura, sería colocar micro-cámaras (*Figura 74*) dentro de las zonas que se pretenden medir, para verificar la existencia de oxidación dentro de la estructura. La idea es colocar una cámara en las uniones entre el forjado y las vigas, que es punto de la estructura que tiene que soportar todos los esfuerzos del edificio. Se podría encender automáticamente cada tiempo determinado que grabe toda la unión y, mediante un procesamiento de la señal, comparar el estado original con el estado pasado ese tiempo.

Sus principales ventajas es que son fáciles de colocar y el precio de adquisición del equipo es bastante económico. Como inconvenientes, el procesamiento de la señal no es fácil, y además es necesario conocer y determinar claramente qué se quiere medir.



Figura 74.- Micro-Cámara de vídeo.

En el dimensionamiento y predicción de vida a fatiga de estructuras, las tensiones que se producen en cada punto de la misma son una de las principales fuentes de incertidumbre. Esto se debe a la dificultad de estimar con precisión las propiedades de la rigidez, masa y amortiguamiento, así como a la simplificación de los modelos utilizados en las hipótesis de carga. El análisis modal es una herramienta utilizada en ingeniería mecánica y en ingeniería estructural para la caracterización dinámica, monitorización, etc. En medianas y grandes estructuras se utiliza principalmente el análisis modal con excitación natural, conocido también como análisis modal operacional. La diferencia principal con el análisis modal tradicional radica en que no es necesario conocer las cargas que se aplican sobre la estructura para estimar los parámetros modales. Los ensayos se llevan a cabo midiendo las respuestas de la estructura (aceleraciones) bajo las condiciones de servicio de la misma, como por ejemplo, cargas de viento, oleaje, cargas de tráfico, etc. Este método puede ser utilizado para reducir la incertidumbre en la determinación del daño acumulado a fatiga o la vida remanente de estructuras en servicio. El mayor inconveniente, es que la estructura debe estar muy dañada para poder detectar alguna variación significativa en el sistema.

2. Controlar los fallos en las instalaciones del edificio. Los fallos pueden venir provocados por el desgaste de los componentes durante la vida útil del edificio o por una mala utilización de las instalaciones. Entendiéndose como una



mala utilización del edificio un gasto excesivo de agua, electricidad, calefacción, etc.



Figura 75.- Control de fugas mediante cables

Existen sistemas comerciales de detección de fugas. Este tipo de sistemas varía según las necesidades. La idea fundamental de este tipo de sistemas es conocer el punto exacto donde está ocurriendo una fuga para poder arreglar el desperfecto sin que cause daños mayores al edificio. Ante una alarma por fuga de agua, el sistema cortaría el paso de la zona donde ha saltado la alarma. Una vez controlada la fuga se procede a reparar o cambiar el punto donde se produce la fuga. En la *Figura 75* se muestra una configuración básica para la detección de agua. Se rodean los puntos críticos donde se pueden dar las fugas, codos de

tuberías, uniones entre las tuberías, sistemas de aire acondicionado, etc.

La idea de controlar el consumo de agua y electricidad, pueden ser útiles para evitar despilfarros por parte de los usuarios de la vivienda. Un grifo abierto durante toda la noche supone una gran pérdida de agua. Un contador conectado (*Figura 76*) con una llave de paso, evita pérdidas por errores durante la utilización.

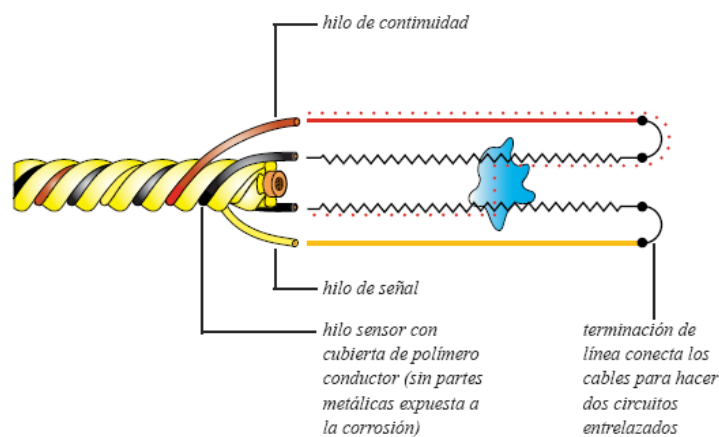


Figura 76.- Sistema de detección de fugas

o *Mantenimiento correctivo*

Todos estos tipos de mantenimiento preventivos definidos en el apartado anterior, tienen que acompañarse de mantenimiento correctivo cuando los niveles de seguridad detecten cambios en el edificio.

Mantenimiento correctivo, se puede entender como las técnicas usadas para reparar los daños que tenga el edificio. El grado de daño detectado, marcará el tamaño del mantenimiento correctivo que se debe realizar. Si el daño es detectado a

tiempo, no será necesario realizar un gran gasto para repararlo. Por ejemplo, una fuga de agua detectada a tiempo, se repara con el cierre del paso de agua, y cambiar el trozo de tubería donde se ha detectado la fuga, evitando, pérdidas de agua, materiales estropeados y problemas para los usuarios de la vivienda. Esta comparación es igual para todos los elementos del edificio. Un principio de oxidación se repara pintando la zona, mientras que un grado de oxidación avanzado requiere reforzar la zona, y posiblemente la pérdida definitiva del UCA de cara a un futuro reciclaje.

3.2.5. DECONSTRUCCIÓN

Una de las claves de esta metodología es la de evitar la demolición del edificio y considerar la fase de fin de uso una fase más del ciclo de vida, y no la última, ya que los materiales se reutilizarán o reciclarán para nuevas aplicaciones.

En esta fase distinguimos dos etapas diferenciadas:

- Desmontaje del edificio, en obra
- Desmontaje de los componentes, en fábrica

Denominaremos deconstrucción a la suma de estas dos etapas que estudiamos ahora, dejando para el *Apartado 4.6* el punto de vista práctico de la metodología con un edificio modelo.

3.2.5.1. Desmontaje del edificio

Las obras de ingeniería civil son concebidas y construidas para un período de vida útil que normalmente abarca varias decenas de años, durante los



cuales se espera que presten servicio en las mejores condiciones posibles. No obstante, sabemos que existen multitud de factores que van desgastando las obras construidas, desde los relacionados con el clima-lluvias, nieve, heladas, viento- y el entorno- corrosión debida a las sales marinas en obras cercanas a la costa- hasta los movimientos del terreno sobre el cual se asienta la construcción. En edificios en España, según el CTE, se exige un mínimo de 50 años, si bien muchos edificios pueden resistir muchos más años sin daños estructurales graves.

Por ello, resulta de gran interés el conocimiento acerca del cual es el estado físico-químico de los elementos que componen la construcción, a fin de determinar si sufre alguna patología. Dicho conocimiento es aún más valioso cuando se obtiene con la antelación suficiente como para aplicar medidas preventivas que subsanen el problema, antes de que los elementos afectados se hayan deteriorado demasiado, lo cual puede entrañar riesgos para la seguridad de las personas y los bienes, además de precisar reparaciones mayores (tal y como se comentó en el apartado anterior de mantenimiento 3.2.4).

Aunque las estructuras metálicas tienen una reciente implantación apoyada en una fuerte tecnología, también son susceptibles de sufrir lesiones que ponen en peligro tanto la integridad constructiva como la seguridad del edificio. Estos procesos patológicos pueden derivarse de causas propias de la naturaleza del material, especialmente su debilidad al ataque químico ambiental, pero también de la solución constructiva adoptada en proyecto y ejecución.

Debido a estos motivos, es necesario analizar los componentes críticos y las patologías sirviéndose de las técnicas de inspección adecuadas que se han definido anteriormente.

El objetivo de esta tarea es garantizar un desmontaje del edificio que permita unas condiciones óptimas de seguridad para los trabajadores y que sirva



como ayuda ante problemas que puedan surgir. Para poder realizar un desmontaje seguro es necesario, en primer lugar, comprobar el estado del edificio. Los aspectos más importantes a tener en cuenta son los siguientes:

- Aspectos a controlar en las estructuras metálicas.

El control de las estructuras debe estar presente desde los primeros tanteos del diseño, pasando por la elección de los materiales y la previsión de los procesos de ejecución y montaje, hasta las pruebas de carga y las comprobaciones periódicas de las estructuras en cuanto a dilataciones, comportamiento ante acciones del viento, estado de los sistemas de protección contra la corrosión química o electroquímica, así como por otros agentes de deterioro.

Los problemas de las estructuras metálicas pueden presentarse por causas no fortuitas como puede ser:

- Efectos del calor y cambios de las condiciones ambientales.
 - Oxidación excesiva y consiguiente corrosión.
 - Criterios erróneos de diseño.
 - Agente químicos.
 - Viento
- Zonas Singulares o críticas.

En los elementos estructurales se pueden determinar unas zonas singulares o críticas, como son:

- Las soldaduras y uniones.
- Los montajes de cerchas y cubiertas
- Arriostramientos provisionales durante el montaje.



Figura 77.- Edificio de estructura metálica

Estos puntos críticos conforman la base para poder realizar un desmontaje inverso al montaje. Los principales problemas que podrían surgir:

- Unión Pilar-Cimentación. Un problema en esta unión, puede plantear problemas de pandeo de la viga o desplazamiento de la misma, con los riesgos que supone para la estabilidad del edificio y los riesgos de cara a la seguridad.
- Estado de los Pilares (*Figura 77*). Los sistemas propuestos para montar y desmontar el edificio, se apoyan y deslizan sobre las vigas. La linealidad de la viga, y su robustez podrían suponer un grave problema a la hora de desmontar

el edificio. Cualquier abolladura u oxidación en la viga implica tener que cambiar el modo de desmontar el edificio.

- Uniones. La importancia que tienen las uniones de cara a un desmontaje seguro, es de vital importancia tanto de cara a la seguridad como de cara al ahorro de materiales. Una unión dañada entre componentes influye negativamente en la estabilidad del edificio. Esta inestabilidad puede reflejarse en un derrumbe de la planta que se está intentando bajar, lo que puede provocar daños en plantas inferiores y en los pilares de sujeción del edificio, pudiendo incluso llegarse al colapso general del mismo.

Para determinar el estado del edificio es necesario analizar con detenimiento los puntos críticos mencionados. Muchas de las actuales técnicas para detección de patologías en obras son destructivas, es decir, requieren llevar a cabo perforaciones, descarnamientos u otro tipo de prácticas lesivas, a fin de alcanzar los elementos cuyo estado se desea comprobar.

Existen otras alternativas que cara a la inspección de un edificio, como la colocación de sensores durante la construcción del edificio, que permitan un control “on-line” de la vida del edificio. Otra alternativa que se puede plantear es la realización de ensayos no destructivos para comprobar el estado del edificio en diferentes momentos de la vida del mismo.

El principal problema que se plantea es la falta de conocimiento sobre la tecnología más adecuada para aplicar a la diversidad de puntos que tienen que ser controlados. Para validar estos sistemas, sería necesario plantear un banco de ensayos y estudiar cual es el sistema más adecuado para cada punto crítico a estudiar.



- Escenarios de desmontaje.

En función del estado en el que se encuentre el edificio al finalizar su ciclo de vida, surgen diversos escenarios que condicionan el proceso de deconstrucción a utilizar.



Figura 78.- Demolición de un edificio

Estos posibles escenarios se han clasificado en tres grupos principales:

- Desmontaje mediante la misma técnica utilizada en el montaje automatizado (lift-slab o jack block), pero a la inversa.
- Desmontaje tradicional, de arriba abajo, utilizando grúas o elementos similares.

- Desmontaje mixto, en el que algunas plantas se pueden desmontar mediante lift-slab o jack-block, y otras es necesario desmontarlas de forma tradicional.

En cada uno de los casos, dependiendo de la zona dañada y de la gravedad de la misma, se podrían barajar diferentes alternativas para solucionarlo. Existen también actuaciones de carácter general que puede ser necesario llevar a cabo independientemente del método elegido para el desmontaje del edificio.

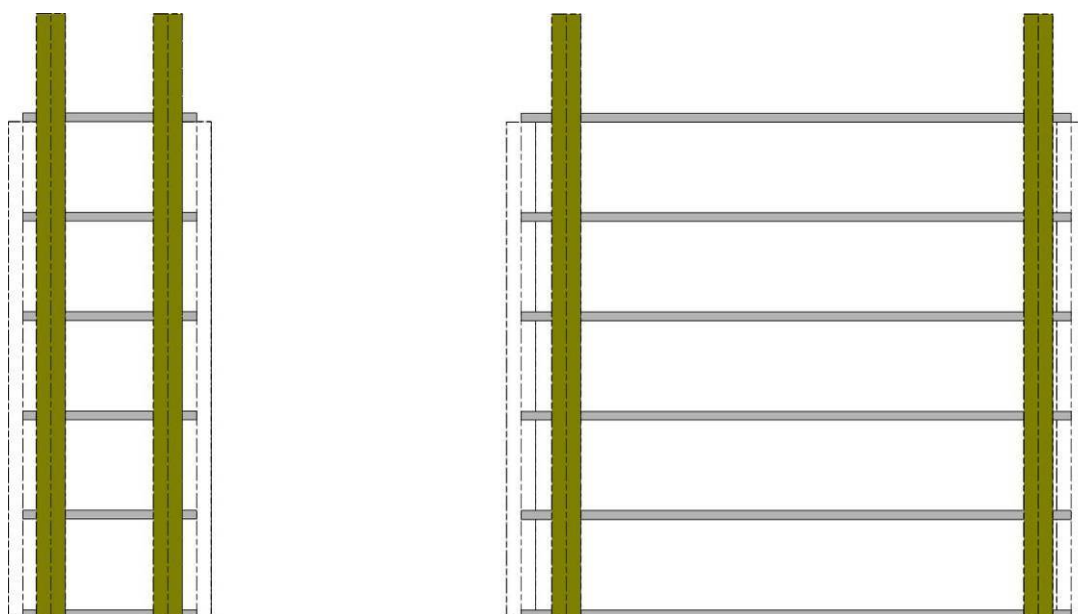


Figura 79.- Refuerzo de la estructura para el desmontaje

Se trata de medidas que afectan a la estructura general del edificio. Si, por ejemplo, ésta sufre un nivel de deterioro ligero, será necesario reforzar las zonas dañadas (*Figura 79*) de forma que se garantice un desmontaje seguro. Si se valoran los daños estructurales como graves habrá que plantear un sistema de vigas externo que sirva de soporte (arriostramiento) para la estructura principal durante el proceso de desmontaje



En el *Apartado 4.6* se desarrolla el desmontaje de un edificio con el sistema automatizado lift-slab utilizado igualmente para el montaje, pero se puede recurrir a métodos tradicionales mediante grúa torre (*Figura 80*).

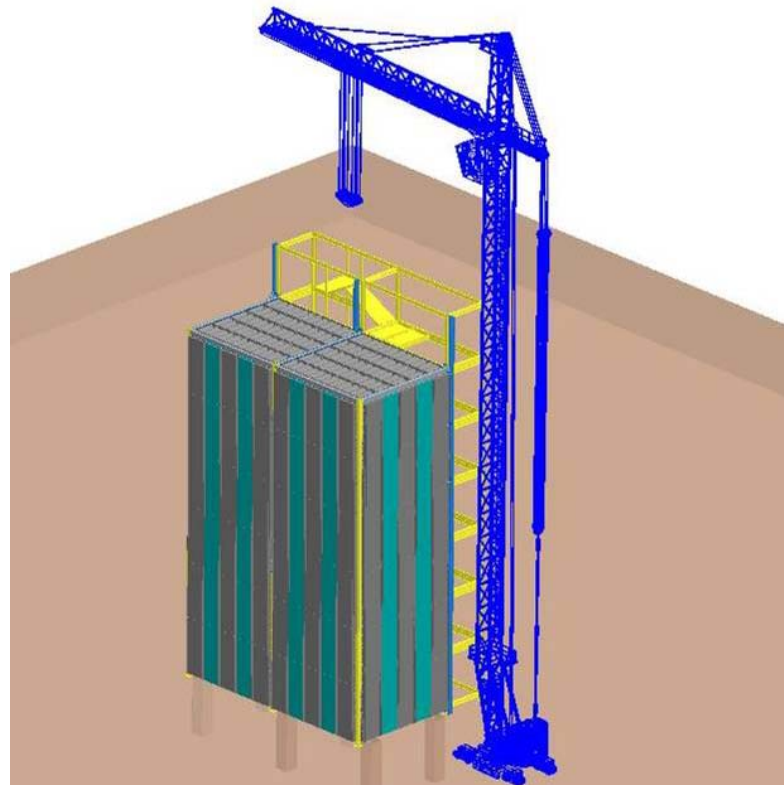


Figura 80.- Desmontaje mediante grúa torre

Una alternativa a las grúas es la utilización de montacargas o elevadores de fachada. Existen elevadores de cables y de cremallera. Las cabinas estándar alcanzan dimensiones de hasta 4,5x1,5 metros, lo cual sería suficiente para transportar la mayoría de los UCAs del edificio. Un poco más complicado será bajar los forjados, los cuales alcanzan los seis metros de longitud. Existe la posibilidad de fabricar una cabina a medida, de seis metros de largo. Otra alternativa sería meter los forjados inclinados en la cabina, apoyándolos en un útil adecuado (*Figura 81*). En cuanto a pesos, las cabinas estándar más



grandes llegan hasta los 1500 kg, lo cual permitiría bajar 4 o cinco paneles interiores y de fachada a la vez. En cuanto a los forjados, habría que bajarlos prácticamente de uno en uno, lo cual ralentiza el proceso de desmontaje.



Figura 81.- Montacargas de fachada especiales para cargas voluminosas

Como alternativa a los montacargas se pueden instalar plataformas elevadas por cremallera (*Figura 82*). Permiten cargas de hasta 4500kg, con longitudes de hasta 34 metros (necesarios dos mástiles) y amplitudes de 1,3 a 2,8 metros. Con este tipo de plataformas si se pueden bajar los forjados apilados (hasta 5 de ellos de una vez), a costa de tener que instalar un dispositivo más complejo.



Figura 82.- Plataformas elevadas por cremallera

Los últimos desarrollos en lo que se refiere a elevadores están orientados a tratar de agilizar el proceso de izado/descenso de cargas, automatizando tanto la carga, el transporte, como la descarga (*Figura 83*).



Figura 83.- Sistema de elevación automático

Los componentes van dotados de etiquetas RFID, y el elevador con lleva el consiguiente lector, con lo que se garantiza en todo momento la trazabilidad y el control de los elementos que se transportan.

Cualquiera que sea la técnica de transporte utilizada, el desmontaje del edificio consiste en ir desmontando y paletizando UCAs por plantas, y bajarlos a la calle mediante el sistema apropiado, para dejarlos, a ser posible, directamente sobre el camión que los transporte a la planta de desfabricación (*Figura 84*).

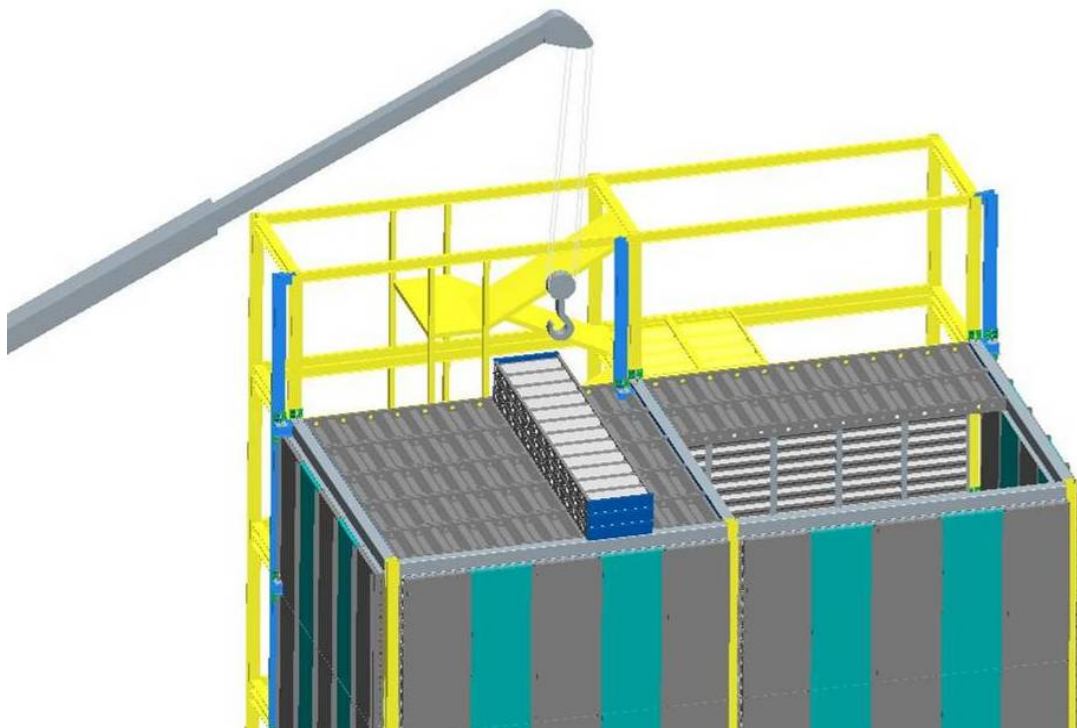


Figura 84.- Desmontaje y paletizado de UCAs de cubierta

Finalmente indicar que si una parte de la estructura está dañada, se puede recurrir al montaje mixto (parte manual – parte automatizada).

Dependiendo de la altura a la que se encuentre la parte dañada de la estructura, se pueden plantear diferentes soluciones para desmontar el edificio (*Figura 85*). Si la parte dañada de la estructura está en las plantas superiores, el procedimiento a seguir para el desmontaje completo del edificio sería de tipo mixto. Las plantas superiores no pueden bajarse porque la estructura está dañada, con lo que no queda otra solución que desmontarlas de la forma tradicional, tal y como se ha explicado en el apartado anterior. El desmontaje de las plantas superiores se realizaría en primer lugar y de manera ágil, con el fin de generar el menor trastorno posible en el entorno del edificio.

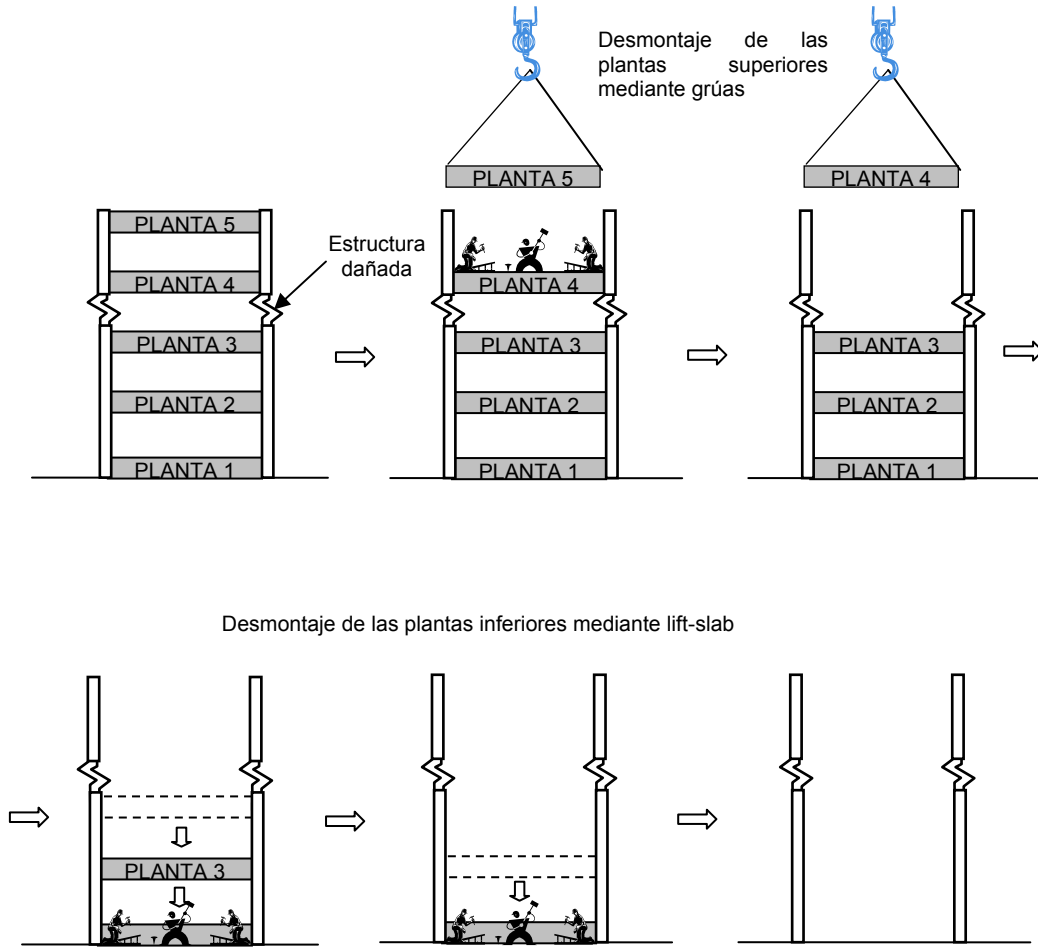


Figura 85.- Secuencia de desmontaje mixta (grúa + lift-slab)

Una vez retiradas las plantas “problemáticas”, el desmontaje del resto de plantas inferiores se ejecutaría bajándolas una por una, y realizando el desmontaje a nivel de suelo.

3.2.5.2. Desmontaje de los componentes

Durante el desmontaje, independientemente del método utilizado, es necesario habilitar la correspondiente logística de transporte, para ir retirando (llevando al taller para inspección y posible desfabricación) las

UCAS que se van extrayendo del edificio. A partir de dicha inspección se puede proceder de varias formas:

- Si la UCA se encuentra en buen estado, se reutiliza directamente tras una serie de operaciones mínimas de limpieza y acondicionamiento.
- Si por el contrario se encuentra parcialmente dañada o deteriorada, se sustituyen aquellas partes inservibles por unas nuevas, y se reutiliza la UCA.
- Finalmente, en el peor de los casos, se desmonta totalmente la UCA (*Figura 86*) y sus componentes son destinados a reciclaje.

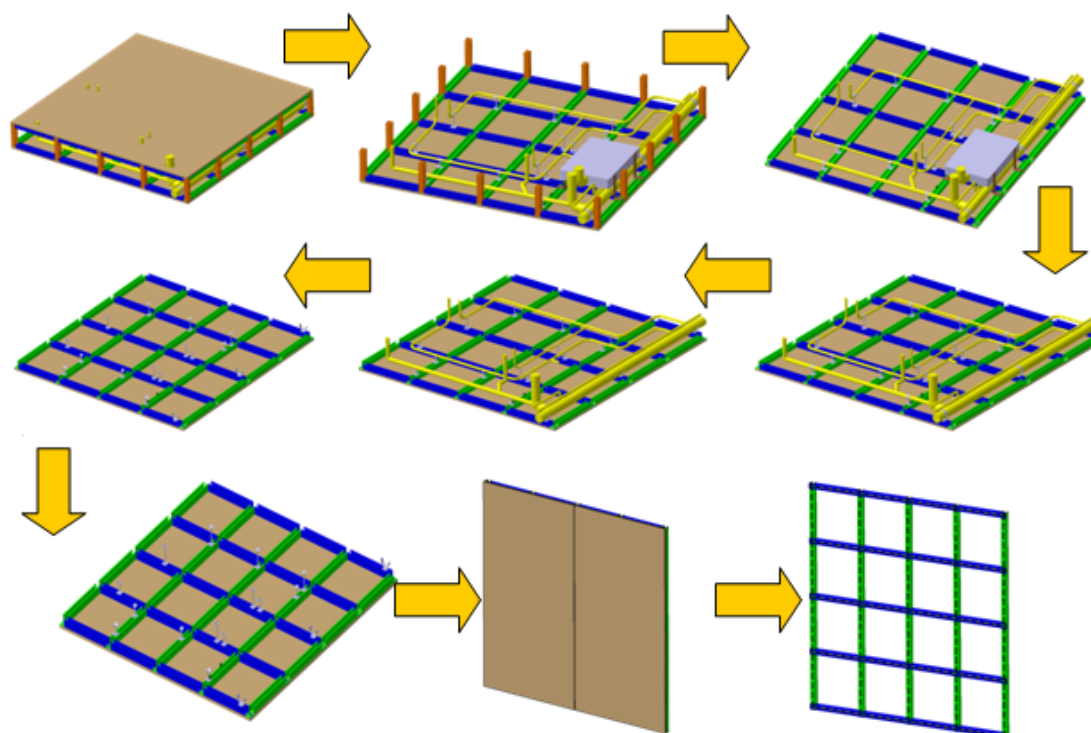


Figura 86.- Ejemplo de desmontaje de UCA húmedo

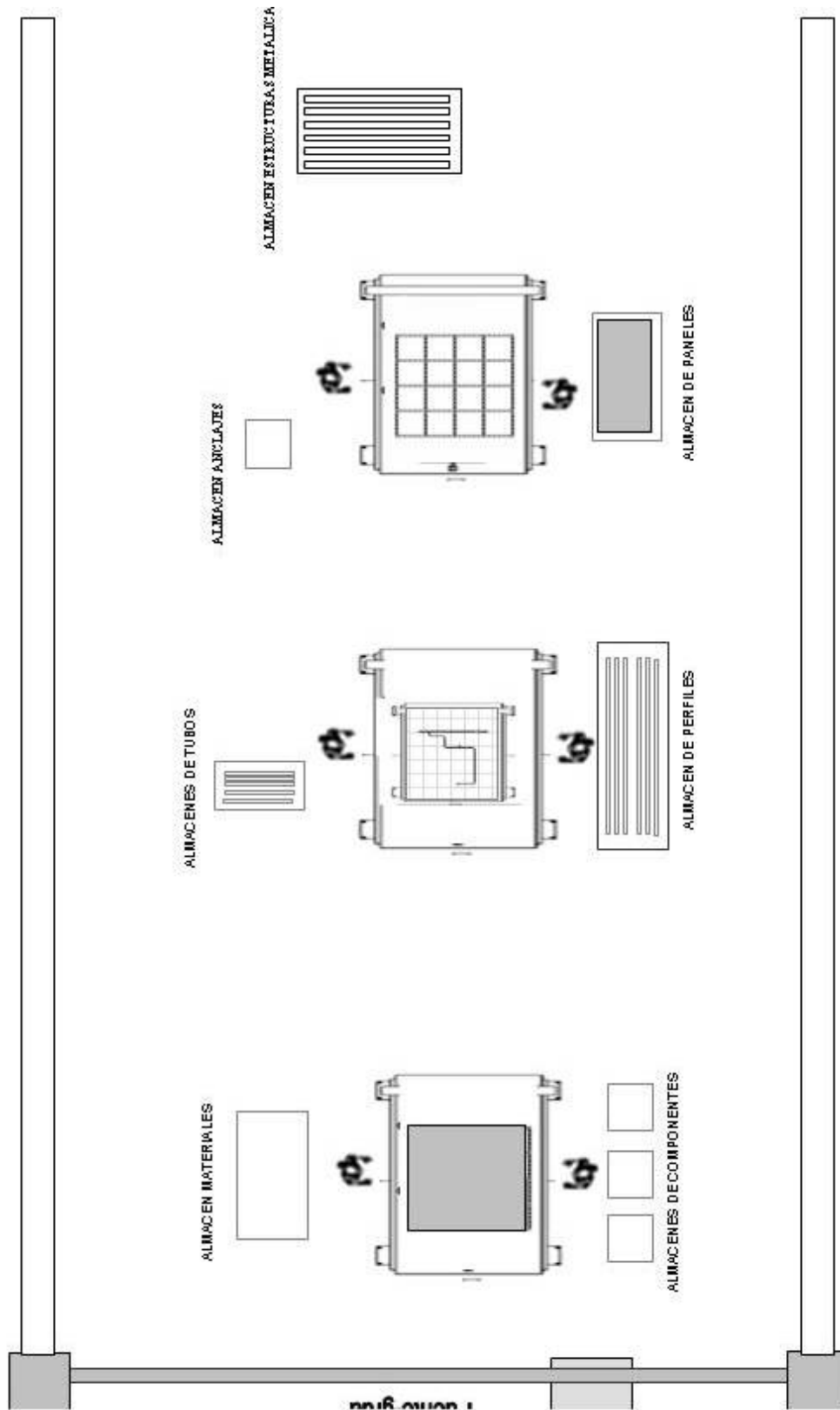


Figura 87.- Ejemplo de línea de desfabricación de UCA húmedo



La idea es creación de fábricas (o líneas específicas dentro de fábricas de componentes) que se ocupen de revisar el componente UCA, analizarlo y en función de su grado de deterioro pasar a reutilización directamente o por alguna de las etapas en que se eliminan las capas de prestaciones (ver ejemplo en *Figura 87*).

En las ilustraciones anteriores (86 y 87) se muestra a modo de ejemplo el desmontaje del módulo 3D húmedo, tanto a nivel componente como la línea de desmontaje en la fábrica, con mesas o estaciones de trabajo donde se van separando las capas.

Si el deterioro es tal que no se puede reutilizar, se separan todos los materiales del componente (acero, fibra de vidrio, acabados, instalaciones, etc...) y se tratarán por separado por gestor autorizado, bien como residuo en el peor de los casos o como subproducto que se pueda vender a un gestor autorizado (por ejemplo la chatarra del acero).

En el *Apartado 4.6* se sigue con detenimiento el proceso de desmontaje de un componente desde su desmontaje en el edificio hasta su tratamiento en la fábrica, con un análisis de costes y de tiempos de desmontaje.

3.3. EL CICLO DE VIDA CERRADO DEL EDIFICIO

Tal y como se planteó al inicio de la presente tesis, el objetivo principal de la misma es la optimización del ciclo de vida del edificio. A lo largo del presente capítulo se han ido viendo las distintas fases del proceso de ciclo de vida de un edificio con la nueva metodología y ahora se presenta la conclusión.

Es importante reseñar que frente al tradicional ciclo de vida del edificio, **abierto** (*Figura 88*), con necesidades de nuevas materias primas en cada nuevo edificio, **la presente metodología consigue cerrar el círculo**

(Figura 89) mediante el desmontaje, la reutilización y el reciclaje de los componentes del mismo.

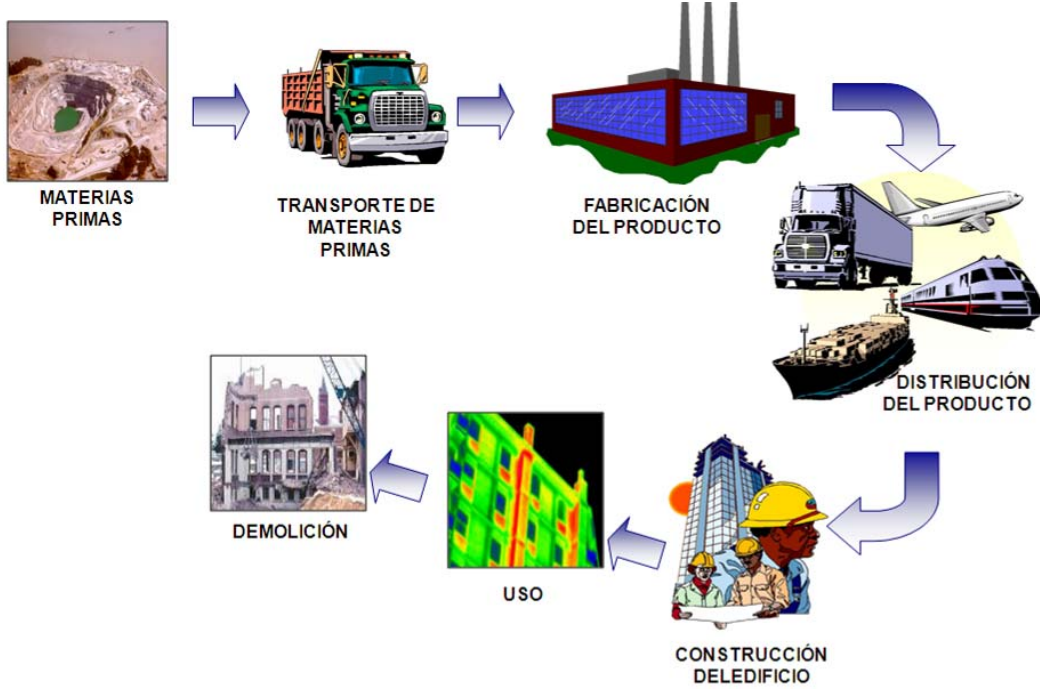


Figura 88.- Ciclo de vida ABIERTO tradicional del edificio

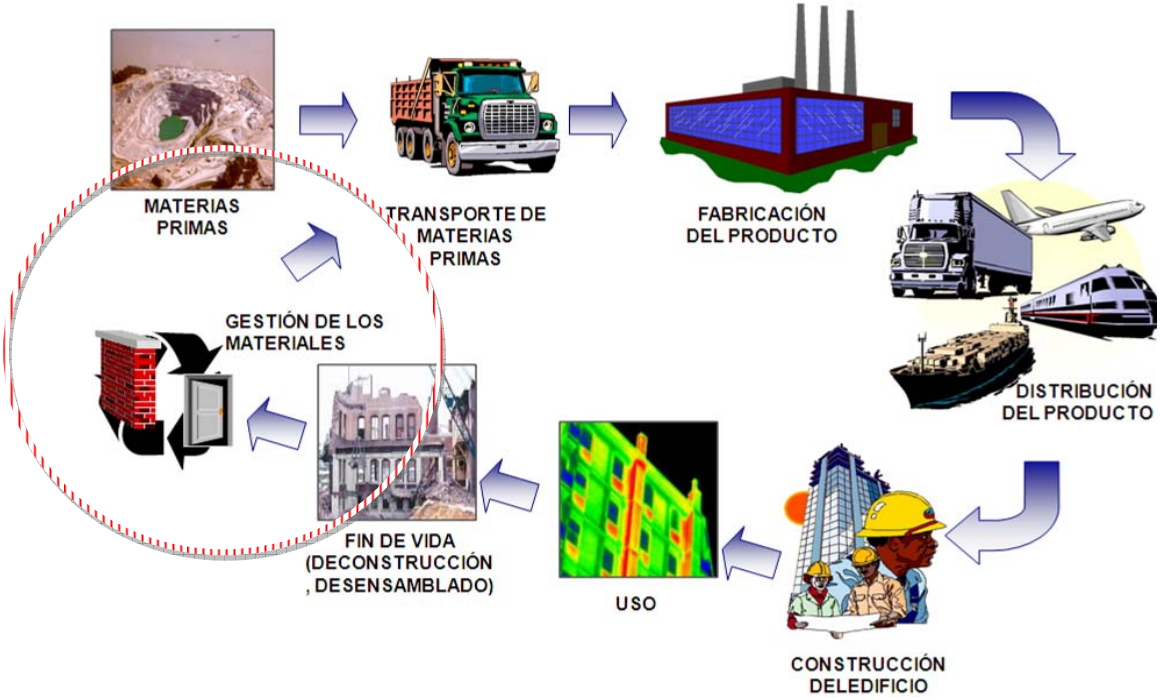


Figura 89.- Ciclo de vida CERRADO del edificio con la nueva metodología

En el ciclo de vida del edificio reflejado en las ilustraciones anteriores falta un punto importante que compone el ciclo de vida del edificio y que de hecho es responsable del éxito de cerrar el círculo: el diseño, tanto referido a la fase de proyecto del edificio, donde juega un papel fundamental en la sostenibilidad del conjunto, ya que es en esta fase donde se deben de adoptar o prever las medidas que posteriormente supondrán un mejor o peor comportamiento del componente en particular y del edificio en su conjunto, pero también un papel igualmente importante en la fase de fabricación (diseño de componentes), montaje (nuevos métodos más industrializados) y en **sustituir la demolición por el desmontaje**, tal y como se ha visto a lo largo del presente capítulo en general y se verá en el siguiente en detalle.



4. CASO DE ESTUDIO. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

4.1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo, como ya se ha comentado, se enmarca dentro de un proyecto CENIT de I+D denominado proyecto CETICA – La Ciudad Ecotecnológica. El proyecto ha sido liderado por la empresa siderúrgica ArcelorMittal y en temas relacionados con los componentes y los edificios han colaborado empresas como Acciona Infraestructuras, Acciona Instalaciones. AST Ingeniería, Modultec, Ingemat, Tectum, Ecosistema Urbano y APTA.

En el apartado anterior hemos visto la metodología desarrollada. Ésta no es una metodología cerrada que obligue a tener que edificar de una determinada manera o a utilizar en el edificio un único tipo de componentes. La **metodología es abierta** a que se puedan utilizar componentes ya existentes en el mercado (prefabricados como placas alveolares o similares) o nuevos desarrollos futuros que respeten el concepto de la metodología.

El caso de estudio que se presenta a continuación pone de manifiesto esta característica de la metodología propuesta, al tiempo que sirve de ejemplo operativo y de validación de la misma

Para el edificio se ha optado por un **tamaño medio** estándar en España en **edificación residencial**, de **planta baja más cinco alturas** [SEOPAN, -17-]. Los bajos y **algunas plantas podrían tener usos terciarios** (en planta baja zonas comerciales, en primeros pisos oficinas) para tener usos mixtos en el edificio, o bien ser completamente de viviendas.

Respecto a los **componentes**, se presentarán brevemente todos los desarrollados para a continuación centrarse en uno de ellos, en concreto el **forjado**, por ser el más significativo en cuanto a aspectos normativos de

seguridad, fuego, vibraciones, etc... al soportar los esfuerzos y cargas horizontales del edificio.

Recordar por último que no es objeto del presente trabajo la edificación subterránea, por debajo del nivel del suelo, por lo que no se aborda los trabajos de obra civil de movimiento de tierras ni de la construcción del garaje o sótanos del edificio.

4.2. COMPONENTES DISEÑADOS

En el *Apartado 3.2.2* de componentes fabricados se había abordado la metodología general y esbozado los componentes desarrollados. En este punto vamos a entrar en profundidad en el diseño y desarrollo de uno de ellos, el forjado, y previamente se van a resumir brevemente el resto de componentes, que han sido desarrollados siguiendo la misma metodología.

4.2.1. Componentes 1D

Para los componentes de una dimensión, como son las vigas (componentes estructurales horizontales) y los pilares (componentes estructurales verticales), existe en el mercado una completa gama de soluciones en acero y se entiende suficiente como para diseñar nuevas soluciones que acarreen costes de implementación altos como nuevas líneas de perfilado o moldes, dependiendo si son conformados en frío o en caliente.

Sin embargo, sí que existen posibilidades de estudio en las uniones entre estos componentes, para facilitar el montaje de los mismos. La idea es que de la fábrica salgan vigas y pilares con los elementos necesarios (tapas, placas) que permitan que en obra la unión sea muy rápida y sencilla.

Una de las máximas del sistema es que en obra no se realizarán trabajos de soldadura, por su exigencia y complicaciones por factores meteorológicos y de seguridad laboral. Estos trabajos se realizarán en la fábrica, en ambientes controlados y con las máximas garantías de seguridad y calidad.

A modo de ejemplo se muestra (*Figura 90*) un sistema comercial basado en este concepto: Quicon [SCI, 2009] El pilar tiene soldada una placa con unos agujeros rasgados y la viga con otros agujeros para permitir el paso de los tornillos y facilitar tanto la operación de unión como las posibles tolerancias que pueda haber en obra sin necesidad de soldar o realizar modificaciones al diseño inicial.

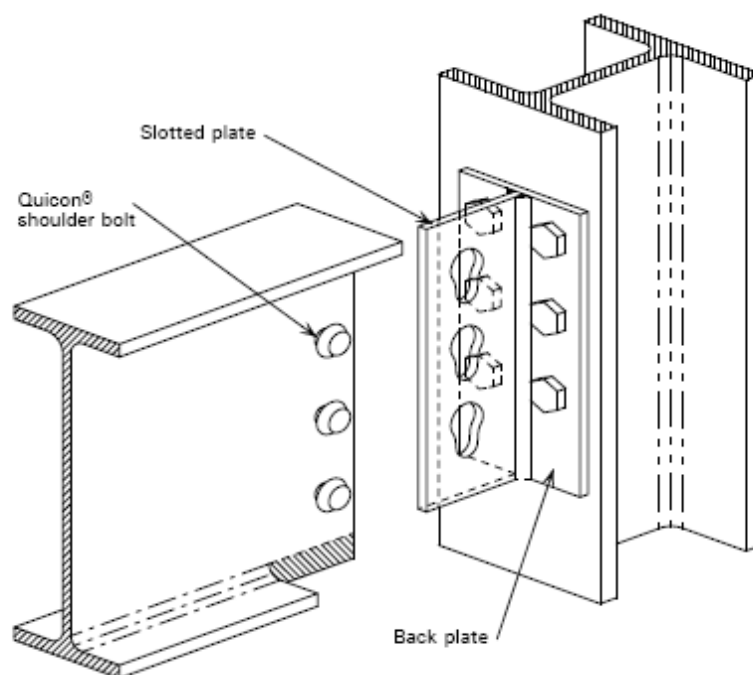


Figura 90.- Sistema Quicon de unión viga-perfil [SCI]

4.2.2. Componentes 2D

Son los componentes claves de este sistema de edificación, ya que suponen la mayor parte de los componentes del edificio. Se trata de forjados (elementos horizontales de división de pisos), paneles de fachada (elementos verticales de cerramiento) y particiones interiores (elementos verticales, de separación de viviendas y de habitaciones).

- El forjado se estudia por separado en el *Apartado 4.2.4* del presente documento

- **Fachada**

La fachada será ventilada (sistema de revestimiento de los paramentos del edificio que deja una cámara ventilada entre el revestimiento y el aislamiento), para facilitar temas de eficiencia energética y de aislamiento térmico de la envolvente del edificio. Esto supone que no van a tener cargas portantes, que será la de la estructura del edificio, sino cargas variables como el viento (*Figura 91*).

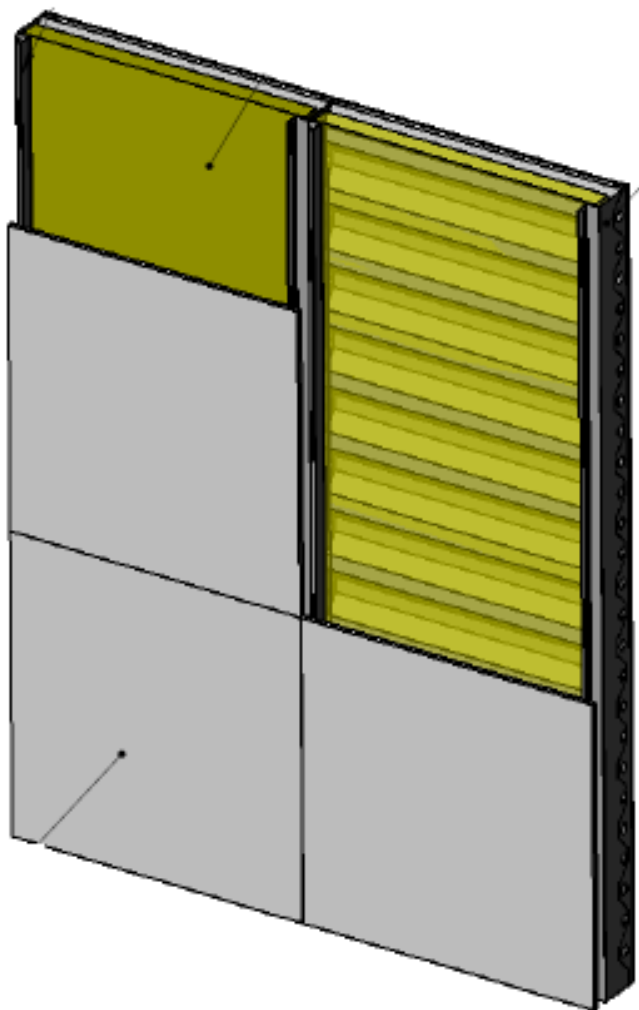


Figura 91.- Panel de fachada

Se ha buscado un diseño muy parecido al del forjado (con mucho menos espesor) para que puedan ser fabricados en una misma célula de fabricación, reduciéndose los costes de instalación y de maquinaria.

