



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

TRABAJO FINAL DE GRADO

**ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA  
REHABILITACIÓN DE LOS FORJADO DEL EDIFICIO  
DE LA ANTIGUA PRISIÓN PROVINCIAL DE MURCIA.**

---

**ANEJO VI: Estudio de Soluciones**

---

## ÍNDICE

<b>1. OBJETO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. ALTERNATIVAS PROPUESTAS .....</b>	<b>4</b>
2.1. Alternativa 1. ....	5
2.2. Alternativa 2. ....	9
2.3. Alternativa 3. ....	13
2.4. Alternativa 4 .....	17
<b>3. ANALISIS MULTICRITERIO .....</b>	<b>21</b>
<b>4. COEFICIENTES DE PONDERACIÓN .....</b>	<b>23</b>
<b>5. VALORACION DE LAS ALTERNATIVAS .....</b>	<b>25</b>
<b>6. ELECCION DE LA ALTERNATIVA .....</b>	<b>31</b>
<b>7. REFERENCIAS. ....</b>	<b>32</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Sección transversal de la alternativa 1 (Fuente: elaboración propia).....	6
Figura 2. Demolición de capa de compresión con martillo neumático (Fuente: <a href="http://www.hilti.es">www.hilti.es</a> ) .....	7
Figura 3. Ejecución de capa de compresión. (Fuente: <a href="http://www.cronoshare.com">www.cronoshare.com</a> ) .....	8
Figura 4. Sección transversal de la alternativa 2 (Fuente: elaboración propia).....	9
Figura 5. Ejecución de forjado con viguetas prefabricadas. (Fuente: Catálogo Comercial ACERALIA Transformados) .....	12
Figura 6. Vista inferior del forjado de viguetas pretensadas. (Fuente: Apuntes de la asignatura Edificación año 2017) .....	12
Figura 7. Sección transversal de la alternativa 3 (Fuente: elaboración propia).....	13
Figura 8. Reparación de forjados con Hormigones UHPC (Fuente: Mapei catalogo comercial) .....	16
Figura 9. Ejecución de refuerzo con UHPC. (Fuente: Mapei catalogo comercial).....	16
Figura 10. Sección transversal de la alternativa 4 (Fuente: elaboración propia).....	17
Figura 11. Sección transversal tipo forjado de chapa colaborante. (Fuente: Catalogo comercial ACERALIA transformados). ....	20
Figura 12. Ejecución de forjado con chapa colaborante. (Fuente: Apuntes de la asignatura de Edificación año 2017).....	20

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Coste total de ejecución de Alternativa 1. (Fuente: elaboración propia) .....	8
Tabla 2. Coste total de ejecución de Alternativa 2. (Fuente: Elaboración propia).....	11
Tabla 3. Coste total de ejecución de Alternativa 3 (marca comercial). (Fuente: Elaboración propia) .....	15
Tabla 4. Coste total de ejecución de Alternativa 3 (basado en datos UPV). (Fuente: Elaboración propia) .....	15
Tabla 5. Coste total de ejecución de Alternativa 4. (Fuente: Elaboración propia).....	19
Tabla 6. Coeficientes de ponderación. (Fuente: Elaboración propia).....	24
Tabla 7. Puntuación para cada valoración. (Fuente: Elaboración propia) .....	25
Tabla 8. Puntuación dada a cada alternativa. (Fuente: Elaboración propia).....	30
Tabla 9. Valoración final de cada alternativa. (Fuente: Elaboración propia) .....	31

## ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico. 1. Comparación del precio de ejecución material de las Alternativas. (Fuente: elaboración propia).....	26
Gráfico. 2. Flecha generada para una misma carga en cada alternativa. (Fuente: elaboración propia).....	26
Gráfico. 3. Cantidad de residuos generados en obra de cada alternativa. (Fuente elaboración propia).....	27
Gráfico. 4. Número de trabajadores necesarios en obra en cada una de las alternativas (Fuente: elaboración propia).....	29
Gráfico. 5. Número de oficiales especializados en obra en cada una de las alternativas (Fuente: elaboración propia).....	29

## **1. OBJETO.**

La finalidad de este anejo es presentar y exponer las diferentes alternativas para la rehabilitación de forjados, tanto constructivamente como mecánicamente del forjado de la primera planta de la antigua prisión provincial de Murcia, después de realizar un estudio de todas ellas, se escogerá como solución final la óptima.