Dimensiones estándar:

- Longitud: 3 metros (m)
- Ancho: 1,2 m
- Altura: 0,230 m

Estas dimensiones no se pueden modificar en ancho por su fabricación, pero sí en largo (en función de la altura de las plantas, el mínimo en España [Ministerio de vivienda, -48-] es 2,5 pero no hay restricciones de máximo) y la altura en este caso es la de las capas de prestaciones, que se pueden modificar en función de las características que se quiera dotar a la fachada.

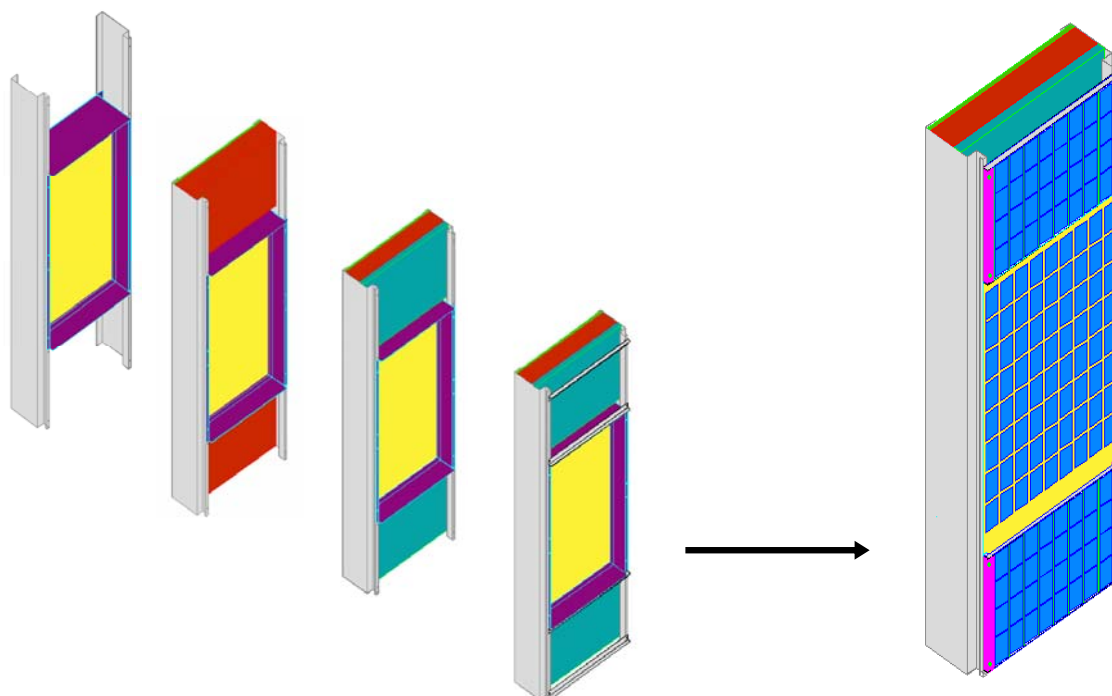


Figura 92.- Fachada fotovoltaica

Los materiales son los mismos que en el caso del forjado, 100 % acero, cubriéndose con las capas de prestaciones y los acabados, incluido el panel fotovoltaico (tanto en fachada opaca como en fachada con ventana). (*Figura 92*)

- ***Partición interior***

Se trata de una variación del componente de fachada, cuyo esquema resistente se basa en un marco perimetral en forma de C (chapa perfilada), y una chapa trapezoidal situada entre los largueros perimetrales y unida a los mismos mediante soldadura. Los largueros se encuentran multiperforados en su línea neutra a lo largo de su longitud, de tal forma que se posibilite el paso de eventuales instalaciones, así como la facilidad de unión mediante distintos dispositivos de fijación (*Figura 93*).

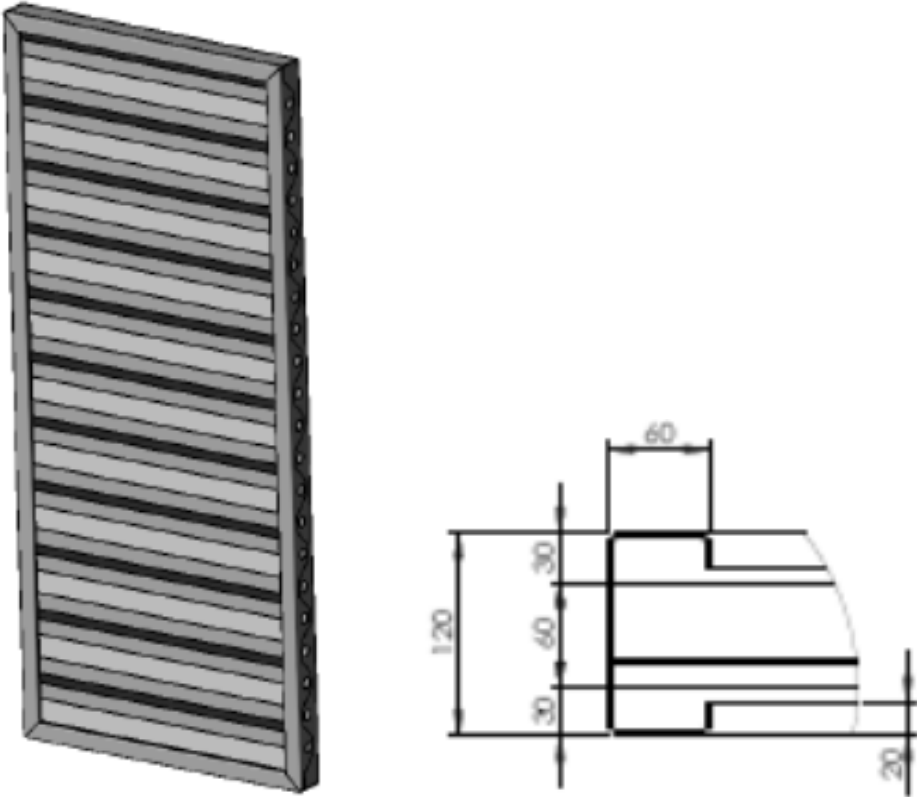


Figura 93.- Partición interior



El elemento se utiliza para la separación de viviendas y además este tabique cumple misiones de arriostamiento frente a las acciones horizontales, además de servir de separación y tabique de seguridad entre distintos ocupantes de una planta (ver *Tabla 23*).

Para la separación de habitaciones dentro de una misma vivienda no es necesario este tipo de componente, existiendo en la actualidad soluciones industrializadas acero-pladur que cumplen perfectamente con el cometido.

Descripción detallada del CIBA			
Dimensiones CIBA (mm)	2.700 x 1.200 x 120		
Peso del CIBA (kg)	60		
Componentes CIBA	Dimensiones (mm)	Material	Peso (kg)
Perfiles en C perimetrales	120x60x20 t = 2	Acero S275	20
Chapa grecada	1 mm de espesor y desarrollo	Acero S275	40
Usos previstos	Panel de división tanto entre viviendas como para zonas comunes del edificio		
Compatibilidad con sistemas estructurales	Estructura metálica Hormigón in situ Prefabricado de hormigón Sistemas modulares		

Tabla 23.- Ficha de partición interior

- **Cubierta**

Este componente resulta ser una variante del componente de forjado al que para esta aplicación concreta se debe prestar una mayor atención al aislamiento térmico puesto que configura parte de la envolvente del edificio que supone el elemento de intercambio de calor entre el edificio y el exterior (*Figuras 94 y 95*).

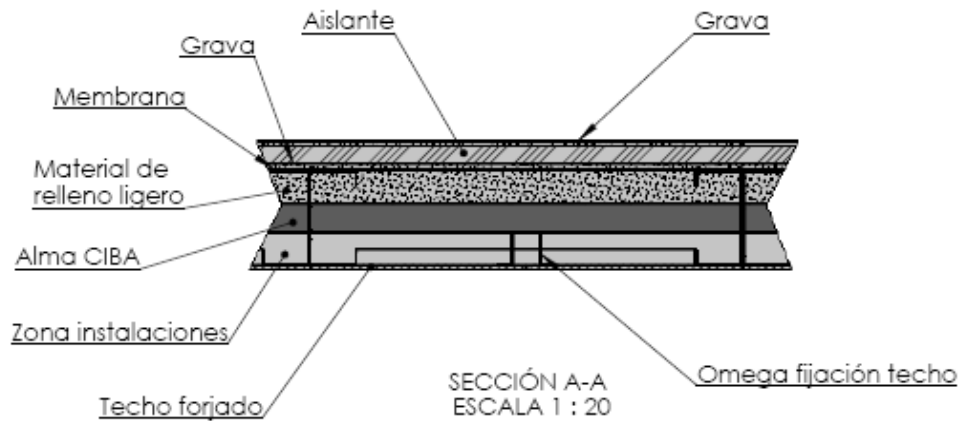


Figura 94.- Cubierta detalle

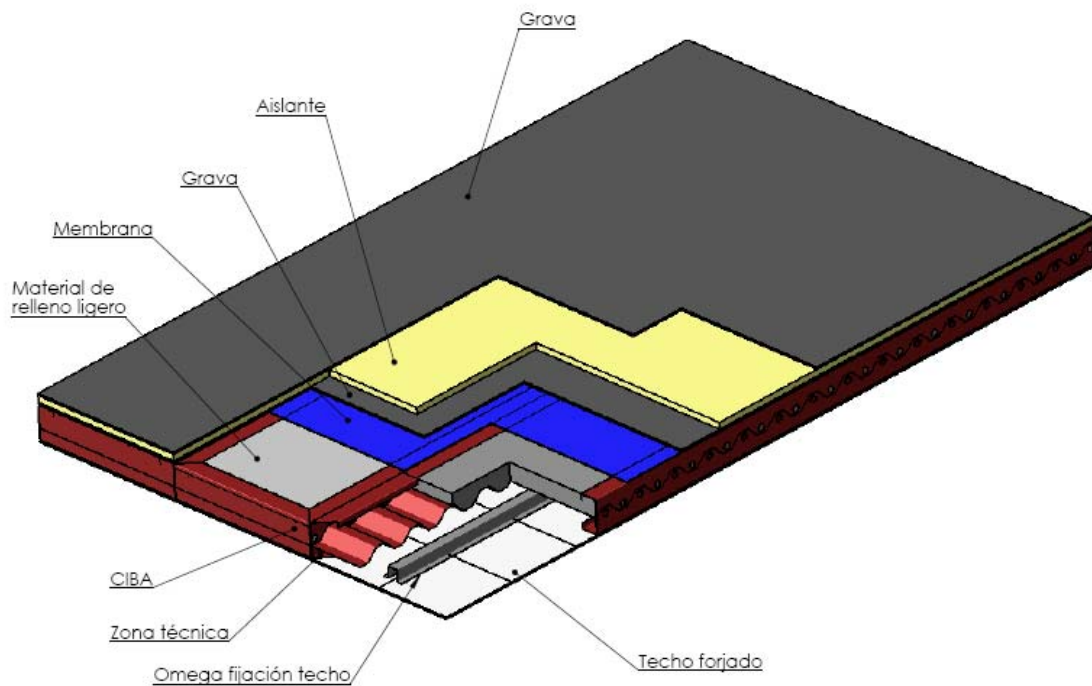


Figura 95.- Componente de cubierta

Este componente no se puede terminar entero en fábrica como el resto, sino en la obra, ya que el aislante debe de implementarse allí para garantizar la ausencia completa de fisuras y la completa impermeabilización del tejado del edificio. La última capa puede ser

metálica pero también tradicional como teja o pizarra. La cubierta es transitable y permite la colocación de paneles fotovoltaicos, solares térmicos o cubiertas vegetales en función de las necesidades y deseos del arquitecto o promotor.

4.2.3. Componentes 3D

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior, los elementos 3D corresponden a excepciones, ya que por motivos de logística y mejor aprovechamiento del espacio en fábrica y transporte, se ha optado por componentes 2D. Sin embargo se utilizarán componentes tridimensionales en el núcleo estructural del edificio y en los baños y cocinas, por los motivos que se especifican a continuación.

- ***Módulo de comunicaciones***

Se trata de disponer de un componente industrializado basado en Acero que posibilite la formación de núcleos de comunicaciones dentro del edificio construido a base de elementos industrializados. Desde el punto de vista estructural dichos núcleos realizarán funciones de núcleo de arriostamiento del conjunto del edificio y, como se verá en el montaje del edificio, es lo primero que se coloca en su construcción.

El componente industrializado alojará también los siguientes elementos del edificio.

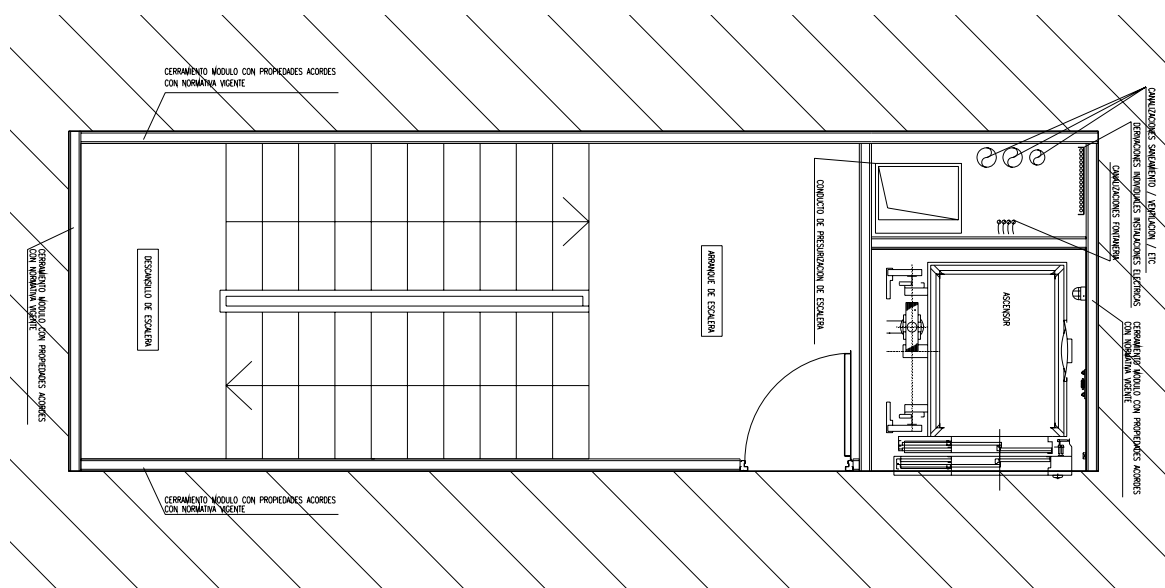
- Escaleras de comunicación vertical.
- Ascensor/es (incluida caja, motor y mecanismos).
- Patinillos para paso vertical de instalaciones de todo tipo.
- En planta baja el portal de la vivienda



Elementos que lo componen (Figuras 96 y 97)

- Forjado de base. Compuesto por cerco perimetral de perfiles de acero laminado en caliente, y forjado industrializado desarrollado dentro de esta misma actividad, en principio en cualquiera de sus variantes.
- Bastidor hueco de techo, a base de perfiles de acero laminado.
- Pilares, de tubo estructural o acero laminado.
- Elementos de arriostramiento. En tubo estructural.
- Elementos auxiliares para conexión y ensamblaje del propio CIBA. Estos incluirán placas de anclaje, rigidizadores, etc.

Todos estos elementos deberán ser dimensionados para cada caso dependiendo de la altura del edificio, sin perjuicio de que se pueda en un momento dado realizar un estudio de estandarización de este elemento atendiendo a factores de altura de edificio, capacidad de escaleras, número de ascensores, etc...



ALZADO LATERAL TIPO DE MODULO ESTRUCTURAL COMUNICACIONES

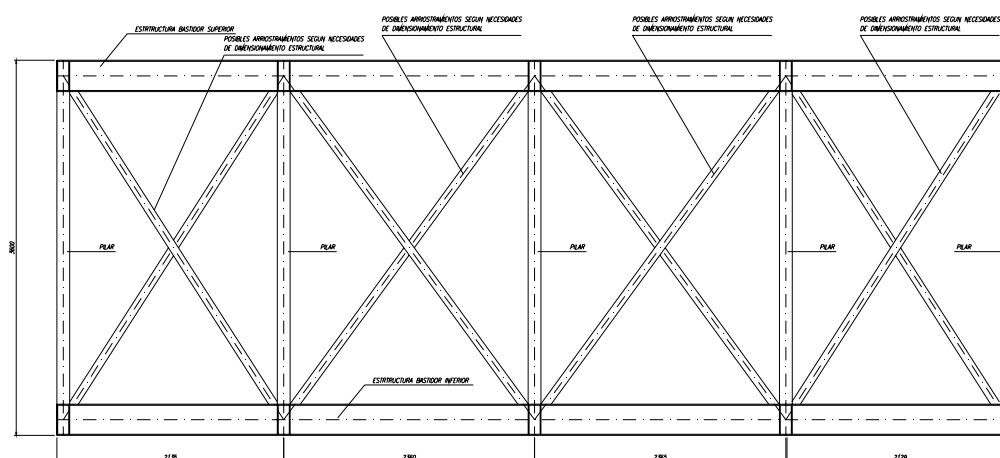


Figura 96.- Componente 3D módulo de comunicaciones

Materiales. El material principal para la fabricación de estos elementos es el acero, cumpliendo por tanto el principal objetivo del proyecto. En principio la calidad será S-275, pero el diseño es perfectamente compatible con los posibles desarrollos de nuevos aceros de características mejoradas.

Peso. El peso del elemento CIBA dependerá en gran medida de su dimensionamiento y su posición en altura dentro del conjunto del edificio. De todas formas, la utilización de los nuevos desarrollos de forjados permitirá una reducción notable del peso de todos los elementos en general, redundando en una economía de materiales.

Otros datos de interés. Como dato adicional, se puede indicar que con un mismo diseño de elementos estructurales, tanto horizontales como verticales, se obtienen varias alternativas de distribución de módulo final, cara a facilitar al diseñador del edificio varias disposiciones posibles de elementos de comunicación utilizando un único despiece de estos elementos estructurales.

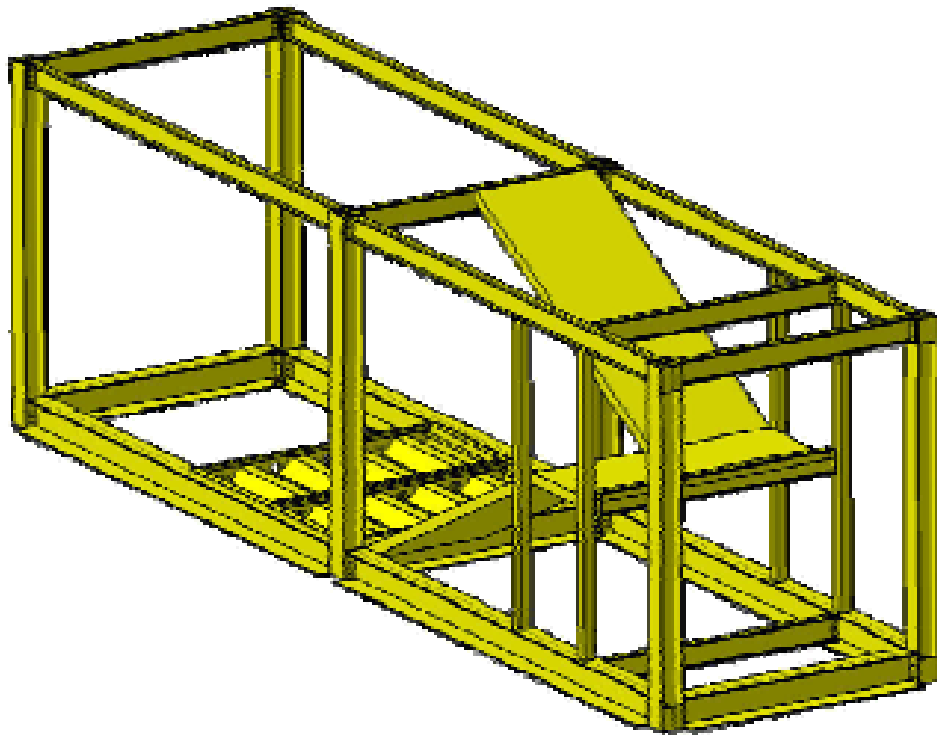


Figura 97.- Vista 3D del módulo de comunicaciones

- **Módulo húmedo**

Se trata de disponer de un componente industrializado basado en Acero que posibilite la formación de núcleos húmedos dentro del edificio.

Alojará los siguientes elementos:

- Mobiliario principal de cocinas
- Elementos principales de baños y aseos.
- Instalaciones completas de los núcleos anteriores.
- Patinillos para pasos de otras instalaciones del edificio.

Desde el punto de vista estructural dichos núcleos no tienen función de soporte con el resto del edificio. Aunque deben ser autoportantes,

precisan de la estructura principal del edificio para contar con el adecuado apoyo y conexiones.

La ventaja de disponer de este módulo en 3D es de ahorro de tiempo en obra con las conexiones (iría todo preinstalado para tener sólo que unir las acometidas) eléctricas y de agua y de evitar en la misma ciertos oficios (fontanería, acabados, electrodomésticos) que se instalan en fábrica en un ambiente más adecuado.

Elementos que lo componen (Figuras 98 y 99). Este módulo estará compuesto por los siguientes elementos:

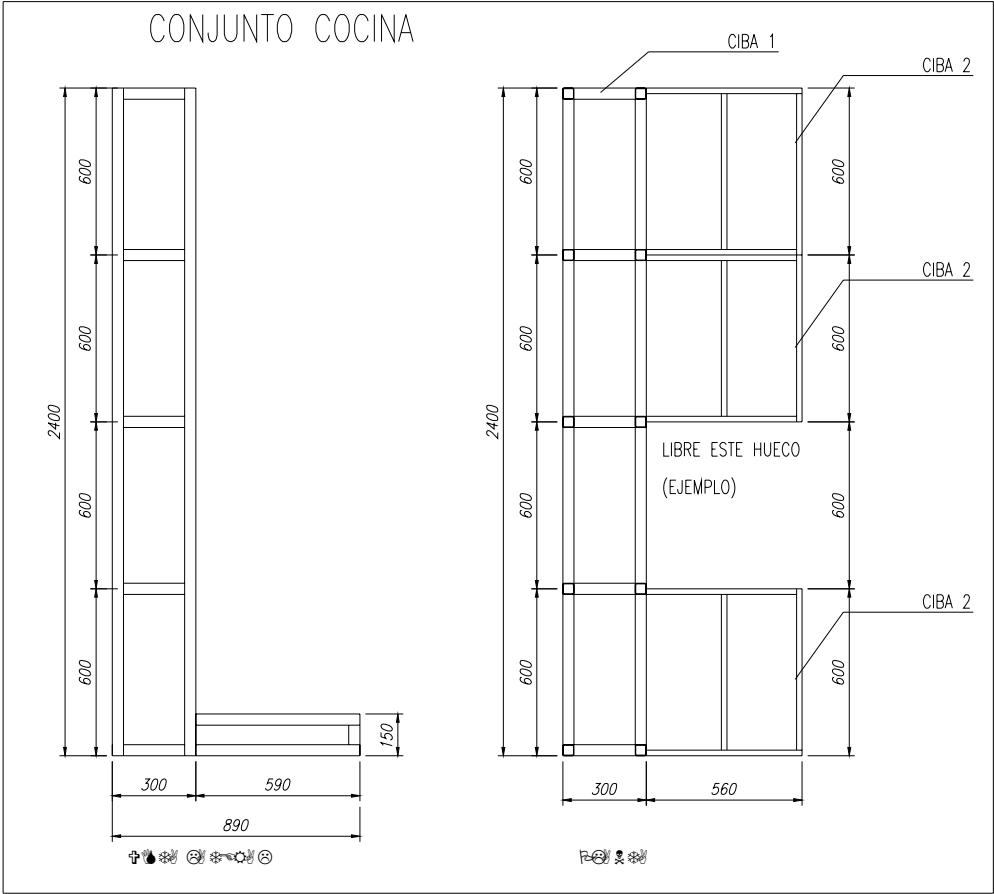


Figura 98.- Componente 3D húmedo. Vista plano

- o Estructura. Compuesto por bastidor de elementos estructurales ligeros, bien

- Elementos auxiliares para conexión y ensamblaje de elementos e instalaciones.

Materiales. El material principal para la fabricación de estos elementos es el acero, cumpliendo por tanto el principal objetivo del proyecto, y la denominación del elemento, como componente industrializado basado en acero. En principio el tipo será S-275, pero dada la no función estructural de estos elementos, puede ser posible el trabajo con otros límites elásticos inferiores, S 235.

Peso. Dado que está compuesto por estructura ligera, resulta bastante competitivo en cuanto a peso, sobre todo comparado con las soluciones tradicionales.

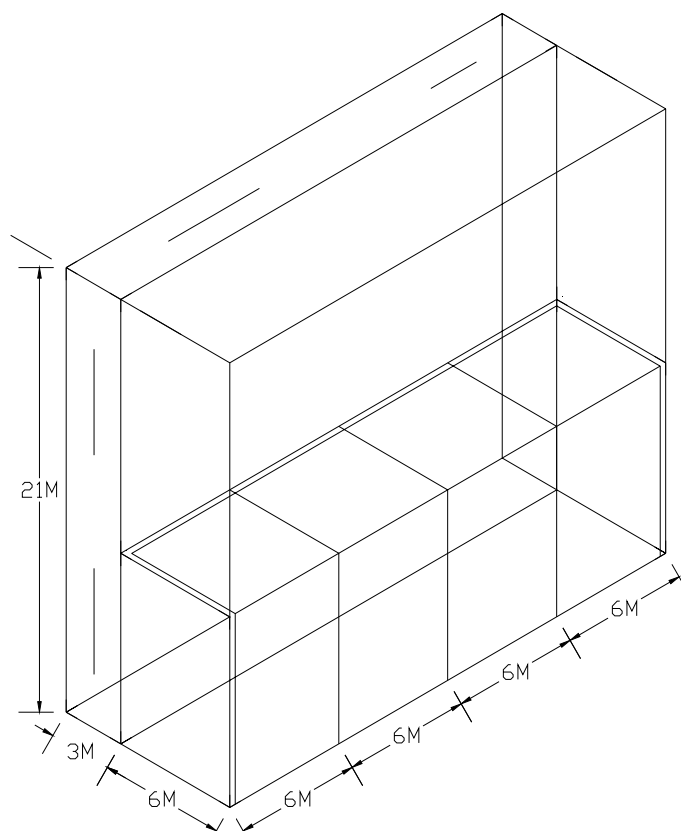


Figura 99.- Componente 3D húmedo – vista tridimensional

Otros datos de interés. Como dato adicional, se puede indicar que con un mismo diseño de estos elementos, se obtienen varias alternativas de distribución del espacio, de cara a facilitar al diseñador del edificio varias disposiciones posibles de elementos de cocinas y baños y no coartar la libertad al arquitecto en sus diseños, que supone un habitual freno al desarrollo de la edificación industrializada.

4.2.4. Desarrollo detallado: Componente 2D Forjado

Recordamos las siete etapas de la metodología de diseño propuesta y descritas en el *Apartado 3.2.2*:

- Definición de alcance y aplicación
- Planteamiento de los requisitos de los Componentes
- Prediseño
- Primer Análisis – Diseño inicial
- Análisis prestación estructural
- Análisis del resto de prestaciones
- Diseño Final / Validación

A continuación se va describir cómo se ha aplicado dicha metodología al desarrollo de un diseño concreto: el forjado ligero. Para ello se deberá tener en cuenta que la primera de ellas, la de “Definición de alcance y aplicación” es común a todos los desarrollos llevados a cabo y vistos en el punto anterior.

No obstante sí debe tenerse en cuenta que la metodología contempla la necesidad de hacer esa primera etapa de definición del alcance con el fin de acotar la aplicación final del componente.

4.2.4.1. **Planteamiento de los requisitos**

Para este ejemplo de desarrollo de un sistema de forjado ligero, se deben tomar los requisitos ya mencionados en el *Apartado 3.2.2*, requisitos válidos para cualquier componente y también el edificio en el que se deberán ubicar los forjados, que se describirá en profundidad en el *Apartado 4.4*.

Este edificio consta de cinco alturas con una distribución en planta basada en núcleos de comunicaciones junto con la estructura de vigas y pilares en donde apoyan los forjados. Es un edificio destinado a edificación residencial combinado con un uso comercial y de servicios en las plantas inferiores y que el resto de elementos que componen el edificio, fachadas, cubierta y particiones interiores están en línea con los planteamientos generales ya comentados.

El punto de partida para el diseño serán por lo tanto los requisitos de aplicación impuestos al forjado en el marco del edificio definido. A continuación se revisará la normativa de aplicación, principalmente el Código Técnico de la Edificación [*Ministerio de Vivienda. -48-*] así como los aspectos funcionales impuestos. Estas exigencias se deben establecer en esta fase del diseño puesto que de acuerdo a estos se definirán los objetivos a satisfacer por el forjado.

Para ello se procederá a hacer un análisis de la normativa y resto de exigencias, se definirán las magnitudes que cuantifican cada requisito y se marcará el valor objetivo para cada una de ellas.

En la *Tabla 24* se muestran los objetivos que se han definido para este forjado ligero de acero, en el que se han primado fundamentalmente los **requisitos** normativos de obligado cumplimiento, mientras que los valores dados para los requisitos no cuantificados por la norma y para los requisitos funcionales se deberán tomar como una declaración de intenciones más que como una exigencia restrictiva

FICHA DE REQUISITOS PARA <i>FORJADO LIGERO DE ACERO</i>				
Requisito		Descripción		
Aspectos generales de Competitividad			OBJETIVO	
	Coste total de ejecución por m ² (puesto en obra)		$< 140\text{€}/\text{m}^2$ (CIBA ≈ 100) (UCA ≈ 40)	
	Dimensiones		Luz 6 – 12m Canto $< 350\text{mm}$	
	Peso (kg)		$< 250\text{ kg}/\text{m}^2$ (CIBA ≈ 200) (UCA ≈ 50)	
	Compatibilidad con sistemas estructurales		Como mínimo con prefabricados e industrializados	
NORMATIVO (CUANTIFICADOS)	CIBA		OBJETIVO	
	Comportamiento Estructural	ELU	Resistencia estructural	$E_d \leq R_d$
			Estabilidad	Análisis de 1er orden
		ELS	Deformación (Flecha)	$L/300 < 20\text{ mm}$
			Vibraciones	Frecuencia natural = 16.4 Hz
	Tratamientos de protección anticorrosiva		Que no suponga un incremento en coste	
	UCAS		OBJETIVO	
	Comportamiento a Fuego	Tiempo de Resistencia, Aislamiento e integridad según curva normalizada	$REI > 60$	
	Comportamiento acústico	Aislamiento y a ruido aéreo	$D_{nT,A}(\text{dBA}) > 50$ ($R_A \sim 53 - 55$)	

		Aislamiento acústico a ruido de impactos	$L_{n,w}(dB) < 65$ ($L_{n,w} \sim 63$)
	Aislamiento térmico	Transmitancia térmica máxima simple y máxima media	$U < 0,48 \text{ W / m}^2\text{K}$
		Aparición de condensaciones	No deben darse en ningún caso
NORMATIVO (NO CUANTIFICADOS)	Sostenibilidad medioambiental	% en peso de contenido reciclado	Acero 40% Otros 20%
		% en peso susceptible de ser reciclado	Acero 100% Otros 50%
		% susceptible de ser reutilizado	50% de las placas de forjado
	Prevención de riesgos laborales	Disminución de riesgos en taller	> 50% respecto a obra
		Disminución de riesgos en obra	> 50% respecto a obra
	Riesgos para los usuarios	Identificación de posibles riesgos	No debe suponer riesgos para los usuarios
FUNCIONAL	Fabricación, transporte y montaje	Transporte	< 10% del precio final
		Tolerancias para montaje	< 5mm
		Tolerancias para fabricación	< 2mm
		Rendimientos de montaje	500 m ² montados/día
		Tipología de unión (taller)	Sin determinar
		Tipología de unión (obra)	Reversibles

	Instalaciones susceptibles de ser integradas	Electricidad
		Calefacción / Suelo térmico
		Climatización / Aire acondicionado
		Señales / Datos

Tabla 24.- Requisitos objetivo para el Forjado ligero de acero

4.2.4.2. Prediseño

Como prediseño se ha adoptado para el caso del forjado una modulación dimensional de 6m de largo y 1,2m de ancho (ver *Figura 100*), dejando el canto del forjado con un valor variable en función del sistema, siendo así también coherentes con la norma UNE 41.604 ya comentada previamente.

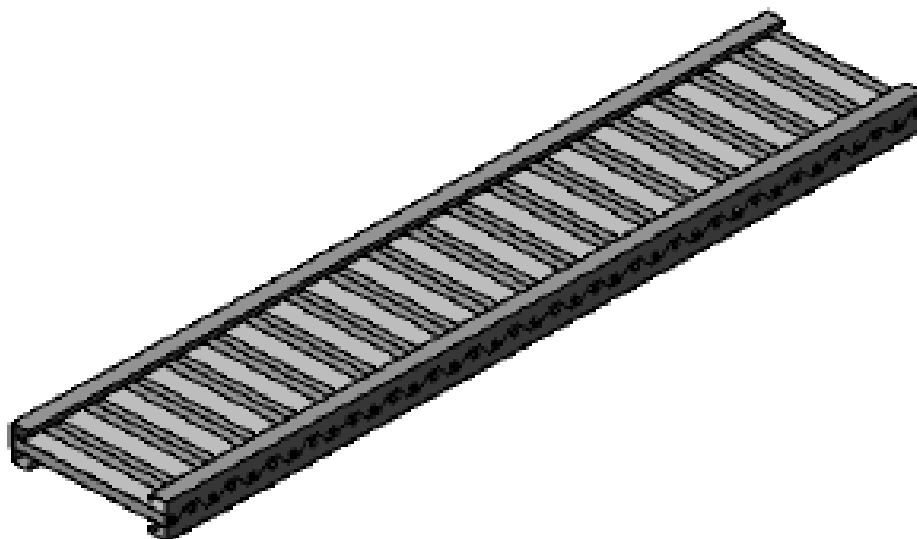


Figura 100.- Representación del CIBA forjado

Se trata de un componente de forjado modulado a un largo de 60M (M = 100 mm, módulo internacional [UNE, 1997]) y un ancho de 12M, cuyo esquema resistente se basa en dos largueros perimetrales en forma de C (chapa perfilada) con un canto (ver *Figura 101*) de 260 mm (inferior a 3M) y una chapa trapezoidal situada entre largueros y unida a los mismos mediante soldadura. Los largueros se encuentran multiperforados en su línea neutra a

lo largo de sus 60M de longitud, de tal forma que se posibilite el paso de eventuales instalaciones, así como la facilidad de unión mediante distintos dispositivos de fijación.

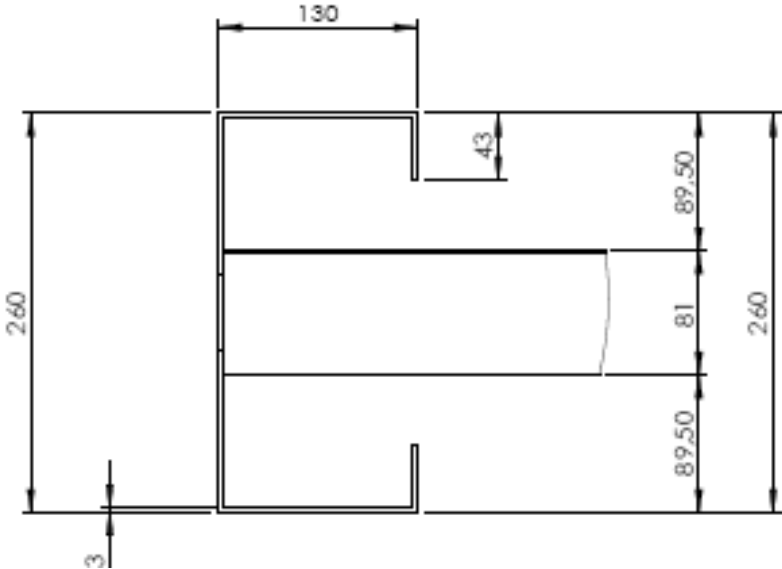


Figura 101.- Detalle del perfil en C del forjado

La *Tabla 25* recoge las principales características del CIBA de acero planteado.

Descripción del CIBA de forjado ligero de acero			
Dimensiones CIBA (mm)	6.000 x 1.200 x 260		
Peso del CIBA (kg)	252		
Componentes CIBA	Dimensiones (mm)	Material	Peso (kg)
2 perfiles en C	260x130x43 t = 3	Acero S275	172
Chapa grecada	1 mm de espesor	Acero S275	80
Usos previstos	Forjados para edificación en altura		
Compatibilidad con sistemas estructurales	Estructura metálica Hormigón in situ Prefabricado de hormigón Sistemas modulares		

Tabla 25.- Cuadro resumen con las características del CIBA forjado

Asimismo se han contemplado en este prediseño los principales sistemas de unión (ver *Figura 102*), tanto aquellos necesarios para configurar el componente como los requeridos para unirlos con otros elementos del edificio. Se trata de diseños preliminares de las diferentes posibilidades que a la hora de hacer el análisis estructural deberán ser estudiados

De acuerdo a los datos disponibles en esta etapa preliminar del diseño, se pueden identificar los “Aspectos generales de competitividad” que caracterizan este componente y que de acuerdo a los objetivos planteados en la ficha de requisitos son:

- Competitividad económica, tomando como precio de referencia un valor entre 45 y 60 €/m² para soluciones similares con losas alveolares, de entre 280 y 350 kg/m².

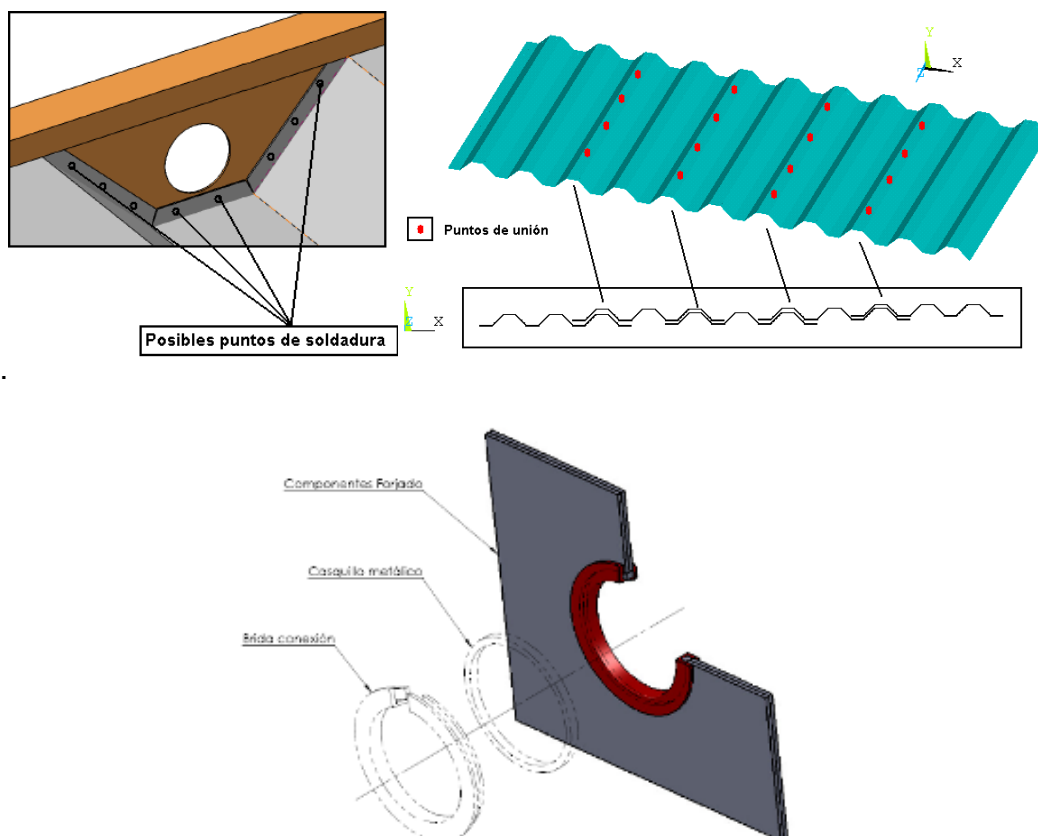


Figura 102- Representación de las uniones del forjado



- Ligereza de las soluciones planteadas y reducción del consumo en peso del material estructural. Se obtiene un peso aproximado de 250kg por pieza.
- Compatibilidad dimensional con otros componentes gracias a las modulaciones empleadas y que se ajustan a otros sistemas de construcción ya existentes.
- Compatibilidad con otros sistemas estructurales.

4.2.4.3. *Primer Análisis de Diseño inicial*

En esta fase se va a evaluar en mayor detalle el cumplimiento en cada uno de los requisitos impuestos al forjado. A continuación se muestra en la *Tabla 26* esta revisión para el caso del forjado.

PARÁMETROS PARA LA EVALUACIÓN	OBJETIVO ESTRUCTURA EDIFICIO COMPLETO	RESULTADO CIBA PROPUESTO
Coste unitario de la estructura (€/m ²), incluyendo forjados, vigas y pilares	110 – 120 (Losa alveolar prefabricada de hormigón: 45 – 60)	Solo Forjado 33,25
Coste de protección contra el fuego* (€/m ²). Recubrimiento mínimo para obtener R -90	Incluido en el coste de la estructura	Utilización de placas de silicatos (en estudio)
Coste de protección anticorrosiva (€/m ²)	Incluido en el coste de la estructura	Incluido en el coste de la estructura
Plazo de ejecución (meses): El plazo contempla únicamente trabajos en obra no trabajos de taller ni de prefabricación	2 Se buscará una optimización del trabajo en taller	Satisfactorio Ver apartado 4.3 y 4.4
Transporte a obra (€/m ²)	< 30 % del coste de la estructura ≈ 35	4,25
Manipulación en obra	Estandarizar los procesos de montaje para poder externalizar Aligerar los elementos para una manipulación más sencilla y económica	Sistema ligero, piezas de 250kg (Se estima que los UCAs pesen en torno a 615kg)

PARÁMETROS PARA LA EVALUACIÓN	OBJETIVO ESTRUCTURA EDIFICIO COMPLETO	RESULTADO CIBA PROPUESTO
Tolerancias de fabricación y montaje	Rango en mm	Montaje <5mm Fabricación <2mm
<u>Impacto medioambiental:</u> Contenido en productos reciclados	> 50 %	Acero 40%
Porcentaje en peso reciclable	> 90 %	Acero 100%
Porcentaje en peso reutilizable	> 50 %	50% de las placas de forjado
Cantidad de materiales empleados en la estructura por m ² construido (kg) Incluyendo forjados	200 (Losa alveolar prefabricada de hormigón: >250)	Solo forjado 35 Kg/m ²
Riesgos para la salud relacionados con la siniestralidad laboral	Buscar ambientes más controlados y piezas más ligeras	Producto fabricado en taller

Tabla 26.- Primer análisis de objetivos para el diseño inicial del forjado

Asimismo en esta fase se identifican los principales aspectos que deben primar y dirigir el proceso de definición del componente de forjado que en línea con lo recogido en la tabla de requisitos considera en este orden de prioridad: resistencia estructural, resistencia a fuego, aislamiento acústico y aislamiento térmico.

Finalmente en esta fase se debe empezar a pensar en el comportamiento de la UCA basado en este CIBA de forjado, la forma de montar, capas que lo componen etc.

Por lo tanto para pasar a la siguiente fase se deberá tener un grado de definición del CIBA lo suficientemente detallado para poder proceder a su análisis estructural, aspecto que para el caso del forjado mencionado ya quedó cubierto en la conclusión de la fase anterior, y por otro lado se deberán haber esbozado las primeras propuestas de UCAs tal y como se ha reflejado en el apartado anterior.

4.2.4.4. Análisis prestación estructural -> CIBAs y uniones

En este primer análisis de prestaciones se va a proceder a revisar el grado de cumplimiento del requisito estructural para el forjado ligero de acero, puesto que tal y como se ha indicado anteriormente el requisito estructural es el requisito principal de este elemento.

El estudio estructural del forjado comprende principalmente dos fases:

- Una primera de simulación del comportamiento estructural utilizando el **Método de los elementos Finitos (MEF)**. (Figura 103)

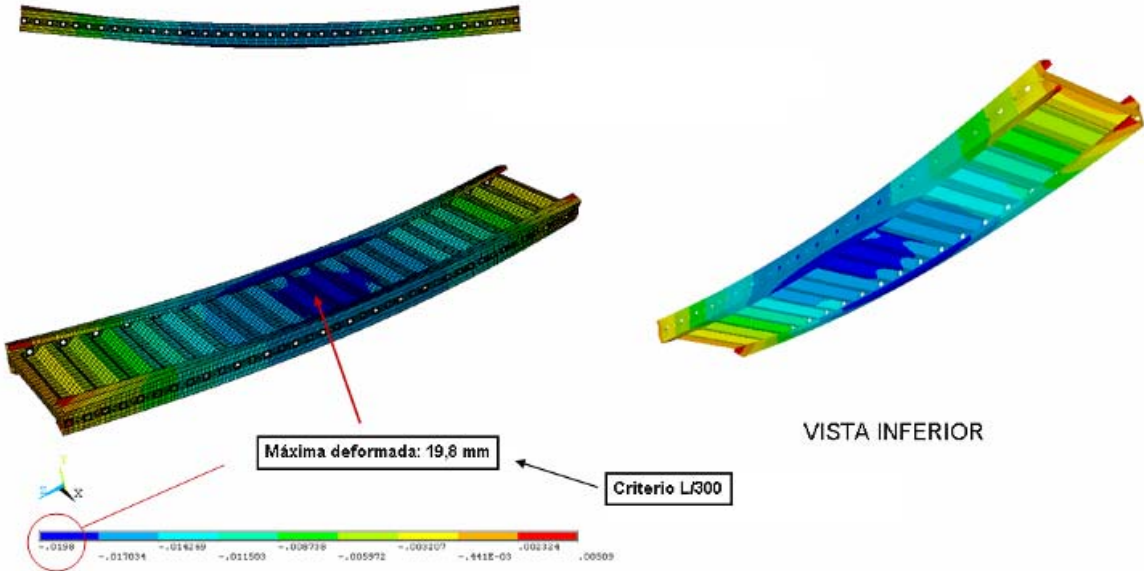


Figura 103- Análisis de elementos finitos al forjado

Conclusiones:

- Resistencia: En ningún punto de la estructura se supera el valor máximo de tensión de 275 MPa.
- Desplazamientos (flechas y giros): Los máximos valores registrados son inferiores a 20 mm (criterio L/300); se considera que tales desplazamientos y las correspondientes

deformaciones son inicialmente compatibles con la función estructural del forjado.

- Pandeo global: El primer modo de pandeo local (crestas de la chapa trapecial), se registra con un autovalor o multiplicador de la carga próximo a 3,8, lo que significa que a menos que la carga externa venga mayorada por dicho factor, no se originará tal modo de pandeo. Se ha considerado que un autovalor o multiplicador de la carga superior a 3, ofrece las suficientes garantías estructurales.
- Pandeo local: No se registran fallos por pandeo del componente como pieza considerada en su conjunto, en ninguno de los 10 autovalores obtenidos que se han revisado.

Por tanto se concluye del estudio que la seguridad de CIBA de forjado de acero queda garantizada en lo relativo a los casos de carga supuestos debiendo ceñirse a los mismos en la utilización y en las calidades de los materiales considerados, quedando por tanto el grado de cumplimiento de los requisitos [*Ministerio de Vivienda, -48-*] de la siguiente forma:

- *Estado Límite Último (ELU)*: el CIBA presenta una seguridad suficiente, frente a los estados límites de agotamiento resistente estudiados
 - *Estado Límite de Servicio (ELS)*: El componente presenta una seguridad suficiente, frente a los estados límites de servicio que se han revisado y que son susceptibles de condicionar la durabilidad, funcionalidad o aspecto del forjado.
- Una segunda fase de verificación y validación de los modelos planteados en la fase anterior a través de la **validación experimental** de CIBAs a escala real.

Las conclusiones extraídas de este estudio proporcionarán un diseño de CIBA al que se incorporarán otros materiales para configurar la primera propuesta de UCA de forjado de acero ligero.

Se ha realizado una batería de ensayos al forjado desde el punto de vista de comprobación estructural. Los ensayos se realizarán según la metodología utilizada habitualmente en las pruebas de carga en construcción, comprobando la flecha o deformación del forjado.

La forma de aplicar la carga, para que fuera una carga continua y no puntual, se ha resuelto mediante el montaje de unas balsas de agua (*Figura 104*) en la cara superior del forjado, que se han ido llenando de agua progresivamente con un sistema de bombeo y un caudalímetro para controlar en todo momento el volumen (y la carga por lo tanto). Para comprobar la deformación sufrida en distintos puntos del forjado se han utilizado relojes comparadores tanto en los procesos de carga como de descarga. Para tener en altura los forjados y permitir la deformación de los mismos estos se apoyan mediante unos caballetes.



Figura 104- Ensayo de forjado. Balsa, forjado y caballetes.



Estos ensayos fueron realizados por ArcelorMittal en las instalaciones de Modultec con la ayuda de personal y equipamiento del ITMA y AST.

Las conclusiones de la campaña experimental llevada a cabo han concluido que los componentes ensayados pueden desarrollar su capacidad resistente máxima en plasticidad, corroborando las simulaciones realizadas, descritas en el apartado anterior.

4.2.4.5. Primera propuesta de UCA de forjado ligero de acero

Una vez verificado el comportamiento del forjado y tomando en cuenta las conclusiones de dicho estudio se plantea el cumplimiento del resto de requisitos para lo que se debe hacer la primera propuesta de UCA de acuerdo a los requisitos planteados previamente.

El UCA que se ha propuesto en primer lugar para cubrir los aspectos de resistencia a fuego, acústicos y térmicos, y se ha planteado un primer diseño de UCA de forjado definiendo las diferentes capas de materiales aislantes a emplear en función de lo existente en el mercado y proponiendo un material concreto en cada caso, tal y como se recoge en la *Tabla 27*.

Ubicación	Sistema	Espesor (mm)	Material propuesto
En la cara superior del CIBA	Sistema de suelo seco industrializado	20 – 30	Solado seco basado en Placa de Yeso Laminado
	Material de aislamiento a ruido de impactos	10 – 20	Lana de roca anti-impactos de 150kg/m ³ de densidad
	Elemento estructural de soporte del suelo seco	~ 20	Panel OSB de madera absorbido dentro de la C del CIBA

Ubicación	Sistema	Espesor (mm)	Material propuesto
En el interior del CIBA	Material absorbente para ruido aéreo	40 – 50	Lana de roca de 40kg/m ³
En la cara inferior del CIBA	Material de protección a fuego del forjado	20 – 30	Mortero aligerado de 450kg/m ³ con malla metálica para mayor agarre
	Sistema de desconexión del techo para mejora acústica	25 – 40	Sistema de perfiles “resilientes” más placa de yeso laminado

Tabla 27.- Descripción las capas que componen la primera propuesta de UCA

En la *Figura 105* siguiente se representa de forma gráfica la interacción y disposición de las diferentes capas combinadas con el CIBA.

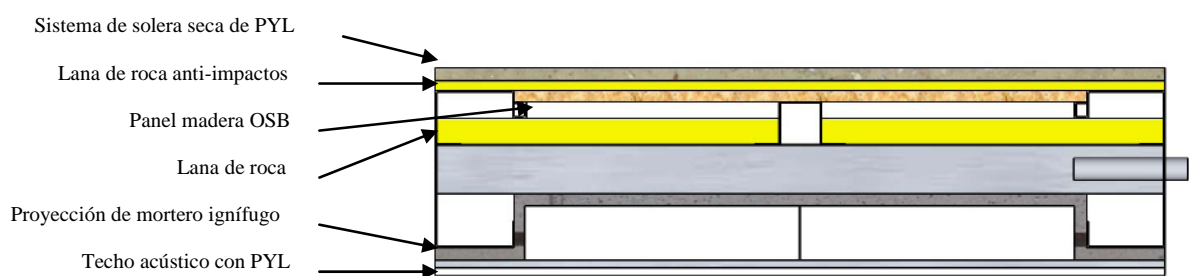


Figura 105.- Sección del UCA de forjado propuesto

En esta definición del UCA se ha identificado el canto del forjado como uno de los aspectos que pueden llegar a ser críticos en la competitividad del sistema y es por ello que se ha planteado un diseño de componente analizando las posibilidades de espesor de los materiales. Para el caso específico del elemento estructural de soporte del suelo de la capa superior se ha planteado una modificación en el perfil lateral del CIBA que permita integrar este elemento sin aumentar el canto del forjado, para lo que se propone hacer un pliegue al perfil formando un tubular (*Figura 106*).

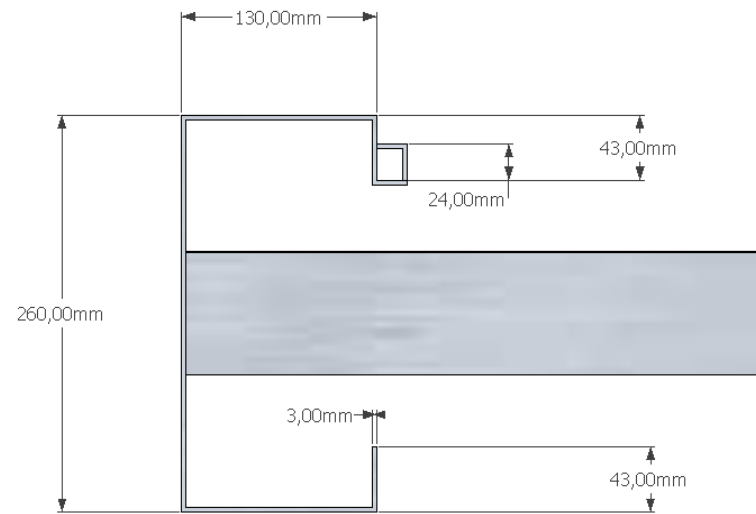


Figura 106.- Detalle de modificación del perfil del CIBA para conformar el UCA.

Más adelante y con la información proporcionada por el estudio de la industrialización del incremento en coste que puede suponer una modificación así se podrá valorar la conveniencia de incorporar este elemento o no.

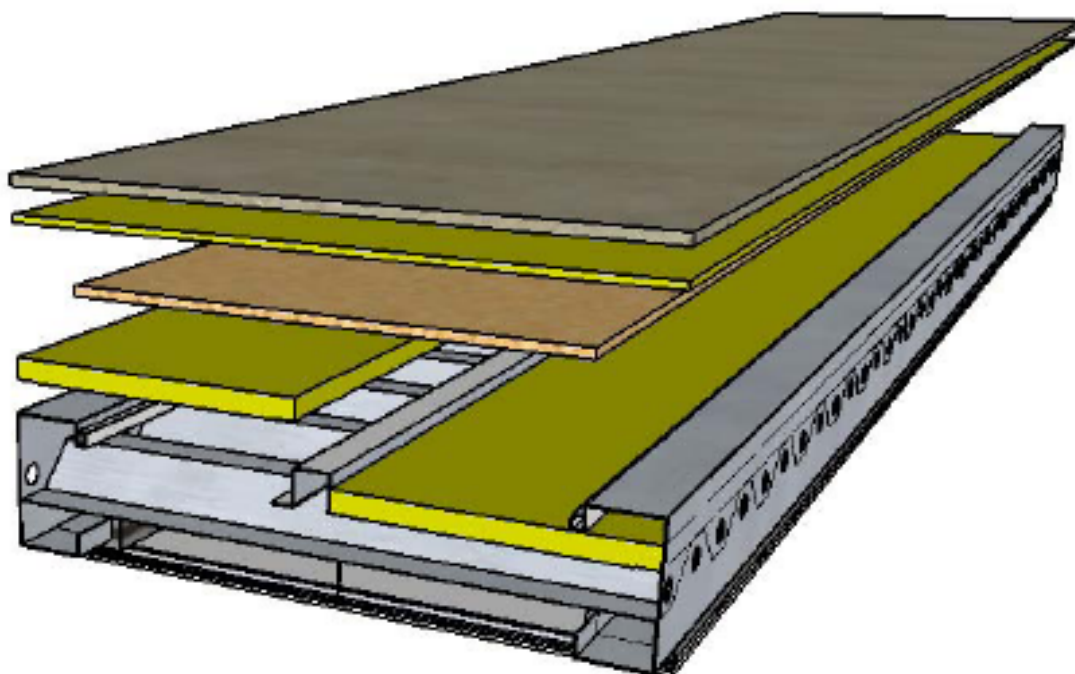


Figura 107.- Vista explosionada de los elementos que componen el UCA

Con toda esta información y con los materiales propuestos ya se está en disposición de avanzar a la siguiente etapa de desarrollo del componente y analizar las prestaciones de este primer diseño de UCA (*Figura 107*).

4.2.4.6. Análisis del resto de prestaciones -> UCAs

Siguiendo la jerarquización de prioridades establecida, para el caso del forjado se ha establecido el siguiente orden de análisis de las prestaciones:

- Prestación prioritaria: Resistencia a fuego.
- Prestación de segundo orden: Aislamiento acústico
- Prestación de tercer orden: Aislamiento térmico

4.2.4.6.1. RESISTENCIA AL FUEGO

Para la comprobación de este comportamiento se han realizado dos tipos de estudios: simulaciones y ensayos.

- *Simulaciones*

Este análisis está basado en cálculos computacionales utilizando herramientas de elementos finitos (ABAQUS), los cuales han sido posteriormente validados y contrastados con las respectivas validaciones experimentales.

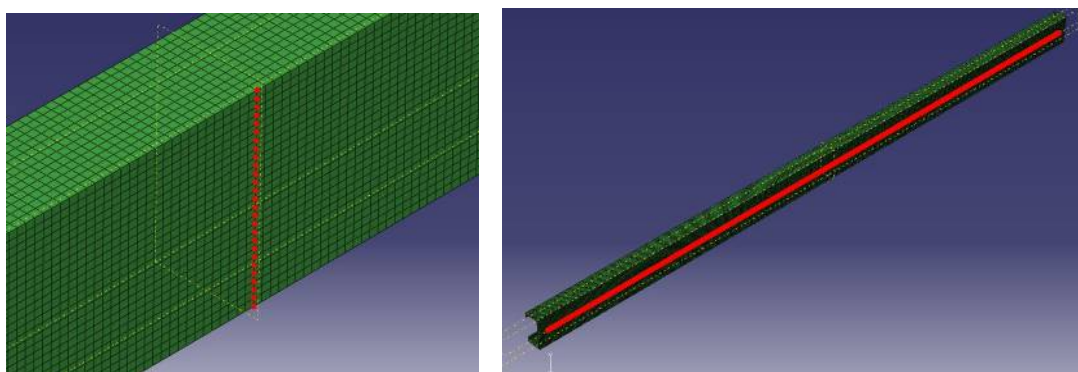


Figura 108.- Simulación de resistencia al fuego [ABAQUS]



El estudio se ha realizado según normativa UNE-EN 1365-2:2000 [AENOR, -5-]. En la *Figura 108* y la *Tabla 28* se muestran como ejemplo los realizados a la viga que compone el forjado, por ser el punto débil del sistema desde el punto de vista de resistencia al fuego.

Viga unitaria sin agujeros y sin chapa colaborante (dimensiones en cm)	Temperatura ambiente (Calculo estático)				Temperatura = 300 °C (Calculo estático)				Evolución temperaturas según Fuego ISO/2,5 (Calculo dinámico durante 60 min)	
	FEM		ANALITIC A	Dif.	FEM		ANALITIC A	Dif.	FEM	
	Flecha máxima	Expansión longitudinal I	Flecha máxima		Flecha máxima	Expansión longitudinal	Flecha máxima		Flecha máxima	Expansión longitudinal
Carga puntual centrada	1.664	0.199	1.641	-	2.120	0.255	2.051	-	2.303	2.819
Carga distribuida	0.980	0.125	1.014	0.034	1.266	0.163	1.267	0.001	1.375	2.723

Tabla 28.- Resultados de la simulación al fuego

Respecto al componente en su totalidad (*Figura 109*), modelado según la *Figura 110*, sus resultados son los mostrados en las gráficas de las *Figuras 121* (Temperaturas) y *122* (Deformaciones), cumpliendo en todo momento lo exigido por la norma UNE-EN 1365-2:2000.



Figura 109.- Vista 3D de la solución a fuego planteada

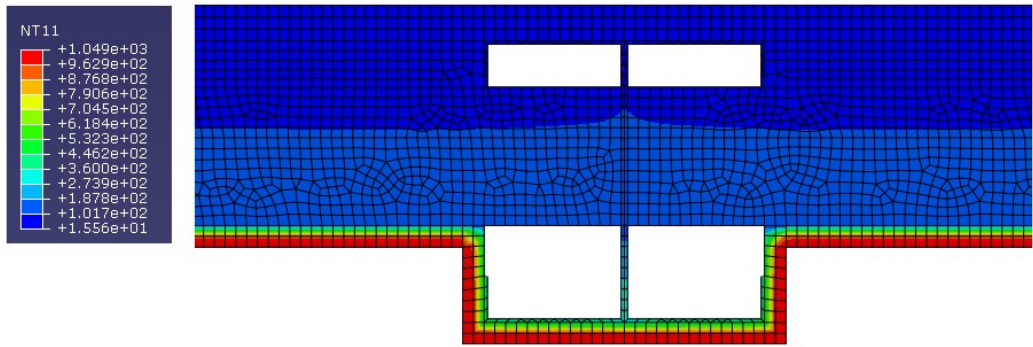


Figura 110.- Modelo térmico 2D completo

**Evolucion temperaturas
MODELO TERMICO 2D SOLUCION COMPLETA**

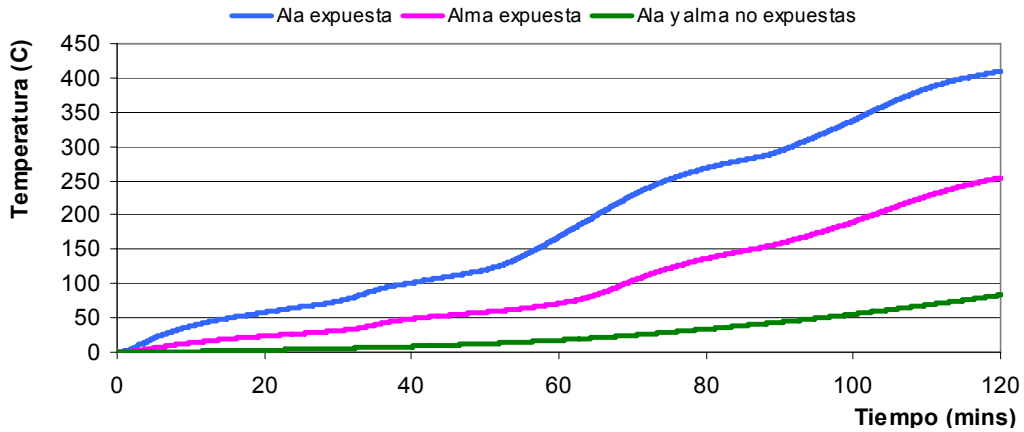


Figura 111.- Gráfica de temperaturas

Deformaciones teoricas

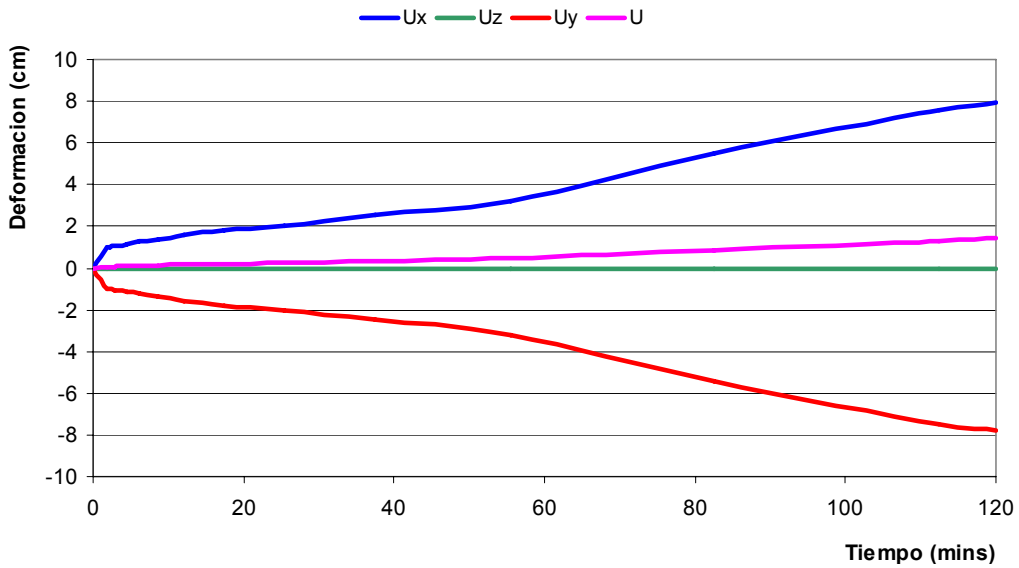


Figura 112.- Gráfica de deformaciones

Para este forjado, el límite de la deformación por flexión que define la norma se corresponde con 346,15 mm, valor no alcanzado en ningún momento durante los primeros 120 minutos de ensayo.

- *Ensayos*

Para validar los resultados de las simulaciones se realizaron ensayos de resistencia a fuego en las instalaciones de CIDEMCO-Tecnalia por parte de ArcelorMittal a 4 muestras utilizando un horno cúbico con las dimensiones que muestra la siguiente sección (*Figura 113*).

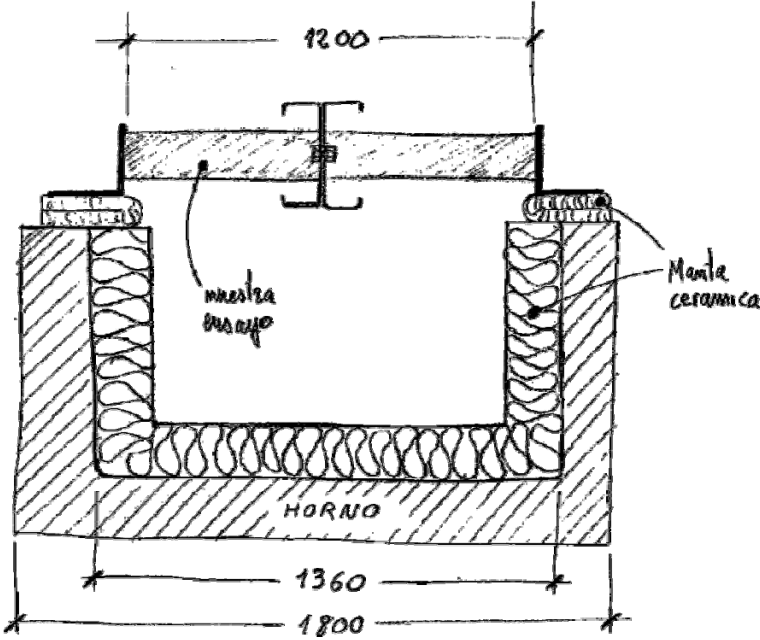


Figura 113.- Horno de ensayos - sección

La muestra analizada, debido a las características del horno, tiene las dimensiones de 1200 mm de ancho por 1800 mm de largo (ver prototipo en *Figura 114*)



Figura 114.- Prototipo para ensayos a fuego

La muestra utilizada corresponde a la zona de unión entre dos forjados adyacentes. Los perfiles en forma de C tienen sus almas unidas mecánicamente mediante tornillos de métrica M18. Se ha seleccionado esta configuración de muestra por incorporar la zona de unión de los elementos con mayor responsabilidad estructural, tal y como son los perfiles en forma de C.

Se han realizado 4 ensayos con distintas configuraciones (*Figura 115*):

- *Yeso + coquilla* (malla de nervometal, mortero de yeso y una coquilla de manta cerámica de 128 Kg/m^3)
- *Mortero de cal* (sin malla ni imprimaciones)
- *Mortero de yeso* (malla de nervometal y mortero de yeso)
- *Placa de yeso* (perfiles omegas y placas de yeso laminado de 15 mm de espesor)



Figura 115.- Ejemplo de aplicación de protección contra el fuego

En los cuatro casos se obtuvieron resultados satisfactorios que cumplen la normativa. Se muestra en la *Figura 116* un ejemplo de gráfica de temperatura del ensayo, con los valores obtenidos en los termopares colocados en las muestras.

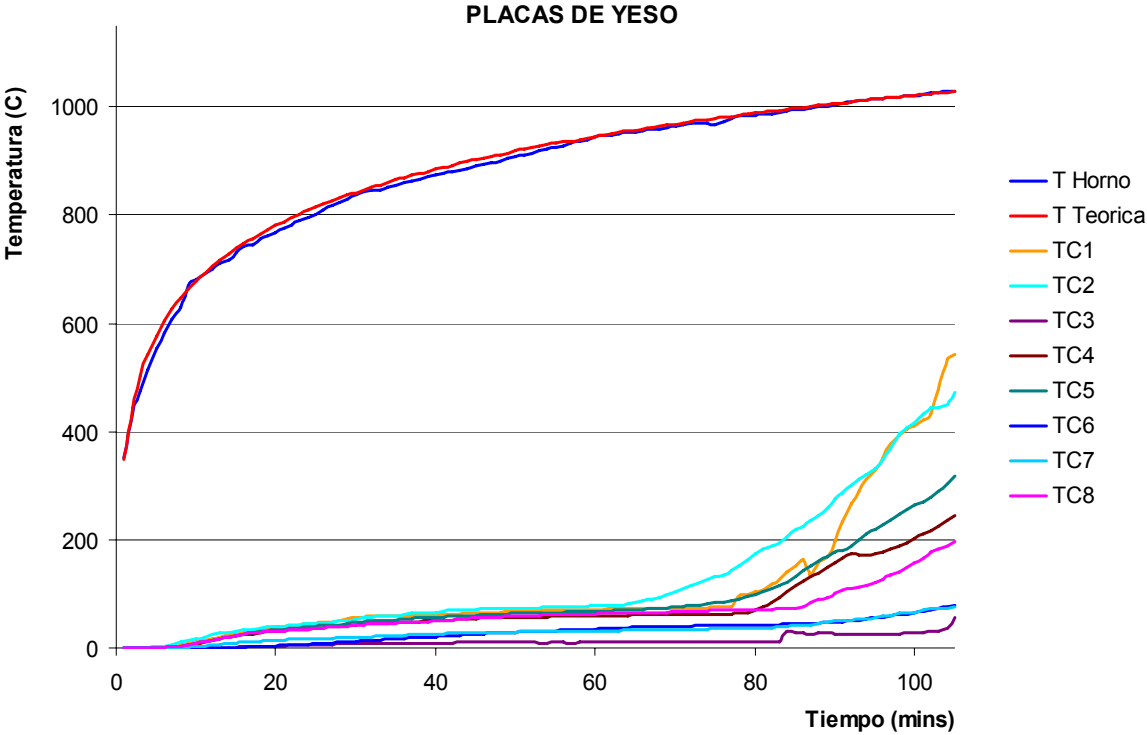


Figura 116.- Gráfica de temperaturas



4.2.4.6.2. AISLAMIENTO ACÚSTICO Y VIBRACIONES

La segunda prestación en orden de prioridad de la solución del forjado es la referente al nivel de aislamiento acústico. La principal complicación que se da en la caracterización acústica de sistemas constructivos es la escasez de herramientas de predicción y la poca fiabilidad de la mayoría de las pocas existentes. Esta dificultad se ve aún más agravada en el caso de elementos ligeros como el forjado en estudio debido a que existe poca tradición en la utilización de este tipo de elementos.

- *Requisitos Acústicos de Diseño*

El objetivo del diseño desde el punto de vista acústico del forjado unidireccional en base acero es el cumplimiento de los requisitos del Código Técnico de la Edificación Documento Básico de Protección frente al Ruido (CTE DB HR). [*Ministerio de Vivienda, -48-*]

Teniendo en cuenta las posibles pérdidas de aislamiento a través de los caminos indirectos, para cumplir los requisitos in situ del CTE se consideran necesarios los siguientes aislamientos mínimos en laboratorio del elemento constructivo:

- Uso del forjado entre recintos protegidos de distintas unidades de uso:
 - Aislamiento a ruido aéreo en laboratorio: $R_A \geq 55$ dBA
 - Aislamiento a ruido de impactos en laboratorio: $L_{nw} \leq 63$ dBA
- Uso del forjado entre recinto protegido y recinto de instalaciones o de actividad:
 - Aislamiento a ruido aéreo en laboratorio: $R_A \geq 60$ dBA
 - Aislamiento a ruido de impactos en laboratorio: $L_{nw} \leq 57$ dBA

- *Metodología de Diseño Acústico del UCA forjado de acero unidireccional*

- *Fase 1.- Diagnóstico inicial*

Al no disponer de ensayos en laboratorio del diseño inicial de forjado, se realizó una estimación del comportamiento acústico del panel mediante el software de simulación INSUL (Marshall Day Acoustics) y también en base a resultados de ensayos en laboratorio de sistemas que presentan similitudes (*Figuras 117 y 118*).

frecuencia (Hz)	TL(dB)	TL(dB)
50	24	
63	29	27
80	32	
100	36	
125	38	38
160	41	
200	43	
250	44	44
315	46	
400	47	
500	48	48
630	50	
800	51	
1000	50	48
1250	46	
1600	45	
2000	47	47
2500	49	
3150	52	
4000	55	54
5000	58	

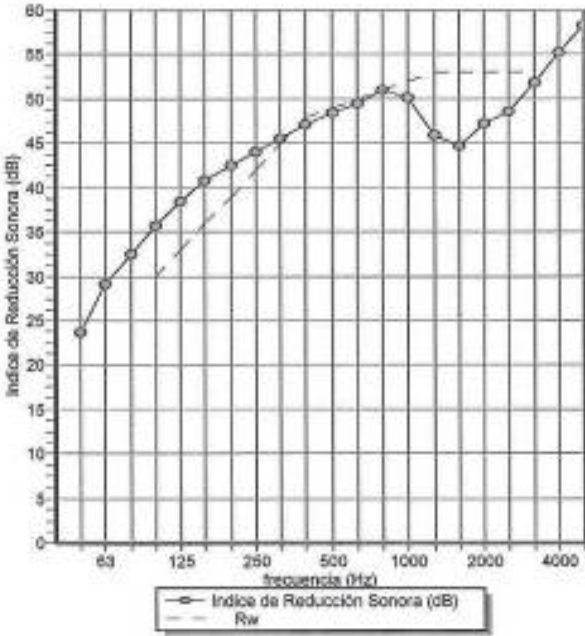


Figura 117.- Predicción de aislamiento acústico [INSUL]

frecuencia (Hz)	Ln(dB)	Ln(dB)
50	78	
63	77	77
80	76	
100	75	
125	75	75
160	75	
200	75	
250	75	75
315	75	
400	75	
500	75	75
630	75	
800	75	
1000	76	76
1250	76	
1600	76	
2000	79	78
2500	82	
3150	79	
4000	78	77
5000	75	

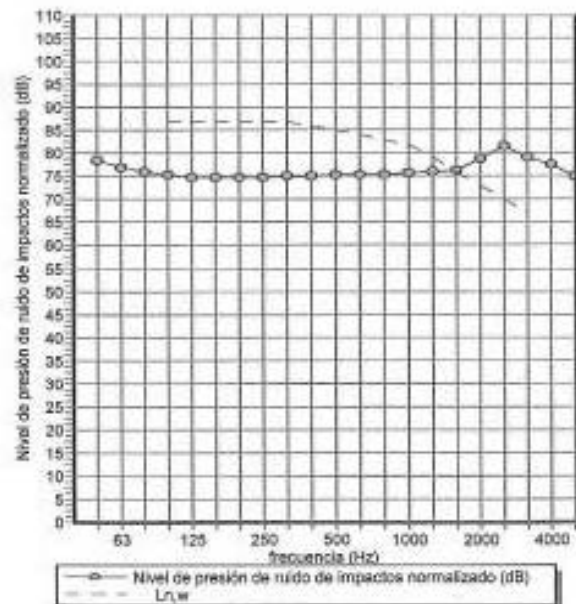


Figura 118.- Predicción de impacto sonoro

Con los resultados obtenidos se concluyó que el sistema propuesto inicialmente como forjado no cumpliría por sí solo los requisitos acústicos del CTE DB HR a ruido aéreo (RA estimado < 53 dBA) ni a ruido de impactos (L_{nw} estimado > 63 dBA).

○ *Fase 2.- Alternativas de mejora*

El aislamiento a ruido aéreo de los forjados ligeros se puede mejorar con cierta facilidad, mientras que el aislamiento a ruido de impactos supone un problema mayor debido a que este tipo de forjados se comportan peor que los forjados pesados en bajas frecuencias.

La experiencia demuestra que si se mejora suficientemente el aislamiento a ruido de impactos de este tipo de forjados, automáticamente se obtienen aislamientos elevados a ruido aéreo. Por tanto el diseño de estos forjados (*Figuras 119 y 120*) debe estar centrado en la mejora del aislamiento a ruido de impactos.

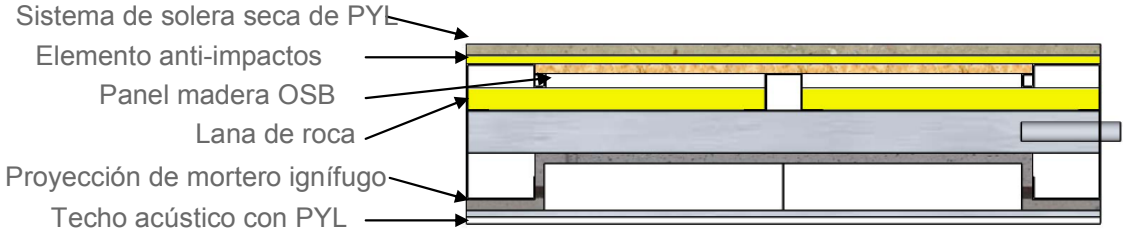


Figura 119.- Solución a ruido del forjado. Alzado

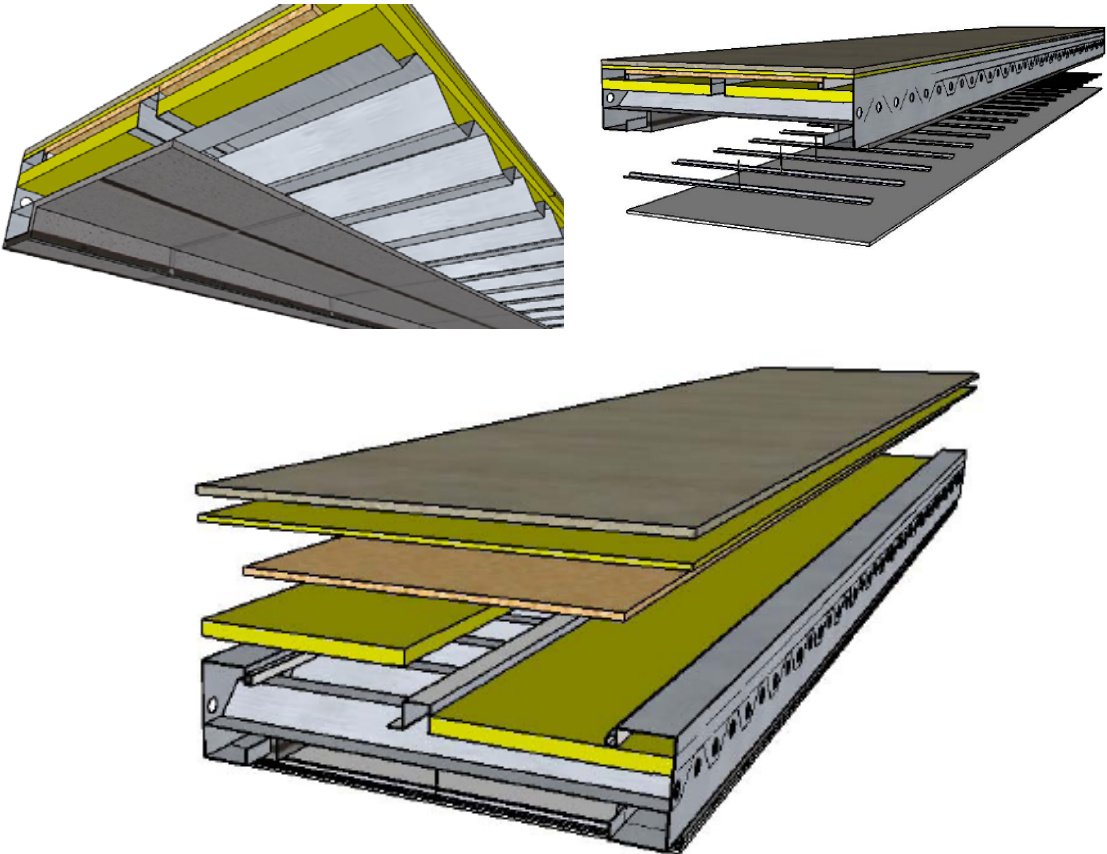


Figura 120.- Solución a ruido del forjado. Vistas 3D



La estimación teórica del comportamiento acústico de esta solución es la siguiente (*Tabla 29*):

	Requisito entre distintas unidades de uso	ESTIMACIÓN
Ruido aéreo	RA > 55 dBA	53 – 59 dBA
Ruido impacto	L _{nw} < 63 dB	55 – 63 dB

Tabla 29.- Estimación del comportamiento acústico de la solución obtenida en el diseño acústico teórico del UCA de forjado

o *Fase 3. Verificación y validación experimental*

Con los resultados obtenidos en las estimaciones teóricas se definió una campaña de ensayos experimentales sobre diferentes combinaciones de materiales.

Se verifican experimentalmente el forjado base (sin techo y sin elementos anti-impacto), el forjado base con falso techo y el forjado completo con distintas opciones de elemento anti-impacto dispuestos en la cara superior del componente (lana, polietileno, EEPS, elastómero). De esta manera se caracteriza el punto de partida (forjado base) y las mejoras acústicas aportadas por las distintas capas.

Los ensayos han sido llevados a cabo en el Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación del Gobierno Vasco en Vitoria, realizados por ArcelorMittal con la colaboración de Labein - Tecnalía.

El marco porta muestras tiene unas exigencias dimensionales de 4,2 x 3,3 metros por lo que se ha tenido que adaptar la solución de forjado al mismo.



Se realizaron 8 ensayos:

1. Forjado base
2. Forjado base + techo resiliente
3. Forjado base + techo resiliente + lana de roca
4. Forjado base + techo resiliente + polietileno reticulado
5. Forjado base + techo resiliente + EPS elastificado
6. Forjado base + techo resiliente + elastómero PUR
7. Forjado base + techo tradicional
8. Sistema optimizado: forjado base + techo tradicional + EPS elastificado

Siendo sus resultados los mostrados en las *Tabla 30* y en las gráficas de las *Figuras 121 y 122*.

	Aislamiento a ruido aéreo RA (dBA)	Aislamiento a ruido de impactos Lnw (dB)	Requisito entre distintas unidades de uso RA ≥ 55 dBA Lnw ≤ 63	Requisito con recinto de instalaciones o de actividad RA ≥ 60 dBA Lnw ≤ 58
1 Forjado base	47,9	78	NO OK	NO OK
2 Forjado base + techo resiliente	51,9	69	NO OK	NO OK
3 Forjado base + techo resiliente + lana	60,8	56	OK	OK
4 Forjado base + techo resiliente + polietileno	61,7	58	OK	OK
5 Forjado base + techo resiliente + EEPS	60	57	OK	OK
6 Forjado base + techo resiliente + elastómero	58,6	54	OK	NO OK
7 Forjado base + techo tradicional	50,3	70	NO OK	NO OK
8 Sistema optimizado: forjado base + techo tradicional + EEPS	59,6	56	OK	OK

Tabla 30.- Tabla resumen de resultados

o *Fase 4. Conclusiones*

La solución final optimizada obtenida es: forjado base + falso techo tradicional + elemento anti-impacto EPS elastificado, que es válida tanto para uso entre viviendas como con recintos de instalaciones o de actividad. Para definir esta solución se ha tenido en cuenta tanto el comportamiento acústico como el



coste económico, características dimensionales y facilidad de montaje.

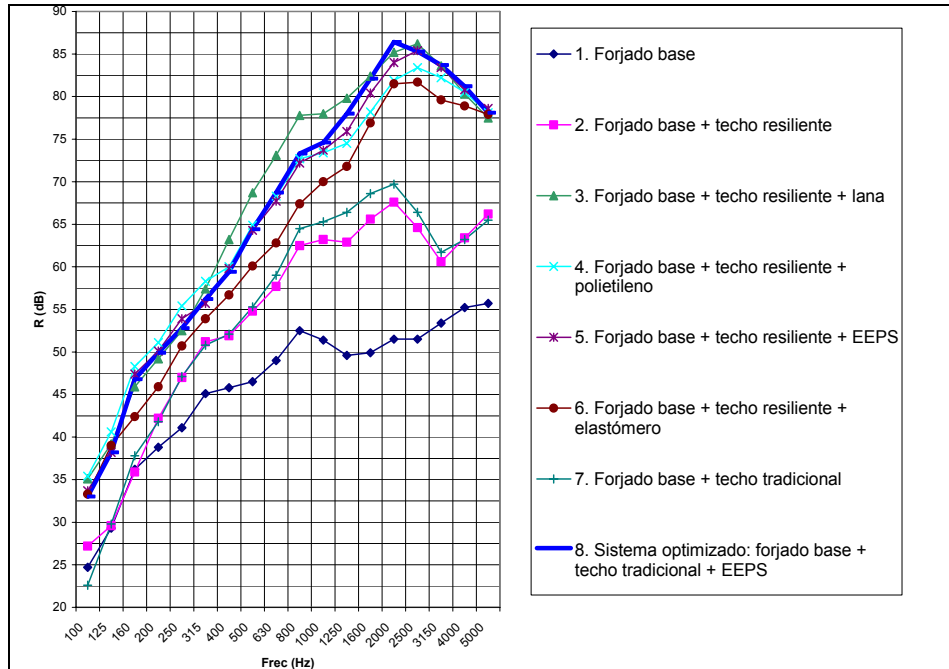


Figura 121.- Resultados gráficos de los ensayos de aislamiento a ruido aéreo.

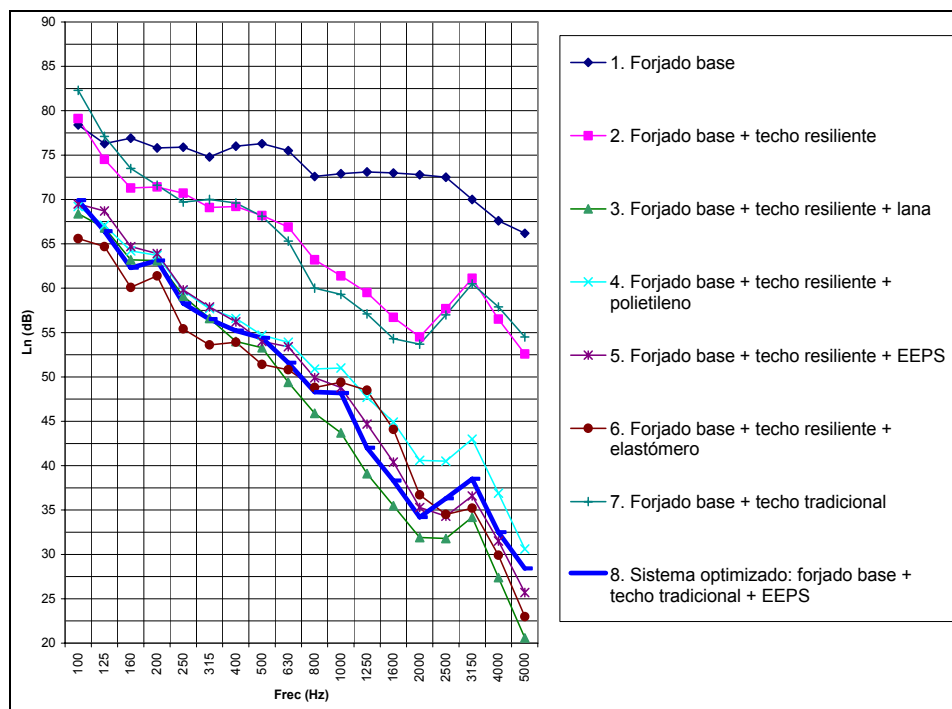


Figura 122.- Resultados gráficos de ensayos de aislamiento a ruido de impacto.

El forjado diseñado comparado con soluciones tradicionales de forjados (bovedilla cerámica, bovedilla de hormigón, bovedilla de EPS o losa de hormigón) con prestaciones acústicas similares, supone una mejora importante en cuanto a menor espesor y menor peso, a un precio similar o menor, que se reducirá más con el proceso de industrialización y montaje.

4.2.4.6.3. AISLAMIENTO TÉRMICO

Por último la tercera prestación a analizar es aquella que ha sido identificada como de tercer nivel, que es el nivel de aislamiento térmico que proporciona el forjado. Al tener un nivel menor de relevancia esta prestación, se considera suficiente con hacer un análisis térmico con una herramienta de predicción sin necesidad de recurrir a validaciones experimentales.

Se ha perseguido cumplir en todo momento el Código Técnico de la Edificación, en concreto el apartado “Caracterización del Ahorro de energía y aislamiento térmico (HE)” [*Ministerio de Vivienda, -48-*]

El diseño orientado a obtener un adecuado comportamiento térmico de un sistema constructivo, pasa por controlar de manera integral una sucesión de aspectos relevantes que definen las prestaciones del producto final. Estos aspectos engloban la selección de materiales, la interacción térmica de los mismos y la interacción del conjunto con el edificio. Todas las decisiones que durante la fase de diseño se toman en relación a cada uno de estos aspectos influyen en el resto. Asimismo, cualquier decisión tomada en la fase de diseño térmico, tiene repercusión en el resto de las prestaciones del sistema (fuego, acústica, estructural, durabilidad, etc...). Es por eso que cualquier decisión debe estar justificada atendiendo a la repercusión que esta tiene en el comportamiento global del sistema.

En el caso concreto del componente forjado 2D, la selección de materiales y la interacción de los mismos se ha llevado a cabo mediante un análisis de



detalle cuyo objetivo es el de optimizar el comportamiento del sistema minimizando coste de materiales. Este análisis se ha realizado de manera computacional utilizando herramientas de software que facilitan la realización de este tipo de estudios. Por enumerar algunas de las herramientas empleadas, THERM (de elementos finitos), HEAT2 y HEAT3 (de diferencias finitas) han sido utilizadas en el diseño del forjado.

En relación a la interacción del sistema constructivo con el edificio, el estudio energético exige la utilización de herramientas de simulación capaces de simular el comportamiento del edificio en su conjunto, integrando los distintos elementos que lo componen, permitiendo de esa manera calcular la demanda y consumo energético de calefacción y de refrigeración.

A nivel internacional, las herramientas más validadas y utilizadas actualmente son Energy Plus, TRNSYS y ESP-r. A nivel nacional, LIDER y CALENER son las herramientas encargadas de la verificación de los edificios de cara al cumplimiento del Código Técnico de la Edificación (CTE), en lo referente al comportamiento energético de estos (*Tabla 31*). Se trata de programas de obligado cumplimiento para la certificación de edificios.

	FACHADAS	SUELOS	CUBIERTAS
	U_{Mlim} W/m ² K	U_{Slim} W/m ² K	U_{Clim} W/m ² K
Zona A	0,94	0,53	0,50
Zona B	0,82	0,52	0,45
Zona C	0,73	0,50	0,41
Zona D	0,66	0,49	0,38
Zona E	0,57	0,48	0,35

Tabla 31.- Transmitancia térmica media limite de fachadas, suelos y cubiertas [CTE]

- *Cálculo de la transmitancia térmica*

El Apéndice E del Documento Básico DB-HE propone la metodología a seguir para realizar el cálculo de la transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el aire exterior y de particiones interiores en contacto con espacios no habitables.

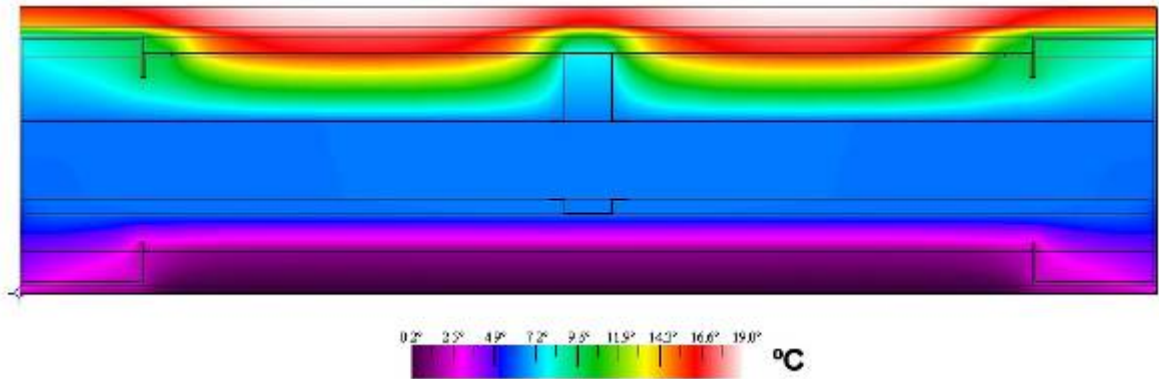


Figura 123.- Diagrama temperaturas (modelo de suelo)

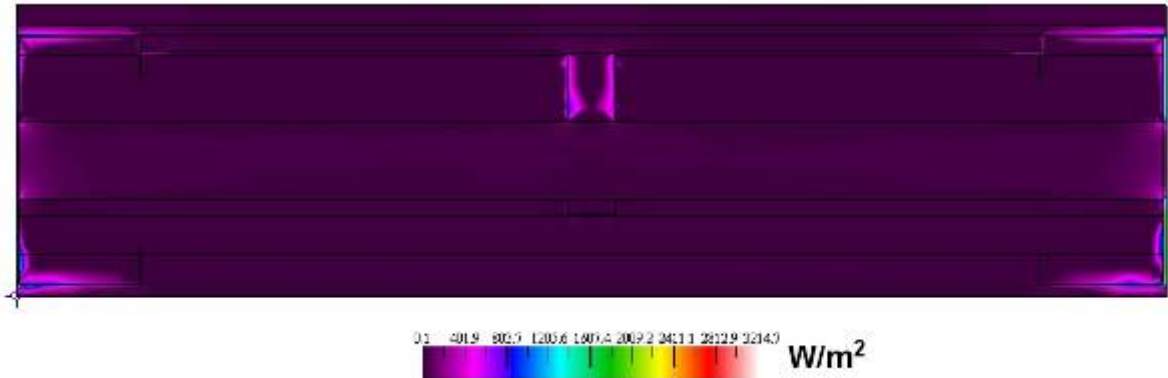


Figura 124.- Flujos de temperaturas (modelo de suelo)

VALOR DE U (W/m²K)	Modelo suelo...	Modelo cubierta...
...en contacto con aire exterior	0.6180	0.6356
...en contacto con espacio no habitable	0.5363	0.6050

Tabla 32.- Resultados obtenidos de la simulación



Los valores de la transmitancia térmica de los casos analizados (Ver Figuras 123 y 124 y resultados en Tabla 32) se acercan a los valores exigidos por el CTE. En caso de no satisfacer las exigencias en casos puntuales, se recomienda la utilización de una capa de aislante exterior para minimizar el valor de la transmitancia térmica, las pérdidas de calor a través del sistema y el riesgo de condensaciones.

4.2.4.7. **Diseño Final / Validación**

Por lo aportado en los apartados anteriores de fuego, ruido y aislamiento térmico, se ha concluido en una **solución optimizada**, compuesta por un sistema convencional de techo de placa de yeso laminado y EEPS, puesto que tiene un comportamiento muy similar al resto y un menor coste. A pesar de que la solución con polietileno es algo más compacta que la seleccionada de EEPS, se trata únicamente de una disminución del espesor de 5mm y no se considera relevante para la competitividad del sistema una diferencia tan pequeña en un sistema completo de forjado que rondará los 330mm (cercano al 2% del canto total de forjado).