Para la elección se va a realizar un análisis multicriterio, aplicando a cada criterio un coeficiente de ponderación, en función de la importancia.

## **2. ALTERNATIVAS PROPUESTAS**

En los subapartados que siguen, se plantean varias alternativas para la rehabilitación del forjado de la primera planta de la antigua prisión provincial de Murcia. Se procederá a desarrollar cada una de manera que se pueda realizar un análisis multicriterio para elegir la mejor solución.

Cabe destacar que las soluciones propuestas son soluciones que cumplen con los requisitos mínimos para la estabilidad estructural para edificio con un uso tipo C, es decir Zonas de acceso al público concretamente para la subcategoría de uso C3 (Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas). Con todo ello y tras la verificación de los cálculos y comprobación de los mismo se procede a realizar el análisis multicriterio, en el que no se ha recogido la alternativa de no realizar la rehabilitación, ya que es una necesidad para la ciudad de Murcia.

Al estar recogido dentro de un proyecto de rehabilitación integral del edificio, es importante destacar que la alternativa 0, es decir, no realizar actuación alguna sobre el forjado no tiene sentido, puesto que al cambiarse el uso y adaptarlo a la nueva normativa, el forjado actual no cumpliría los requisitos mínimos, puesto que en la prueba de carga únicamente se estudia una zona concreta y no se asegura que el estado de la capa de compresión actual esta en perfecto estado, además en la actualidad la capa de compresión presenta interconexión de poros por lo que el agua es posible que se pudiera filtrar y afectar a las viguetas metálicas existentes. Por ello, y al suponer un beneficio social muy importante para la ciudad y un beneficio económico la alternativa 0 no se ha recogido dentro del análisis multicriterio como una alternativa viable.

---

## 2.1. Alternativa 1.

---

La alternativa 1 consiste en conservar el forjado actual y únicamente sustituir la capa de compresión del forjado. Para ello, inicialmente se procederá a realizar la demolición del forjado para posteriormente colocar la armadura de negativos y la malla electrosoldada, por último, colocar la capa de compresión con hormigón HA-25. Las características de este forjado serían las que a continuación se detallan en la descripción de la partida escogida.

Esta solución es la que habitualmente se produce en los casos de rehabilitación, corresponde con una solución convencional, sin embargo, esta solución que es económicamente viable presenta varios inconvenientes, por ejemplo, al tener que demoler la capa de compresión, se generará residuos inertes, y se tendrán que transportar a un sitio de gestión de residuos. Por otro lado, al realizar la demolición de la capa de compresión es posible que se puedan ver deteriorados varios elementos del forjado actual, como pueden ser las bovedillas o bien las vigas metálicas. En cuanto a la estética, se puede decir que se conservaría la estética inicial del edificio, por ello se conseguiría el objetivo de conservar lo máximo posible la estética del edificio.

Tal y como se ha comentado en el Anejo 4 las viguetas actuales se encuentran en buen estado, excepto en zonas puntuales en la que se le colocará un refuerzo metálico en la cara inferior del forjado, por último, la duración de la rehabilitación del forjado será elevada, ya que al tener que realizar la demolición del forjado, reparar las bovedillas que puedan verse afectadas durante las labores de demolición, proceder a la colocación de las armaduras pasivas, malla electrosoldada, conectores, y posteriormente colocar una capa de compresión, los plazos de realización será mayores que la solución adoptada que se explicará más adelante. A continuación, se muestra una fotografía de su sección transversal, que se encuentra más detallada en el Plano 08 donde puede observarse como quedaría la sección del forjado con esta solución a adoptar.