De esta forma al finalizar esta fase, el diseño del componente ha sufrido ciertas modificaciones en los elementos que lo componen quedando de la forma que se muestra a continuación en la Tabla 33.

Ubicación	Sistema	Espesor (mm)	Material propuesto
En la cara superior del CIBA	Sistema de suelo seco industrializado	22	Solado seco basado en Placa de Yeso Laminado
	Material de aislamiento a ruido de impactos	10	EEPS Elastificado de 20 kg/m ³ de densidad
	Elemento estructural de soporte del suelo seco	20	Panel OSB de madera absorbido dentro de la C del CIBA

Ubicación	Sistema	Espesor (mm)	Material propuesto
En el interior del CIBA	Material absorbente para ruido aéreo	40 – 50	Lana de roca de 40 kg/m ³
En la cara inferior del CIBA	Material de protección a fuego del forjado	20 – 30	Mortero aligerado de 450kg/m ³ con malla metálica para mayor agarre
	Sistema de estándar de techo de placa de yeso	25 – 40	Perfiles en Omega más placa de yeso laminado

Tabla 33.- Sistema modificado de forjado como resultado de la campaña experimental acústica y a fuego

El paso final para validar la solución propuesta es hacer la revisión del grado de cumplimiento de los objetivos planteados al inicio del proceso de desarrollo de nuevos componentes y que para el caso del forjado ha quedado explicitado en la *Tabla 24*.

Con esta revisión se concluirá el proceso de definición del componente y se proporcionará el diseño definitivo.

- *Requisitos normativos cuantificados*

En la *Tabla 34* se especifican los resultados conseguidos con el forjado diseñado, comparando el objetivo buscado con el resultado obtenido, tanto a nivel de componente estructural (CIBA) como de componente completo con las capas de prestaciones incluidas (UCAS).



REQUISITOS NORMATIVOS CUANTIFICADOS PARA FORJADO					
Requisito			Cumplimiento		
NORMATIVO (CUANTIFICADOS)	CIBA			Objetivo	Resultado
	Comportamiento Estructural	ELU	Resistencia estructural	Peso propio = 250 kg Sobrecarga de uso = 500 kg	
				$E_d \leq R_d$	✓
			Estabilidad	Análisis de 1 ^{er} orden	✓
		Análisis de 2 ^{do} orden		✓	
		ELS	Deformación (Flecha)	$L/300 < 20 \text{ mm}$	✓
			Vibraciones	Frecuencia natural = 16.4 Hz	✓
	UCAS			Objetivo	Resultado
	Comportamiento a Fuego	Tiempo de Resistencia, Aislamiento e integridad según curva normalizada		REI > 60	REI = 90
	Comportamiento acústico	Aislamiento y a ruido aéreo		$D_{nT,A}(\text{dBA}) > 50$ ($R_A \sim 53 - 55$)	59,6
		Aislamiento acústico a ruido de impactos		$L_{n,w}(\text{dB}) < 65$ ($L_{n,w} \sim 63$)	56
	Aislamiento térmico	Transmitancia térmica máxima simple y media		$U < 0,48$ $\text{W/m}^2\text{K}$	$U =$ $\text{W/m}^2\text{K}$
		Aparición de condensaciones		No deben darse en ningún caso	✓

Tabla 34.- Grado de cumplimiento de requisitos normativos cuantificados



- *Requisitos normativos no cuantificados*

En cuanto a requisitos no cuantificados (*Tabla 35*), cabe destacar la sostenibilidad que proporciona el empleo de acero en el forjado (35 kg/m²) debido a la posibilidad de ser reciclado en un 100% y que al tratarse de perfil conformado en frío está constituido en su mayor parte por acero reciclado. Del resto de materiales cabe destacar la sostenibilidad de los tableros OSB de fibras de madera (11,7 kg/m²).

REQUISITOS NORMATIVOS NO CUANTIFICADOS PARA <u>FORJADO LIGERO DE ACERO</u>				
Requisito			Cumplimiento	
NORMATIVO (NO CUANTIFICADOS)	UCAS		Objetivo	Resultado
	Sostenibilidad medioambiental	% en peso de contenido reciclado	Acero 40% Otros 20%	Acero > 90% Otros >20%
		% en peso susceptible de ser reciclado	Acero 100% Otros 50%	
		% susceptible de ser reutilizado	50% de las placas de forjado	100%
	Prevención de riesgos laborales	Disminución de riesgos en taller	> 50% respecto a obra	✓
		Disminución de riesgos en obra	> 50% respecto a obra	✓
	Riesgos para los usuarios	Identificación de posibles riesgos	No debe suponer riesgos para los usuarios	✓

Tabla 35.- Grado de cumplimiento de requisitos Normativos no cuantificados por el UCA de forjado ligero de acero

En el análisis de la seguridad en la fabricación y montaje de los forjados se ha constatado que una solución como la propuesta ofrece mayores garantías en aspectos de seguridad gracias al grado de estandarización del diseño en línea con el concepto de construcción industrializada.

En lo referente a riesgos para el usuario no se han identificado riesgos diferentes al resto de soluciones que se emplean en la actualidad para construir forjados.

- *Requisitos funcionales*

Los aspectos no funcionales son los requisitos más relacionados con el carácter innovador de la solución, que se diferencia de la construcción tradicional en que está resuelta de forma industrializada. Se muestran a continuación las conclusiones obtenidas para el proceso de fabricación y de montaje en obra así como para las posibilidades de incorporación de instalaciones.

Se ha considerado que el requisito de rendimiento de montaje es fácilmente alcanzable con este tipo de sistemas de forma similar a los ritmos de placas alveolares, estimando que puede ser superado con un sistema ligero de este tipo, sin que se pueda valorar esta mejora debido a la dificultad de contemplar otros aspectos relacionados con la logística del proceso, como interferencias en obra, ritmo del transporte etc.

En lo que a integración de instalaciones se refiere, se ha constatado al fabricar los modelos experimentales la posibilidad de integrar aquellas instalaciones que tengan elementos de secciones pequeñas (< 40mm).

Los resultados se muestran en la *Tabla 36*.



REQUISITOS FUNCIONALES PARA <u>FORJADO LIGERO DE ACERO</u>				
Requisito			Cumplimiento	
UCAS			Objetivo	Resultado
FUNCIONAL	Fabricación, transporte y montaje	Transporte	< 10% del precio final	~ 6 €/m ² ✓
		Tolerancias de montaje	< 5mm	✓
		Tolerancias de fabricación	< 2mm	✓
		Rendimientos de montaje	500 m ² montados/día	✓
		Tipología de unión (taller)	Sin determinar	Soldada
		Tipología de unión (obra)	Reversibles	✓ Atornillada
	Instalaciones susceptibles de ser integradas	Electricidad		✓
		Calefacción / Suelo térmico		✓
		Climatización / Aire acondicionado		✓
		Señales / Datos		✓

Tabla 36.- Grado de cumplimiento de requisitos funcionales por el UCA de forjado ligero de acero

- *Requisitos generales de competitividad*

Finalmente y una vez comprobados el resto de requisitos se está en disposición de valorar los aspectos de competitividad entre los que destaca el precio del componente. Al tener una solución de forjado completamente definida, con los elementos y materiales que lo componen se puede valorar el coste de ejecución del mismo, comprendiendo las fases de fabricación,



transporte y montaje. Estos detalles están desarrollados en el *Apartado 4.3* de fabricación más al detalle.

Debido a que el coste es un valor sujeto a una gran variabilidad en función de múltiples factores como localización, volumen etc. se presenta a continuación el coste de los distintos materiales de acuerdo a los precios que se pueden encontrar en los catálogos de los fabricantes de los mismos, entendiéndose que se trata de valores máximos de precio que con una construcción industrializada a gran escala se verían disminuidos, pero que actualmente no se cuenta con información suficiente para cuantificar dicho ahorro, al no tener una producción del sistema lanzada. (Ver Tabla 37)

	Espesor (mm)	Peso (kg/m ²)	Precio material/m ²
CIBA de acero	260	35	33,25
Solado seco industrializado	22	37	24,55
EEPS anti-impactos	10	2	1,50
Panel OSB absorbido dentro del CIBA	18	11,7	7,50
Lana de roca de 40kg/m ³	40	1,6	3,47
Proyección de mortero de yeso 450kg/m ³	20	9	11,50
Canales omega estandar para techo	15	0,5	1,92
Placa de yeso laminado de techo	13	9,5	5,80
MATERIAL UCA	mm	kg	€
	340	106,3	89,49

Tabla 37.- Coste del componente forjado dividido en sus capas.

Del mismo modo, para valorar costes asociados a la fabricación, transporte y montaje hay que recurrir a estimaciones tanto en coste como en rendimientos. Con esas estimaciones se concluye que el precio final de ejecución del forjado ronda los 120€. (Ver Tabla 38)



	PRECIO TOTAL UCA
Material UCA	89,49
Mano de obra Fabricación	20,83
Transporte	6,00
Mano de obra montaje	3,96
€/m²	120,28

Tabla 38.- Coste de ejecución material del forjado

Debido a las fluctuaciones de precio ya mencionadas anteriormente, se va a tomar un rango de valores entre 110 y 125 € para compararlo con otros sistemas, puesto que tal y como se comentando se entiende que el valor recogido en la tabla anterior está por la parte superior del rango y es un tanto conservador.

REQUISITOS GENERALES DE COMPETITIVIDAD PARA <u>FORJADO LIGERO DE ACERO</u>			
Requisito	Descripción		
Aspectos generales de Competitividad	Coste total de ejecución por m ² (puesto en obra)	Objetivo	Resultado
		< 140€/m ² (CIBA ≈ 100) (UCA ≈ 40)	110 – 125 CIBA = 40 – 50 €/m ² UCA = 65 – 75 €/m ²
	Dimensiones	Luz 6 – 12m Canto < 350mm	Luz = 6m Canto = 345 mm
	Peso (kg)	< 250 kg/m ² (CIBA ≈ 200) (UCA ≈ 50)	110 kg/m ² CIBA = 40 kg/m ² UCA ≈ 70 kg/m ²
Compatibilidad con sistemas estructurales	Como mínimo con prefabricados e industrializados	√	

Tabla 39.- Grado de cumplimiento de requisitos generales de competitividad por el UCA de forjado ligero de acero

Finalmente se ha confirmado que el sistema es compatible con cualquier sistema industrializado, considerando la estructura de acero debido al carácter industrializado del forjado propuesto (ver *Tabla 39*).

Con toda la información recopilada en las tablas anteriores se puede proceder a hacer un estudio comparativo (*Tabla 40*) con soluciones equivalentes en edificación residencial.

Forjado/Descripción		Coste €/m ²	Espesor mm	Peso kg/m ²	REI > 60	RA > 53	L _{nw} < 63
Forjado UCA CETICA	CIBA unidireccional de acero	110-125	340	110	>90	59,6	56
	Solado seco en base cementicia						
	EEPS 10mm						
	Panel OSB de madera 20mm						
	LR en el núcleo del CIBA						
	Mortero Resistente a fuego 20mm						
Techo de PVL 30mm							
Forjado Tradicional 1	Hormigón in situ+Bovedilla hormigón (25+5)	85-125	372	465	>120	62	53
	Recrecido 50 mm mortero						
	Lamina viscoelástica 7mm						
	Enlucido techo yeso 1,5 cm						
Forjado Tradicional 2	Hormigón in situ+Bovedilla hormigón (25+5)	80-120	405	513	>120	64	59
	Recrecido 70 mm mortero						
	Lana de roca antimpactos						
	Enlucido techo yeso 1,5 cm						
Forjado Tradicional 3	Hormigón in situ+Bovedilla cerámica (25+5)	95-125	388	502	>120	57	67
	Recrecido 60 mm mortero						
	Polietileno reticulado 5mm						
	Baldosa cerámica 8mm						
Forjado Tradicional 4	Hormigón in situ+Bovedilla cerámica (25+5)	95-125	408	502	>120	54	55
	Recrecido 60 mm mortero						
	EPS Elastificado 25mm						
	Baldosa cerámica 8mm						
Forjado Tradicional 5	22+5 Semivigueta+Bovedilla EPS	80-120	345	349	>90	59	65
	Recrecido 40 mm mortero						
	EPS Elastificado 20mm						
	Enlucido techo yeso 1,5 cm						
Forjado Tradicional 6	22+5 Semivigueta+Bovedilla EPS	85-125	355	351	>90	59	56
	Recrecido 40 mm mortero						
	EPS Elastificado 30mm						
	Enlucido techo yeso 1,5 cm						
Forjado Tradicional 7	Losa Hormigón 140mm	80-120	215	472	>90	53-55	60
	Recrecido 60 mm mortero						
	Polietileno reticulado 10mm						

Tabla 40.- Comparativa del grado de competitividad entre soluciones tradicionales y el forjado de acero diseñado

Resulta fundamental a este respecto comparar soluciones que den una respuesta equivalente en todas las prestaciones, pero al analizar los distintos sistemas se constata que en ningún caso todos los parámetros



comparados sean idénticos por lo que hay que hacer aproximaciones para poder hacer unas comparaciones que arrojen unas conclusiones válidas para el diseño de forjado propuesto.

Por tanto se concluye del análisis que la solución propuesta supone una ventaja competitiva frente a soluciones tradicionales utilizadas hoy en día proporcionando fundamentalmente una solución muy ventajosa en peso, algo más compacta y que construida de una forma industrializada podría llegar a ser menos costosa que los sistemas que se emplean hoy en día.

4.3. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS COMPONENTES DISEÑADOS

Al igual que en el *Apartado 4.2*, se va a presentar a modo de validación el ejemplo de la fabricación de uno de los componentes, el forjado 2D. Su fabricación se divide en dos fases: CIBA (Estructural) y UCA (Capas de prestaciones), tal y como se explicó en la metodología en el *Apartado 3.2.2*.

Las fábricas y líneas de fabricación de estos componentes pueden servir también para otros componentes 2D como fachadas, particiones y cubiertas, que tienen un diseño similar para reducir costes de inversión de los nuevos componentes

4.3.1. Fabricación del CIBA Forjado 2D

4.3.1.1. Descripción del CIBA

El CIBA 2D forjado seco unidireccional está constituido por los siguientes elementos (Ver *Tabla 41* y *Figura 125*):

Elemento	Cantidad
Chapa grecada 6000x1200mm	1
Perfiles en C 250x60x2.5mm	2

Tabla 41.- Componentes del forjado seco unidireccional



Figura 125.- CIBA Forjado seco unidireccional

4.3.1.2. **Diseño para una fabricación automatizada**

- *Formato de partida*

Existen dos alternativas para la fabricación de las chapas grecadas diseñadas:

- La primera es partir de bobina de 1250 mm de ancho. El partir de bobina requiere enderezar la chapa antes de empezar a conformarla. Como consecuencia, la chapa puede no quedar plana a lo largo de los 6 m de longitud.
- La otra posibilidad consiste en partir de chapa plana. Esta segunda opción elimina la necesidad de enderezado. Utilizar chapa plana también permite acceder a anchuras de chapa superiores a los 1200 mm.

- *Proceso de conformado*

Independientemente de que se parta de bobina o chapa plana, el proceso de conformado de la chapa se puede realizar por plegado o por estampación.

- La solución mediante plegadora es más económica pero introduce el inconveniente de que la chapa va tomando una inclinación a medida que se le va dando los diferentes golpes (plegados) necesarios para conseguir el grecado. Teniendo en cuenta que la longitud de las chapas es grande (6m), este efecto resulta ser bastante perjudicial. Este problema se puede eliminar realizando el conformado por estampación, en el que tanto la entrada como la salida de la chapa se realizan de forma horizontal (*Figura 126*).

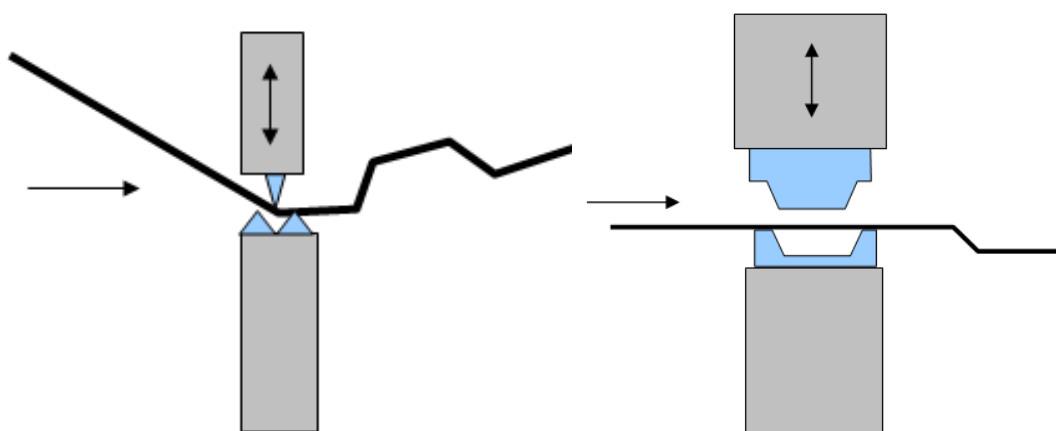


Figura 126.- Proceso plegado (izda.) y de estampación (dcha.)

La desventaja de este proceso frente al de plegado es que el estampado es menos flexible que el plegado, ya que la forma del troquel (el “molde” de la estampadora) no se puede modificar para adaptarse a un nuevo diseño de pieza, y por tanto es necesario

fabricar uno nuevo. El proceso de plegado, por el contrario, es más sencillo adaptarlo a modificaciones en la geometría del grecado.

- *Línea de fabricación (Figura 127)*



Figura 127.- Esquema línea de fabricación de forjado unidireccional

La línea de fabricación del forjado unidireccional está constituida por las siguientes etapas: Fabricación de chapa grecada, Fabricación de perfiles en C y Unión entre chapa y perfiles

- Línea de fabricación de chapa grecada

La línea constará de los siguientes elementos:

- Alimentador de bobina (*Figura 128*)
- Cambiador de bobina
- Enderezadora de chapa



Figura 128.- Alimentador de bobinas

- Corte longitudinal (incluyendo aletas para soldadura a los perfiles en C)
 - Punzonadora
 - Plegadora ó Estampadora (en función del proceso adoptado)
 - Corte transversal (en el caso de partirse de bobina)
- Línea de fabricación de perfiles en C

La línea de fabricación de los perfiles en C constará de los siguientes elementos (*Figura 129*):

- Alimentador de bobina
- Cambiador de bobina
- Enderezadora de chapa
- Corte longitudinal
- Tren de laminación

- Punzonadora
- Corte transversal



Figura 129.- Maquinaria de la línea de fabricación de perfiles

Se parte de un alimentador con capacidad para dos bobinas y cambiador automático que permite realizar el cambio entre una y otra bobina de forma rápida. Tras pasar por la enderezadora, se procede a punzonar la chapa para realizar los orificios que se utilizan para la unión entre forjados así como para el paso de tubos de instalaciones, A continuación se corta la chapa longitudinalmente a la anchura requerida y se introduce en un tren de laminación para darle la forma en C. La fabricación se termina mediante el corte de los perfiles en longitudes de 6m.

o Unión entre chapa y perfiles

La unión ente la chapa grecada y los perfiles longitudinales se realiza por soldadura por resistencia, en una estación robotizada. Las chapas se colocan en un utillaje dotado de centradores que faciliten el correcto posicionamiento de la misma.

Los perfiles se colocan sobre un utillaje móvil o abatible, también sobre centradores para garantizar un correcto posicionamiento.



El utillaje se cierra de forma que los elementos se posicionan juntos y se procede a realizar la soldadura por puntos entre la chapa grecada y los perfiles longitudinales (*Figura 130*).

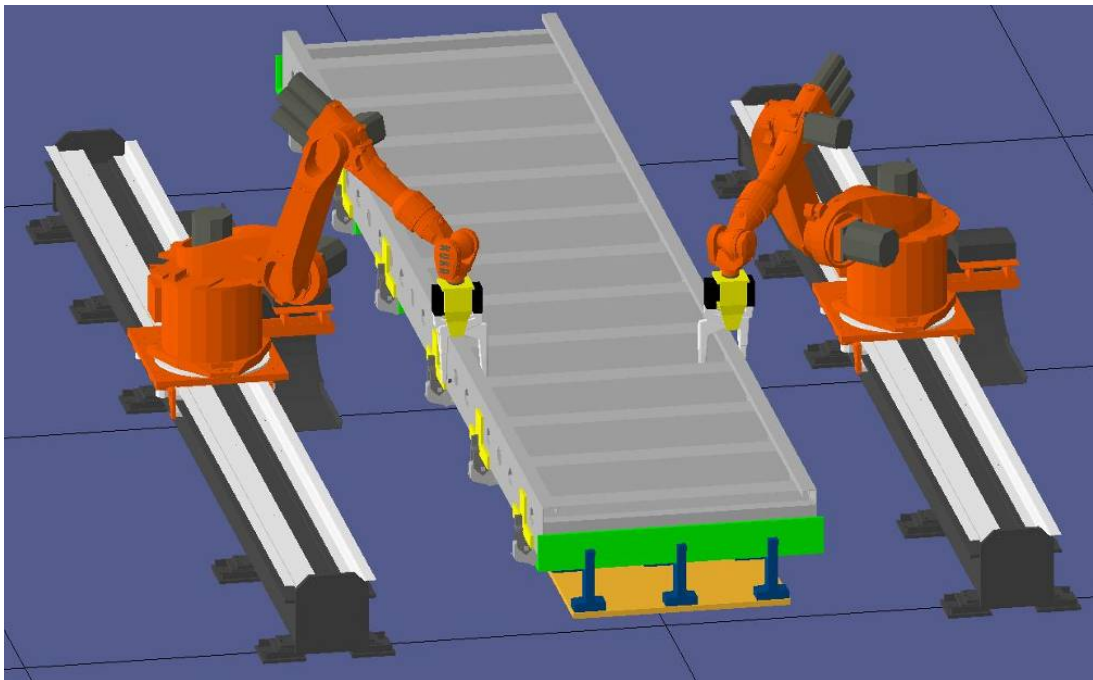


Figura 130.- Estación de soldadura del CIBA

4.3.1.3. **Estudio de costes**

- *Metodología*

Tras el estudio en el *Apartado 4.2.4* de los costes por metro cuadrado en el mercado actual, se determina que para que el producto sea competitivo, el coste final del forjado sea en el entorno de 60 €/m² (sólo la parte estructural). Para diseñar la línea de fabricación de forjado, se toma como objetivo éste requisito.

Hay que tener en cuenta que los costes calculados hasta éste momento son exclusivamente los costes asociados a los CIBAS, y

que, por lo tanto, quedan por añadir los costes asociados a la fabricación de las UCAs correspondientes, además de los transportes, tanto a obra como entre plantas de producción en caso de que éstas se encuentren en lugares diferentes.

- Coste línea mensual

En el caso del forjado, se han considerado los costes de fabricación de los perfiles, las chapas y el ensamblaje del forjado (*Tabla 42*).

Línea	Fabricación Perfiles en C	Fabricación Chapa Grecada	Fabricación Forjado Unid.
Coste Máquinas	5808	13230	3076
C. Utillajes	0	108	4195
C. Operarios	16000	8000	8000
Coste MP	89600	128000	8175
Otros	5071	4921	2475
Coste Total	116479	154259	25921

Tabla 42.- Coste mensual de cada línea (€/mes)

- Coste del forjado (*Tabla 43*)

LÍNEA FABRICACION	Coste Recurso	Turnos	Cap. Teórica	% Útil	Cap. Practica	Coste horario	T C	Coste	Superf.	Coste CIBA
	€/mes		h/mes		h/mes	€/h	min	€	m ²	€/m ²
Fabricación perfiles	116480	2	320	0,8	256	455	0,33	2,53		
Chapa Grecada	154259	2	320	0,8	256	602,57	0,70	7,07		
Forjado unidireccional	25921	2	320	0,8	256	101,26	22,35	37,72	7,2	5,24

Tabla 43.- Estimación del coste del CIBA forjado unidireccional

4.3.1.4. Fábrica de CIBAs 2D: forjado

El objetivo final del sistema de producción es la construcción de un edificio que está constituido por una estructura metálica y diferentes tipos de UCAs (cocina, baño, forjado, panel interior y exterior etc.). El “esqueleto” de estas UCAs son los CIBAs, cuya fabricación se realiza en una planta industrializada: la fábrica de CIBAs.

Para definir esta fábrica de CIBAs es necesario considerar los siguientes aspectos:

1. Número y tipo de líneas que hacen falta para fabricar los CIBAs.
2. Número de unidades a fabricar de cada producto (demanda de CIBAs).
3. Plazos de fabricación.

El *número y tipología de líneas de fabricación* depende del producto y de la demanda asociada a cada uno. Los distintos tipos de CIBAs se fabrican en estaciones de ensamblaje, denominadas líneas principales. Los componentes necesarios para fabricar los CIBAs (perfiles, chapas, etc.) serán suministrados por líneas auxiliares o secundarias. Estas líneas secundarias pueden reconfigurarse para poder fabricar más de un producto, y así poder suministrar componentes a más de una línea principal.

Para definir el *número de unidades a fabricar* de cada CIBA será necesario conocer por una parte la demanda de edificios, y por otra el número de elementos (UCAs) de cada tipo que constituyen el edificio, lo que se denomina el *Árbol de Producto*.

Para garantizar que la solución industrializada de la construcción es viable, se plantea como requisito necesario que el edificio pueda ser construido en unos *plazos* más cortos que con métodos tradicionales. Como objetivo inicial, la fábrica de CIBAS debe producir los componentes necesarios para montar 1 edificio cada 2 meses. Este requisito, permite establecer los



tiempos de fabricación necesarios para cada producto, de forma que se asegure que llegan a tiempo para ser montados en obra.

- *Cálculo de productividades de líneas de fabricación*
 - Árbol de producto

El árbol de producto (*Figura 131*) es un desglose detallado de los elementos que constituyen el edificio, que incluye el tipo y número de UCAS, los CIBAS que forman estos UCAS, y los componentes simples que constituyen a su vez estos CIBAS (perfilería metálica, paneles, chapas, etc.).

Para calcular el número de elementos que componen cada edificio, se define un edificio tipo (número de plantas y su respectiva distribución) y que se desglosa hasta llegar a nivel de componente. Como ejemplo se considera un edificio de 5 alturas con un total de 7300 m² (ver *Apartado 4.4.*).

La planta baja está constituida por locales comerciales y aparcamientos. La primera planta está habilitada para oficinas, y las plantas segunda a quinta son viviendas.

Cada planta está constituida por dos módulos de escaleras, ocho viviendas u oficinas y patios interiores. En cada vivienda existen tres módulos húmedos (2 baños y una cocina), mientras que en cada oficina dispone únicamente de dos módulos de baño y ninguno de cocina.

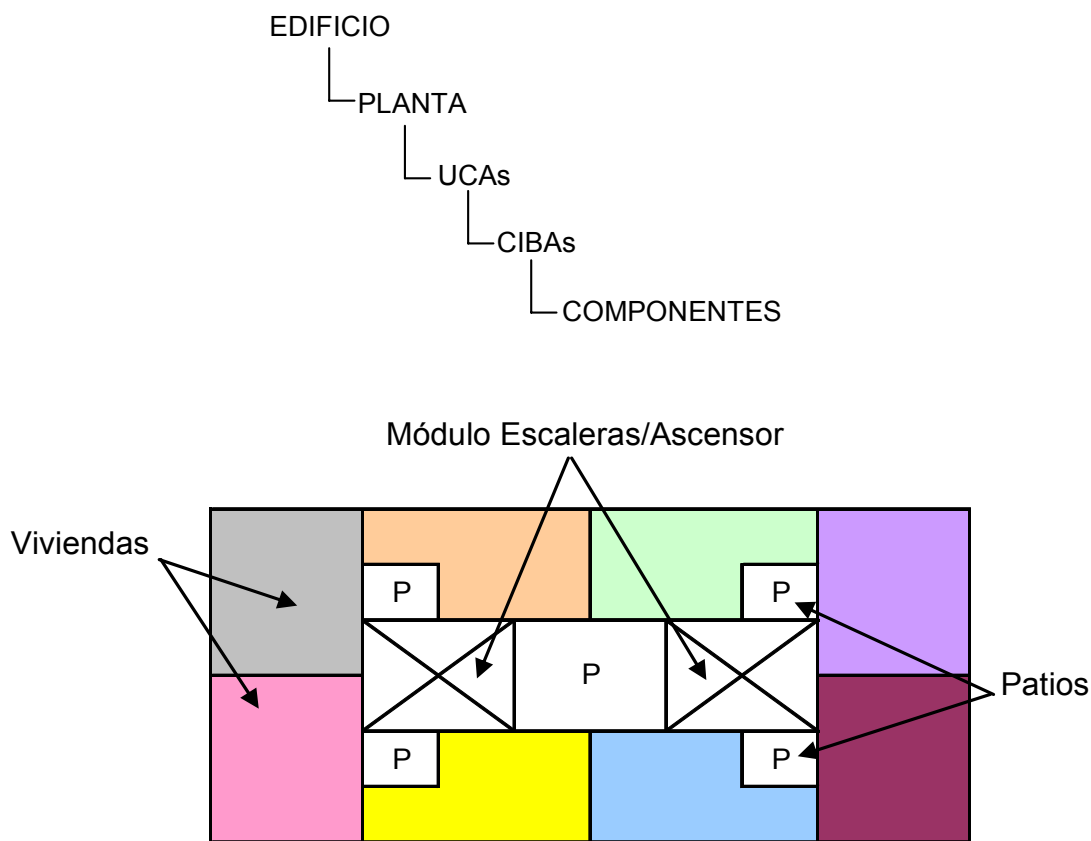


Figura 131.- Esquema general del Árbol de Producto (arriba) y distribución general de la planta de un edificio (abajo)

El árbol de producto se realiza para cada una de las plantas del edificio lo cual permite obtener al final una lista de materiales con información desglosada del tipo de elementos que hay que fabricar y la cantidad de cada uno.

A continuación se muestra la lista de materiales correspondiente al edificio que se ha definido con anterioridad (*Tabla 44*).

UCA	CIBA NIVEL 1	CIBA NIVEL 2	COMPONENTES	Nº Elem.
UCA 3D ESCALERA				14
	CIBA ESCALERA			14
		VIGA LONGITUDINAL		56
		VIGA TRANSVERSAL		98
		COLUMNA ESTRUCTURAL		56
		COLUMNA ESCALERAS		56
		FORJADO ESCALERA		28
		TRAMO ESCALERAS		28
UCA 3D ASCENSOR				14
	CIBA ASCENSOR			14
		PANEL LONGITUDINAL		28
		PANEL TRANSVERSAL		42
		COLUMNA ESTRUCTURAL		84
		VIGA LONGITUDINAL		56
		VIGA TRANSVERSAL		84
UCA BANO				100
	CIBA BANO			100
		PANEL FACHADA		100
		PANEL INTERIOR		300
		COLUMNA		400
		FORJADO BANO		100
		TECHO BANO		100
UCA COCINA				40
	CIBA COCINA			40
		PANEL FACHADA		40
		PANEL INTERIOR		120
		COLUMNA		160
		FORJADO COCINA		40
		TECHO COCINA		40
UCA FORJADO				340
	CIBA 2D			340
			PERFIL P1	1700
			PERFIL P2	340
			PANEL	340
UCA DIV. INTERIOR				1500
	CIBA 2D			1500
			PERFIL P1	6000
			PERFIL P2	3000
			PANEL	1500
UCA FACHADA				464
	CIBA 2D			464
			PERFIL	928
			CHAPA	464
			PANEL	464

Tabla 44.- Ejemplo de lista de materiales del edificio

o Productividades

Para poder determinar las productividades correspondientes a los diferentes CIBAs se ha definido la línea de fabricación de cada uno de ellos, considerando la secuencia de operaciones y maquinaria necesarias para poder fabricarlo.

Una vez definidas las líneas de fabricación de los CIBAs se pasa a calcular las productividades de cada una de ellas. En este punto se quiere hacer notar la diferencia entre productividad y capacidad de una línea, dado que son dos términos que se utilizan con frecuencia y que conviene tener claros.

Por capacidad de la línea se entiende la cantidad máxima de elementos que es capaz de procesar una línea en funcionamiento continuo.

Con el término productividad se hace referencia al número de elementos por hora que se le demandan a la línea y que no tiene por qué coincidir con la capacidad. En el mejor de los casos productividad y capacidad se igualarían lo que significaría que la línea funciona a pleno rendimiento.

A continuación se analiza el forjado en particular

- Caso particular. Forjado

Como se ha expuesto previamente la línea de fabricación del forjado unidireccional consta de una estación de ensamblado entre chapa grecada y perfiles en C, y las correspondientes líneas de fabricación de las chapas y los perfiles (líneas secundarias). El cuello de botella del proceso de fabricación del forjado está en la estación de ensamblaje, y por tanto será la que marque la productividad de la línea en su conjunto.

Dicha capacidad se ha determinado a partir de la secuencia de operaciones necesarias para soldar chapa y perfiles. Se calcula que hacen falta unos 240 puntos de

soldadura y que cada uno de ellos requiere un tiempo de 4 segundos. Se requieren además 180 segundos para cargar y descargar los componentes de la estación. Suponiendo una eficiencia del 85%, se obtiene que el tiempo de ciclo de un forjado es de 22 minutos (*Tabla 45*), o dicho de otra forma, tiene una productividad de 2,7 unidades por hora. Al tratarse del cuello de botella del proceso, interesa que esta estación no esté nunca parada (productividad=capacidad).

PRODUCTIVIDAD		2,7 ud/hora
Soldadura	240 puntos	960 seg/ud
	4 seg/pto	
Carga		180 seg/ud
Eficiencia 85%		1341 seg/ud
Tiempo de Ciclo		22 min/ud

Tabla 45.- Productividad del forjado unidireccional

Análogamente se han calculado las capacidades de las líneas secundarias que alimentan a esta estación. La capacidad en estos casos vendrá determinada por el cuello de botella particular de cada línea.

En el caso de la línea de chapa grecada el proceso que marca la capacidad es el estampado. Teniendo en cuenta que una prensa de este tipo trabaja a 30 golpes por minuto, y que cada chapa grecada tiene 19 pliegues, harán falta unos 38 segundos por chapa. Estimando una eficiencia del 90%, se necesitan aproximadamente 42 segundos por chapa (*Tabla 46*), lo que en términos de capacidad son 85 unidades por hora. La productividad

que se le demanda a esta línea es de 2,7 unidades por hora, ya que cada forjado lleva una chapa grecada.

CAPACIDAD		85 ud/hora
Plegado	30 golpes/min	38 seg/ud
	19 plegados/ud	
Eficiencia 90%		42 seg/ud
Tiempo de Ciclo		42 seg/ud

Tabla 46.- Capacidad de fabricación de la línea de chapa grecada

La capacidad de la línea de perfiles viene limitada por la etapa de perfilado. Una perfiladora como la que se necesita para crear los perfiles en C trabaja aproximadamente a 20 metros por minuto, lo cual, teniendo en cuenta que cada perfil es de 6 metros de longitud, se traduce en un tiempo de ciclo de 18 segundos por unidad. Aplicando una eficiencia del 90% se tiene una capacidad de producción (*Tabla 47*) de 180 unidades por hora (tiempo de ciclo 20 segundos). La productividad exigida a la línea será de 5,4 unidades por hora, dado que cada forjado está constituido por dos perfiles en C.

CAPACIDAD		180 ud/hora
Perfilado	20 m/min	18 seg/ud
	6 m/ud	
Eficiencia 90%		20 seg/ud
Tiempo de Ciclo		20 seg/ud

Tabla 47.- Capacidad de fabricación de la línea de perfiles en C

La línea de fabricación de perfiles en C también es capaz de producir a un ritmo mucho más elevado del requerido. En este punto es importante recordar que estas dos líneas secundarias se adaptarán para fabricar también componentes de otras líneas, como por ejemplo el forjado bidireccional o paneles de fachada, con lo que su porcentaje de utilización real será mayor del que se obtiene aquí.

Atendiendo a las características del edificio planteado, que consta de 7300 m², se requieren aproximadamente unas 375 horas para fabricar los 1024 forjados unidireccionales que hacen falta, lo que viene a suponer mes y medio de trabajo y que viene a estar bastante bien alineado con los objetivos del proyecto de construir un edificio cada dos meses.

Si la producción no fuera suficiente para satisfacer la demanda de un determinado CIBA habría que aumentar la capacidad del cuello de botella de la línea en cuestión, que en este caso sería la estación de ensamblaje entre chapa y perfiles.

- *Layout de la fábrica de CIBAs*

Con el objeto de entender mejor el funcionamiento de la planta, se describen a continuación las diferentes líneas principales y secundarias en las que se divide la producción de la planta.

- Líneas secundarias
 - Línea de conformado de chapa (*Figura 132*)

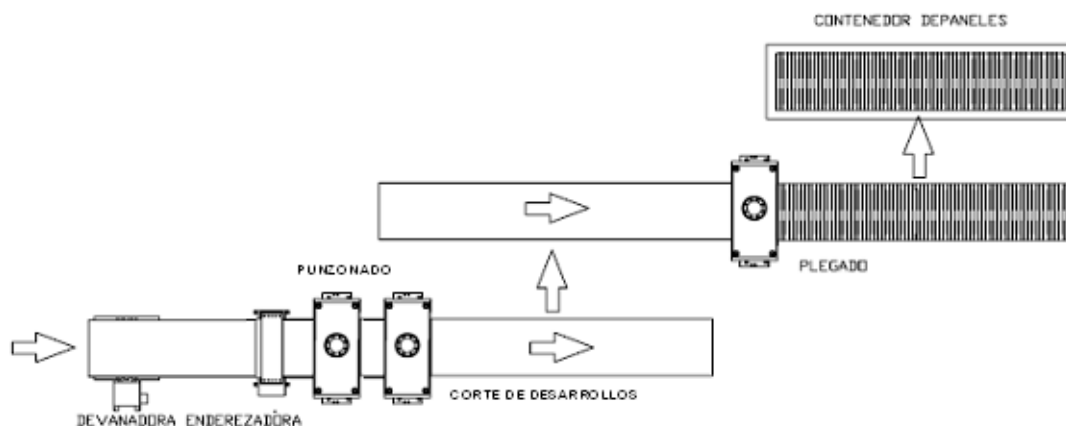


Figura 132.- Distribución de la línea de conformado de chapa

La línea parte de una devanadora que suministra el acero bobinado, el cual, tras pasar por la etapa de enderezado, se corta longitudinalmente según el desarrollo que corresponda a la chapa. Estas chapas pasan por la etapa de plegado para adquirir la forma grecada y finalmente se corta en longitudes de seis metros.

Las chapas son apiladas en contenedores, con distanciadores entre ellas para evitar que queden encajadas unas dentro de otras. Se apilan un máximo de diez chapas por contenedor. Estos contenedores se transportan hasta las distintas líneas que necesitan de chapas grecadas, como forjados y paneles de fachada.

Esta línea suministra piezas a la Línea de forjado unidireccional y a la Línea panel fachada

- Línea de perfiles en C (Figura 133)

La línea de perfiles es alimentada mediante bobina de acero. La chapa pasa por procesos de enderezado, corte longitudinal (para adaptar el ancho de bobina al del perfil) y punzonado. A continuación se introduce la chapa en el tren de laminación donde adquiere la forma en C. Finalmente, se cortan los perfiles en longitudes de seis metros y almacenadas en contenedores para su transporte a las líneas principales.

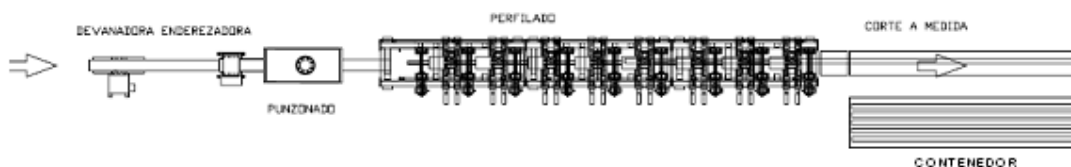


Figura 133.- Distribución de la línea de perfiles en C

Esta línea suministra piezas a: Línea de forjado unidireccional, Línea panel fachada de acero y Línea panel interior acero.

○ Líneas principales

- Estación de ensamblaje del forjado unidireccional de chapa grecada (*Figura 134*)

La estación de ensamblaje del forjado unidireccional es donde se sueldan la chapa grecada y los dos perfiles laterales del mismo. La estación está compuesta por un utillaje fijo para amarrar la chapa grecada, un utillaje móvil para amarrar y posicionar los perfiles laterales, y dos robots equipados con pinzas de soldadura por resistencia. Estos robots disponen de un séptimo eje para poder desplazarse

longitudinalmente. En la imagen se muestra el esquema en planta de la estación.

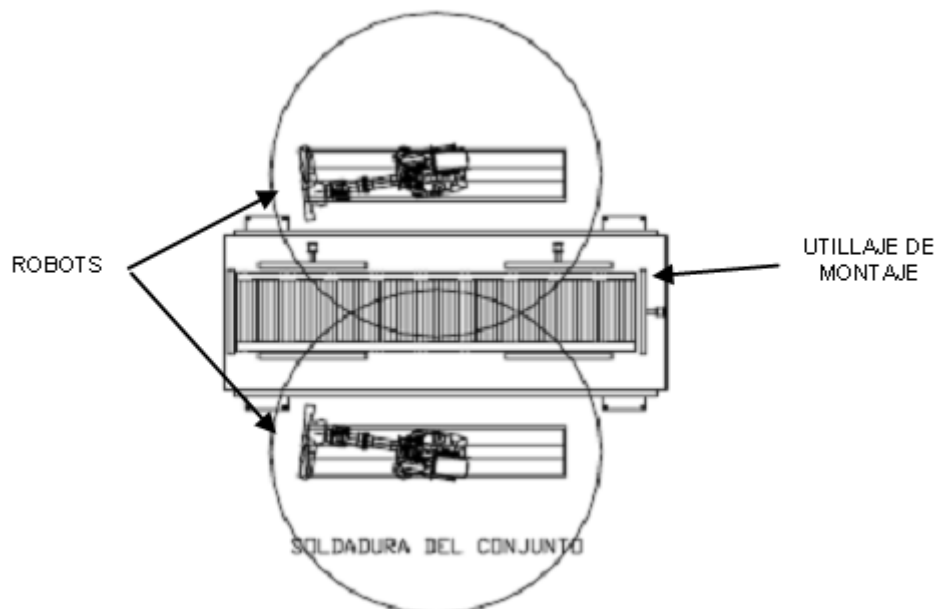


Figura 134.- Estación de ensamblaje del forjado unidireccional

La misma línea se utiliza para la fabricación del panel de fachada de acero y partición, basado en chapa grecada y perfiles laminados, al tratarse de una estructura muy similar a la del forjado. La principal variación está en la forma del perfil en C, que son diferentes por lo que será necesario realizar un cambio de los rodillos de laminación al pasar de un modelo al otro.

Esta línea suministra piezas al UCA de forjado

- *Planta de la fábrica de CIBAs (Figura 135)*

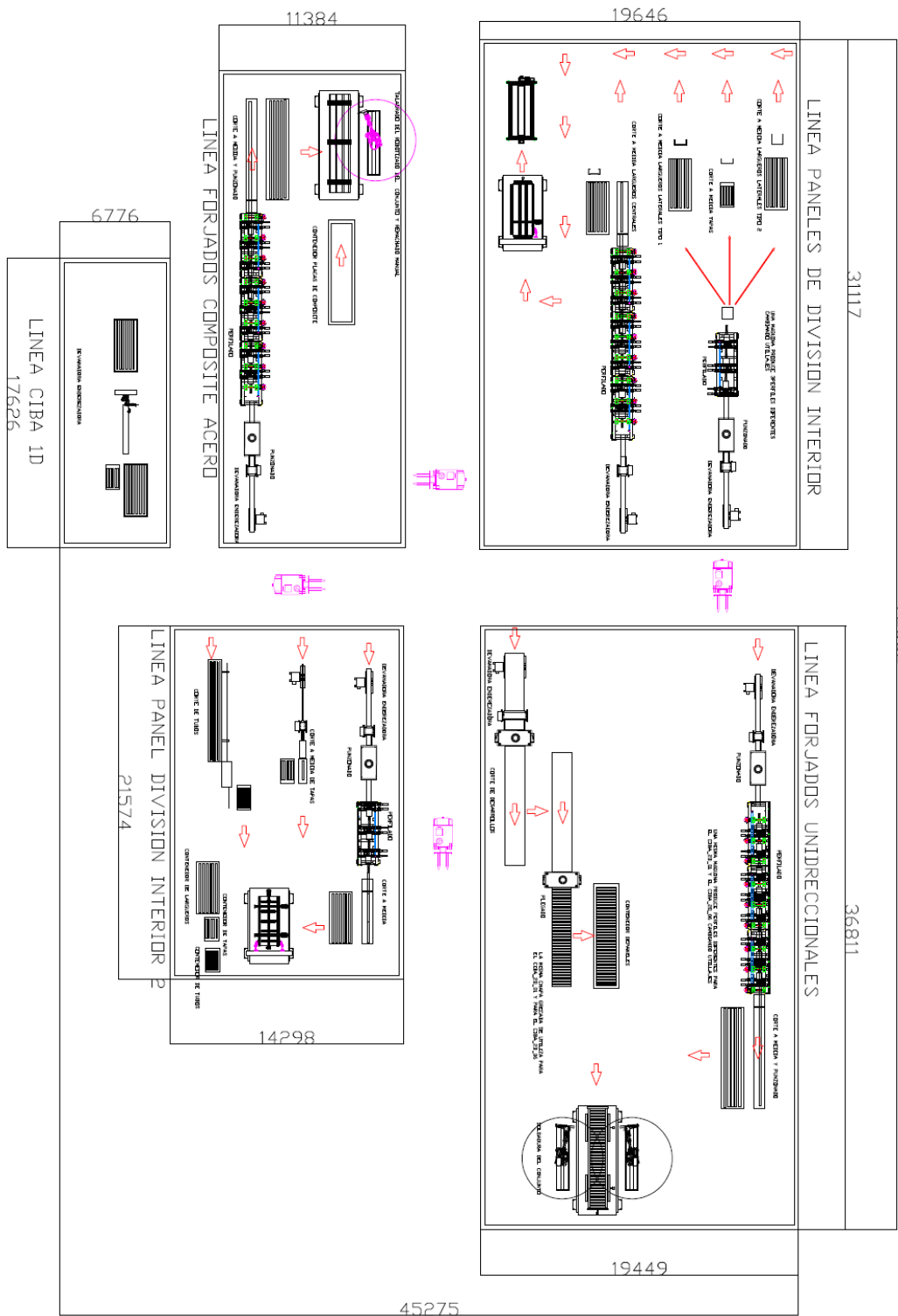


Figura 135.- Vista en planta de la fábrica de CIBAs

En la *Figura 135* se han reunido las diferentes líneas de fabricación de CIBAs, con el objeto de tener una primera aproximación de lo que será la planta de la fábrica de CIBAs que incluya las líneas de forjado, fachada y panel de partición interior.

4.3.2. UCA Forjado 2D

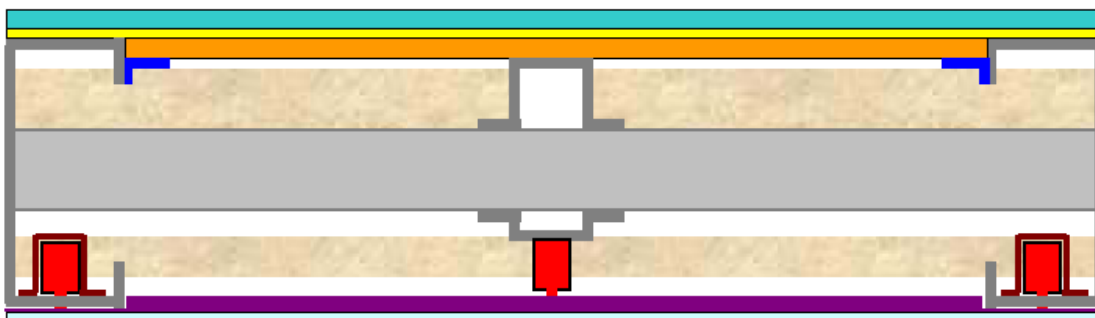


Figura 136.- UCA Forjado Unidireccional

4.3.2.1. Descripción del forjado

El UCA de forjado realizado a partir de elementos comerciales está formado por los siguientes elementos:

- CIBA 2D forjado seco, espesor 260 mm.
- 20 Placas Vidifloor F-132 1500 x 500 x 10 mm. (Se colocan 2 capas)
- 10 Placas de Lana de Roca F132 1500 x 500 x 10 mm.
- Placa de sujeción OSB 18 mm.
- Chapa de Apoyo placa de sujeción.
- Lana Mineral (tipo rocksol E 2 525) espesor 1200 x 600 x 50 mm.
- 2 Perfiles Omega de apoyo.
- Lana Mineral (tipo rockcalm-E-211,999), espesor 1200 x 600 x 40 mm.

- Sujeciones Elásticas.
- Cámara aire.
- Perfiles metálicos.
- Placa fibra yeso alta dureza fermacell.

La parte correspondiente al techo no se cierra en fábrica sino en obra. Ello es debido a que, por una parte, incorporar el cierre de yeso supondría tener que reparar en obra gran parte de los paneles instalados en fábrica (debido a la fragilidad de los mismos) y, por otra, se ha de dejar acceso libre para hacer la conexión entre dos forjados y el paso para las conducciones eléctricas.

4.3.2.2. *Diseño para una fabricación automatizada*

Dado que se utilizan elementos comerciales para el montaje de este UCA, hay que preparar los elementos disponibles en medidas congruentes con las dimensiones del forjado.

- *Preparación de la lana Mineral.*

Se utilizan lanas minerales, tipo ROCKSOL E 2 525 y tipo ROCKCALM-E-211,999, que se presentan en el mercado en placas de dimensiones de 1200 x 600 mm. Se utiliza la presentación de 50 mm y 40 mm de espesor respectivamente. Cada uno de las placas se cortará con una sierra de disco en tres trozos de dimensiones:

- 600 x 550 mm.
- 600 x 550 mm.
- 600 x 100 mm.

A cada uno de los trozos de 600 x 550 se les hará un canal de 20 mm y 10 mm de profundidad dependiendo del espesor y anchura la de la sierra de disco (5mm), a una distancia de 130 mm del borde para

permitir que el ala de la C se aloje en dicho canal. El fragmento de 600 x 100 se aloja en el interior de la Omega de soporte de la placa aquapanel. En la *Figura 137* se aprecia la disposición del aislante en el forjado.

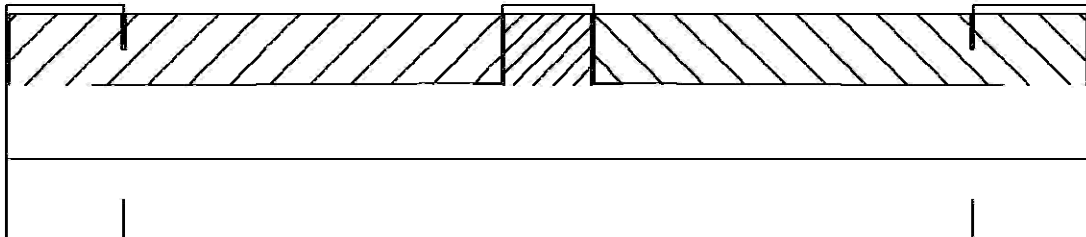


Figura 137.- Disposición de las placas de aislante

- *Preparación de las capas de prestaciones*

Para conseguir un perfecto aislamiento y reducir el espesor del forjado, se ha optado por una solución compuesta por:

- Vidifloor F-132. Tamaño de 1500 x 500 x 10 mm.
- Lana de Roca F1321500 X 500 x 10 mm.
- OSB de 1000 x 500 x 18 mm.

Vidifloor F-132 es un panel fabricado por Knauf que se presenta en placas de 1500x 500 mm (*Figura 138*). Para aislar perfectamente, es necesario colocar 2 capas de Vidifloor. A cada placa se le tiene que realizar un corte mediante una sierra de disco de diamante sobre una mesa escuadrada que evite desalineamientos. Después de realizar el corte nos quedarán dos placas, una de 1200 x 500 mm y otra de 300 x 500 mm. Para poder cubrir toda la superficie del forjado se necesitan las 20 placas y sus respectivos cortes, de esta manera conseguimos las dos capas necesarias para un aislamiento perfecto.

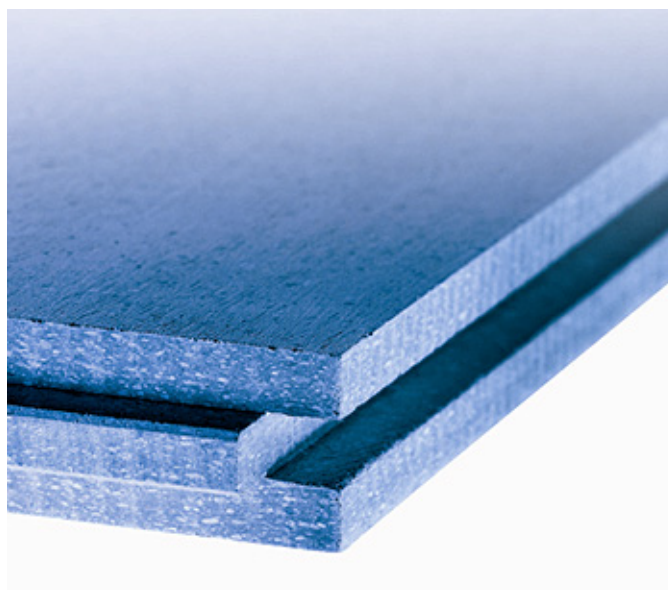


Figura 138.- Capa de panel Vidiflor [Knauff]

Las placas de lana de roca tienen que ser cortadas en trozos de 1200 x 500 mm con un sobrante de 300 x 500 mm. Cada placa será cortada mediante una sierra de disco. Para cubrir completamente la superficie del forjado son necesarias 10 placas y los sobrantes de las mismas.



Figura 139.- Panel OSB [Thermochip]

El OSB es un panel estructural de astillas o virutas de madera, orientadas en forma de capas cruzadas para aumentar su fortaleza y

rigidez, unidas entre sí mediante adhesivos químicos aplicados bajo alta presión y temperatura. Se presentan en diversidad de tamaños pero adaptándolos a nuestras necesidades, el formato será de 1000 x 500 mm (*Figura 139*).

- *Preparación Subconjunto Instalaciones.*

Con el objetivo de reducir los costes de fabricación se decide preparar un subconjunto de instalaciones, compuesto por las omegas, la lana de roca de dimensiones 600 x 100 y las instalaciones necesarias para el correcto funcionamiento de las viviendas (agua, luz,...). Esta operación se realiza de manera manual. Para asegurar la posición de las instalaciones y la lana de roca se usarán bridas. El subconjunto instalaciones parte techo llevará incorporado las sujeciones elásticas para el falso techo.

- *Uniones*

- Uniones entre capas de prestaciones

Después de cortar las placas de vidifloor y la lana de roca, es preciso realizar un montaje para preparar el suelo del forjado. Para esto se coloca primero la capa de vidifloor seguido por la capa de lana de roca y por último el tablero OSB. A través de los agujeros realizados en el tablero se atornilla todas las capas. Se utilizan tornillos autoperforantes y cabeza de trompeta para unir estas placas de longitud 30 mm. Para esto se utiliza un atornillador neumático.

- Unión entre Subconjunto Suelo y Forjado

A partir del subconjunto suelo, es necesario definir la unión existente entre este subconjunto y el forjado. Para conseguir esta unión, es necesario colocar dentro de los 4 agujeros exteriores del tablero OSB una unión tipo macho, como se

muestra en la imagen siguiente. Esta unión irá encajada dentro de los agujeros que llevarán preparados de fábrica las chapas de sujeción situados dentro del alma del forjado (*Figura 140*).

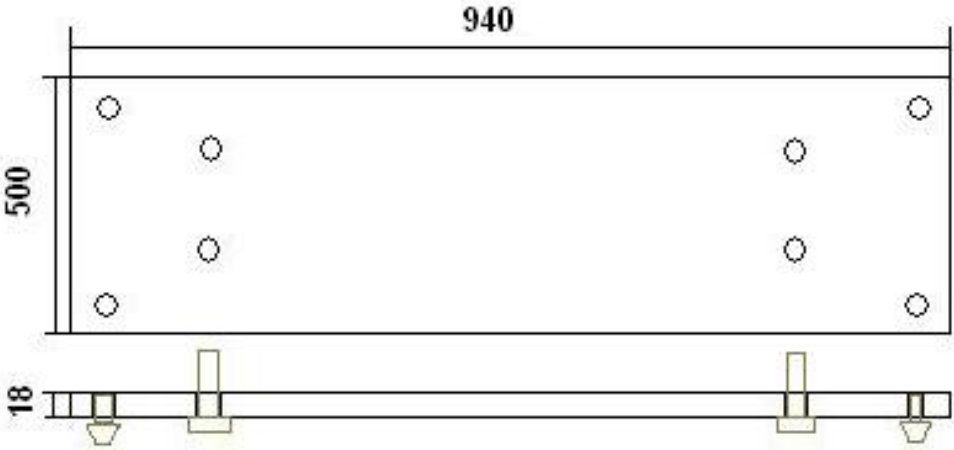


Figura 140-. Tablero OSB. Colocación Uniones

- *Línea de fabricación*

La línea de fabricación se compone de 4 zonas principales:

- Preparación placas de lana de roca (*Figura 141*)

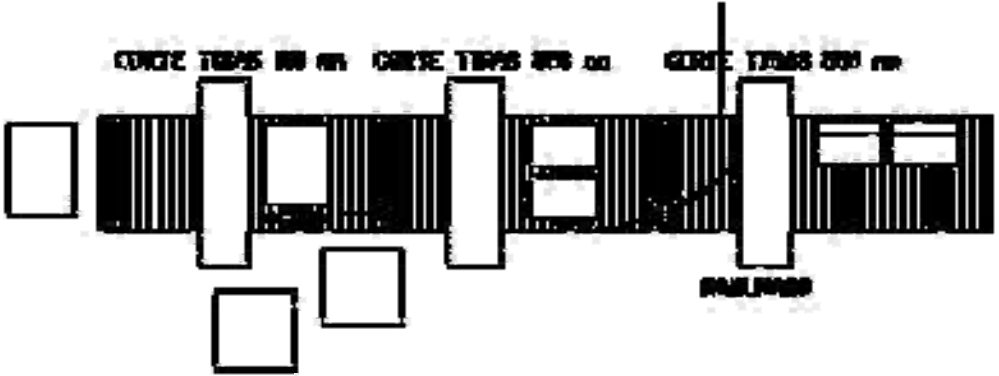


Figura 141.- Línea automática para procesado de lana de roca

La preparación de las placas de lana de roca se hará mediante una instalación automática que permita cargar las placas comerciales y nos ofrezca como salida los dos tipos de placa

específica que necesitamos para nuestros forjados. Se preverá un sistema de aspiración que recoja el residuo del corte de estas placas.

- Preparación Subconjunto Suelo. (Figura 142)

Como se ha mencionado anteriormente el subconjunto suelo está formado por diferentes capas de prestaciones. Por un lado se encuentra el vidifloor, la lana de roca y el tablero OSB.

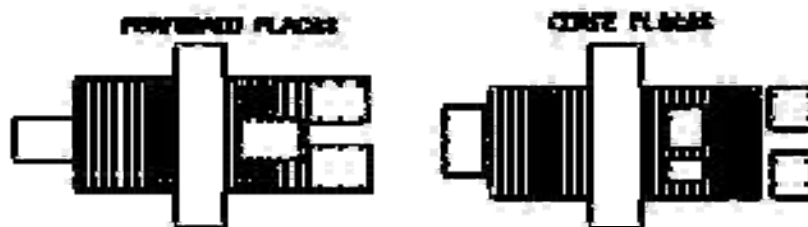


Figura 142.- Línea automática para procesado de Capas de Prestaciones.

Primero se coloca una capa de Vidifloor y después la capa de lana de roca, por último se coloca el tablero OSB. A continuación se atornillan, haciendo pasar los tornillos por los agujeros del tablero OSB.

- Preparación Subconjunto Instalaciones.

Este subconjunto se colocará después de la línea automática de lana de roca. Se trata de una operación manual donde se colocan los trozos de lana de roca de 600 x 100 x 50 si se trata del suelo, o los trozos de 600 x 100 x 40 si se trata de la parte correspondiente al techo.

- Línea de ensamblaje de la UCA (Figura 143)

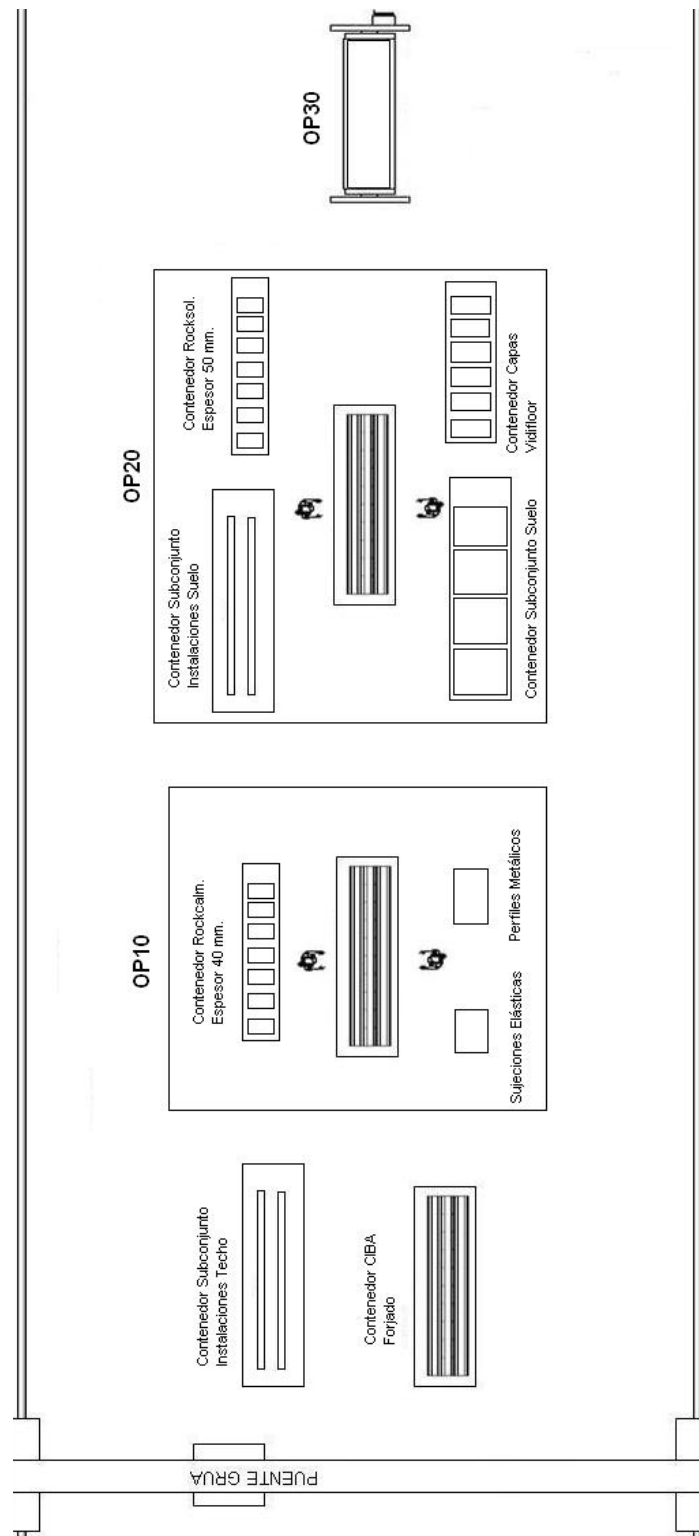


Figura 143.- Línea principal del montaje de la UCA forjado

- *Estudio de tiempos de la línea*

En las *Tablas 48-53* se recogen los tiempos de las operaciones que se llevan a cabo en las diferentes estaciones de la línea de montaje.

Preparación Capas Prestaciones		3,6 ud/hora
Perforado placa	30 seg/placa	360 seg/ud
	12 placa/ud	
Corte placa	15 seg/placa	630 seg/ud
	42 placa/ud	
Tiempo acumulado		990 seg/ud
Tiempo de Ciclo		17 min/ud

Tabla 48.- Tiempo de ciclo de la preparación de Capas de Prestaciones

Preparación Lana Roca		7,2 ud/hora
Corte y ranurado	15 seg/placa	150 seg/ud
	10 placa/ud	
Corte placa	30 seg/placa	300 seg/ud
	10 placa/ud	
Tiempo acumulado		500 seg/ud
Tiempo de Ciclo		8 min/ud

Tabla 49.- Tiempo de ciclo de la preparación de lana de roca

Preparación SubConjunto Instalaciones		9,3 ud/hora
Colocación Lana Roca	150 seg/omega	150 seg/ud
	1 omega/ud	
Colocación Instalaciones	200 seg/omega	200 seg/ud
	1 omega/ud	
Tiempo acumulado		389 seg/ud
Tiempo de Ciclo		6 min/ud

Tabla 50.- Tiempo de ciclo preparación Subconjunto Instalaciones

Preparación SubConjunto Suelo		13,0 ud/hora
Colocación Capas Prestaciones	30 seg/capas	90 seg/ud
	3 capas/ud	
Atornillar Capas Prestaciones	20 seg/tornillo	80 seg/ud
	4 tornillo/ud	
Colocación Unión Entre Capas y Forjado	20 seg/union	80 seg/ud
	4 union/ud	
Tiempo acumulado		278 seg/ud
Tiempo de Ciclo		5 min/ud

Tabla 51- Tiempo de ciclo preparación Subconjunto Suelo

OP10 (2 operarios)		4,4 ud/hora
Carga/descarga forjado	90 seg/operación	90 seg/ud
	1 operación/ud	
Instalación Sujeciones Elásticas		330 seg/ud
Atornillar Sujeciones Elásticas	15 seg/operación	330 seg/ud
	22 operación/ud	
Instalación lana de roca		115 seg/ud
Aproximación 2 bloques de 550 x 600	10 seg/operación	10 seg/ud
	1 operación/ud	
Enhebrar 2 bloques de 550 x 600	2 seg/operación	2 seg/ud
	1 operación/ud	
Aproximación del Subconjunto Instalaciones al forjado	15 seg/operación	15 seg/ud
	1 operación/ud	
Volteo y referenciado del Subconjunto	2 seg/operación	2 seg/ud
	1 operación/ud	
Atornillar el Subconjunto Instalaciones	20 seg/operación	20 seg/ud
	1 operación/ud	
Meter el resto de placas de lana de roca	60 seg/operación	60 seg/ud
	1 operación/ud	
Introducir 4 tornillos de fijación la lana de roca	6 seg/operación	6 seg/ud
	1 operación/ud	
Instalación Perfiles Metálicos		275 seg/ud
Aproximación de placas al forjado	10 seg/operación	110 seg/ud
	11 operación/ud	
Atornillado	5 seg/operación	165 seg/ud
	33 operación/ud	
Tiempo total acumulado		810 seg/ud
Eficiencia 100%		810 seg/ud
Tiempo de Ciclo		13,5 min/ud

Tabla 52.- Tiempo de ciclo de la estación OP10

OP20 (2 operarios)		4,0 ud/hora
Transporte UCA y volteo	120 seg/operación	120 seg/ud
	1 operación/ud	
Instalación lana de roca		115 seg/ud
Aproximación 2 bloques de 550 x 600	10 seg/operación	10 seg/ud
	1 operación/ud	
Enhebrar 2 bloques de 550 x 600	2 seg/operación	2 seg/ud
	1 operación/ud	
Aproximación del Subconjunto Instalaciones al forjado	15 seg/operación	15 seg/ud
	1 operación/ud	
Volteo y referenciado del Subconjunto	2 seg/operación	2 seg/ud
	1 operación/ud	
Atornillar el Subconjunto Instalaciones	20 seg/operación	20 seg/ud
	1 operación/ud	
Meter el resto de placas de lana de roca	60 seg/operación	60 seg/ud
	1 operación/ud	
Introducir 4 tornillos de fijación la lana de roca	6 seg/operación	6 seg/ud
	1 operación/ud	
Instalación Subconjunto Suelo		660 seg/ud
Aproximación Subconjunto	25 seg/operación	300 seg/ud
	12 operación/ud	
Encajar Subconjunto	10 seg/operación	120 seg/ud
	12 operación/ud	
Colocación Segunda Capa Vidifloor	20 seg/operación	240 seg/ud
	12 operación/ud	
Tiempo total acumulado		895 seg/ud
Eficiencia 100%		895 seg/ud
Tiempo de Ciclo		14,9 min/ud

Tabla 53.- Tiempo de ciclo de la estación OP20

El tiempo de ciclo de la línea está marcado por la estación OP20, y es de 895 segundos por UCA, lo que equivale a 4 forjados a la hora. Trabajando a dos turnos, con 15 horas efectivas diarias, se producen 60 forjados al día (432 m² diarios).

- *Coste de la línea*

En las *Tabla 54* se calculan los costes asociados a maquinaria y materia prima de la línea planteada.

MAQUINARIA	
Preparación lana de roca	
Instalación corte y ranurado lana de roca (incluida aspiración)	125.000 €
Preparación Capas Prestaciones	
Instalación corte y punzonado (incluida aspiración)	125.000 €
OP10	
2 Mesas de rodillos para carga lana de roca	1000 €
Mesa para soporte forjado y centrado subconjunto Suelo	1500 €
2 Manipuladores ingravidos	60.000 €
OP20	
Mesa soporte y volteo de forjados	6000 €

Tabla 54.- Costes de maquinaria asociados a la línea.

En cuanto a materiales y consumibles, en la *Tabla 55* se recogen los costes de los diferentes conceptos:

Concepto	Precio unitario	Precio/m²	Precio/UCA
Placa Vidifloor + LR 1500x500		33,10 €/m ²	238,32 €
Tablero OSB 1000 x 500 x 18		5,90 €/m ²	42,48 €
Tornillos	32,14€/1000ud	0,40 €/m ²	2,88 €
Placa Lana de Roca	1 €/ud	20,45 €/m ²	147,24 €
Sistemas Elásticos	0,5 €/ud	8,33 €/m ²	59,98 €
Perfiles Metálicos	0,54 €/ud	2,75 €/m ²	19,80 €
Placa Fibro Yeso Alta Dureza Fermacell	1,3 €/m	12,10 €/m ²	87,12 €
Total		83 €/m²	597,82 €

Tabla 55.- Costes de materia prima

Teniendo en cuenta estos costes, en la *Tabla 56* se calcula el coste de fabricación del UCA:

Línea	Coste Recurso	Turnos	Cap. Teórica	% Útil	Cap. Práctica	Coste Unitario	T C	Coste	Superf.	Coste m ²
	€/mes		h/mes		h/mes	€/h	min	€	m ²	€/m ²
Fabricación Perfiles	1946739	2	320	0,8	256	7604,45	0,33	42,25		
Fabricación Chapa	971933	2	320	0,8	256	3796,61	0,70	44,53		
Fabricación CIBA	103930	2	320	0,8	256	405,98	22,35	151,25	7,2	21,01
Fabricación UCA	791671	2	320	0,8	256	3092,47	14,92	768,82	7,2	106,78

Tabla 56. - Estimación de coste del UCA forjado unidireccional.

4.4. MONTAJE EN OBRA

En este apartado se va a definir un edificio a modo de validación para desarrollar el montaje del edificio y se van a definir dos métodos de montaje: mediante medios tradicionales y montaje más “manual”, y también mediante métodos automatizados con gatos trepadores.

4.4.1. Definición del edificio

Como ya se avanzó en el *Apartado 4.3* se ha seleccionado un edificio de trabajo para poder desarrollar a modo de ejemplo la metodología, no implicando que sea éste el único edificio o tipo de edificio posible, sino un modelo que permita realizar el estudio de su montaje (y en el *Apartado 4.6* su desmontaje).

No se ha seguido un criterio arquitectónico, no objeto de la presente tesis, sino ingenieril y sencillo geométricamente. Se plantean 3 bloques, separados por módulos de comunicaciones (UCA 3D) que serán los portales y escaleras de las diferentes viviendas. El edificio se plantea para un uso

mixto: una planta baja para sector terciario (comercio o pequeña industria como un taller, etc...), y 5 plantas para viviendas y oficinas. Las dos primeras plantas serán con uso preferente de oficinas y las tres últimas de uso único de vivienda. El edificio dispondría de placas solares en la cubierta para agua caliente y sanitaria y en la fachada orientación sur con placas fotovoltaicas para el consumo eléctrico.

El edificio, por tanto, se ha planteado con las siguientes dimensiones (*Figura 144*) teniendo en cuenta la modularidad comentado en los apartados de diseño y fabricación de los componentes:

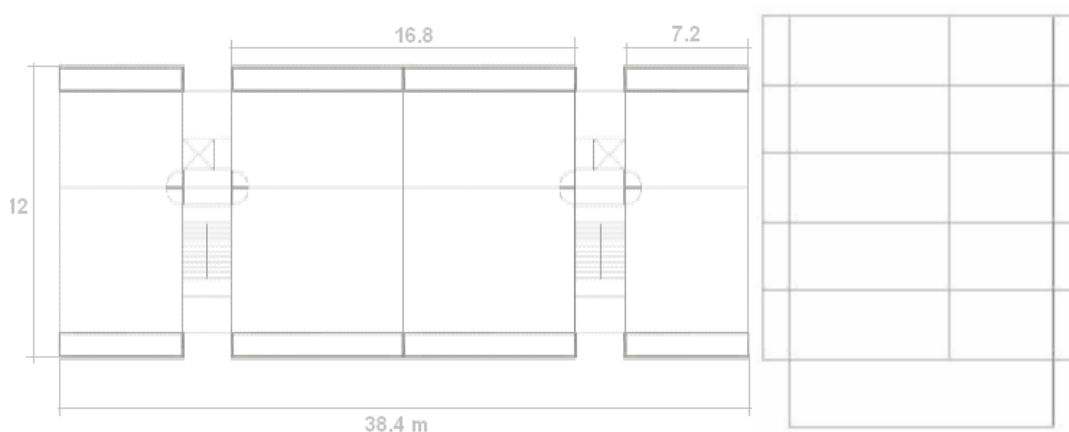


Figura 144.- Distribución en planta (izda.) y alzado (dcha.) del edificio tipo

En la *Tabla 57* se recoge el número de componentes incluidos y sus dimensiones para cada planta del edificio (excluida la cubierta).

Componentes	Dimensiones	Unidades
Forjado	6x1.2m	48
Panel de fachada	3x1.2	84
Panel división interior estructural	2.7x1.2	58
Módulos baño	2.4x0.9m	10
Módulos de cocina	2.4x0.9m	8

Tabla 57.- Desglose del tipo y número de CIBAs por planta

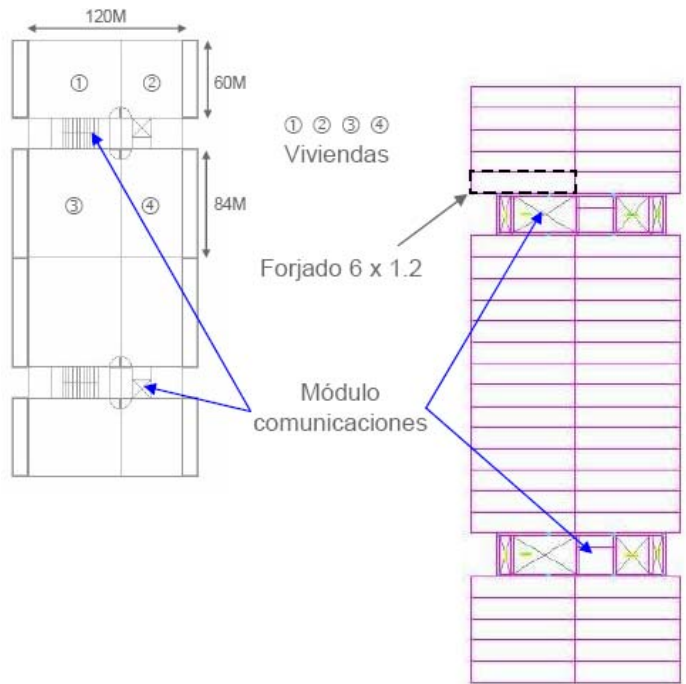


Figura 145.- División del edificio en componentes

En las Figuras 145 y 146 se muestran la ubicación de tres tipos de CIBA sobre la planta del edificio: forjados, paneles de fachada (perímetro del edificio), y paneles de división interior (separación entre viviendas en el interior de la planta).

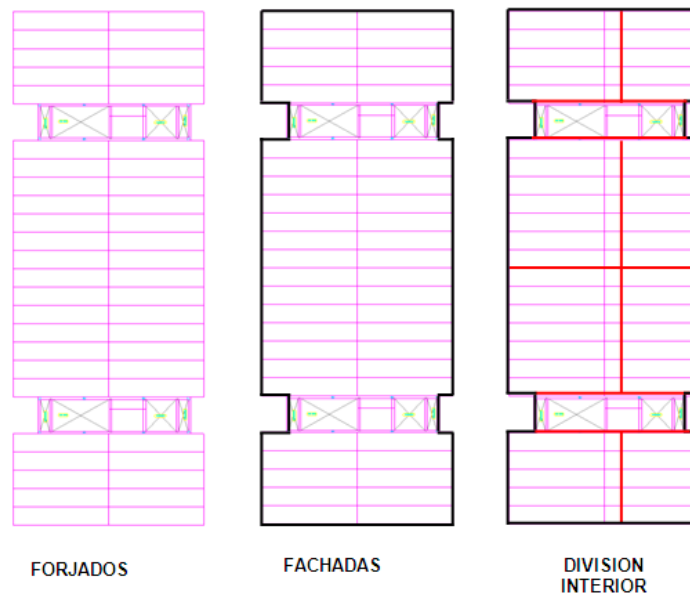


Figura 146.- Ubicación de los distintos componentes en la planta del edificio.

4.4.2. Montaje del edificio por medios tradicionales

Como se comentó en el *Apartado* 3.2.3 del presente trabajo, existen métodos tradicionales y métodos innovadores para realizar el montaje del edificio. El primero que se ve a continuación es considerado manual en contraposición con el que se verá en el próximo *Apartado* 4.4.3 que será más automatizado.

La construcción del edificio se comienza partiendo de las zapatas de hormigón, que se ejecutan de forma tradicional y no están cubiertas en los objetivos de la tesis. Sobre estas zapatas se comienza a levantar el edificio.

La secuencia exacta de levantamiento del edificio dependerá en gran medida de la disponibilidad de espacio en el solar de la obra, dado que condicionará la ubicación de la grúa, la logística de suministro etc.

En el edificio tipo se considera la siguiente distribución espacial, por considerarse poco favorable. Existe edificios a un lado y por la parte trasera del mismo, y en el otro lateral existe una zona libre (*Figura 147*).

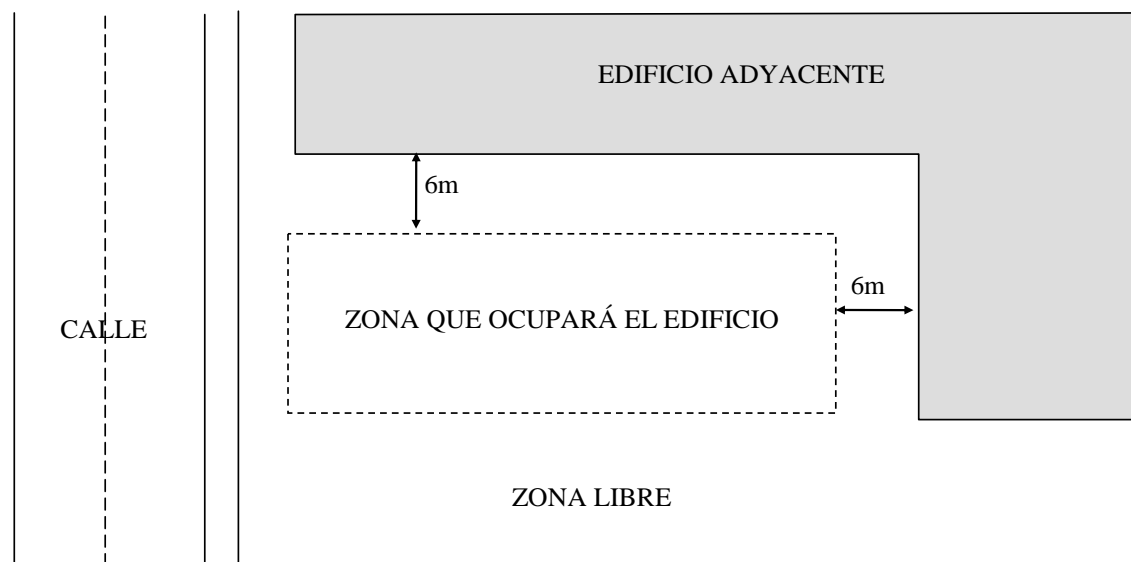


Figura 147.- Distribución espacial de la obra

- PASO 1: Montaje de los módulos de comunicaciones (Figuras 148 y 149)

En primer lugar se instalan los núcleos de comunicaciones. Estos van colocados unos sobre otros y constituirán el núcleo resistente del edificio. Se instalan mediante un camión grúa o una grúa torre que se ubica en la zona libre.

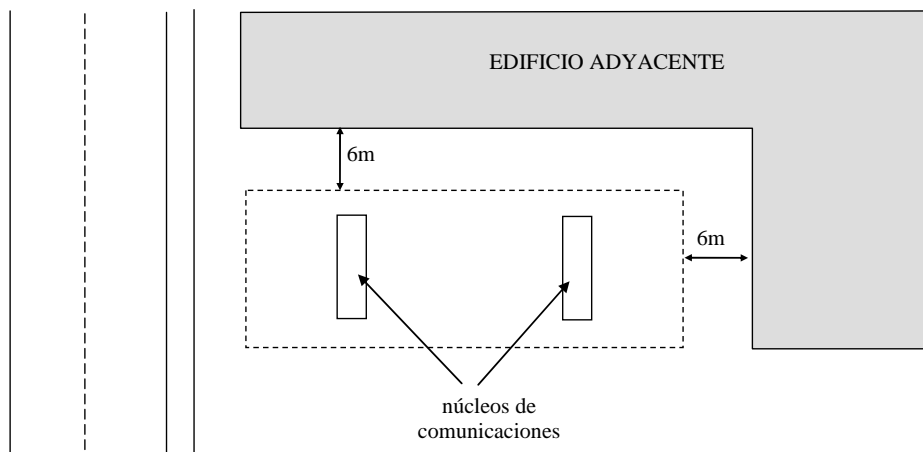


Figura 148.- Ubicación de los núcleos de comunicaciones

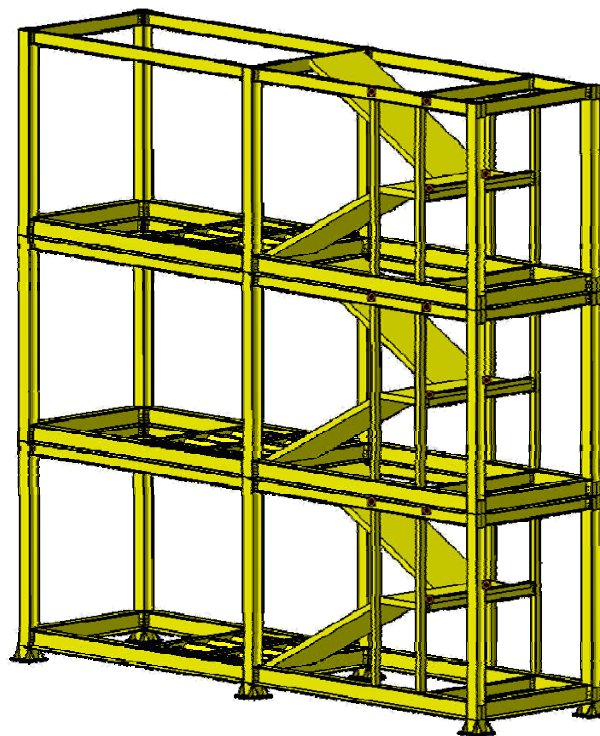


Figura 149.- Montaje de los núcleos de comunicaciones

Para facilitar la logística, el edificio empezará a montarse desde la parte más lejana a la calle (zona 3 de la Figura 150). Si se hiciera de forma inversa, y se construye primero la zona 1, podrían surgir problemas para acceder y poder transportar materiales hasta el fondo de la obra.

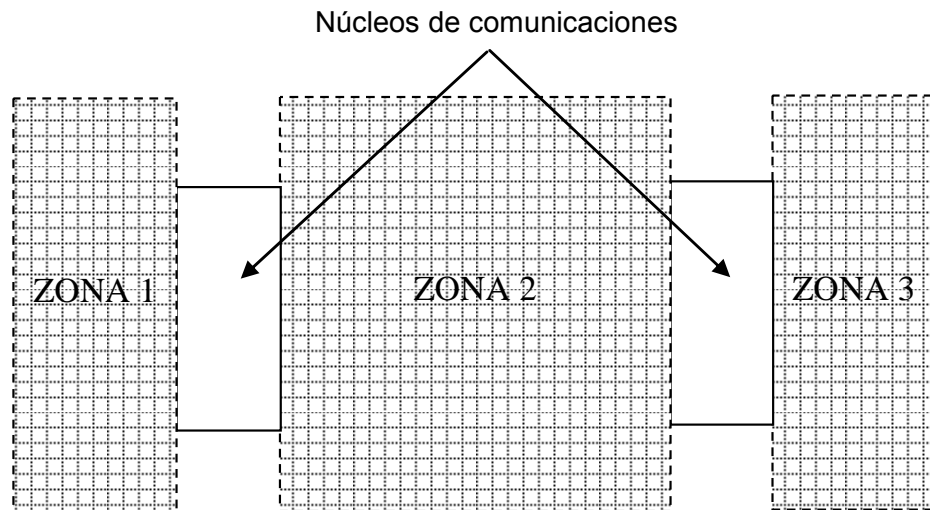


Figura 150.- División del edificio en zonas

- PASO 2: *Montaje de los pilares (Figuras 151 y 152)*

Una vez se han instalado las “torres” correspondientes a los núcleos de comunicaciones, el siguiente paso es colocar los pilares. Como se ha mencionado en el apartado anterior, la colocación de los pilares se realiza desde la zona 3 de la obra hacia la zona 1.

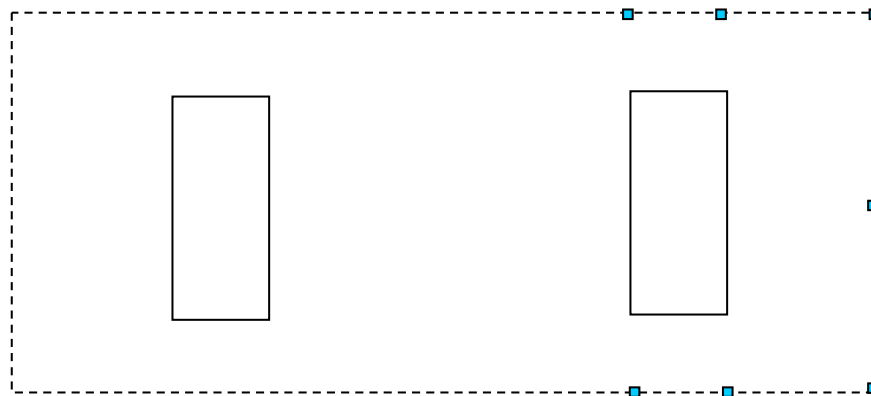


Figura 151.- Colocación de los pilares. Ubicación

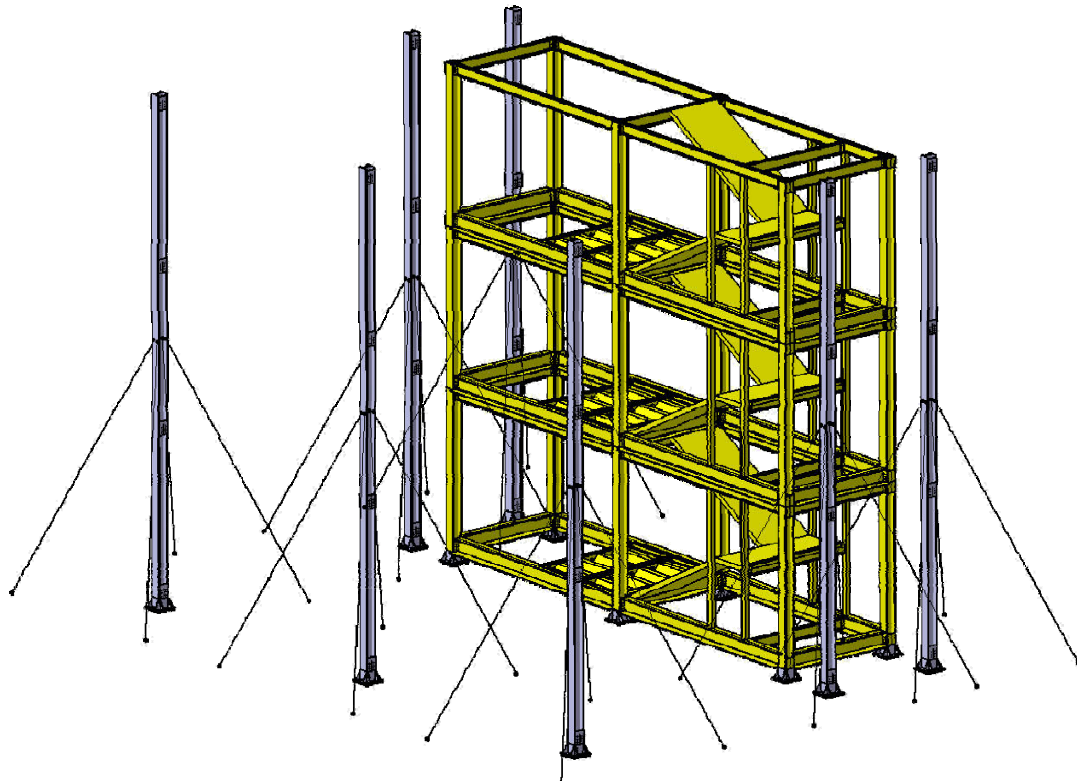
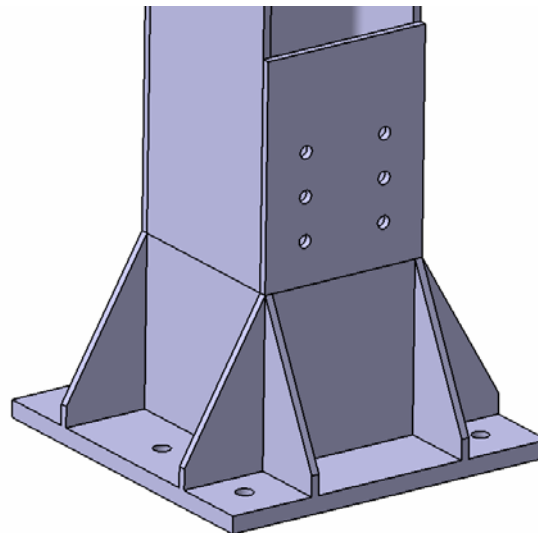


Figura 152.- Colocación de los pilares. Vista 3D

Los perfiles son de sección en H e irán unidos a la cimentación como



se indica en la

Figura 153 153.

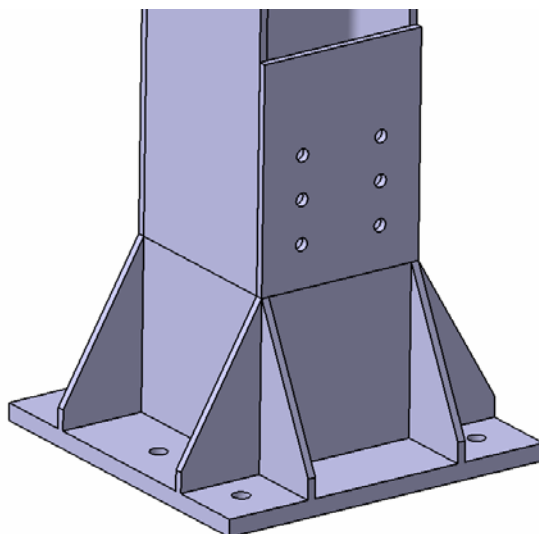


Figura 153.- Detalle unión a la cimentación

Para garantizar la estabilidad de los pilares, se apuntalan hasta que se coloquen las vigas que los unen al núcleo de comunicaciones.

- PASO 3: *Montaje de las vigas (Figuras 154 y 155)*
Tras los pilares se colocan las vigas. Estas son de perfil IFB y van atornilladas a las columnas.

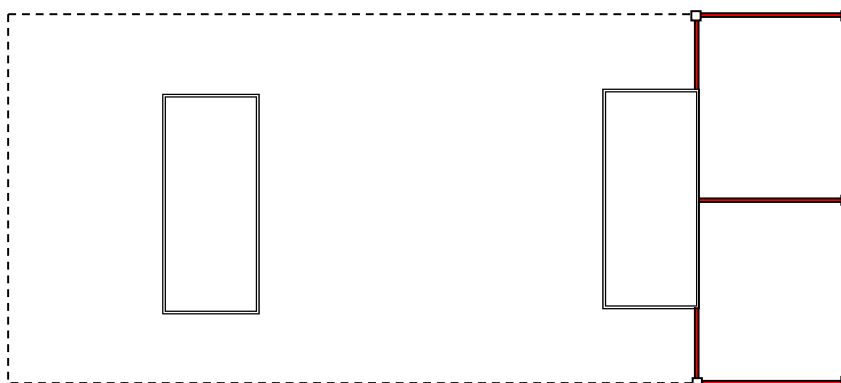


Figura 154.- Colocación de las vigas de la zona 3

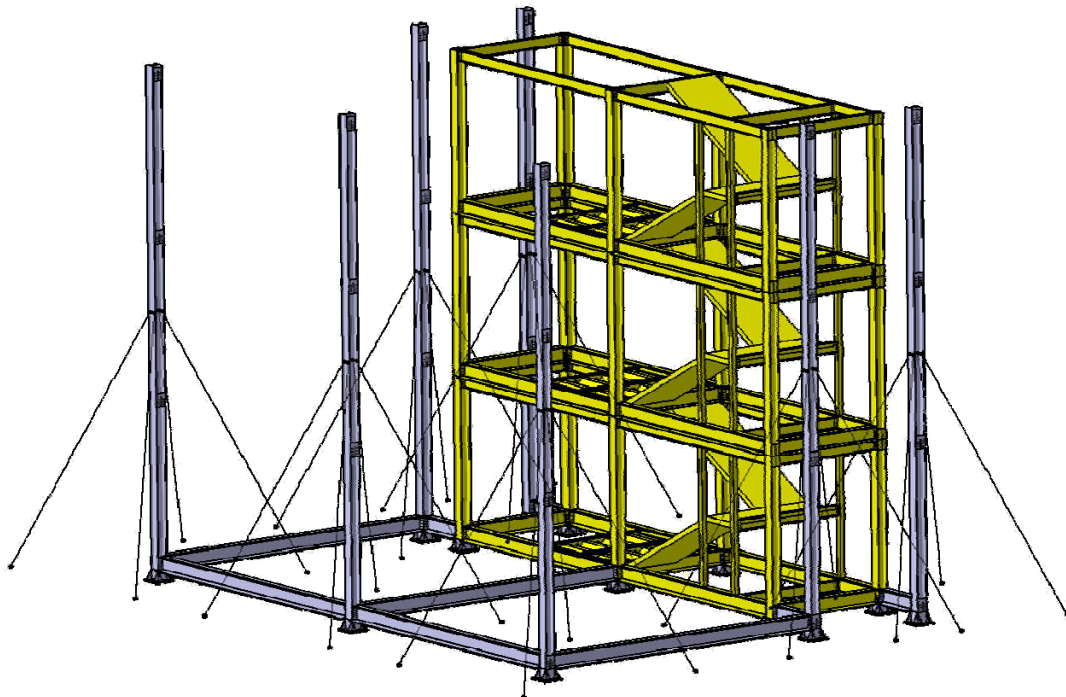


Figura 155.- Montaje de las vigas

La unión entre pilares y vigas se realiza por atornillado entre placas soldadas a los perfiles (Figura 156).