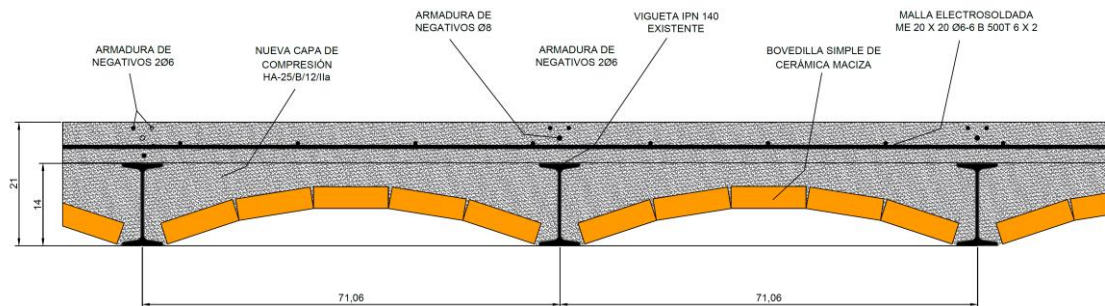


Figura 1. Sección transversal de la alternativa 1 (Fuente: elaboración propia)

Tal y como se muestra en la foto de la alternativa 1, se puede comprobar que el forjado, contará con un canto total de 21 cm en los cuales 7 cm serán la capa de compresión realizada con un hormigón HA-25/B/12/IIa en la que las armaduras de negativos serán dos Ø6 y un Ø8 para poder resistir los momentos negativos. Además, se incluirá una malla electrosoldada tipo ME 20 x 20 Ø6-6 B500T 6 x 2.

En las siguientes fotografías, puede observarse en qué consisten las diferentes fases de esta alternativa, para ello se han buscado fotografías de los procesos a realizar para ejecutar la rehabilitación del forjado mediante técnicas convencionales y que son las que en la actualidad más se utilizan:

Ud	Resumen	Med	Pres	ImpPres
	<b>REHABILITACIÓN ALTERNATIVA 1</b>	<b>1</b>	<b>19.244,15</b>	<b>19.244,15</b>
m2	Refuerzo de capa de compresión de forjado suelo P.1ª	484,00	39,82	19.244,15

Refuerzo de capa de compresión de forjado suelo P.1ª (Refuerzo de forjado o de losa de hormigón mediante recrecido de 7 cm de espesor en la cara superior, para capa de compresión de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/12/IIa fabricado en central con Distintivo de calidad Oficialmente Reconocido (D.O.R.), con aditivo hidrófugo, y vertido con bomba, y malla electrosoldada ME 20x20 Ø 6-6 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080; previo anclaje de conectores de perno de acero cincado, de diámetro 12mm con cabeza, revestidos en frío en una placa de anclaje de 38x51mm de 4 mm de espesor, fijado en la estructura de acero con dos clavos de acero al carbono diámetro 4,5mm longitud 22,5mm, cabeza diámetro 14mm, para la correcta transferencia de esfuerzos entre el forjado existente y el refuerzo.

NORMATIVA DE APLICACIÓN: Elaboración, transporte y puesta en obra del hormigón: Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08). Montaje: UNE-EN 1994. Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO: Superficie medida según documentación gráfica de Proyecto.

CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA AMBIENTALES. Se suspenderán los trabajos de hormigonado cuando llueva con intensidad, nieve, exista viento excesivo, una temperatura ambiente superior a 40°C o se prevea que dentro de las 48 horas siguientes pueda descender la temperatura ambiente por debajo de los 0°C. DEL SOPORTE. Previamente a la colocación de los conectores, se comprobará que las chapas colaborantes se encuentran inmovilizadas en su posición definitiva mediante fijaciones con clavos o tornillos en su apoyo con las vigas metálicas, a fin de evitar levantamientos o deslizamientos.

DEL CONTRATISTA. Dispondrá en obra de una serie de medios, en previsión de que se produzcan cambios bruscos de las condiciones ambientales durante el hormigonado o posterior periodo de fraguado, no pudiendo comenzarse el hormigonado de los diferentes elementos sin la autorización por escrito del director de la ejecución de la obra.

PROCESO DE EJECUCIÓN FASES DE EJECUCIÓN. Apeo del forjado. Montaje del sistema de encofrado. Replanteo y disposición del conector. Fijación del conector con clavos, mediante clavadora a pólvora. Colocación de la malla electrosoldada con separadores homologados. Vertido y compactación del hormigón. Reglado de la superficie. Curado del hormigón. Desmontaje del sistema de encofrado y retirada del apeo. Limpieza de los restos generados.

CONDICIONES DE TERMINACIÓN. El forjado será monolítico y transmitirá correctamente las cargas. La superficie quedará uniforme y sin irregularidades.

CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO. Se evitará la actuación sobre el elemento de acciones mecánicas no previstas en el cálculo.

Ud	Resumen	Med	Pres	ImpPres
<b>DEMOLICIONES</b>		<b>1</b>	<b>14.726,37</b>	<b>14.726,37</b>
m2	Levantado de la capa de compresión.	530,68	4,47	2.372,14

Levantado de capa de compresión de forjado i/pavimento (Demolición de pavimento existente en el interior del edificio, de baldosas cerámicas, del material de agarre y de la capa de compresión de hormigón en forjados, con medios manuales y martillo neumático, sin deteriorar los elementos que se mantienen del forjado y carga manual sobre camión o contenedor. El precio incluye el levantado de los rodapiés

NORMATIVA DE APLICACIÓN. Ejecución: NTE-ADD. Acondicionamiento del terreno. Desmontes: Demoliciones.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO. Superficie medida según documentación gráfica de Proyecto.

CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA DEL SOPORTE. Se verificará que sobre el elemento a demoler no hay almacenados ni mobiliario utilizable ni materiales combustibles, explosivos o peligrosos; y que se ha procedido a su desratización o desinfección en caso de que fuese necesario. Deberán haberse concluido todas aquellas actuaciones previas previstas en el Proyecto de Derribo correspondiente: medidas de seguridad, anulación y neutralización por parte de las compañías suministradoras de las acometidas de instalaciones, trabajos de campo y ensayos, apeo y apuntalamientos necesarios. Se habrán tomado las medidas de protección indicadas en el correspondiente Estudio de Seguridad y Salud, tanto en relación con los operarios encargados de la demolición como con terceras personas, viales, elementos públicos o edificios colindantes. Se dispondrá en obra de los medios necesarios para evitar la formación de polvo durante los trabajos de demolición y de los sistemas de extinción de incendios adecuados.

PROCESO DE EJECUCIÓN FASES DE EJECUCIÓN. Replanteo de la superficie a demoler. Demolición del elemento. Fragmentación de los escombros en piezas manejables. Retirada y acopio de escombros. Limpieza de los restos de obra. Carga manual de escombros sobre camión o contenedor.

CONDICIONES DE TERMINACIÓN. No quedarán partes inestables del elemento demolido parcialmente, y la zona de trabajo estará limpia de escombros.

CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO. Mientras se sigan realizando los trabajos de rehabilitación y no se haya consolidado definitivamente la zona de trabajo, se conservarán los apeos y apuntalamientos previstos.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO. Se medirá la superficie realmente demolida según especificaciones de Proyecto.



Figura 2. Demolición de capa de compresión con martillo neumático (Fuente: [www.hilti.es](http://www.hilti.es))



Figura 3. Ejecución de capa de compresión. (Fuente: [www.cronoshare.com](http://www.cronoshare.com))

Tal y como se ha mencionado anteriormente, para rehalar la reposición de la capa de compresión, con un recrecio de 7 cm de espesor, es necesario realizar previamente el levantado de la capa de compresión, mediante un martillo neumático, para posteriormente realizar una nueva capa de compresión con medios convencionales. Por otro lado, es importante destacar que en este caso es posible que durante las labores de demolición de la capa de compresión se produzcan roturas de las bovedillas y es posible que tengan que ser respuestas. Para poder obtener más información y poder entender mejor la valoración económica realizada, en el anejo VIII se muestra el cuadro de precio descompuestos con el peso de cada uno de los elementos a tener en cuenta para la realización de la alternativa

PARTIDA	MEDICIÓN (m2)	PRECIO (€/m2)	COSTE (€)
Demolición	530,68	4,47	2.372,14
Capa de compresión	484,00	39,82	19.272,02
<b>COSTE TOTAL DE REHABILITACIÓN</b>			<b>21.644,16</b>

Tabla 1. Coste total de ejecución de Alternativa 1. (Fuente: elaboración propia)

En este caso el **precio total** de la reparación del forjado de primera planta tendrá un coste de ejecución material de **VEINTIÚN MIL SEISCIENTOS CUARENTA Y CUATRO EUROS Y DIECISEIS CÉNTIMOS (21.644,16 €)**.