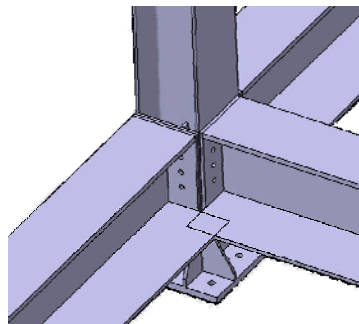


Figura 156.- Detalle de la unión entre pilar y viga

- PASO 4: Montaje de forjados (Figuras 157 y 158)
Una vez están montadas las vigas se procede a colocar los forjados.

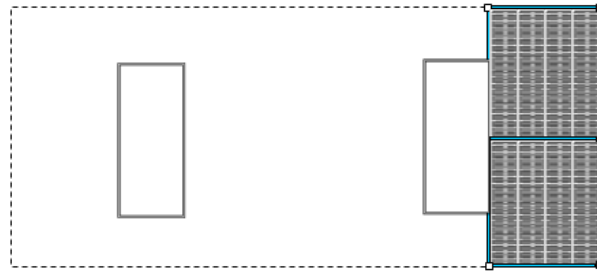


Figura 157.- Vista en planta de la zona 3 con forjados

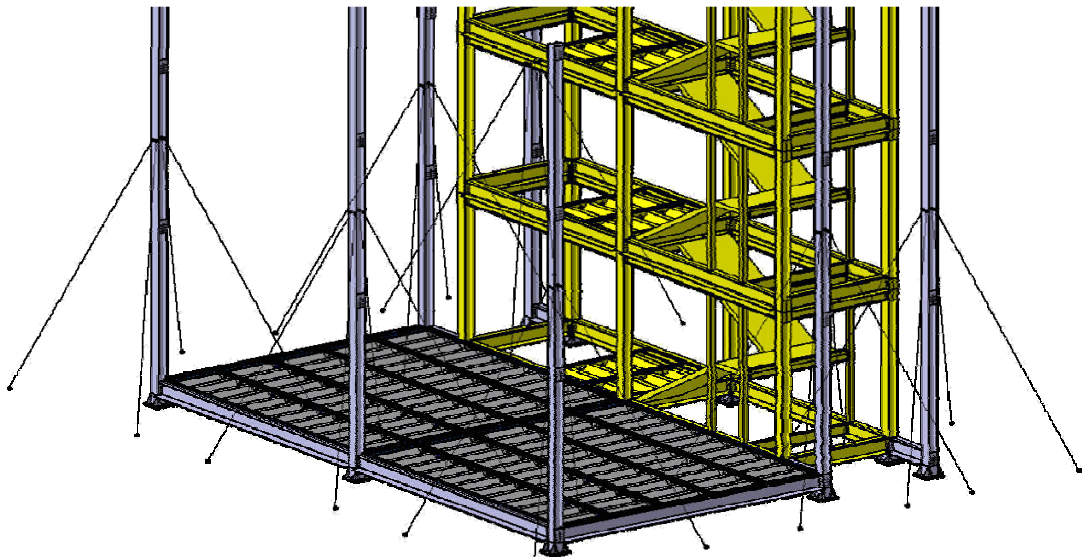


Figura 158.- Edificio con forjados

Las uniones de los forjados con las IFBs se resuelven con una omega plegada en frío soldada al forjado y atornillada a la viga (Figura 159).

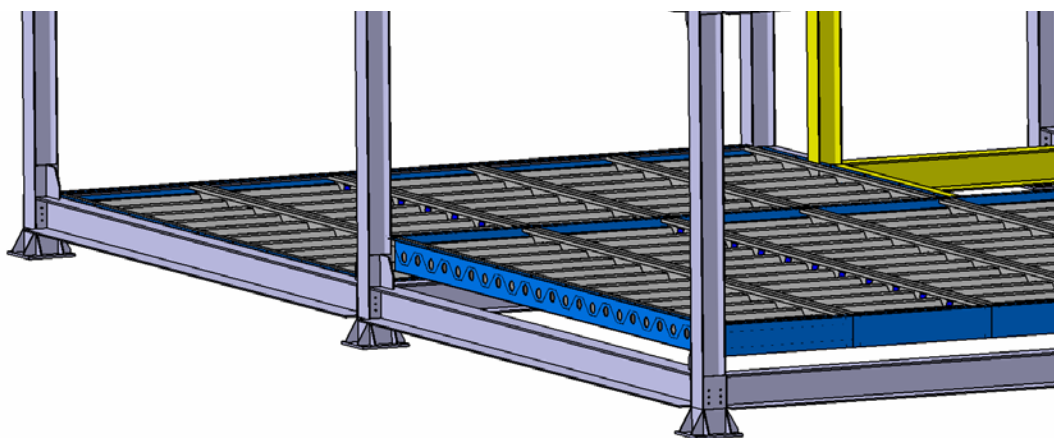


Figura 159.- Unión entre forjados y vigas

Una vez se han colocado los forjados se puede quitar el arriostramiento de la fachada.

- PASO 5: *Montaje de paneles de división entre pisos (Figura 160 y 161)*

Existen dos tipos de paneles de división interior. Los estructurales que delimitan el perímetro exterior de la vivienda (separación entre viviendas y con el núcleo de escaleras) y los “ligeros” que sirven para compartimentación interior de la misma.

En esta fase se colocan los paneles estructurales:

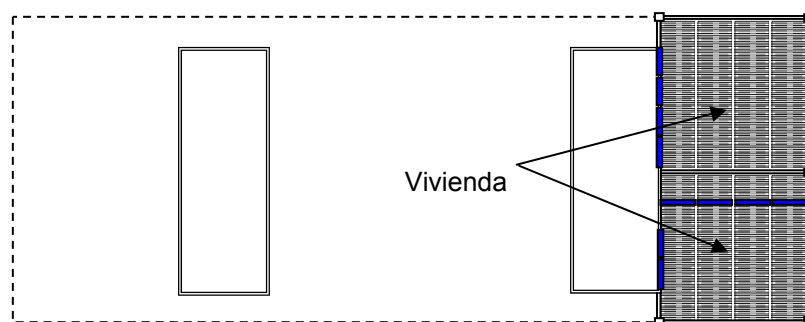


Figura 160.- Vista en planta de la zona 3 con los paneles de división estructurales
Los paneles de este tipo no se unen a la estructura de vigas del edificio sino que van apoyados sobre el forjado.

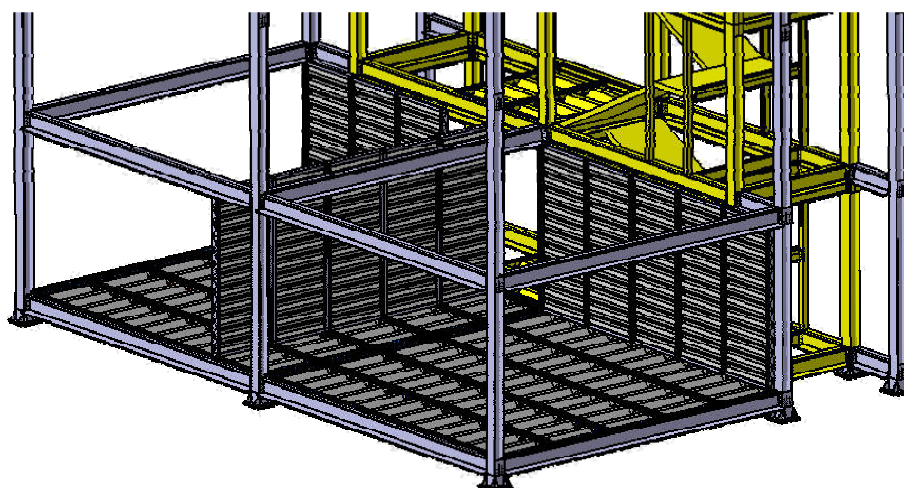


Figura 161.- Montaje de los paneles de separación entre viviendas

- PASO 6: *Montaje de componentes de cada vivienda (Figura 162)*
A partir de este punto se instalan los componentes propios de cada vivienda:
 - Paneles de compartimentación interior no estructurales
 - Módulos húmedos: cocina y baño.

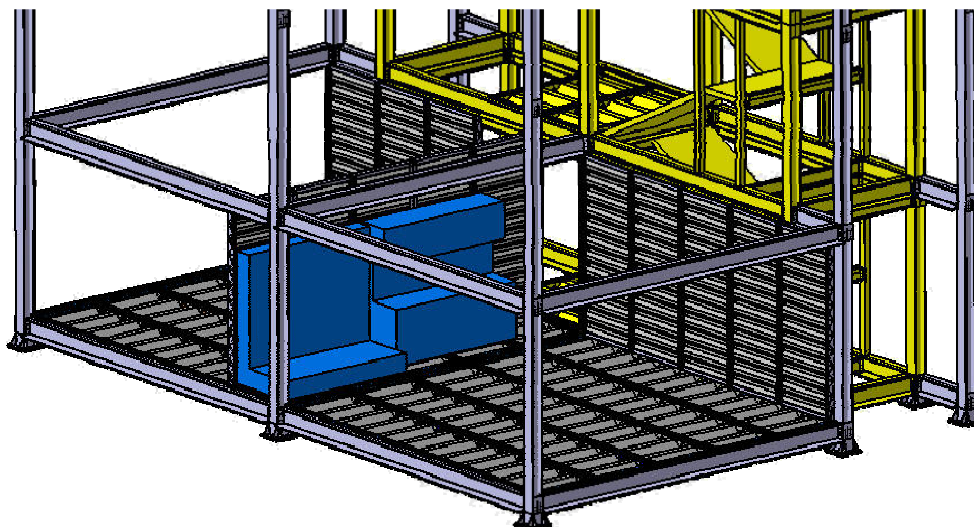


Figura 162.- Instalación de los componentes propios de cada vivienda

- PASO 7: *Montaje de paneles de fachada (Figura 163 y 164)*
Los paneles de fachada se colocan tras montar los forjados. Estos se atan directamente a las vigas IFB de la fachada. Los paneles de fachada basados en estructuras de chapa grecada se alternarán con “marcos de ventana”.

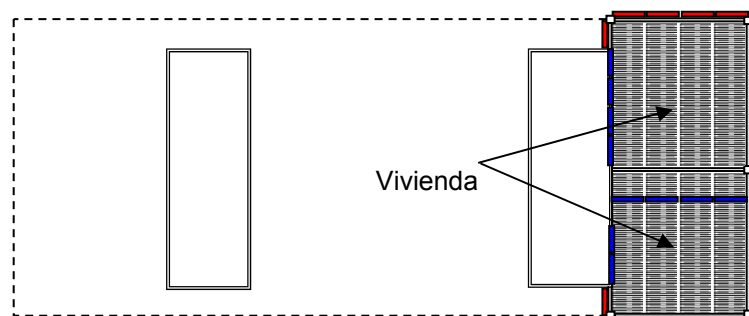


Figura 163.- Vista en planta de la zona 3 con los paneles de fachada

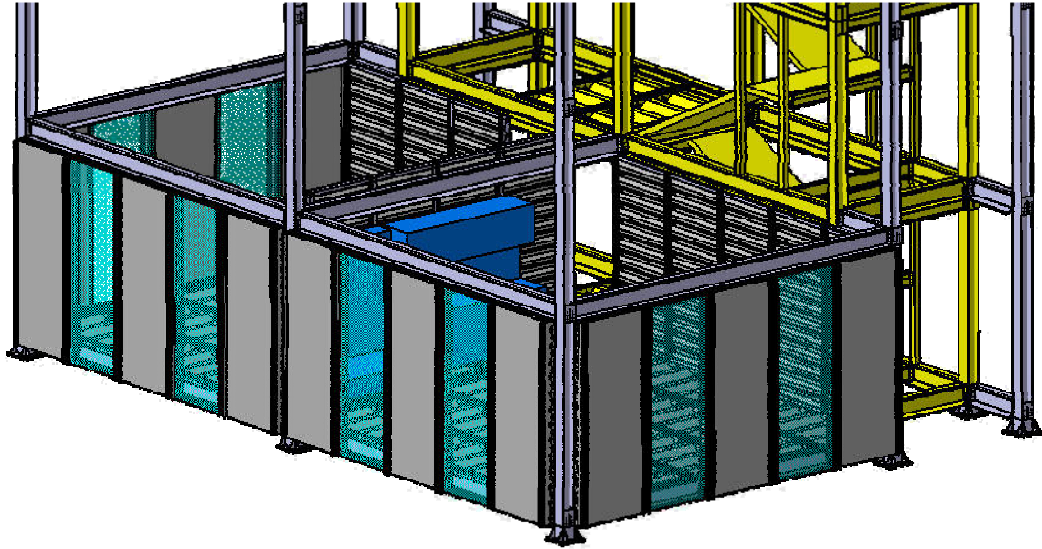


Figura 164.- Colocación de los paneles de fachada

Desde un punto de vista estructural, los paneles de fachada también podrían hacer la función de arriostramiento, pero hay dos inconvenientes importantes:

- En caso de querer cambiar alguno de los paneles de fachada, en el momento en que se quita este podría quedar comprometida la estabilidad del edificio.
- Los paneles de fachada tipo “ventana” no sirven para arriostrar, porque no son capaces de transmitir el esfuerzo (se recuerda que son marcos acristalados).

Por tanto, la fachada no tiene responsabilidad estructural más allá de su peso y de acciones al viento (*Figura 165*).

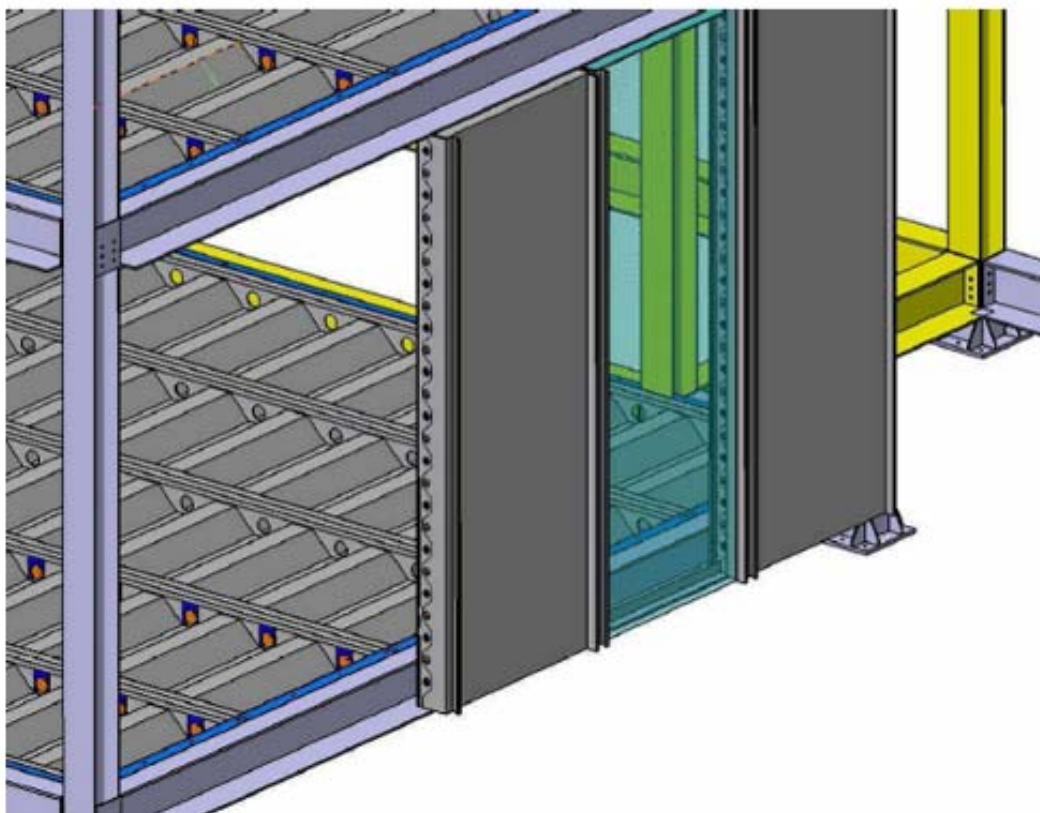


Figura 165.- Detalle de la colocación de los paneles de fachada

- PASO 8: *Colocación del resto de plantas*
Se repiten para cada planta los pasos 3 a 7
- PASO 9: *Montaje de la cubierta (Figura 166)*
La cubierta será plana, formada por CIBAs como el forjado sobre las cuales se instalan los dispositivos de generación de agua caliente. Con este paso queda el edificio cubierto y completo, quedando trabajos de acabados e instalaciones.

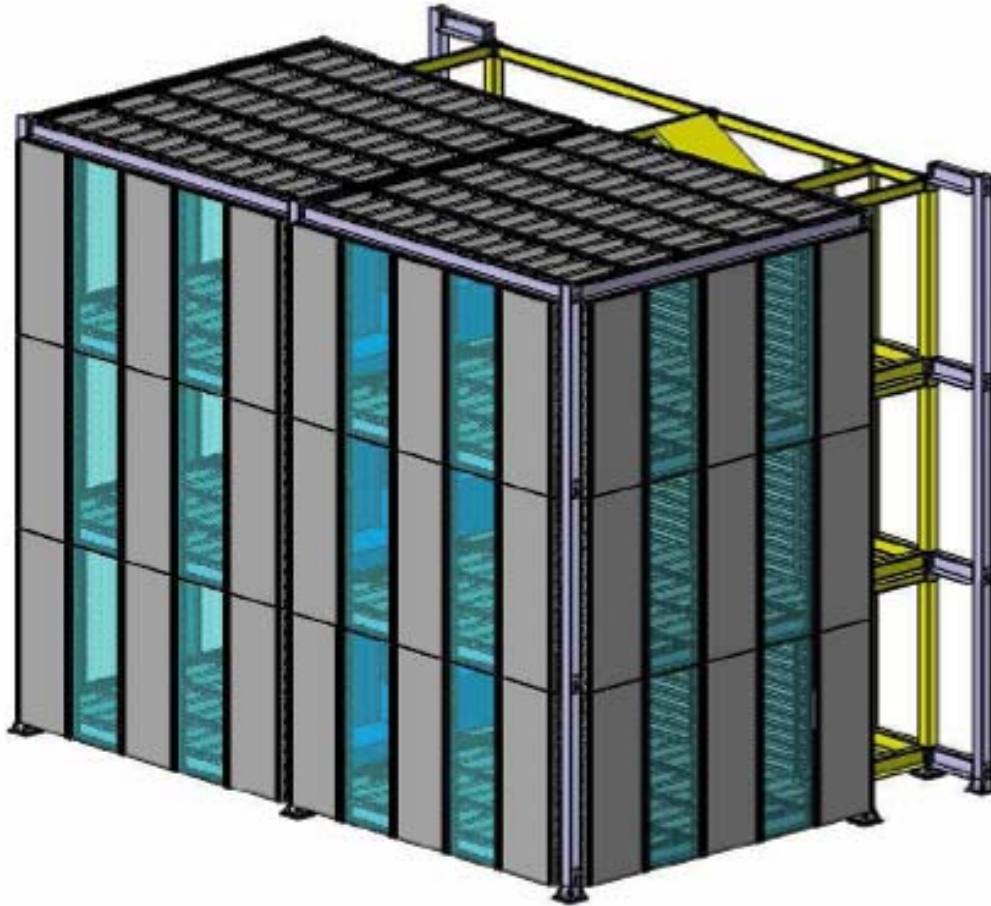


Figura 166.- Colocación de la cubierta

4.4.3. Montaje automatizado del edificio

Como se analizó en el *Apartado 3.2.3*, dentro de los métodos automatizados de montaje, la solución que mejor se adapta a la construcción del edificio es la de los gatos trepadores hidráulicos

Para poder implementar esta tecnología en la construcción del edificio será necesario adaptar la estructura del mismo para hacerla compatible con la técnica que se quiere utilizar, denominada Lift-slab.

- *Características técnicas de los gatos (Tabla 58)*

Capacidad de carga	125-450 Tn
Recorrido	250-500 mm
Longitud mínima	1115-1870 mm
Peso	1300-4350 kg
Dimensión pilar de trepado (cuadrado)	100-200 mm
Espaciado puntos de anclaje del pilar	1500-2500 mm
Presión de trabajo	280 bar

Tabla 58.- Característica principales del gato trepador

- *Control de los gatos hidráulicos (Figura 167)*
 Los gatos hidráulicos se controlan mediante un software que permite coordinar y monitorizar multitud de gatos al mismo tiempo.

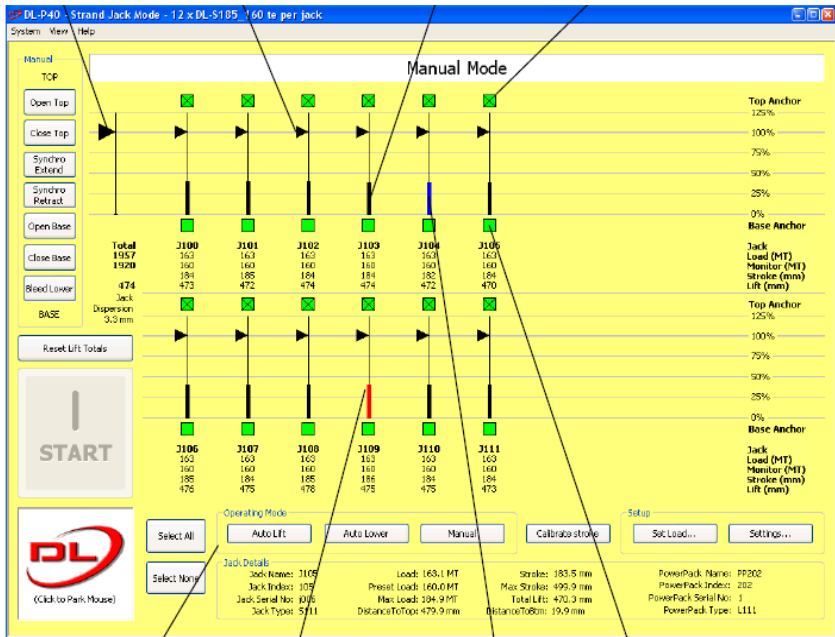


Figura 167.- Ejemplo de software de control simultaneo de los gatos [DL]
 Cada gato hidráulico lleva incorporados múltiples sensores que controlan en todo momento el estado del mismo: presión hidráulica, grado de extensión, carga soportada, estado de los anclajes (abierto/cerrado).

Cada gato hidráulico lleva incorporado su “power pack” (*Figura 168*) o sistema de alimentación y control, que puede funcionar tanto mediante un motor diesel como uno eléctrico. Cada uno de estos “power-packs” puede alimentar varios cilindros.



Figura 168.- Gatos hidráulicos de elevada capacidad de carga (dcha.) y sus correspondientes “Power-packs”(a la izda.) [DL]

La velocidad de movimiento de estos dispositivos - ya sea de elevación, descenso o movimiento horizontal - está limitada por el flujo de aceite en el cilindro principal.

- *Requisitos del sistema*

Para poder dimensionar la estructura del edificio y el equipo de elevación es necesario calcular el peso de las plantas del edificio. Las plantas están constituidas por vigas, forjados, paneles de fachada, paneles de división interior y módulos húmedos. En las *Tablas 59-61* se desglosa el peso de cada componente y de la planta:

UCA Forjado	Peso (Kg/m ²)	Superficie (m ²)	Peso Total (kg)
CIBA	35	7,2	252
Lana roca	9,6	7,2	69,12
Aquapanel	36	7,2	259,2
Otros	5	7,2	36
Perfilería techo	10	7,2	72
Pladur techo	10	7,2	72
Lana roca techo	1,6	7,2	11,52
Otros techo	5	7,2	36
Instalaciones	10	7,2	72
Peso UCA	122,2	7,2	879,84

Tabla 59.- Peso del forjado

UCA Fachada	Peso (Kg/m ²)	Superficie (m ²)	Peso Total (kg)
CIBA	28	3,6	100
Lana roca	9,6	3,6	34,56
Otros aislantes exterior	9,6	3,6	34,56
Gres (cara exterior)	30	3,6	108
Otros exterior	5	3,6	18
Pladur interior	10	3,6	36
Lana roca interior	1,6	3,6	5,76
Otros interior	2	3,6	7,2
Instalaciones	2	3,6	7,2
Peso UCA	97,6	3,6	351,28

Tabla 60.- Peso del panel de fachada

UCA Div. Interior	Peso (Kg/m ²)	Superficie (m ²)	Peso Total (kg)
CIBA	19	3,24	60
Lana roca (x2)	1,6	3,24	10,368
Pladur interior (x2)	10	3,24	64,8
Otros (x2)	2	3,24	12,96
Instalaciones (x2)	2	3,24	12,96
Peso UCA	34,1	3,24	161,088

Tabla 61.- Peso del panel de división interior

Módulos húmedos

Se trata de módulos de cocina y baño de 2400x1200mm. Se estima un peso de 600 kg por módulo.



Planta completa

Utilizando los pesos antes mencionados se calculan a continuación los pesos (*Tabla 62*) de cada una de las tres zonas del edificio. Las zonas 1 y 3 (*Figura 169*) son idénticas por lo que tendrán el mismo peso.

PESO PLANTAS				
Componente	Cantidad	Peso CIBA (kg)	Peso UCA (kg)	Peso Total (kg)
ZONA 1-ZONA 3				
Viga Transversal (6m)	3	370 kg	370 kg	1110
Viga Longitudinal (6m)	2	370 kg	370 kg	740
Forjado	10	252 kg	880 kg	8798
Panel de fachada	20	100 kg	351 kg	7026
Panel interior	13	60 kg	161 kg	2094
Baño	2		600 kg	1200
Cocina	2		600 kg	1200
Subtotal				22168
ZONA 2				
Viga transversal (8.4m)	6	520 kg	520 kg	3120
Viga Longitudinal (6m)	2	370 kg	370 kg	740
Forjado	28	252 kg	880 kg	24636
Panel de fachada	28	100 kg	351 kg	9836
Panel interior	40	60 kg	161 kg	6444
Baño	4		600 kg	2400
Cocina	4		600 kg	2400
Subtotal				49575
TOTAL PLANTA				93911

Tabla 62.- Estimación del peso de la planta

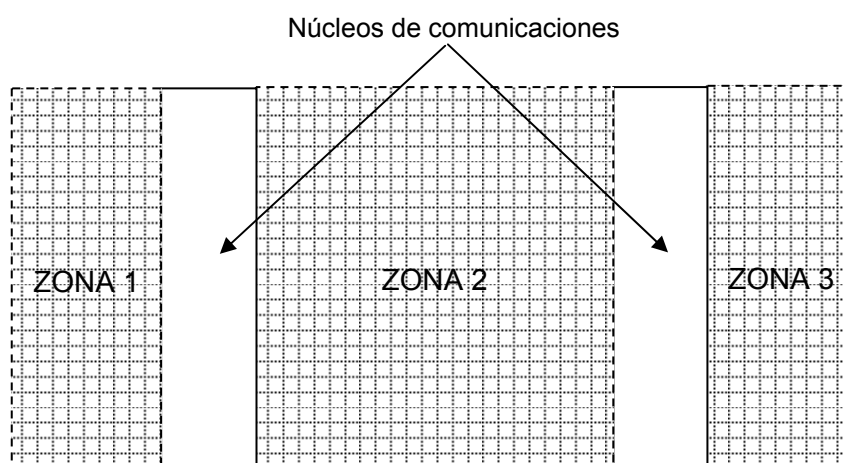


Figura 169.- Zonas principales del edificio

- *Modificaciones estructurales*

El concepto que se persigue es el de apoyar los sistemas hidráulicos de elevación sobre núcleos de comunicaciones, y sobre una serie de pilares del edificio.

Los núcleos de comunicaciones, como núcleo resistente principal del edificio tendrán que diseñarse de forma que soporte las cargas de elevación de cada planta y que, a la vez, realice la función de guiado de dicha estructura.

Es necesario instalar algún tipo de guía en las columnas del módulo (*Figura 170*) que sirvan para soportar los gatos hidráulicos. Como los módulos se apilan unos encima de otros, la única posibilidad es que las guías vayan por la parte exterior del módulo, dado que cualquier otra posición interferirá con las vigas del mismo.

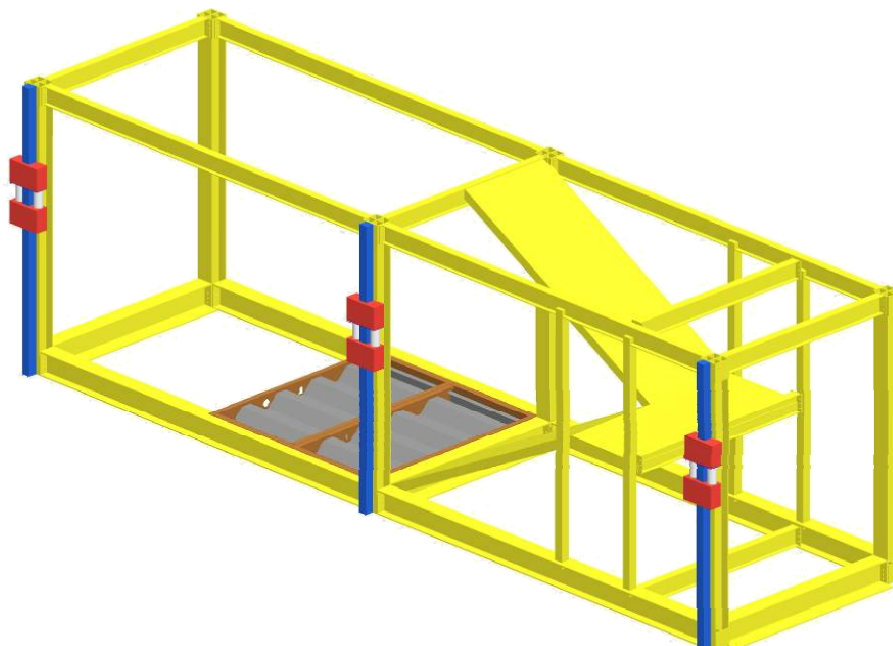


Figura 170.- Guías y gatos sobre el módulo de comunicaciones

Se podrían evitar las guías exteriores si las vigas longitudinales del módulo se colocarían de forma que dejen paso a los gatos, que en este caso utilizarían el propio pilar como guía (*Figura 171*).

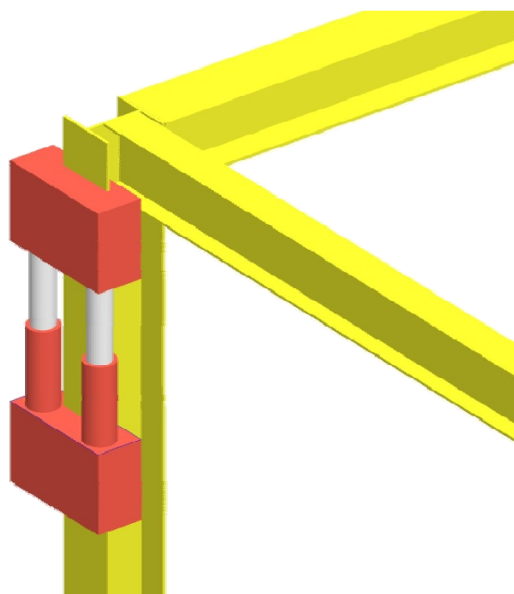


Figura 171.- Unión viga-pilar que permite el paso de los gatos

El otro punto de apoyo de la planta que se quiere elevar son los pilares, los cuales también realizarán la función de guiado de la estructura. En función de la sección que se defina para dichos pilares, se establecerá si es necesario adosarle una guía como la del módulo de comunicaciones o si por el contrario el propio pilar (*Figura 172*) puede realizar la función de guía y soporte del gato hidráulico.

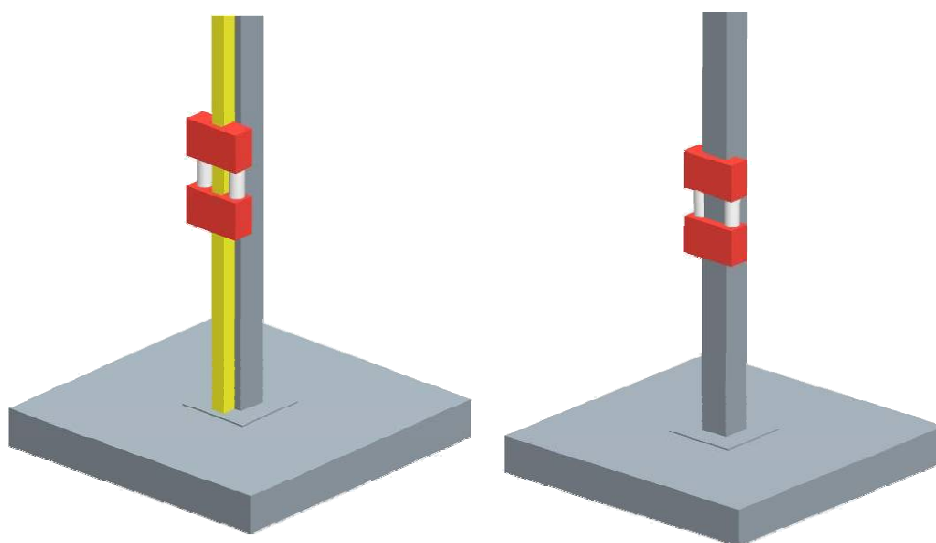


Figura 172.- Gatos montados sobre pilares

- *Plantas*

En este apartado se describen las plantas del edificio, término mediante el cual se hace referencia a las estructuras que conforman cada piso del edificio, las cuales son izadas mediante la técnica del lift-slab.

La construcción del edificio se ha dividido en tres zonas independientes, sobre las que se aplica la técnica de elevación. Estas tres zonas son las que ya se han mencionado en apartados anteriores.

- Zonas 1 y 3

Las zonas 1 y 3 son simétricas entre sí por lo que las características del proceso de elevación que se plantea son iguales. La planta correspondiente a estas dos zonas está constituida por vigas sobre las cuales se montan el resto de UCAs. Los gatos hidráulicos se montan en la parte inferior de la planta y se accionan sincronizadamente para elevarla hasta la altura requerida.

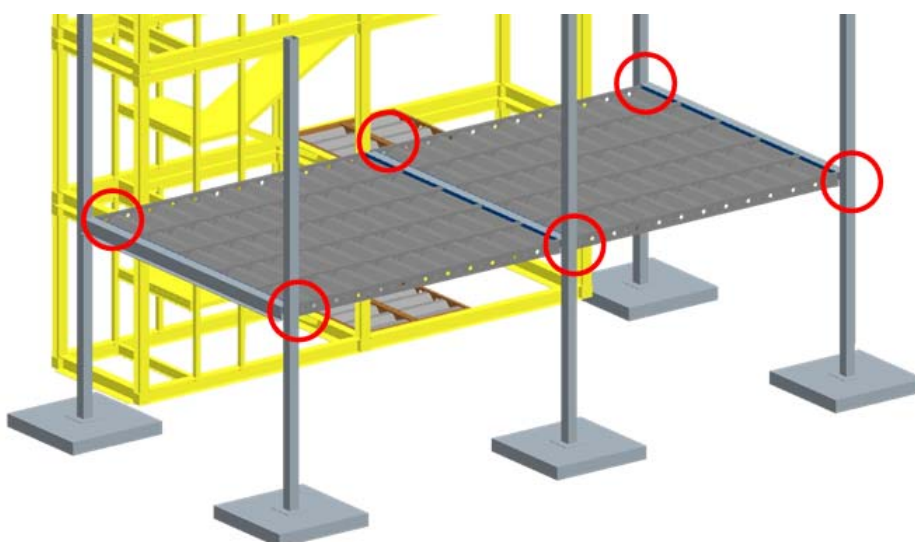


Figura 173.- Puntos de apoyo para el izado de la planta

En el planteamiento inicial de edificio se propone un módulo de comunicaciones de nueve metros de largo, frente a los doce metros de la planta del edificio. En este caso, la forma más sencilla de izar la planta será apoyándose en 5 columnas y en la parte central del módulo de comunicaciones, tal y como se indica en la *Figura 173*. Se han indicado con un círculo rojo los seis puntos de apoyo de la planta, sobre los cuales se aplicarán los gatos hidráulicos. Se ha representado únicamente el forjado de la planta para simplificar la imagen. Puede observarse cómo el único punto de contacto entre el núcleo de comunicaciones y la planta es el apoyo central. Este planteamiento obliga a que dicho punto de contacto sea el que tenga que transmitir todos los esfuerzos horizontales al núcleo de comunicaciones o hace necesario incorporar nuevos puntos de unión entre planta y núcleo, por ejemplo sobre los pilares de extremo de este último, lo que complica la solución, porque hay que insertar uniones entre el núcleo de comunicaciones y la viga lateral del forjado (*Figura 174*).

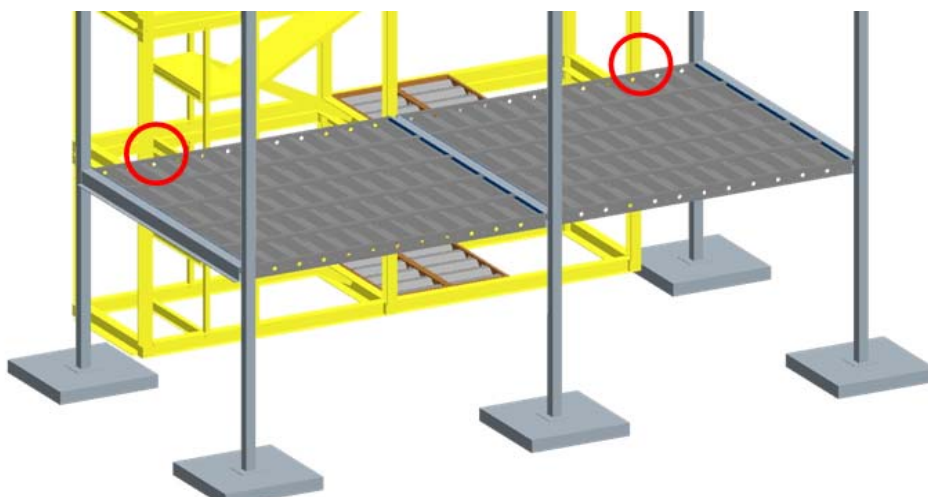


Figura 174. - Puntos de apoyo adicionales entre planta y núcleo

Una alternativa a este planteamiento es ampliar el núcleo de comunicaciones a doce metros con lo que se consigue resolver los inconvenientes de la solución anterior. En este caso la planta se apoya en tres pilares y en tres puntos del núcleo, tal y como se indica en la *Figura 175*.

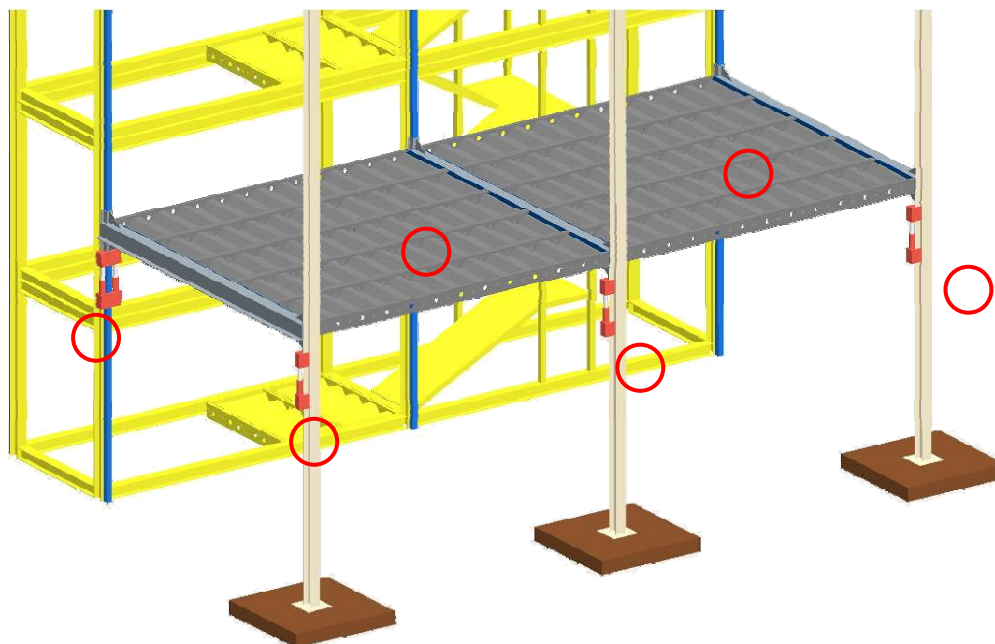


Figura 175.- Elevación de la planta con un núcleo de doce metros de largo

Como se ha comentado anteriormente, el diseño del módulo de comunicaciones habrá que adaptarlo para que sea compatible con la elevación mediante gatos. Hay dos alternativas: En la primera es necesario montar guías por la parte exterior del módulo sobre las cuales trepan los gatos hidráulicos. En caso será necesario modificar la viga sobre la que apoyan los forjados para que sea compatible con el núcleo de comunicaciones. Se trata en definitiva de realizar un rebaje en el extremo de forma que se evite la interferencia con la guía. En la *Figura 176* se puede apreciar este detalle:

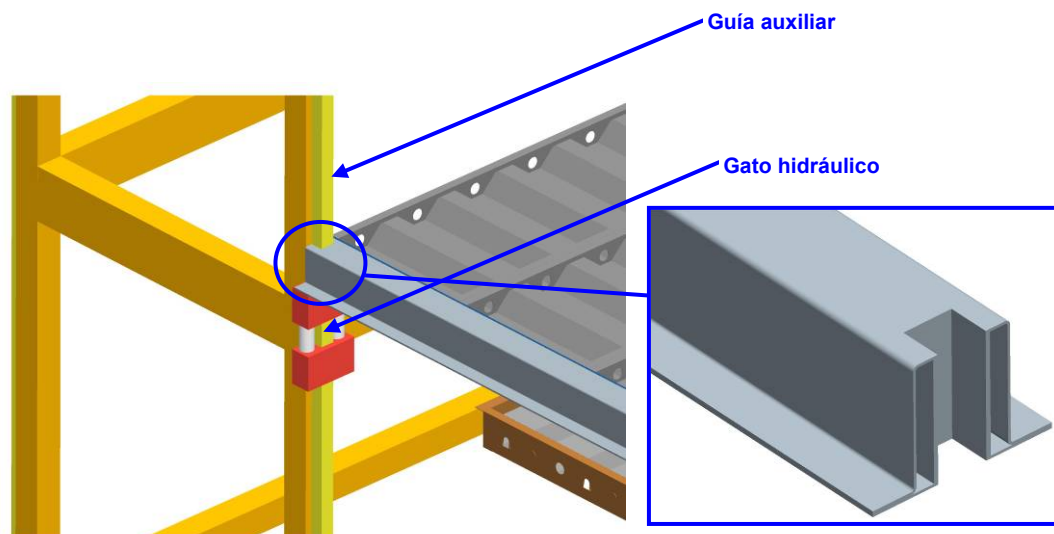


Figura 176.- Guiado de la planta y detalle del extremo de la viga

La zona rebajada se refuerza mediante placas soldadas. Estas operaciones se realizan en taller de forma que la viga se envía a la obra preparada para ser montada.

Si se opta por modificar el núcleo de comunicaciones de forma que permita el paso de los gatos hidráulicos, no será necesario realizar rebaje alguno, con lo que la fabricación resulta más sencilla.

La planta correspondiente a las zonas 1 y 3 tendrá un aspecto parecido al mostrado en la imagen de la página siguiente. A la mencionada planta falta añadirles los módulos húmedos así como la compartimentación interior de cada vivienda. Además es necesario realizar un análisis estructural de la planta (*Figura 177*) para tratar de prever zonas que haya que arriostrar durante la elevación (como la parte superior de la fachada o las esquinas superiores de la planta).

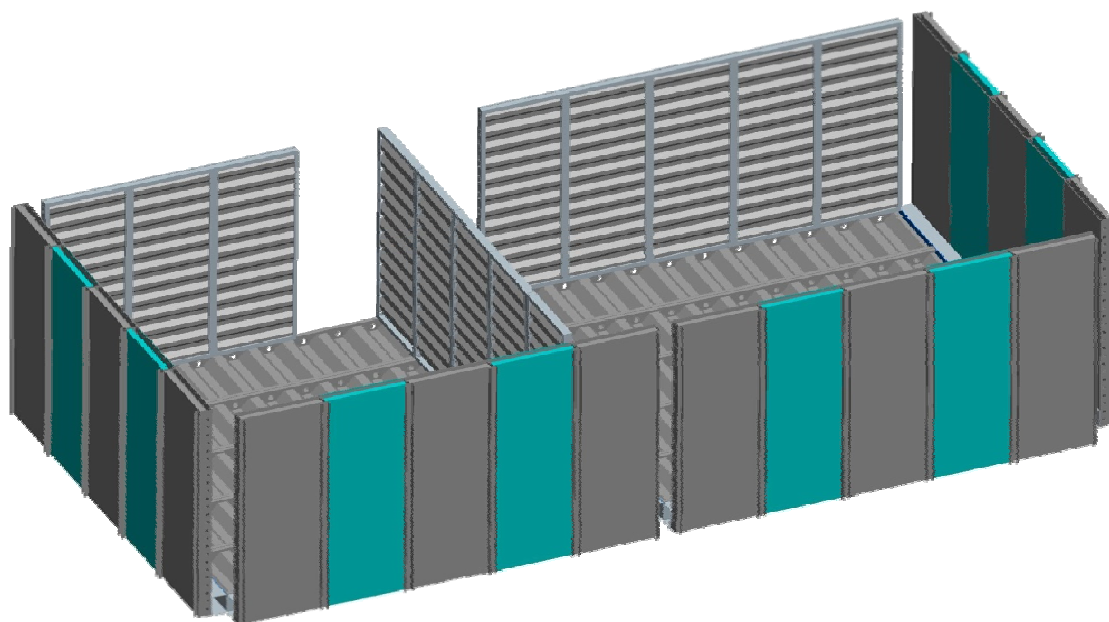


Figura 177.- Aspecto general de la planta

Otro aspecto que hay que resolver es la unión entre la planta y la estructura del edificio (*Figura 178*). Dicha unión se realizará atornillando las vigas de la planta a los pilares. Será por tanto necesario soldar placas a los extremos de las vigas. La unión entre planta y pilar se debe realizar por la parte superior o por la parte inferior de la viga.

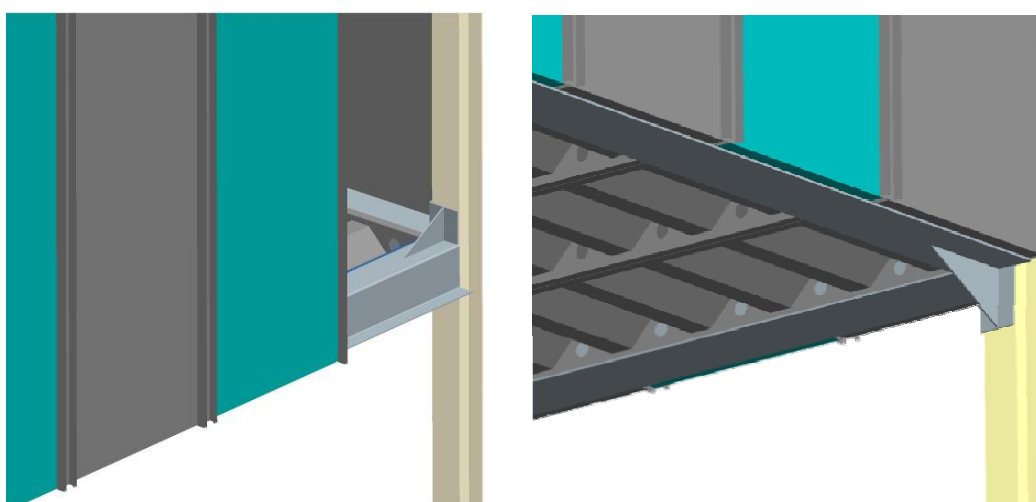


Figura 178.- Unión entre planta y pilares (superior e inferior)

La segunda unión, la que se realiza por la parte inferior tiene el inconveniente de que es necesario izar de algún modo al operario hasta la zona para que realice el atornillado, mientras que si el atornillado se realiza por la parte superior, el operario puede ejecutar la unión desde el interior de la planta, lo cual resulta mucho más cómodo y seguro (*Figura 179*).

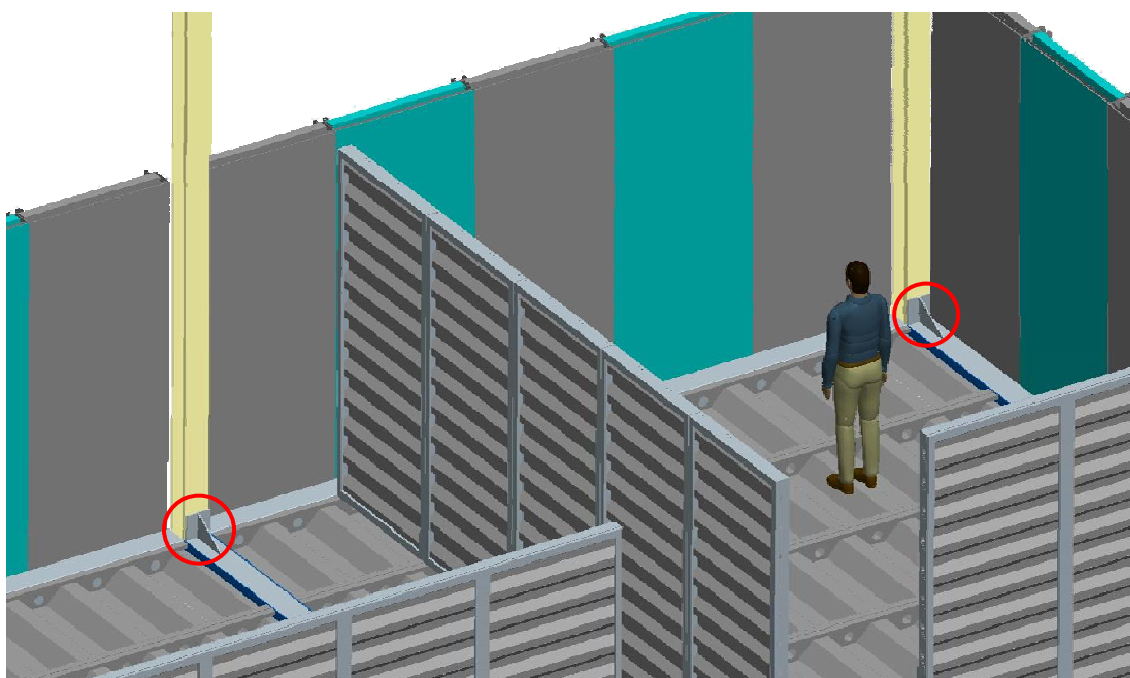


Figura 179.- Unión entre planta y pilares desde el interior

Si el módulo de comunicaciones dispone de guías auxiliares para el izado de la planta, será necesario modificar el diseño de las placas de unión para que no interfieran con estas.

○ Zona 2

La planta de la zona central (*Figura 180*) del edificio tendrá una geometría diferente a las anteriores, si bien la técnica de elevación y la unión entre planta y pilares serán similares a la utilizada para las zonas 1 y 3.

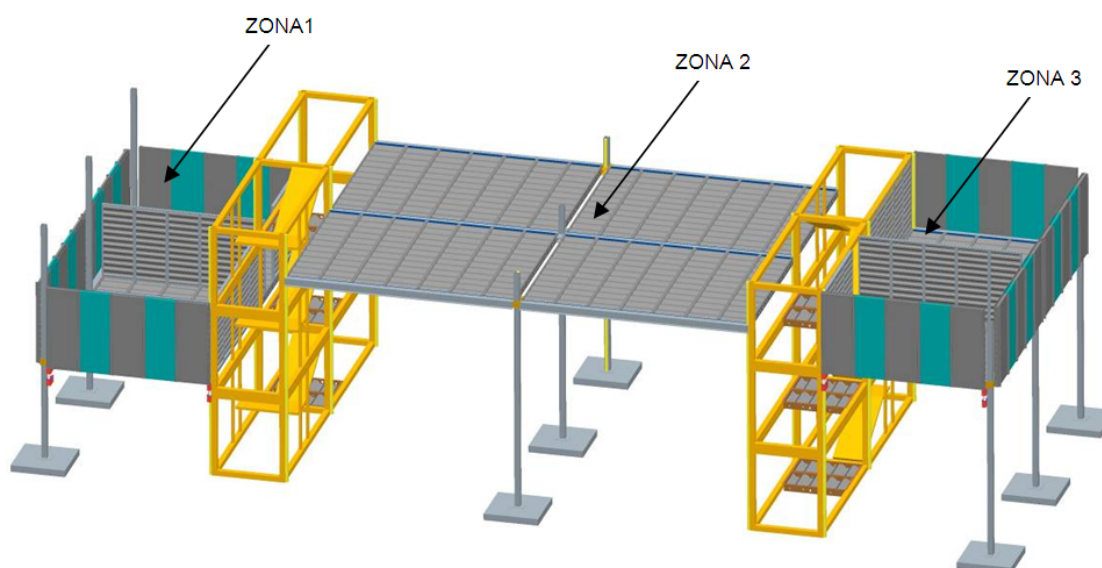


Figura 180.- Aspecto general de la planta

La zona dos se apoya en nueve puntos para su elevación, tres en cada uno de los dos núcleos de comunicaciones y otros tres apoyos adicionales en las columnas centrales. En cada uno de los nueve puntos de apoyo se instalará un gato hidráulico, tal y como se ha indicado en el apartado anterior.

• *Arriostramiento de la estructura*

En el proceso de elevación de plantas, sobre todo al elevar las primeras plantas, las columnas están soportando elevadas cargas en su parte superior con lo que existe gran riesgo de pandeo. Para eliminar este riesgo es necesario dimensionar la sección de los pilares en función de la carga que tienen que soportar. El problema de actuar

de esta forma es que se van a obtener pilares de una sección elevada, que a la postre no es necesaria para cumplir con la resistencia estructural que requiere el edificio.

La alternativa a los pilares sobredimensionados es arriostrar la estructura convenientemente para reducir la longitud de pandeo y evitar el colapso de los pilares. En la *Figura 181* se muestra la situación más crítica desde el punto de vista del pandeo.



Figura 181.- Riesgo de colapso de los pilares por pandeo

La primera medida a tomar será arriostrar entre sí las columnas mediante cruces de San Andrés. Si se coloca el arriostramiento directamente entre las columnas, interferirá con el paso de la planta al elevarla. Será necesario, por tanto, que el arriostramiento quede por el exterior de la planta (*Figura 182*). Esto se puede conseguir atando unos perfiles cortos a las columnas (a modo de ménsula), a las cuales se atan posteriormente las cruces de arriostramiento.

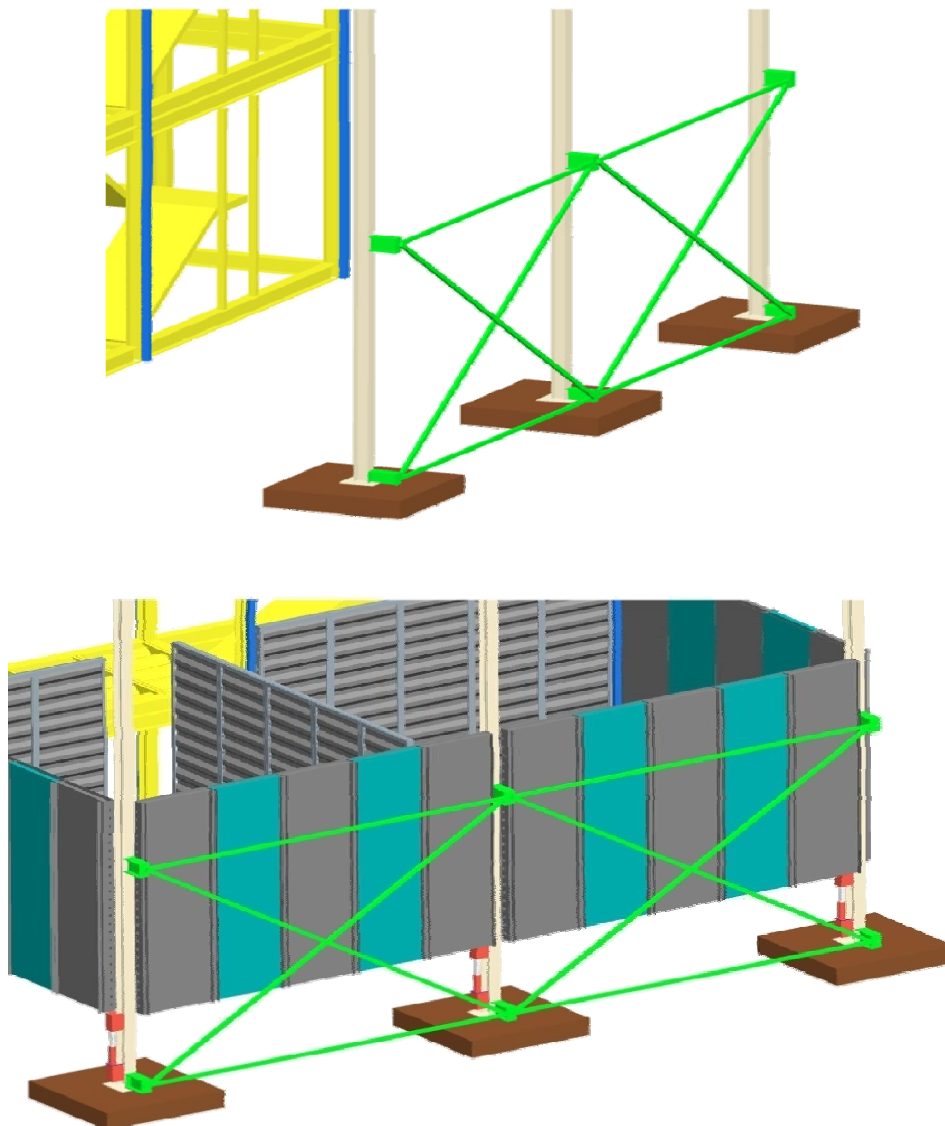


Figura 182.- Diseño del arriostramiento para evitar interferencias con la planta

El arriostramiento no interfiere en el montaje de las plantas y se puede retirar sin problemas según se vayan fijando los pisos en la parte superior o al final de la obra.

Por otro lado será necesario arriostrar las columnas también en sentido longitudinal. Esto se realiza colocando tirantes entre las columnas y el núcleo de comunicaciones. Como en el caso anterior, para evitar interferencias con la planta durante el proceso de izado, será necesario colocar el arriostramiento por la parte exterior del edificio, tal y como se indica en la *Figura 183*

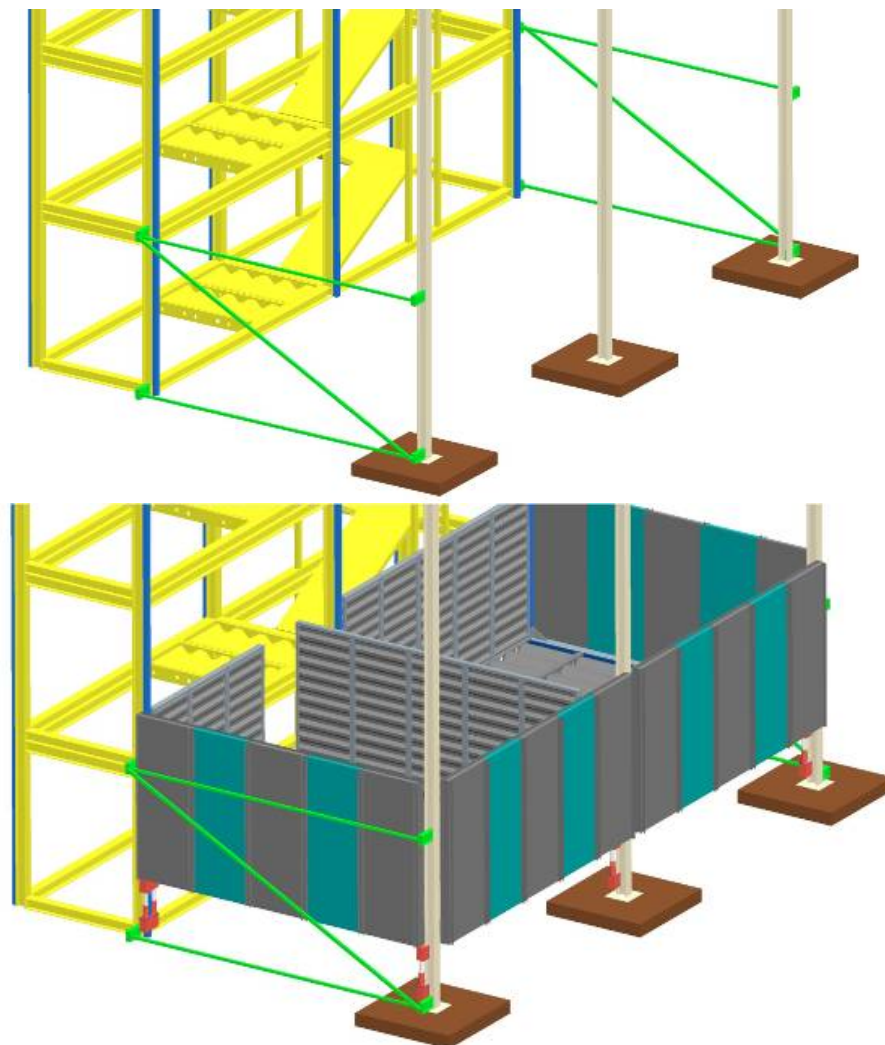


Figura 183.- Colocación de tirantes que eviten interferencias con la planta

Puede observarse como en la columna central no se ha colocado tirante de arriostamiento alguno. La razón, evidentemente, es que resulta imposible que exista un tirante en el interior de la planta sin que interfiera con esta.

El arriostamiento del edificio quedaría de la siguiente forma (*Figura 184*):

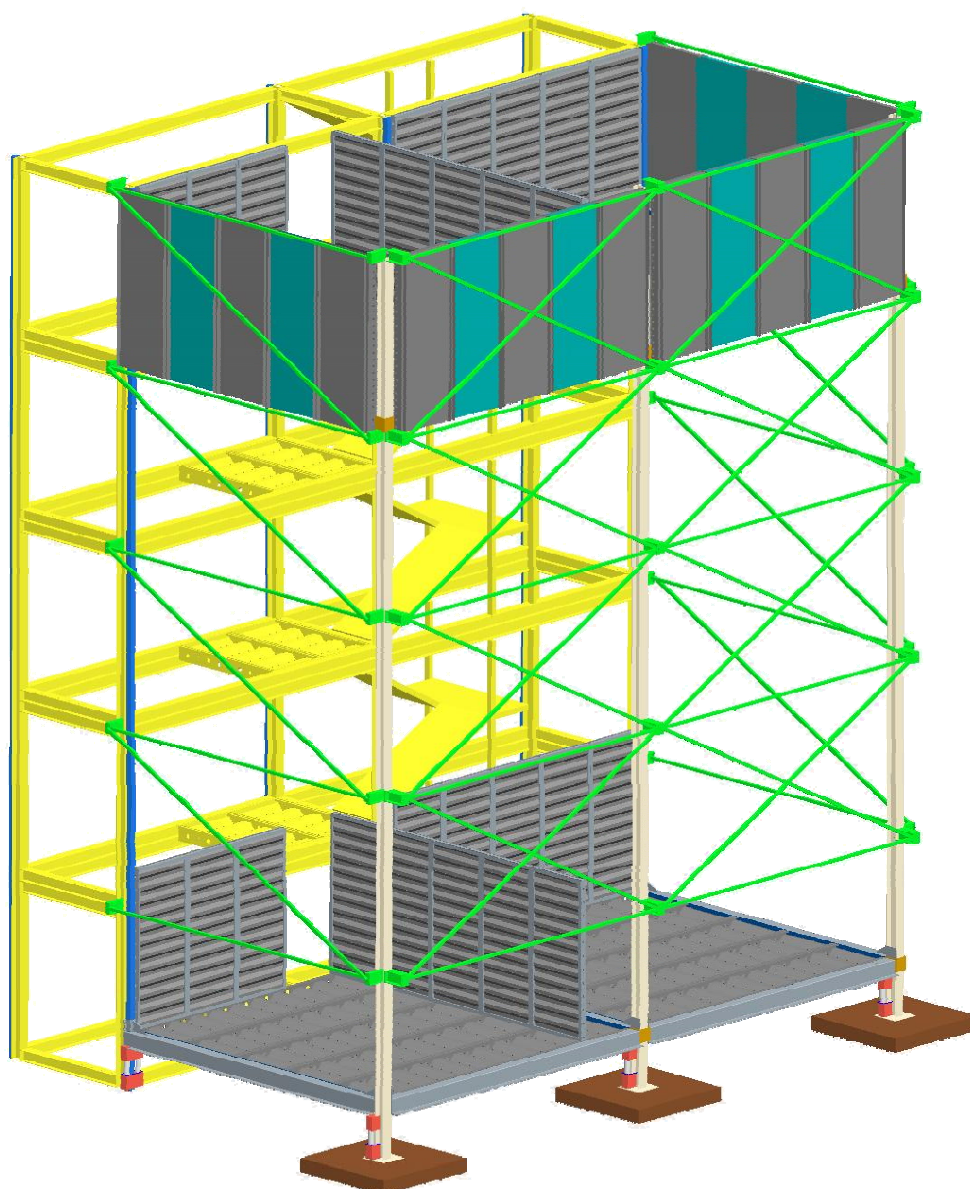


Figura 184.- Edificio en construcción con arriostamientos.

Es conveniente, desde un punto de vista operativo, que no existan arriostramientos en la planta baja del edificio para facilitar la introducción y montaje de componentes.

- *Análisis de costes*

Se ha realizado un análisis del coste en equipamiento necesario para llevar a cabo la construcción del edificio mediante Lift-Slab. Dicho equipamiento consistirá en una serie de gatos hidráulicos y sus respectivos “power packs”.

Para poder determinar el número de gatos necesarios, así como la fuerza que tienen que realizar, es necesario conocer el peso que hay que elevar. En el apartado “Requisitos del sistema” se ha realizado una primera estimación del peso de cada planta, dividido en zonas. A continuación se resumen los resultados obtenidos (*Tabla 63*):

ZONA	Peso (kg)
1 y 3	22.168
2	49.575
Total	93.911

Tabla 63.- Pesos, por zonas, de la planta

Será por tanto necesario elevar un peso de casi 100 Tn por planta. Considerando la distribución de pilares ya vista se dispone de 21 puntos de apoyo: 6 en cada uno de los dos núcleos de comunicaciones, más 9 pilares. Con estos datos se puede estimar la fuerza mínima (*Tabla 64*) que tiene que realizar cada gato, suponiendo que instalamos uno en cada punto de apoyo.

ZONA	CARGA (Tn)	PUNTOS APOYO	FUERZA/APOYO (Tn)
Zonas 1 y 3	22.2	6	3.7
Zona 2	49.6	9	5.5

Tabla 64.- Cálculo del peso por apoyo en cada zona

Se requerirán por tanto al menos 21 gatos hidráulicos para levantar cada planta. Para alimentar estos equipos se necesitan 4 armarios hidráulicos (cada armario es capaz de controlar hasta 6 gatos a la vez). A continuación se detalla el coste asociado al equipamiento (Tabla 65)

Concepto	Coste Ud.	Unidades	Coste (€)
Equipo autotrepante de 10 Tn	2.500	21	52.500
Armarios de control	12.500	4	50.000
Total			102.000

Tabla 65: Coste equipamiento de izado autotrepante

Lógicamente el coste se podría reducir considerablemente si se levanta el edificio por zonas. En el supuesto de que se construya en cuatro tramos, dos correspondientes a las zonas 1 y 3 , y otras dos para la zona 2, sería suficiente con 6 gatos autotrepantes y un único armario de control, con lo que el coste asociado al equipamiento es de 27.500€. El principal inconveniente de elevar por tramos es que repercute negativamente en el plazo de construcción, al no poder simultanear la elevación de las diversas zonas.

4.5. INSPECCIONES Y MANTENIMIENTO

Durante la fase de uso, para mantener en buen funcionamiento del edificio es necesario realizar unas labores de inspección y revisión, así como de mantenimiento para evitar deterioros en el mismo. A continuación se muestra una batería de soluciones, que pasan por dotar al edificio de una sensórica de control e inspección a nivel estructural y de instalaciones, y de ir un paso más allá de la normativa actual (CTE), que habla de Libro del Edificio para dar una descripción del mismo y de sus calidades y ampliarlo

con un Libro de Mantenimiento, de manera análoga a lo que ocurre con otros elementos industriales como electrodomésticos, vehículos, etc... De esta manera el edificio se industrializa no sólo en su fabricación y montaje, sino también en su uso.

4.5.1. Sensores

La *Figura 185* muestra un detalle de la zona de un baño próxima a un pilar del edificio. En todos los pilares se ha colocado fibra óptica para comprobar el estado de la viga mediante la medida de deformación.

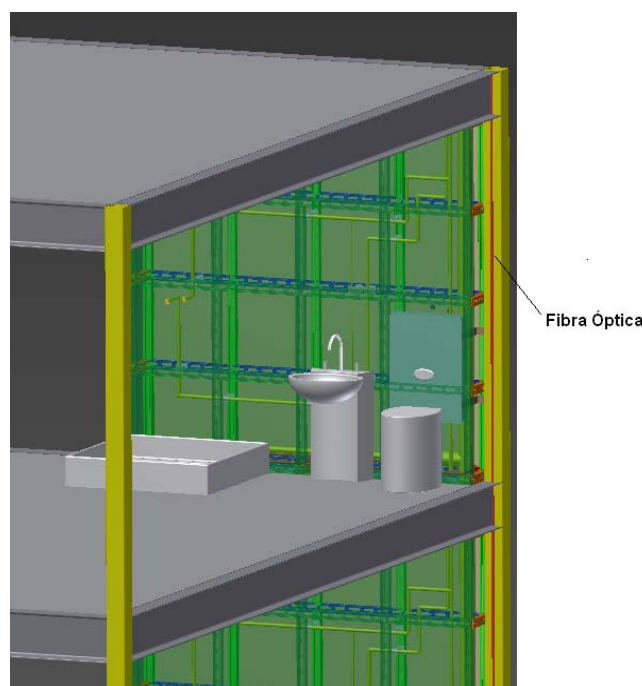


Figura 185.- Fibra Óptica colocada sobre la viga.

En la *Figura 186* se muestra el techo y el apoyo del forjado. En el apoyo se han colocado células de carga para medir, los esfuerzos que soporta la estructura. También se ha colocado fibra óptica en el techo del componente para tener datos de la flecha en cada momento.

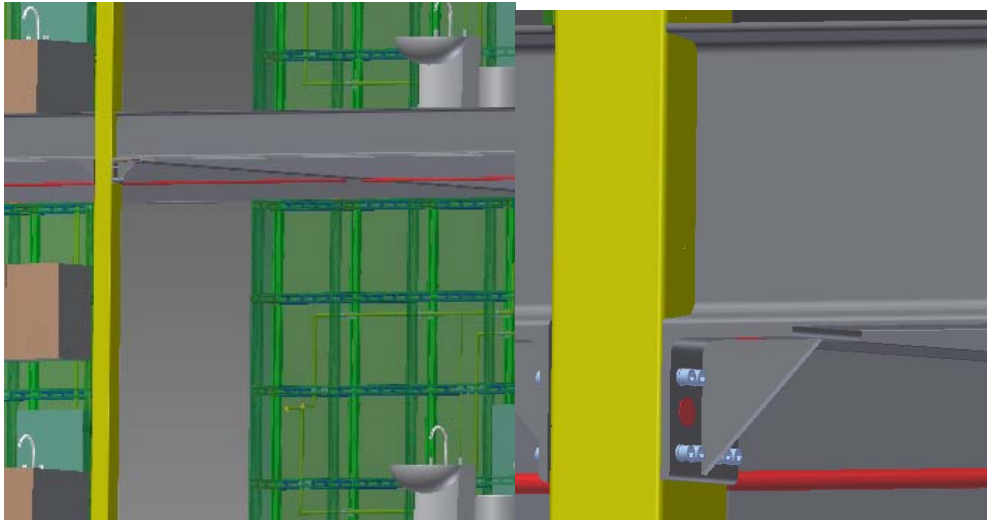


Figura 186.- Techo y zona de apoyo en forjado (izda.). Detalle del apoyo (dcha.)

La *Figura 187* muestra la integración de sensores de detección dentro de los módulos húmedos. Se trata de un hilo conductor capaz de detectar y posicionar las fugas en un contorno limitado por estos hilos. En la Figura se han rodeado las tuberías de la instalación con el hilo conductor para detectar las fugas que pudieran ocurrir durante el uso de la instalación.

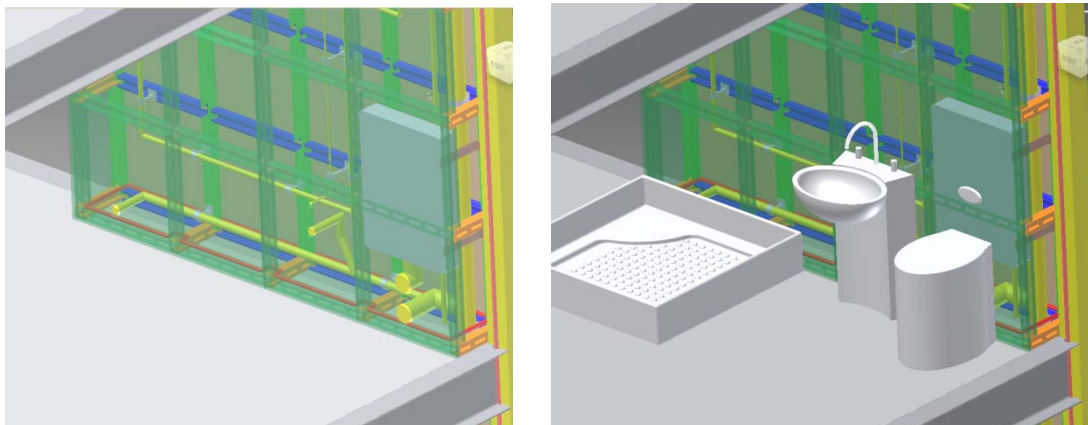


Figura 187.- Sensórica Integrada en las paredes de los módulos húmedos.

- *Automatización de la inspección*
En el proceso de inspección del edificio será necesario determinar cuál es el estado de vigas, pilares y las uniones entre ambas tras el paso de los años. La mayoría de las técnicas de inspección requiere que los operarios tengan que recorrer toda la estructura del edificio para verificar el estado de los elementos.
 - Flex track
Parte de este proceso de inspección se puede automatizar mediante la utilización de robots trepadores como los que se muestran en la *Figura 188*

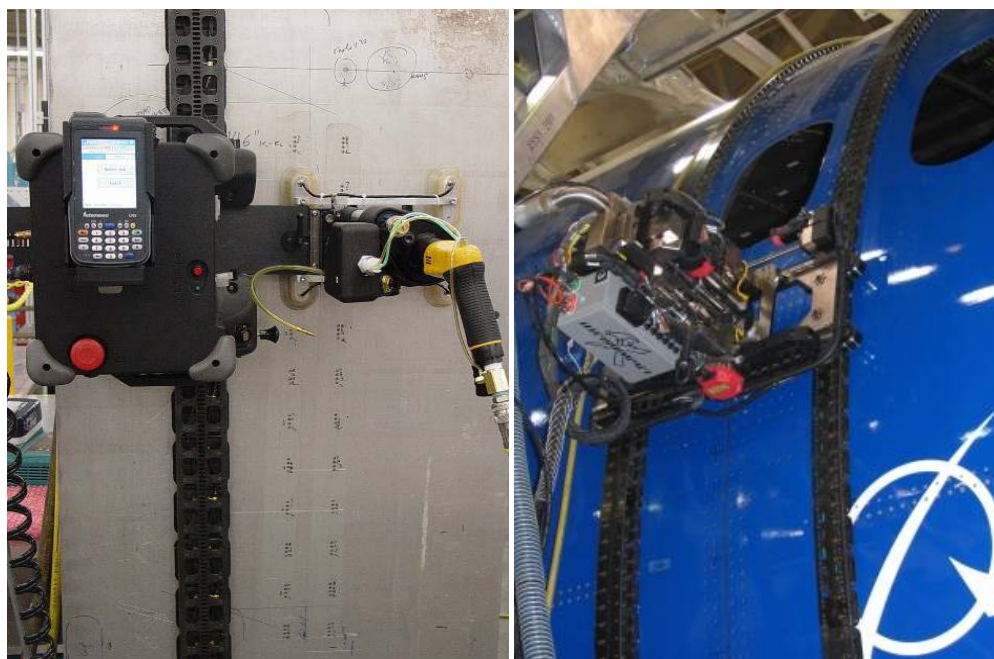


Figura 188.- Robots sobre guías flexibles de ventosas [ABB]

En la verificación del estado del edificio se puede utilizar este dispositivo para inspeccionar las uniones entre vigas y pilares de forma automática (*Figura 189*). Para ello sería únicamente necesario colocar una guía sobre el pilar, colocar el carro sobre la guía y programarlo para que vaya

desplazándose de una planta, y sobre el carro CN montar una cámara para permitir observar el estado de las uniones. La información se transmitiría vía Wifi a los operarios encargados de supervisar la inspección, que controlarían todo el proceso desde la planta baja.

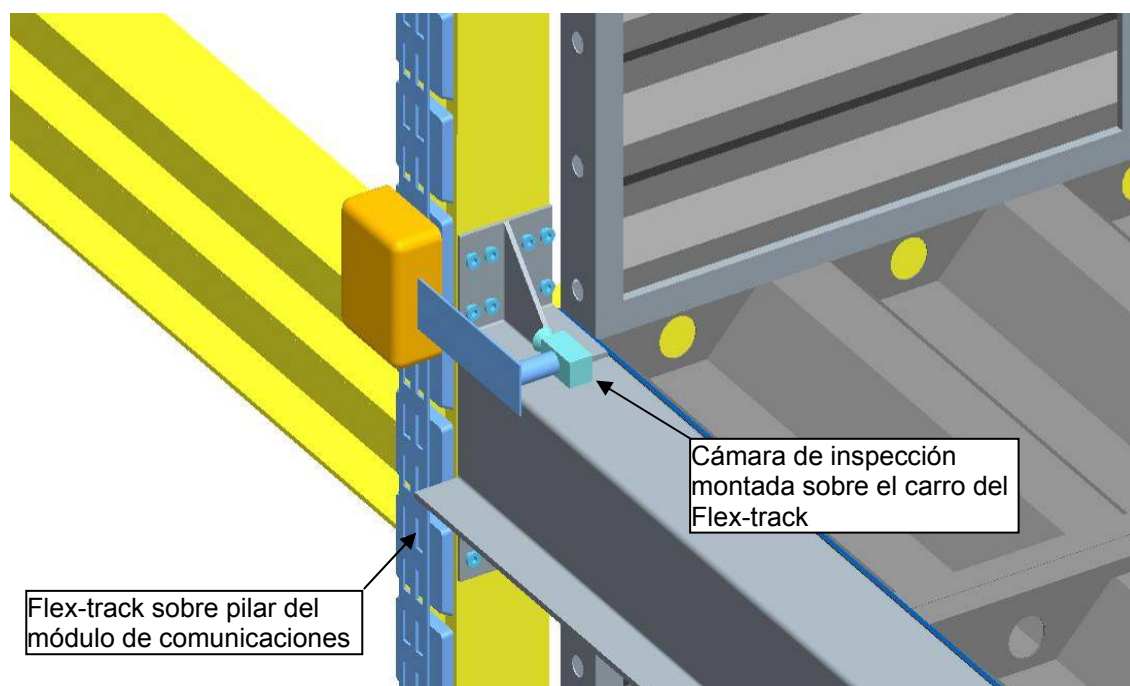


Figura 189.- Inspección mediante Flex-track sobre pilar

Del mismo modo que se puede instalar una cámara, se podrían utilizar otros dispositivos más sofisticados como cámaras termográficas, rayos X o ultrasonidos.

- Robot trepador autónomo

Existe también la posibilidad de utilizar robots trepadores autónomos como los que se muestran en la *Figura 190* para realizar la inspección del edificio. Este tipo de robot es capaz de adherirse a paredes y techos mediante un sistema de vacío. Para desplazarse utiliza un motor eléctrico que

tracciona las ruedas. El control del robot se realiza vía Bluetooth (control remoto).



Figura 190.- Robot trepador autónomo [Fatronik]

Sobre la estructura del robot se puede montar cualquier dispositivo. En *Figura 190* puede observarse como el robot lleva incorporada una estructura replegable en cuyo extremo hay instalada una cámara dotada de giro. Las imágenes se transmiten vía wifi al operario.

En el caso del edificio estudiado, el robot permite recorrer toda la superficie del edificio (plantas, fachadas, techos) con el objeto de detectar posibles defectos sin tener que desplazar a ningún operario al interior del mismo.

- Robots sobre cables

Una alternativa a los robots de inspección planteados es utilizar robots que cuelguen desde la azotea mediante cables que permiten desplazarlos verticalmente por la fachada. En la *Figura 191* se muestra el mencionado concepto, utilizado para comprobar el estado de losetas de fachada. Se utiliza un pequeño martillo para golpear la

loseta y la respuesta se recoge mediante un micrófono. La señal es analizada en un PC que determina si la loseta se encuentra en buen estado o no. El carro se puede desplazar lateralmente por control remoto para poder abarcar toda la fachada.

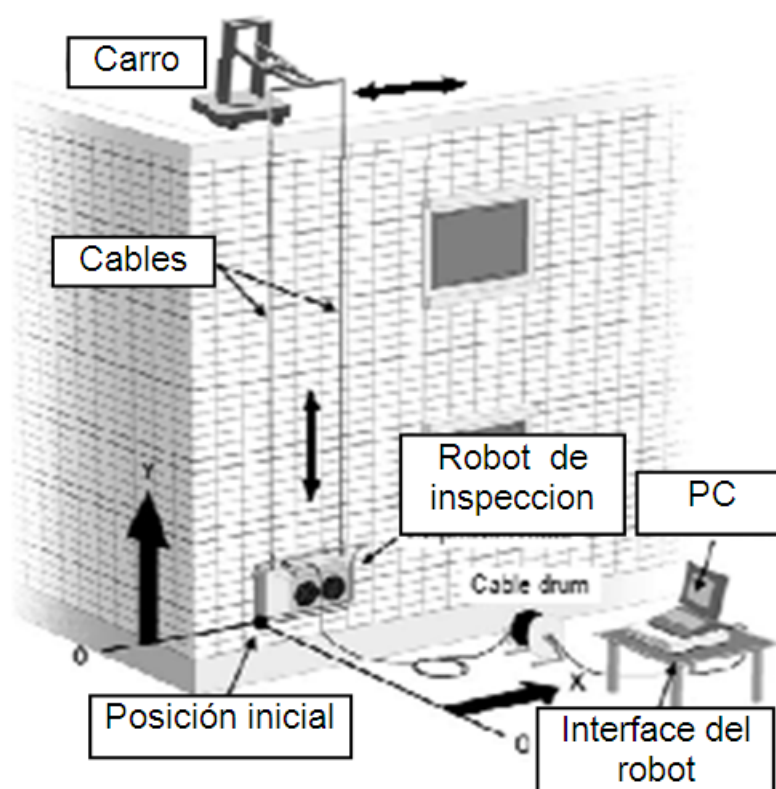


Figura 191.- Esquema del sistema colgante de inspección automatizado

4.5.2. Libro de mantenimiento del edificio

- *Introducción*

El libro del edificio hay que entenderlo como un documento completo en el que se recoge la información que permite conocer no sólo las características físicas y técnicas del edificio sino también su régimen jurídico [Ministerio de Vivienda, -48-].



La constancia de estas últimas instrucciones facilita que las actuaciones en todo edificio deban llevarse a cabo para conseguir su conservación y mantenimiento se realicen de forma idónea y, lo que es más importante, que los usuarios tengan conocimiento de sus obligaciones a fin de evitar la pérdida de los niveles de habitabilidad y seguridad en los edificios.

El libro del edificio constará de las siguientes partes:

- 1ª Cuaderno de registro.
- 2ª Documento de especificaciones técnicas.
- 3ª Archivo de documentos.
- 4ª Manuales de las viviendas.

El cuaderno de registro es el documento que constará de los siguientes capítulos:

- a) Datos iniciales del edificio. Deben detallarse datos referentes a la identificación y construcción del edificio, datos referentes a los intervinientes en el proceso constructivo, datos referentes a la licencia, declaración de obra nueva y régimen jurídico del edificio.
- b) Registro de incidencias. Este capítulo estará formado por una serie de espacios en los que se detallarán de forma sucesiva las incidencias que se presenten en el edificio. Para cada incidencia deberá efectuarse un breve enunciado del asunto tratado, la fecha y su descripción.
- c) Registro de operaciones de mantenimiento y reparaciones. Este capítulo estará formado por una serie de espacios en los que se detallarán de manera sucesiva las operaciones que se realicen, la fecha de su ejecución y los datos referentes a las empresas que lleven a cabo estas

operaciones, así como su firma y sello conforme han sido realizadas. También se detallarán en hoja independiente las inspecciones técnicas del edificio (ITE's), que de forma sucesiva se vayan realizando.

Deben constar como operaciones de mantenimiento y de reparación:

- Operaciones de mantenimiento y de revisión reglamentariamente establecidas con carácter obligatorio.
- Las operaciones de reparación hechas para subsanar defectos de la construcción e instalaciones cubiertas por las garantías.
- Operaciones que se hayan realizado con ayudas y beneficios.

- *Libro de Mantenimiento y Reparaciones.*

Este libro contempla, las operaciones necesarias para realizar un mantenimiento efectivo del edificio.

Consta de dos partes principales:

1. Mantenimiento del edificio, mediante sensores embebidos dentro del edificio.

Este mantenimiento se realiza durante todo el año, mediante registro de datos.

Se trata de sensores capaces de medir y guardar datos. De este modo cualquier valor fuera de un rango considerado como normal, hará saltar una alarma.

2. Mantenimiento de los propios sensores que verifican el estado del edificio. Al tratarse de sistemas 'vivos' que nos mantienen informados cualquier anomalía o mal funcionamiento será detectado.



Cualquier alarma detectada exige que algún técnico se persone en el propio edificio para verificarlo y realizar las operaciones necesarias para su correcto funcionamiento.

Aparte de este tipo de mantenimiento on-line, es obligatorio inspeccionar las instalaciones físicamente cada año para verificar el correcto funcionamiento de todas las instalaciones.

Se muestra a continuación a modo de ejemplo de registro la *Tabla 66* de los sensores con las actuaciones a realizar en el edificio, que se incluiría en el Libro del mismo.

Sensor	Ubicación	Registro Datos	Averías	Operación Realizada	Fecha Reparación	Realizado por :
MC1-E1-P0-NO1	Ver Plano	Continuo	Cambios en la distribución de carga	Reforzar la unión.	01/01/2020	Nombre Persona
MC1-E1-P0-NO2	Ver Plano	Continuo	Principio Oxidación	Aplicación Pinturas anti-oxidante.	01/01/2020	Nombre Persona
MC1-E1-P0-NE1	Ver Plano	Continuo	Fuga Agua	Cambio tubería dañada.	01/01/2020	Nombre Persona
MC1-E1-P0-NE2	Ver Plano	Continuo	Alto Consumo Energético	Comprobación aislamientos edificio.	01/01/2020	Nombre Persona
MC1-E1-P0-NO1	Ver Plano	En intervalos de 1000 h, con una duración de 2 horas.	No Funciona	Reemplazar Sensor.	01/01/2020	Nombre Persona
MC1-E1-P0-NO2	Ver Plano	En intervalos de 1000 h, con una duración de 2 horas.	Funciona	Ninguna		
MC1-E1-P0-NE1	Ver Plano	En intervalos de 1000 h, con una duración de 2 horas.	Funciona	Ninguna		
MC1-E1-P0-NE2	Ver Plano	En intervalos de 1000 h, con una duración de 2 horas.	Funciona	Ninguna		

Tabla 66.- Tabla de sensores



Para completar la información del edificio se facilitarán los planos de las instalaciones para facilitar la actuación en caso de averías.

4.6. DESMONTAJE DEL EDIFICIO Y TRATAMIENTO A LOS COMPONENTES

Como ya se comentó en la metodología, el edificio una vez se considera finalizada su vida útil pasa a una última fase en la que se desmonta y descompone, para evitar cualquier tipo de escombros y residuos, denominada **deconstrucción**.

Este trabajo se realiza en dos fases: en una primera, en la localización del edificio, donde se desmontan los componentes, y en una segunda fase, en fábricas y talleres donde se analizan, reutilizan, reparan o reciclan los componentes y los materiales según sea su estado.

4.6.1. *Desmontaje del edificio*

- *Acondicionamiento previo*

Antes de proceder con la deconstrucción propiamente dicha del edificio es necesario llevar a cabo una serie de tareas de acondicionamiento previas, principalmente la retirada de muebles y demás objetos derivados del uso de las viviendas (espejos, cuadros, baldas, lámparas, alfombras etc.).

Una vez completada esta primera fase de limpieza, el siguiente paso es cortar los diversos suministros (agua, gas, electricidad, telecomunicaciones, etc...) de las viviendas. Esto permite realizar la desconexión de instalaciones entre componentes y dejarlos preparados para la deconstrucción.

- *Deconstrucción*

Tras la fase de acondicionamiento, se puede iniciar la deconstrucción del edificio propiamente dicha. El proceso sigue una secuencia análoga a la de montaje pero en orden inverso. En este apartado vamos a analizar el desmontaje automatizado mediante Lift-slab, en las que se habían construido las plantas una por una y seguidamente se elevaron hasta la altura requerida mediante gatos trepadores. El peso del edificio recae en todo momento sobre los pilares del edificio.

El proceso de deconstrucción mediante Lift-slab consiste en ir bajando cada una de las plantas hasta el suelo para proceder al desmontaje y extracción de las UCAs que la componen (se desmonta a la inversa de la que se monta).

Se parte de un edificio como el que se muestra en la *Figura 192*. Al igual que en el apartado sobre construcción del edificio, solo se ha representado una parte del mismo con el objeto de facilitar la comprensión del proceso. Para la deconstrucción de las zonas no mostradas del edificio se procede de forma análoga.

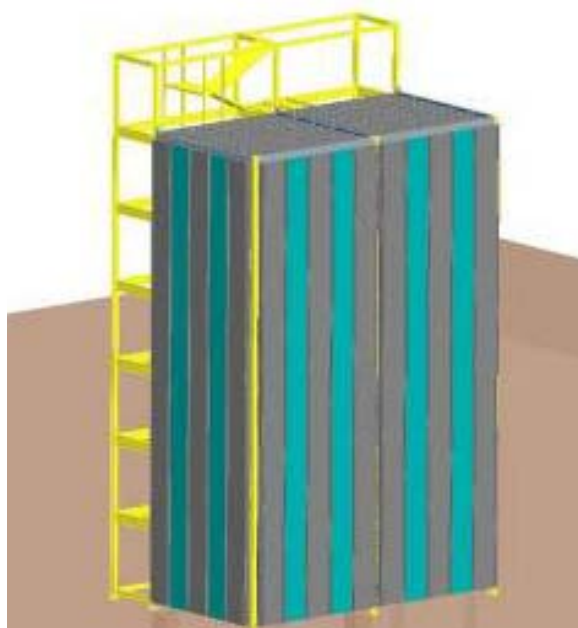


Figura 192.- Vista de una parte del edificio antes de ser desmontada

El primer requerimiento para poder deconstruir el edificio es volver a colocar el arriostramiento de fachada (*Figura 193*) que se utiliza para la construcción del mismo, con el fin de reforzar la estructura durante la deconstrucción y evitar pandeos de los pilares. Este arriostramiento había sido utilizado en su construcción, por lo que no requiere la fabricación de nuevas piezas sino reutilizar las anteriores.

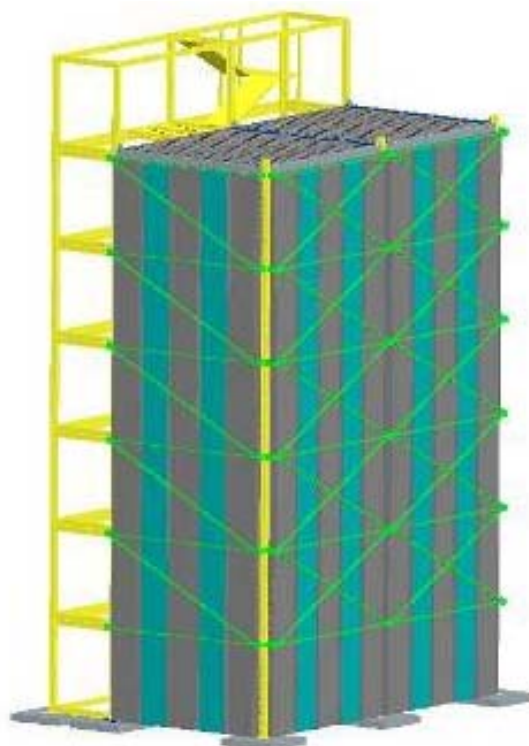


Figura 193.- Colocación del arriostramiento sobre el edificio

Una vez la estructura está arriostrada, se procede a desmantelar la planta baja: módulos húmedos de cocina y baños, paneles de fachada, paneles interiores, forjados y vigas.

El siguiente paso es montar los gatos trepadores sobre los pilares y subirlos hasta la primera planta (*Figura 194*).

En este punto se ata el gato hidráulico a las vigas transversales de la planta por la parte inferior y se procede a desatornillar todas las

uniones entre la planta y el edificio, entre la estructura de pilares y vigas y los forjados.