## 2.2. Alternativa 2.

Esta alternativa, realmente, más que en una rehabilitación es una reconstrucción del forjado actual, pero con otros materiales, en esta alternativa se propone realizar una demolición total del forjado de la primera planta del edificio y posteriormente colocar un forjado de viguetas pretensadas con bovedillas de hormigón.

A continuación, se procede a realizar el proceso constructivo de esta alternativa, primeramente se procederá a realizar la demolición elemento a elementos del forjado de la primera planta, una vez realizada la demolición total del forjado actual se procederá a la colocación de las viguetas pretensadas autoportantes, posteriormente, se procederá a la colocación de la bovedillas de hormigón, y por último se colocará el ferrallado necesario para poder resistir los esfuerzos para la capa de compresión, y por último se procederá a hormigonar la capa de compresión. Para poder entender mejor la composición y los elementos de esta alternativa, se procede a visualizar en la siguiente figura la sección transversal de la alternativa, el cual puede observarse con mayor detalle en el Plano 09.

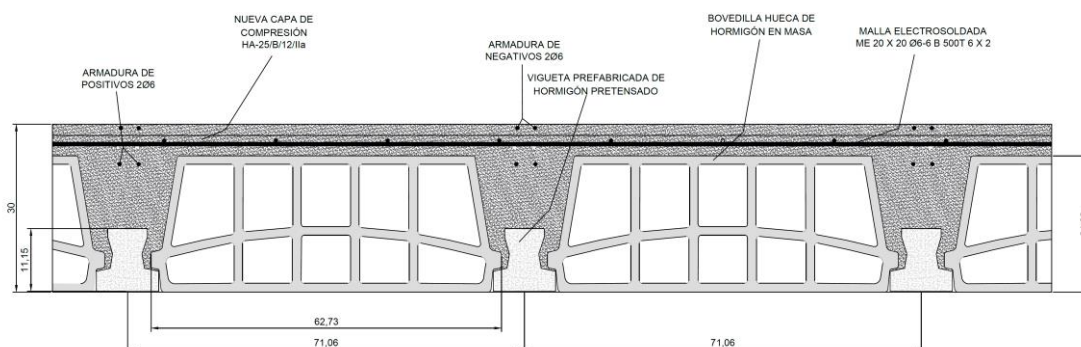


Figura 4. Sección transversal de la alternativa 2 (Fuente: elaboración propia)

Tal y como puede apreciarse en el croquis el forjado está formado por armadura para momento positivos con dos Ø6 y la misma armadura para resistir los momentos negativos, la nueva capa de compresión estaría formada por un hormigón tipo HA-25/B/12/IIa junto a una malla electrosoldada tipo ME 20 x 20 Ø6-6 B500T 6 x 2. Por otro lado, las bovedillas serían de hormigón en masa aligerado y los nervios estaría formados por viguetas pretensadas suministrada por el fabricante GALLIZO T-21 25+5 H x 70, realizadas con hormigón tipo HA-45 y con un acero para pretensar con una resistencia a tracción de 1580 Mpa. Por ello a continuación se procede a describir las partidas incluidas en esta alternativa:

Ud	Resumen	Med	Pres	ImpPres
	<b>REHABILITACIÓN ALTERNATIVA 2</b>	<b>1</b>	<b>21.576,72</b>	<b>21.576,72</b>
m2	Forjado con viguetas autoportantes prefabricadas.	484,00	44,58	21.576,72

Forjado con viguetas autoportantes prefabricadas (Estructura de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central con Distintivo de calidad Oficialmente Reconocido (D.O.R.), con aditivo hidrófugo, con un volumen total de hormigón en forjado y vigas de 0,14 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, y acero UNE-EN 10080 B 500 SD en zona de refuerzo de negativos y conectores de viguetas y zunchos y vigas, con una cuantía total según especificaciones de planos, constituida por: FORJADO UNIDIRECCIONAL: horizontal, de canto 30 =25+5 cm; montaje y desmontaje de sistema de encofrado parcial, con acabado tipo industrial para revestir, formado por: vigueta pretensada; bovedilla de hormigón, 60x20x25 cm; capa de compresión de 5 cm de espesor, con armadura de reparto formada por malla electrosoldada ME 20x20 Ø 6-6 B500 T 6x2,20 UNE-EN 10080; vigas; incluso agente filmógeno para el curado de hormigones y morteros.