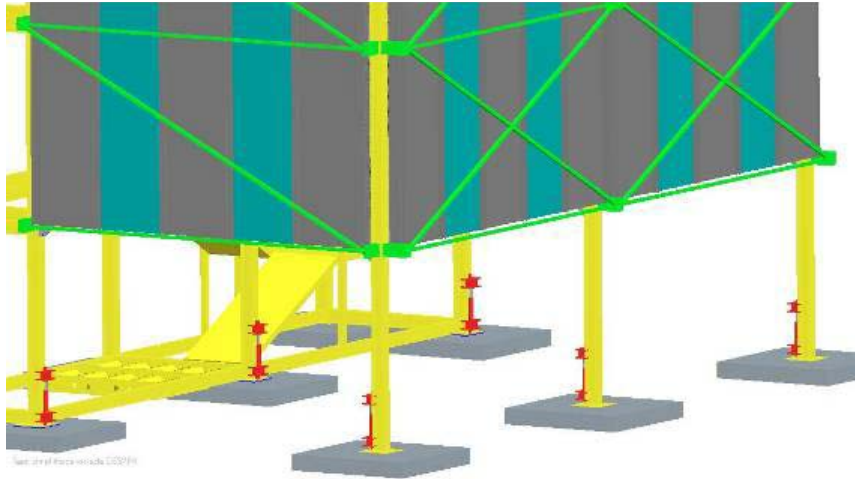


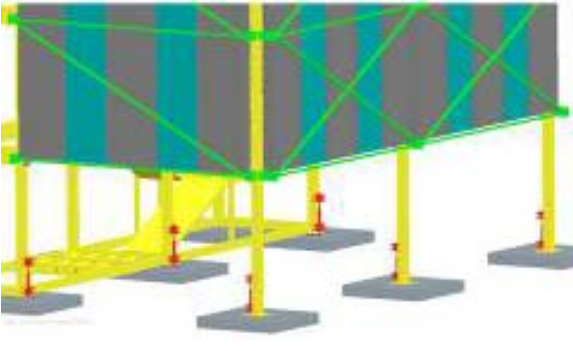
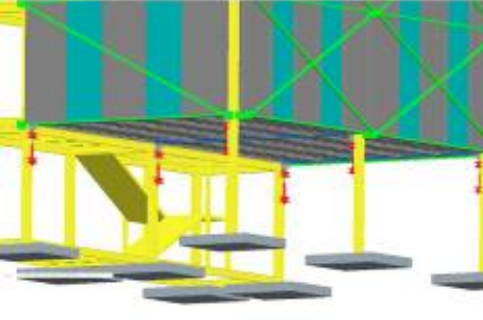
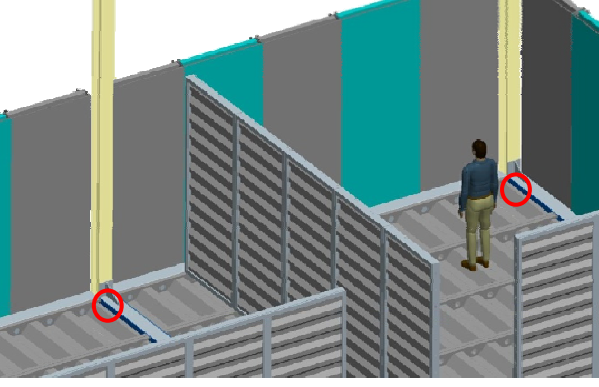
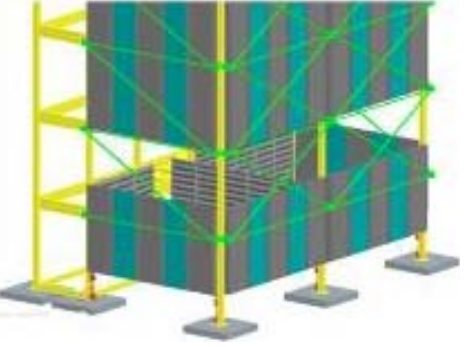
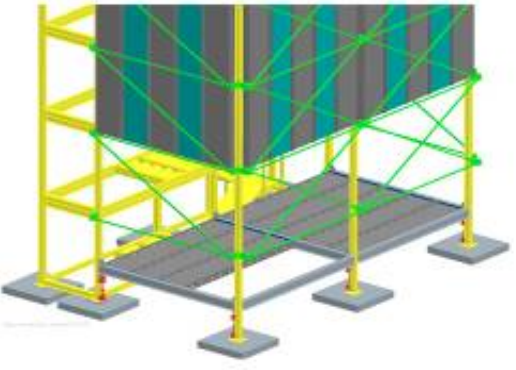
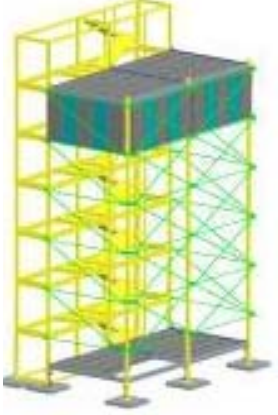
Figura 194.- Instalación de los gatos trepadores en planta baja

El peso de la planta queda en este momento soportado por los gatos hidráulicos. Se inicia el descenso de la planta hasta la cota cero. A continuación se procede a su desmantelamiento, repitiendo el mismo proceso que con la planta baja.

El ciclo se repite tantas veces como plantas tiene el edificio. A continuación se indica de forma gráfica (Figura 195) la secuencia de desmontaje del edificio:

1. Colocación del arriostramiento	2. Desmontar planta cero



3. Instalación de gatos trepadores	4. Elevación y amarre de los gatos
	
5. Desconectar planta del edificio	6. Descenso de la planta
	
7. Desmontaje de la planta	8. Repetir desde punto 4 al 7, tantas veces como plantas (incluyendo la cubierta)
	

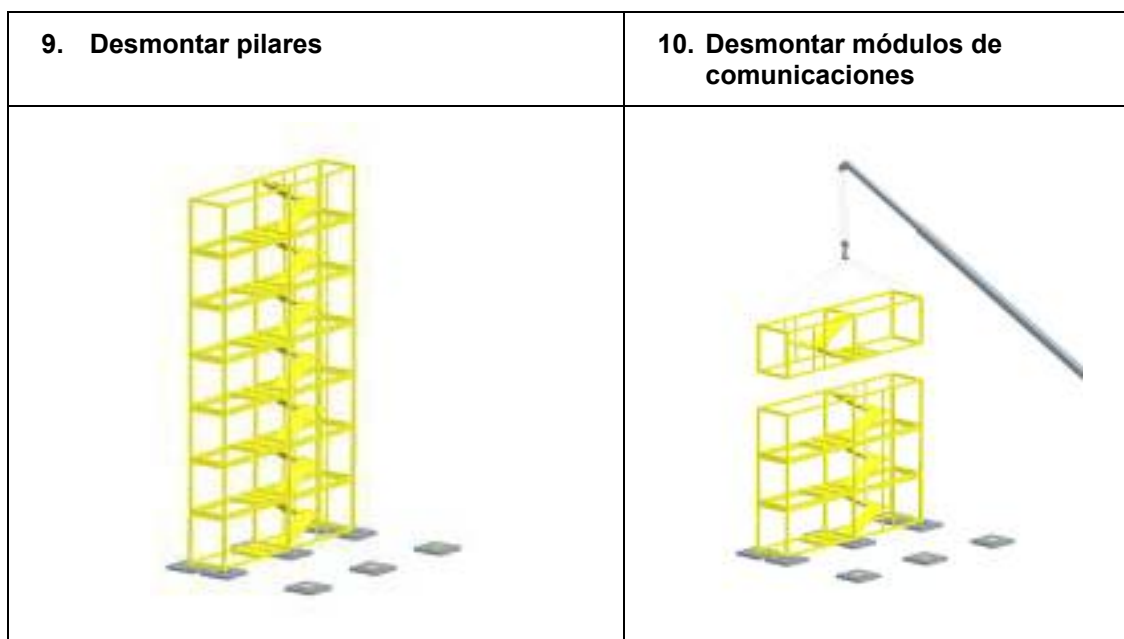


Figura 195.- Secuencia de desmontaje mediante el método Lift-slab

- *Análisis de costes*

Se ha realizado en primer lugar un análisis de tiempos de cada uno de los procesos de deconstrucción del edificio. Los conceptos incluidos en la *Tabla 67* se explican a continuación:

- Tarea: actividad que es necesario realizar
- Unidades: número de elementos que hay que montar/desmontar
- Productividad: unidades por día que se pueden montar/desmontar
- Inicio: día en el que comienza la tarea
- Duración: tiempo que se tarda en completar la tarea
- Fin: Tiempo que ha transcurrido desde el inicio de la obra

Tarea	Unidades	Productividad (ud/día)	Inicio (día)	Duración (días)	Fin (día)
ZONA 1 (ZONA 3)			0	17,444	17,444
Arriostrar estructura contra pandeo	2,0	0,5	0	4,000	4,000
Desmontaje planta baja			4,0	1,680	5,680
Retirar paneles de fachada	20,0	45,0	4,0	0,444	4,444
Extraer paneles interiores	13,0	34,0	4,4	0,382	4,827
Extraer módulos húmedos	4,0	18,5	4,8	0,216	5,042
Extraer forjados	10,0	25,5	5,0	0,392	5,435
Extraer vigas	5,0	20,4	5,435	0,245	5,680
Bajar planta 1			5,680	0,199	5,879
Montar gatos	6,0	120,0	5,680	0,050	5,730
Elevar gatos	1,0	320,0	5,730	0,003	5,733
Amarrar gatos a la planta	6,0	240,0	5,733	0,025	5,758
Desatornillar planta	5,0	60,0	5,758	0,083	5,841
Bajar planta	1,0	80,0	5,841	0,013	5,854
Soltar gatos	6,0	240,0	5,854	0,025	5,879
Desmontaje planta 1			5,879	1,680	7,558
Bajar planta 2			7,558	0,165	7,723
Desmontaje planta 2			7,723	1,680	9,403
Bajar planta 3			9,403	0,180	9,583
Desmontaje planta 3			9,583	1,680	11,263
Bajar planta 4			11,263	0,196	11,459
Desmontaje planta 4			11,459	1,680	13,138
Bajar planta 5			13,138	0,211	13,350
Desmontaje planta 5			13,350	1,680	15,029
Bajar cubierta			15,029	0,227	15,257
Desmontaje cubierta			15,257	0,637	15,894
Desmontar gatos	6,0	120,0	15,894	0,050	15,944
Desmontar arriostramiento	1,0	1,0	15,944	1,000	16,944
Desmontaje Pilares	6,0	12,0	16,944	0,500	17,444
ZONA 2			17,444	18,181	35,625
Arriostrar estructura contra pandeo	1,5	0,5	17,444	3,000	20,444
Desmontaje planta baja			20,444	1,968	22,412
Bajar planta 1			22,412	0,182	22,594
Desmontaje planta 1			22,594	1,968	24,562
Bajar planta 2			24,562	0,148	24,710
Desmontaje planta 2			24,710	1,968	26,678
Bajar planta 3			26,678	0,164	26,841
Desmontaje planta 3			26,841	1,968	28,809
Bajar planta 4			28,809	0,179	28,989
Desmontaje planta 4			28,989	1,968	30,957
Bajar planta 5			30,957	0,195	31,151
Desmontaje planta 5			31,151	1,968	33,119

Tarea	Unidades	Productividad (ud/día)	Inicio (día)	Duración (días)	Fin (día)
Bajar cubierta			33,119	0,210	33,330
Desmontaje cubierta			33,330	0,745	34,075
Desmontar gatos	6	120	34,075	0,050	34,125
Desmontar arriostramiento	1	1	34,125	1,000	35,125
Desmontaje Pilares	6	12	35,125	0,500	35,625
DESMONTAJE TORRES COMUNICACIONES	14	6,4	35,625	2,196	37,821
TOTAL					37,8 Días

Tabla 67.- Tiempos de deconstrucción

En la tabla de tiempos mostrada no se han incluido desglosadas las actividades de desmontaje y descenso de cada planta para evitar que la tabla quede excesivamente larga. Se muestran, a modo de ejemplo, las operaciones de desmontaje de la planta baja y el descenso de la planta 1. Las sucesivas plantas incluyen las mismas operaciones que las dos mencionadas anteriormente.

A continuación se muestra la *Tabla 68* de tiempos correspondientes a cada una de las operaciones básicas consideradas para la deconstrucción del edificio.

Desmontaje forjado		25,5 ud/día
Acceso a uniones	240 seg/operación	240 seg/ud
	1 operación/ud	
Soltar uniones	30 seg/operación	240 seg/ud
	8 operación/ud	
Extracción, transporte y paletizado	480 seg/operación	480 seg/ud
	1 operación/ud	
Tiempo total acumulado		960 seg/ud
Rendimiento	85%	1129 seg/ud
Tiempo de Ciclo		18,8 min/ud

Desmontaje panel de fachada		45,0 ud/día
Acceso a uniones	240 seg/operación	240 seg/ud
	1 operación/ud	
Soltar uniones	30 seg/operación	240 seg/ud
	8 operación/ud	
Extracción, transporte y paletizado	240 seg/operación	240 seg/ud
	1 operación/ud	
Tiempo total acumulado		480 seg/ud
Rendimiento	75%	640 seg/ud
Tiempo de Ciclo		10,7 min/ud

Desmontaje panel interior		34,0 ud/día
Acceso a uniones	240 seg/operación	240 seg/ud
	1 operación/ud	
Soltar uniones	30 seg/operación	120 seg/ud
	4 operación/ud	
Extracción, transporte y paletizado	360 seg/operación	360 seg/ud
	1 operación/ud	
Tiempo total acumulado		720 seg/ud
Rendimiento	85%	847 seg/ud
Tiempo de Ciclo		14,1 min/ud

Desmontaje modulo húmedo		18,5 ud/día
Acceso a uniones y desconexión de tomas	480 seg/operación	480 seg/ud
	1 operación/ud	
Soltar uniones	30 seg/operación	240 seg/ud
	8 operación/ud	
Extracción	600 seg/operación	600 seg/ud
	1 operación/ud	
Tiempo total acumulado		1320 seg/ud
Rendimiento	85%	1553 seg/ud
Tiempo de Ciclo		25,9 min/ud

Desmontaje viga		20,4 ud/día
Soltar uniones	30 seg/operación	0 seg/ud
	0 operación/ud	
Extracción, transporte y paletizado	1200 seg/operación	1200 seg/ud
	1 operación/ud	
Tiempo total acumulado		1200 seg/ud
Rendimiento	85%	1412 seg/ud
Tiempo de Ciclo		23,5 min/ud

Desmontaje pilar		12,0 ud/día
Soltar uniones	30 seg/operación	240 seg/ud
	8 operación/ud	
Extracción, transporte y paletizado	1800 seg/operación	1800 seg/ud
	1 operación/ud	
Tiempo total acumulado		2040 seg/ud
Rendimiento	85%	2400 seg/ud
Tiempo de Ciclo		40,0 min/ud
Desmontaje Modulo de comunicaciones		
Desmontaje Modulo de comunicaciones		6,4 ud/día
Soltar uniones	240 seg/operación	1440 seg/ud
	6 operación/ud	
Extracción, transporte y carga en camión	2400 seg/operación	2400 seg/ud
	1 operación/ud	
Tiempo total acumulado		3840 seg/ud
Rendimiento	85%	4518 seg/ud
Tiempo de Ciclo		75,3 min/ud
Gatos Hidráulicos		
Montar gatos	240 seg/gato	0,008 día/planta
Elevar gatos	2,0 m/min	0,0031 día/planta
	3 m/planta	
Amarrar gatos a la planta	120 seg/gato	0,004 día/planta
Desatornillar viga	30 seg/operación	0,0167 día/viga
	16 operación/ud	
Bajar planta	0,5 m/min	0,0125 día/planta
	3 m/planta	
Soltar gatos de las vigas	120 seg/gato	0,004 día/planta
Desmontar gatos del pilar	240 seg/gato	0,008 día/planta

Tabla 68.- Tiempos de proceso

A continuación, finalmente, se muestran las tablas de costes correspondientes al equipamiento y mano de obra requeridos para realizar el desmontaje del edificio. Se ha dividido el cálculo de costes en cinco partidas: zonas 1, 2 y 3, torres de comunicaciones y gastos generales. Las tarifas horarias y costes de alquiler se han obtenido de bases de datos [PREOC, -18-].

Concepto	Unidades	Coste unit. (€/día)	Duración (días)	Coste (€)
ZONA 1				32723
<i>Maquinaria</i>				13882
Grúa pluma	1	568	6,00	3408
Camión grúa	1	488	18,00	8784
Plataforma elevadora	2	66	6,00	792
Carretilla elevadora	1	31,2	18,00	562
Gatos Hidráulicos	6	4	14,00	336
<i>Mano de obra</i>				18842
Ingeniero (coordinador)	1	280	18,00	5040
Técnico montaje	2	142,4	18,00	5126
Maquinista grúa	1	118,4	6,00	710
Conductor carretilla	1	118,4	18,00	2131
Conductor camión	1	118,4	18,00	2131
Técnico gatos hidráulicos	2	142,4	13,00	3702
ZONA 2				59462
<i>Maquinaria</i>				24046
Grúa pluma	1	568	5,00	2840
Camión grúa	2	488	19,00	18544
Plataforma elevadora	2	66	5,00	660
Carretilla elevadora	2	31,2	19,00	1186
Gatos Hidráulicos	12	4	17,00	816
<i>Mano de obra</i>				35416
Ingeniero (coordinador)	1	280	19,00	5320
Técnico montaje	4	142,4	19,00	10822
Maquinista grúa	1	118,4	5,00	592
Conductor carretilla	2	118,4	19,00	4499
Conductor camión	2	118,4	19,00	4499
Técnico gatos hidráulicos	4	142,4	17,00	9683
ZONA 3				32723
<i>Maquinaria</i>				13882
Grúa pluma	1	568	6,00	3408
Camión grúa	1	488	18,00	8784
Plataforma elevadora	2	66	6,00	792
Carretilla elevadora	1	31,2	18,00	562
Gatos Hidráulicos	6	4	14,00	336
<i>Mano de obra</i>				18842
Ingeniero (coordinador)	1	280	18,00	5040
Técnico montaje	2	142,4	18,00	5126
Maquinista grúa	1	118,4	6,00	710
Conductor carretilla	1	118,4	18,00	2131
Conductor camión	1	118,4	18,00	2131
Técnico gatos hidráulicos	2	142,4	13,00	3702

Concepto	Unidades	Coste unit. (€/día)	Duración (días)	Coste (€)
DESMONTAJE TORRES COMUNIC.				8374
<i>Maquinaria</i>				5969
Grúa pluma	1	568	3,00	1704
Camión grúa	1	488	3,00	1464
Plataforma elevadora	2	66	3,00	396
<i>Mano de obra</i>				2405
Ingeniero (coordinador)	1	280	3,00	840
Técnico montaje	2	142,4	3,00	854
Maquinista grúa	1	118,4	3,00	355
Conductor camión	1	118,4	3,00	355
OTROS GENERALES				19631
Torre iluminación	8	42,7	38,00	12981
Caseta de obra	1	175	38,00	6650
TOTAL				152.912

Tabla 69.- Costes de desmontaje

4.6.2. **Desmontaje de los componentes. Forjado**

Siguiendo la filosofía del presente capítulo, nos centramos para demostrar la validación del sistema en el desmontaje de uno de los componentes a modo de ejemplo, el forjado.

- *Diseño para una des-fabricación automatizada*

Para poder entender mejor todo el planteamiento planteado para el proceso de des-fabricación, se hace un repaso del diseño planteado en el *Apartado 4.2* y de la fabricación automatizada del UCA forjado (*Apartado 4.3*).

El forjado (*Figura 196*) está compuesto por:

- Placas tipo Vidifloor.
- Lana mineral anti-impacto.
- Placas de sujeción
- Chapa de apoyo de la placa de sujeción

- Lana mineral en la cavidad.
- Perfiles Omega de apoyo.
- Perfiles metálicos.
- Sistema de sujeción elástica del techo.
- Perfiles transversales de chapa.
- Placa de fibra yeso.

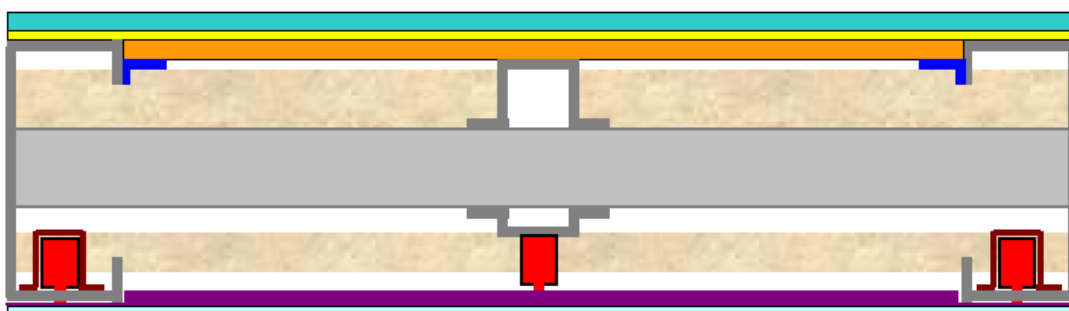


Figura 196.- Diseño UCA Forjado.

- *Líneas de Des-Fabricación*

La línea de des-fabricación se compone de cuatro zonas principales:

- OP10 - Preparación del UCA

El proceso de des-fabricación comienza a la llegada del UCA a la fábrica. La personalización que ofrece este tipo de vivienda por parte del usuario, hace muy complicada la operación de des-fabricación mediante un proceso automatizado. Para acondicionar el UCA para su des-fabricación automatizada hace falta “estandarizarlo”, quitándole todos los elementos opcionales que se les hayan ido incorporando a lo largo de la vida del componente.

El acondicionamiento se realizará en una estación compuesta por dos operarios que con la ayuda de herramientas manuales se encargaran de desarmar la parte

del UCA exteriores, como son luces, bombillas, enchufes, sensores, etc.

Para descargar y poder manipular el UCA, la fábrica constará de un puente grúa que además servirá para el volteo y posicionamiento sobre un skid o pallet.

o OP 20 - Des-fabricación Suelo.

Después de voltear y escuadrar el UCA, se coloca sobre el skid para desplazarse entre las estaciones de trabajo, *Figura 197.*

La primera zona de trabajo se centra en la parte correspondiente al suelo. Mediante una escuadra de centraje se posiciona y alinea el UCA sobre el Skid. Después mediante una mesa de transporte se desplazará hasta el centro de trabajo.

Este centro de trabajo está compuesto por un robot con un sistema de agarre por ventosas y una parte exterior con bridas para la sujeción de las capas de prestaciones.

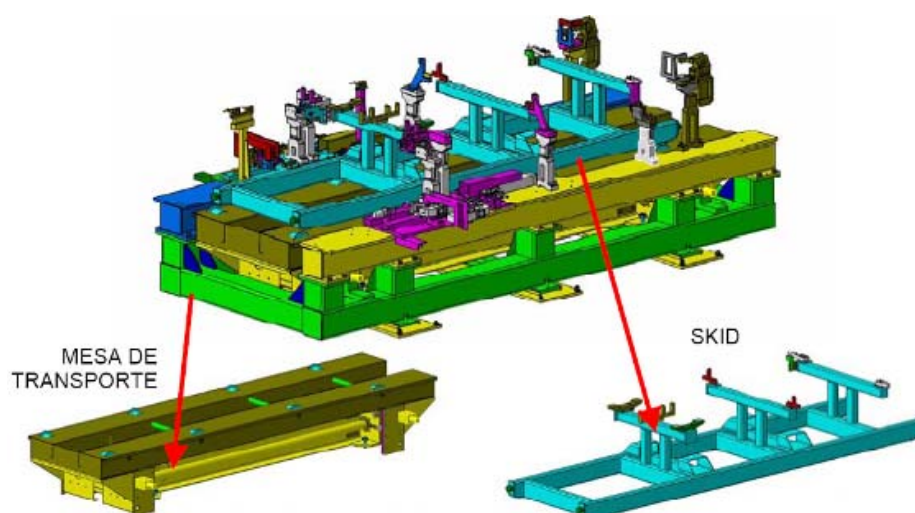


Figura 197.- Desplazamiento entre estaciones de trabajo.

○ OP 30 - Des-fabricación Techo.

En este centro de trabajo se termina de des-fabricar el suelo y se des-fabrica el techo. Está compuesto por dos robots y un volteador (*Figura 198*).



Figura 198.- Robot (izda.) y volteador (dcha.)

○ OP 40 - Des-fabricación Instalaciones.

Aquí se realizan las operaciones de acabado e inspección de calidad del CIBA 2D. Está formado por dos operarios, uno de ellos se encarga de retirar las instalaciones dentro de la omega y su reciclaje. El segundo operario se encarga de retirar las sujeciones elásticas del techo y además realiza una inspección visual del CIBA para comprobar que no existan defectos en la pieza.

Por tanto la fábrica de desmontaje de los UCAs forjado sería como la indicada en la Figura 199.

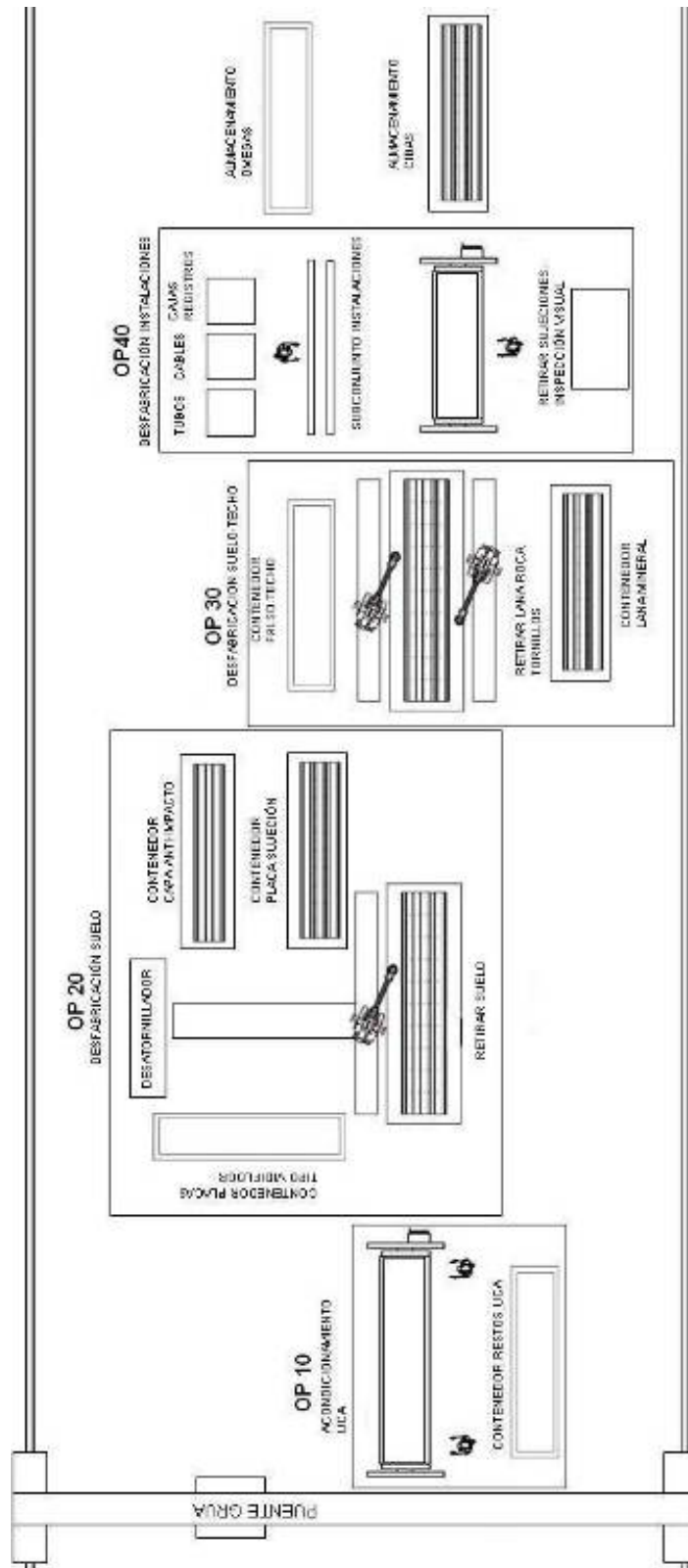


Figura 199.- Layout línea des-fabricación UCA forjado

- *Estudio de tiempos de la línea*
En la *Tabla 70* se recoge los tiempos de las operaciones que se llevan a cabo en las diferentes estaciones de la línea de des-montaje.

DES-FABRICACIÓN UCA FORJADO UNIDIRECCIONAL		1,8 ud/hora
Preparación UCA para entrada en línea de desfabricación (OP 10)		1205,0 seg/ud
Preparar UCA para entrada en la línea de des-fabricación, parte Techo	600 seg/ud 1 operación/ud	600 seg/ud
Voltear UCA	5 seg/ud 1 operación/ud	5 seg/ud
Preparar UCA para entrada en la línea de des-fabricación, parte Suelo	600 seg/ud 1 operación/ud	600 seg/ud
Des-Fabricación Suelo (OP 20)		249,0 seg/ud
Aproximación Suelo Brazo Robotizado 1	10 seg/operación 1 operación/ud	10 seg/ud
Extracción Suelo y Capas de Prestaciones	60 seg/operación 1 operación/ud	60 seg/ud
Aproximación Suelo Brazo Robotizado 1 Desatornillador	15 seg/operación 1 operación/ud	15 seg/ud
Extracción Tornillos Capas de Prestaciones	6 seg/operación 7 operación/ud	42 seg/ud
Eliminación Capas Prestaciones	8 seg/operación 14 operación/ud	112 seg/ud
Vuelta Posición Origen Brazo Robotizado 1	10 seg/operación 1 operación/ud	10 seg/ud
Des-Fabricación Suelo-Techo (OP 30)		369,0 seg/ud
Aproximación Suelo Brazo Robotizado 1	5 seg/operación 1 operación/ud	5 seg/ud
Eliminación Lana de Roca	10 seg/operación 5 operación/ud	50 seg/ud
Extracción Tornillos Omega	6 seg/operación 6 operación/ud	36 seg/ud
Aproximación Techo Brazo Robotizado 2	5 seg/operación 1 operación/ud	5 seg/ud
Retirar Omega del Grecado	15 seg/operación 1 operación/ud	15 seg/ud
Voltear UCA	5 seg/operación 1 operación/ud	5 seg/ud
Aproximación Techo Brazo Robotizado 1	5 seg/operación 1 operación/ud	5 seg/ud
Extracción Tornillos Techo	6 seg/operación 12 operación/ud	72 seg/ud
Aproximación Techo Brazo Robotizado 2	5 seg/operación 1 operación/ud	5 seg/ud
Extracción Falso Techo Brazo Robotizado 2	5 seg/operación 6 operación/ud	30 seg/ud
Extracción Perfiles Transversales Brazo Robotizado 2	5 seg/operación 6 operación/ud	30 seg/ud

Aproximación Techo Brazo Robotizado 1	5 seg/operación 1 operación/ud	5 seg/ud
Eliminación Lana de Roca	10 seg/operación 5 operación/ud	50 seg/ud
Extracción Tornillos Omega	6 seg/operación 6 operación/ud	36 seg/ud
Aproximación Techo Brazo Robotizado 2	5 seg/operación 1 operación/ud	5 seg/ud
Retirar Omega del Greñado	15 seg/operación 1 operación/ud	15 seg/ud
Des-Fabricación Instalaciones (OP 40)(2 Operarios)		170,0 seg/ud
Colocar Omega	30 seg/operación 1 operación/ud	30 seg/ud
Retirar Instalaciones	50 seg/operación 1 operación/ud	50 seg/ud
Retirar Sujeciones elásticas	10 seg/operación 6 operación/ud	60 seg/ud
Inspección Calidad y Almacenamiento	30 seg/operación 1 operación/ud	30 seg/ud
Tiempo acumulado		1993 seg/ud
Eficiencia	90%	2214 seg/ud
Tiempo de Ciclo		33 min/ud

Tabla 70.- Tiempo de ciclo de la des-fabricación UCA.

El tiempo de ciclo de la línea está marcado por la estación OP10, y es de 1200 segundos por UCA, lo que equivale a 3 forjados a la hora. Trabajando a dos turnos, con 15 horas efectivas diarias, se des-fabrican 45 forjados al día.

- *Coste de línea*

En la *Tabla 71* se calculan los costes asociados a maquinaria. Al tratarse de una des-fabricación no se tienen en cuenta gastos de materia prima.

MAQUINARIA	
LÍNEA ACONDICIONAMIENTO UCA	€
Herramientas Manuales	12000
Mesa de Transporte	160000
Contenedor	1000

LÍNEA DES-FABRICACIÓN SUELO	
Robot 1	100000
Track 1	43000
Desatornillador	100000
Pinza Ventosa	25000
Mesa Rodillos	100000
Contenedor Chapas acabadas	3000
LÍNEA DES-FABRICACIÓN SUELO-TECHO	
Robot 1	100000
Track 1	43000
Robot 2	100000
Track 2	43000
Volteador	100000
Pinza Pinchos	25000
Pinza Desatornillador	25000
Pinza Garra	25000
Pinza Ventosas	25000
Contenedores	20000
Cinta Rodillos	20000
LÍNEA DES-FABRICACIÓN INSTALACIONES	
Herramientas Manuales	12000
Contenedores de almacenaje (x4)	6000
Grúa Pluma	30000
Mesa soporte y volteo forjado	20000

Tabla 71.- Costes de maquinaria asociados a la línea

Teniendo en cuenta estos costes, se calcula (*Tabla 72*) el coste total:

Línea	Coste Recurso	Turnos	Cap. Teórica	% Útil	Cap. Práctica	Coste Unitario	T C	Coste
	€/mes		h/mes		h/mes	€/h	h	€
Acondicionamiento UCA	9861	2	320	0,8	256	38,52	0,37	14,33
Des-Fabricación Suelo	4489	2	320	0,9	288	15,59	0,37	5,80
Des-Fabricación Suelo-Techo	6365	2	320	0,9	288	22,10	0,37	8,22
Des-Fabricación Instalaciones	8731	2	320	0,8	256	34,11	0,37	12,68
Coste Des-Fabricación UCA								41,03

Tabla 72.- Estimación de coste des-fabricación UCA forjado unidireccional.

Mediante el proceso de des-fabricación diseñado, se consigue separar todas las capas de prestaciones, que pueden volver a ser utilizadas en nuevos UCA, por lo que el precio final del UCA disminuye a medida que se consigue reutilizar los componentes.

Esta línea puede ser más automatizada, con lo que con una inversión inicial mayor se conseguiría en el medio plazo mejores valores de coste de desmontaje del UCA.



5. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

5.1. CONCLUSIONES

El objetivo perseguido por el presente trabajo era desarrollar una metodología que permitiera la optimización del ciclo de vida del edificio, mediante el uso de la construcción industrializada, y el uso del acero como material base para una construcción más sostenible.

Innovaciones de la tesis:

- Mediante la **metodología propuesta**, se logra el **cambio del ciclo de vida del edificio** pasando del tradicional **abierto** (materias primas – construcción – uso – demolición) a un ciclo **cerrado** (materias primas – fabricación – montaje – uso – fin de uso - reutilización y/o reciclado – vuelta a fabricación...) en el que las materias primas que se empiezan utilizando se van sustituyendo por materiales usados y reciclados a medida que finaliza su uso original.
- Avanzar en la **construcción industrializada** mediante la inclusión de componentes en base acero que permiten **construcciones más sostenibles** (el acero es un material infinitamente reciclable y fácilmente separable debido a sus propiedades magnéticas). Los componentes propuestos llegarán a la obra fabricados de tal manera que sólo se tengan que ensamblar mediante métodos mecánicos (**sin soldadura**) y sin necesidad de añadir hormigón (**sin agua en obra**).
- La metodología además incluye una **fase de diseño de componentes**, mediante un método iterativo en el que el componente diseñado es evaluado teórica (simulaciones) y prácticamente (ensayos) para conseguir el diseño más adecuado a la normativa, teniendo además en cuenta su fin de uso (desmontaje en obra y descomposición del componente en sus distintos materiales en



fábrica). También se revisa el coste económico de su fabricación y montaje, para buscar la solución siempre mejor desde los puntos de vista técnico y económico.

- **Nuevas fábricas y empresas** para el sector de la construcción como pueden ser las fábricas de CIBAs y UCAs. Las primeras de construcción metálica donde saldría el esqueleto estructural del componente y las segundas fábricas de ensamblaje de capas de prestaciones a añadir al componente estructural, a modo y semejanza de otros sectores como la automoción. Del mismo modo esas fábricas o nuevas líneas o empresas surgirían igualmente para el desmontaje, clasificación y aprovechamiento de los componentes una vez finalizado su uso.
- **Nuevos métodos de montaje (y desmontaje)** de edificios, más industrializados y automatizados, que permitan una reducción de los tiempos de montaje, un mejor aprovechamiento del espacio en la obra y una mejora en las condiciones de seguridad y trabajo de los trabajadores de la edificación. Muchos de los trabajos que actualmente se realizan en obra pasarían a realizarse en fábrica, en ambientes más controlados e industriales.
- **Mejora de la fase de uso del edificio**, dotándole de medios para un mejor control y mantenimiento, así como de medios de generación de energías renovables que permitan minimizar e incluso anular el consumo energético del edificio.
- Considerar la **fase de diseño** como una fase “viva” a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio, no sólo en la fase de proyecto. De esta manera cada mejora de diseño redundaría en una mejora de cada una de las fases que componen el ciclo de vida del edificio.
- **Optimización**. A lo largo de los puntos anteriores se han desarrollado varios temas relacionados con la optimización que ahora se resumen



para enfatizar los logros conseguidos desde el punto de vista de la mejora:

- **Reducción de los tiempos** de montaje en obra y mejora de las condiciones de trabajo y seguridad.
- **Optimización del diseño y la fabricación**, mediante el uso de la nueva metodología descrita.
- **Optimización del coste económico** de la fabricación y el montaje mediante nuevas técnicas señaladas en el presente trabajo
- **Mejor aprovechamiento del espacio de** trabajo tanto en fábrica como especialmente en la obra, con reducción de la zona de almacenaje y utilización del propio edificio como zona de montaje.
- Conseguir el **consumo energético** 0 o casi cero del edificio mediante sistemas tanto activos (como las energías renovables) como pasivos (mejora de aislamientos).

5.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

De esta metodología surgen varias posibles líneas de investigación:

- De entrada, la mejora continua va implícita en la misma, con lo que se pueden investigar **mejoras** tanto en el **diseño** como en su **fabricación y montaje** de los **componentes**.
- **Nuevos desarrollos** de componentes en base acero o en combinaciones **acero –composite** que se están empezando a desarrollar en diversos laboratorios pueden ser utilizados una vez estén madurados y sea viable su comercialización. Los composites pueden ayudar al acero no sólo a nivel estructural sino a mejorar las

capas de prestaciones con funciones de resistencia a fuego, aislamiento térmico y acústico.

- Esta metodología también necesita de **nuevos desarrollos** en cuanto a **energías renovables y eficiencia energética**. En edificación veremos instalaciones de cogeneración hasta el momento sólo aplicadas en industrias, mini molinos eólicos que pueden ir en la cubierta de los edificios y en el campo de la energía fotovoltaica los avances en paneles son constantes e incluso se están haciendo estudios para desarrollar bobinas de acero con capacidad fotovoltaica, si bien se encuentra en fase incipiente a escala laboratorio. Estos desarrollos harían que el acabado de acero de las fachadas sería ya el propio panel fotovoltaico, con ahorro importante de peso y materiales.
- Un punto que este trabajo no aborda es el del trabajo a **nivel bajo el suelo**, lo que pueden ser parkings y movimientos de tierra para la adecuación de la parcela y cimentaciones. En este campo también la construcción tradicional puede ser mejorada y actualizada a unos métodos que siguen inamovibles desde hace décadas.
- Finalmente, el **desmontaje** de los edificios y de los componentes es igualmente algo muy novedoso y apenas visto no sólo a nivel nacional sino internacional. Tanto mejoras de diseño como de fabricación pueden realizarse para la mejora del proceso final y ayudar a la recuperación de los materiales que componen el edificio y los componentes en particular. De esta manera, al igual que ocurre en la industria, se dejará de hablar de residuos para hablar de subproductos o productos secundarios que también pueden dar un beneficio a las empresas que comercializan o construyen los componentes y los edificios.

- El **ciclo de vida** del edificio es algo vivo que debe de mejorarse continuamente. Éste es un primer paso, pero queda mucho trabajo y posibilidades de mejora por delante.



6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ABAQUS. *“ABAQUS Theory Manual”*. Edited and Published by ABAQUS. 2009
- [2] Abdul Samad et al. *“Open Building Manufacturing. Core concepts and Industrial Requirements”*. Manubuild Project. 2007
- [3] AENOR Asociación Española de Normalización. *“Eurocódigo Parte 3: Proyecto de Estructuras de Acero”* AENOR. 1993
- [4] AENOR Asociación Española de Normalización. *“UNE-EN 1363-1: 2000. Ensayo de resistencia al fuego. Parte 1: Requisitos generales”*. AENOR. 2000
- [5] AENOR Asociación Española de Normalización. *“UNE EN 1365-2: 2000. Ensayos de Resistencia al fuego de los elementos portantes. Parte 2: Suelos y cubiertas.”* AENOR. 2000
- [6] AENOR Asociación Española de Normalización. *“UNE-EN ISO 14040. Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida.”* AENOR. 2006
- [7] AENOR Asociación Española de Normalización. *“UNE-EN ISO 1461:2010. Recubrimientos de galvanización en caliente sobre piezas de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo”*. AENOR, 2010.
- [8] AENOR Asociación Española de Normalización. *UNE 41604 “Construcción de edificios. Coordinación dimensional y modular. Principios y reglas.”* AENOR 1997
- [9] AENOR Asociación Española de Normalización. *“UNE-EN 10025:2007. Productos laminados en caliente de aceros para estructuras”*. AENOR, 2007.
- [10] AENOR Asociación Española de Normalización. *“UNE-EN ISO 12944:1999. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores”*. AENOR, 1999.

- [11] Alfonso del Águila. *“La industrialización de la edificación de viviendas”*. Tomo 1. “Sistemas” y Tomo 2 “Componentes”. Maireia Libros. 2006
- [12] Alfonso del Águila. *“Las tecnologías de la industrialización de los edificios de vivienda”*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. 1992.
- [13] Anderson, J. et al. *“The Green Guide to Specification”*. Blackwell Science, Oxford. 2002
- [14] Annette Osso et al. *“Sustainable Building Technical Manual”*. US Green Building Council. 1996
- [15] ArcelorMittal. *“Catálogo de perfiles y barras comerciales”*. ArcelorMittal 2008
- [16] Asko Sarja. *“Integrated Life Cycle Design of structures”*. Spon Press. 2005
- [17] Asociación de Empresas Constructoras de Ámbito Nacional de España. *“Informe Anual de la Construcción 2010”*. SEOPAN. 2010
- [18] Asociación de Empresas Constructoras de Ámbito Nacional de España. *“PREOC. Precios de Edificación y Obra Civil en España.”*. Editado por ATAYO, S.S. 2010
- [19] Bénichou, N. ; Sultan, M. A. *“Thermal properties of components of lightweight wood-framed assemblies at elevated temperatures.”* Fire and Materials 2001, 7th International Conference, pp. 447-458
- [20] British Constructional Steelwork Association. *“Steel Buildings”*. BCSA. 2003
- [21] Carlo Vezioli y Ezio Manzini. *“Design for Environmental Sustainability”*. Springer. 2006
- [22] Comisión Brundtland *“Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro Futuro Común”*, Comisión Brundtland; 1987

- [23] Constantino Hurtado et al. *“Estructuras de Acero en Edificación”*. Publicaciones APTA. 2008
- [24] Edwin Wellpott. *“Las instalaciones en los edificios”*. Editorial Gustavo Gili 2009.
- [25] EU - European Union. *“Best Practice in Steel Construction. Residential Buildings. Guidance for Architects, Designers & Constructors”*. Research Fund for Coal & Steel. European Union. 2008
- [26] EU - European Union *“Carta de Aalborg”*. Conferencia Europea sobre Ciudades Sostenibles. Dinamarca, 1994
- [27] EU – European Union. *“Directiva 96/53/CE de dimensiones máximas autorizadas en el tráfico nacional e internacional y los pesos máximos autorizados en el tráfico internacional para determinados vehículos de carretera”*. Parlamento Europeo y Consejo. 25/07/1996
- [28] EU – European Union. *“Directiva 2010/31/UE de Eficiencia Energética de los Edificios”*. Parlamento Europeo y Consejo. 19/05/2010
- [29] EU - European Union. *“Steel in residential buildings for adaptable and sustainable construction”* European Commission Steel Research. 2005
- [30] Faustino Obeso, María José Sánchez, Ricardo Tucho, Leticia Zárate *“Proyecto CETICA: La Ciudad Eco-Tecno-Lógica”*. Artículo en Revista DYNA. Febrero 2009.
- [31] Fundación Estudios Calidad Edificación Asturias *“Guía para el diseño de edificios de viviendas sostenibles y energéticamente eficientes en el ámbito del Principado de Asturias”*. FECEA. 2010
- [32] Fundación Estudios Calidad Edificación Asturias *“Técnicas y políticas hacia una edificación sostenible”*. FECEA. 2003
- [33] Gere – Timoshenko. *“Resistencia de Materiales”*. Ediciones Paraninfo .1984

- [34] Guido Sonnenman et al. *“Integrated life-cycle and risk assessment for industrial process”*. Lewis Publishers. 2004
- [35] Habidite. *“Dossier de Prensa”*. Habidite, 2006.
- [36] Hans de Bruijn et al. *“Handbook on Life cycle Assessment”*. Kluwer Academic Publishers. 2004
- [37] Harvey M. Bernstein et al. *“Green BIM”*. McGraw-Hill Construction, 2010.
- [38] Harvey M. Bernstein et al. *“Prefabrication and Modularization”*. McGraw-Hill Construction, 2011.
- [39] Heino Engel. *“Sistemas de estructuras”*, Editorial Gustavo Gili. 2001.
- [40] IAARC International Association for Automation and Robotics in Construction *“Proceedings of the International Conferences of IAAR”*. Years 2000-2009.
- [41] Ian Wallis et al. *“Industrialized, Integrated, Intelligent Sustainable Construction”*. I3CON Project. Handbooks 1,2 &3. 2008-2009-2010.
- [42] Ignacio Paricio, Xavier Sust *“La vivienda contemporánea. Programa y tecnología”*. ITEC. 2004.
- [43] ITEC - Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña. *“Control de la calidad en la edificación. 7 Volúmenes”*. Segunda edición. 1990
- [44] ITEC - Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña *“La cubierta captadora en los edificios de viviendas”*. ITEC. 2002.
- [45] J. Temple Black, Steve L. Hunter. *“Lean Manufacturing Systems and Cell Design”*. J. Temple Black, Steve L. Hunter. Ed. SME 2003.
- [46] Jitka Poděbradská. *“Specific heat capacity of cementitious composites in high-temperature range.”* Czech Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Structural Mechanics. 2010

- [47] Jose. A. Chica et al. *“Proceedings of the 16th International Conference on Open and Sustainable Buildings”*. CIB & Tecnalia. 2010
- [48] Ministerio de la Vivienda. *“CTE Código Técnico de la Edificación”*. Editorial Paraninfo. 2008
- [49] Ministerio de la Vivienda. *“Directiva 89/106/CE de Productos de la Construcción”*. 1992
- [50] Ministerio de la Vivienda *“Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción”*. Real Decreto 47/2007 de 19 de Enero.. BOE 19/01/2007
- [51] Norbert W. Young et al. *“The Business value of BIM”*. McGraw-Hill Construction, 2009.
- [52] NSC - New Steel Construction. *“Construction steel reuse and recycling rates approach 100%”*. New Steel Construction, Vol. 9 No. 4, Julio/Agosto, pp. 12–13. Sansom M.R. (2001)
- [53] Ramón Araujo *“Construir en Acero. Arquitectura en España 1993-2007”*. Publicaciones APTA. 2009
- [54] Richard Bender. *“Una visión de la construcción industrializada”*; Editorial Gustavo Gili. 1976.
- [55] SCI - The Steel Construction Institute. *“Quicon Design Guide to BS5950-1”*. SCI. 2009
- [56] Swinden Technology Centre. *“The Behaviour of Multi-Storey Steel-Framed Buildings in Fire: A European Joint Research Programme”*. British Steel plc, Rotherham, UK. 1999
- [57] The Institution of Structural Engineers *“Building for a sustainable future: Construction without depletion”*. ISE. 1999
- [58] Tove Malmqvist et al. *“Life cycle assessment in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines”*. Elsevier. 2010

[59] Udo de Haes et al. *“Lifecycle assessment for Energy analysis and management”* Science Direct. Elsevier. 2007

[60] Unión Española de Siderurgia. *“La Fabricación de Acero”*. UNESID. 2002

[61] World Business Council for Sustainable Development. *“Energy Efficiency in Buildings”*. Summary Report. 2007

ANEJOS

Se adjuntan a continuación los artículos y ponencias presentadas relacionadas con la presente tesis:

Anejo I.- Artículo revista DYNA

Artículo Revista DYNA N°84 – Febrero 2009. “*Proyecto CETICA: La Ciudad Eco-tecno-lógica*”. Págs. 38-43. Autoría en colaboración con Faustino Obeso, Maria José Sánchez y Leticia Zárte.

Anejo II.- Ponencia Congreso ACHE

IV Congreso ACHE (Asociación Científico-Técnica de Hormigón Estructural).
Valencia. 24-27 de Noviembre de 2008. Título: “*Proyecto CETICA: La Ciudad Eco-tecno-lógica*”. Autoría en colaboración con Faustino Obeso, Maria José Sánchez y Leticia Zárte.