NORMATIVA DE APLICACIÓN. Elaboración, transporte y puesta en obra del hormigón: Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08). Ejecución: NTE-EHU. Estructuras de hormigón armado: Forjados unidireccionales. NTE-EHV. Estructuras de hormigón armado: Vigas. Montaje y desmontaje del sistema de encofrado: Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08). NTE-EME. Estructuras de madera: Encofrados.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO. Superficie medida en verdadera magnitud desde las caras exteriores de los zunchos del perímetro, según documentación gráfica de Proyecto, deduciendo los huecos de superficie mayor de 6 m<sup>2</sup>.

CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA AMBIENTALES. Se suspenderán los trabajos de hormigonado cuando llueva con intensidad, nieve, exista viento excesivo, una temperatura ambiente superior a 40°C o se prevea que dentro de las 48 horas siguientes pueda descender la temperatura ambiente por debajo de los 0°C. DEL CONTRATISTA. Dispondrá en obra de una serie de medios, en previsión de que se produzcan cambios bruscos de las condiciones ambientales durante el hormigonado o posterior periodo de fraguado, no pudiendo comenzarse el hormigonado de los diferentes elementos sin la autorización por escrito del director de la ejecución de la obra. PROCESO DE EJECUCIÓN FASES DE EJECUCIÓN. Replanteo del sistema de encofrado. Montaje del sistema de encofrado. Replanteo de la geometría de la planta sobre el encofrado. Colocación de viguetas y bovedillas. Colocación de las armaduras con separadores homologados. Vertido y compactación del hormigón. Regleado y nivelación de la capa de compresión. Curado del hormigón. Desmontaje del sistema de encofrado.

CONDICIONES DE TERMINACIÓN. El conjunto será monolítico y transmitirá correctamente las cargas. La superficie quedará uniforme y sin irregularidades. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO. Se evitará la actuación sobre el elemento de acciones mecánicas no previstas en el cálculo. CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO. Se medirá, en verdadera magnitud, desde las caras exteriores de los zunchos del perímetro, la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto, deduciendo los huecos de superficie mayor de 6 m<sup>2</sup>. Se consideran incluidos todos los elementos integrantes de la estructura señalados en los planos y detalles del Proyecto. CRITERIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA. El precio incluye la elaboración de la ferralla.

	<b>DEMOLICIONES</b>	<b>1</b>	<b>12.354,23</b>	<b>12.354,23</b>
m2	Demolición de forjado incluido viguetas	530,68	23,28	12.354,23

Demolición de forjado (Demolición de forjado de viguetas metálicas y entrevigado de revoltón cerámico formado por una o dos roscas de ladrillo cerámico y relleno de senos con cascotes y mortero de cal, realizado con martillo neumático y equipo de oxicorte, previo levantado del pavimento y su base, y carga manual sobre camión o contenedor. El precio incluye el corte previo de viguetas en las zonas que sea necesario.

NORMATIVA DE APLICACIÓN. Ejecución: NTE-ADD. Acondicionamiento del terreno. Desmontes: Demoliciones.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO. Superficie medida según documentación gráfica de Proyecto.

CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA DEL SOPORTE. Se verificará que sobre el elemento a demoler no hay almacenados ni mobiliario utilizable ni materiales combustibles, explosivos o peligrosos; y que se ha procedido a su desratización o desinfección en caso de que fuese necesario. Deberán haberse concluido todas aquellas actuaciones previas previstas en el Proyecto de Derribo correspondiente: medidas de seguridad, anulación y neutralización por parte de las compañías suministradoras de las acometidas de instalaciones, trabajos de campo y ensayos, apeo y apuntalamientos necesarios. Se habrán tomado las medidas de protección indicadas en el correspondiente Estudio de Seguridad y Salud, tanto en relación con los operarios encargados de la demolición como con terceras personas, viales, elementos públicos o edificios colindantes. Se dispondrá en obra de los medios necesarios para evitar la formación de polvo durante los trabajos de demolición y de los sistemas de extinción de incendios adecuados.

DEL CONTRATISTA. Habrá recibido por escrito la aprobación, por parte del director de la ejecución de la obra, de su programa de trabajo, conforme al Proyecto de Derribo.

PROCESO DE EJECUCIÓN FASES DE EJECUCIÓN. Replanteo de la superficie de forjado a demoler. Demolición del elemento. Fragmentación de los escombros en piezas manejables. Retirada y acopio de escombros. Limpieza de los restos de obra. Carga manual de escombros sobre camión o contenedor.

CONDICIONES DE TERMINACIÓN. No quedarán partes inestables del elemento demolido parcialmente, y la zona de trabajo estará limpia de escombros.

CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO. Mientras se sigan realizando los trabajos de rehabilitación y no se haya consolidado definitivamente la zona de trabajo, se conservarán los apeos y apuntalamientos previstos.

Este tipo de forjado es muy utilizado en la actualidad para los edificios de viviendas, ya que la luz del forjado no es muy elevada, estos forjados son económicamente rentables cuando las luces a cubrir son de un rango de 4,5 m a 7 m.

Sin embargo, esta solución no puede competir económicamente con la solución anterior ni con la solución adoptada, ya su coste económico es mucho mayor, además la cantidad de residuos generados durante su construcción es mucho mayor.

Al tener que sustituir todos los elementos del forjado actual, el coste de los materiales aumenta mucho, lo que hace que no sea viable competir con las técnicas de rehabilitación parcial, por otro lado, presenta el inconveniente de que no sería posible conservar la estética actual del edificio, con lo que sería necesario proceder a la colocación de un falso techo o realizar un enlucido de yeso en la cara inferior del forjado. A continuación, se muestra la valoración estimada para esta alternativa.

Tal y como sucede en la alternativa 1 aquí se precisa una partida de demolición, en este caso la demolición completa del forjado para poder realizar el nuevo forjado con viguetas de hormigón prefabricadas y bovedillas de hormigón. Para poder obtener más información y poder entender mejor la valoración económica realizada, en el anejo VIII se muestra el cuadro de precio descompuestos con el peso de cada uno de los elementos a tener en cuenta para la realización de la alternativa.

PARTIDA	MEDICIÓN (m2)	PRECIO (€/m2)	COSTE (€)
Demolición	530,68	23,28	12.354,23
Rehabilitación	484,00	44,58	21.576,72
<b>COSTE TOTAL DE REHABILITACIÓN</b>			<b>33.930,95</b>

*Tabla 2. Coste total de ejecución de Alternativa 2. (Fuente: Elaboración propia)*

En este caso el **precio total** de la reparación del forjado de primera planta tendrá un coste de ejecución material de **TRINTA Y TRES MIL NOVECIENTOS TREINTA EUROS Y NOVENTA Y CINCO CÉNTIMOS (33.930,95 €)**.

Por último, en cuanto la rigidez del forjado es mayor que la del resto de alternativas propuesta, ya que, al ser los materiales utilizados nuevos, y realizada con técnicas actuales en la que los materiales utilizados son conocidos sus características mecánicas a la perfección esto facilita que haya menos deformaciones en el forjado y por lo tanto desde el punto de vista funcional sea la mejor solución adoptar, estos datos se han obtenido

realizando un cálculo de flecha en el programa CYPE en el cual se han introducido todos los tipos de forjados mencionados en el actual anejo.



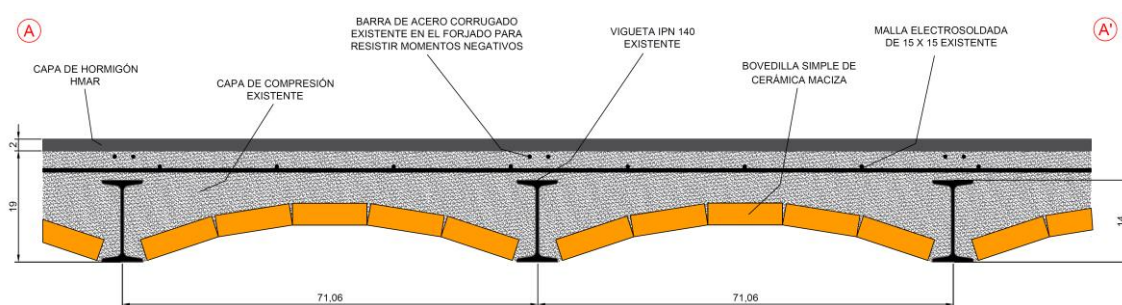
*Figura 5. Ejecución de forjado con viguetas prefabricadas. (Fuente: Catálogo Comercial ACERALIA Transformados)*



*Figura 6. Vista inferior del forjado de viguetas pretensadas. (Fuente: Apuntes de la asignatura Edificación año 2017)*

### 2.3. Alternativa 3.

Esta alternativa consiste en la colocación de una capa de hormigón tipo HMAR (Hormigones de muy alta resistencia) sobre el forjado actual, se estima que la capa necesaria para poder cumplir con los momentos solicitados es de aproximadamente 2 cm. Este tipo de hormigones cuenta con elevadas resistencias a compresión y un aumento muy significativo en la resistencia a tracción, además este tipo de hormigones presenta poca retracción lo que evita que se formen fisuras durante el endurecimiento del hormigón. Tal y como puede apreciarse en el Plano 10, en la siguiente figura se muestra la sección transversal de la alternativa 3.



En la figura se muestran los nervios formados por los perfiles existentes IPN 140, el hormigón utilizado para la capa de compresión cuando se realizó el edificio, así como sus elementos como pueden ser la malla electrosoldada existente y la armadura para resistir los momentos negativos. En la Figura acotada en centímetros puede apreciarse que la capa de hormigón tipo HMAR es de 2 cm.

En la actualidad, este tipo de hormigones mayoritariamente están comercializados por las casas comerciales, que lo venden como algo revolucionario y novedoso. Existen países en los que el uso de este tipo de hormigones es tan alto que se han elaborado normativas y recomendaciones para su utilización como son el caso de la **fprSIA 2052: 2014-12** Suiza y la **NF P18-470** francesa, en la que se recogen formulaciones para el cálculo de los elementos.

Comentar con respecto a esta alternativa que el precio de ejecución del forjado es variable, ya que depende de si la rehabilitación se realiza con una marca patentada o con un hormigón provisto de central. El precio de las marcas comerciales suele ser mucho mayor que lo que realmente puede ser fabricarlos en una central, por ello en la viabilidad

económica depende del precio del material ya que, al tener poca mano de obra, la mayor parte económica de la partida recae sobre el precio del material.

Tras realizar una pequeña valoración económica se aprecia que en esta solución el valor monetario del material a emplear es del orden de un 70 % del precio total de la partida, todo ello y su explicación está contemplado en el Anejo VIII en el cual se ha obtenido el cuadro de precios descompuestos de cada uno de ellos, por ello cuanto más barato sea el material a emplear el resultado final será una reducción importante en la partida.

Para este tipo de rehabilitación del forjado, la ventaja económica puede estar en no ser necesario el uso de armaduras pasivas puesto que al tener gran resistencia a tracción pueden omitirse su utilización. Por otro lado, antes de extender la capa de hormigón es necesario la utilización de una resina para poder asegurar la unión entre el hormigón existente y el hormigón HMAR, este elemento complementario está provisto en la descomposición de precios de la partida. A continuación, se procede a realizar la descripción de la alternativa, la cual se ha descrito en dos tipos la alternativa 3.1 y la alternativa 3.2 para diferenciar el material suministrado.

Ud	Resumen	Med	Pres	ImpPres
	<b>REHABILITACIÓN ALTERNATIVA 3.1</b>	<b>1</b>	<b>29.003,37</b>	<b>29.003,37</b>
m2	Refuerzo de capa de compresión de forjado de P. 1ª con hormigón UHPC (Marca comercial).	484,00	59,92	29.003,37

Refuerzo de capa de compresión de forjado de 1ª planta. Refuerzo de forjado o de losa de hormigón mediante recrecido de 2 centímetros de espesor en la cara superior, para capa de compresión de hormigón con fibras, realizada con hormigón tipo HMAR suministrado en saco por una marca comercial, con aditivo hidrófugo, y realizado con amasadora in situ. NORMATIVA DE APLICACIÓN Elaboración, transporte y puesta en obra del hormigón: Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08). Montaje: UNE-EN 1994. Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero. CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTOS. Superficie medida según documentación gráfica de Proyecto. CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA AMBIENTALES. Se suspenderán los trabajos de hormigonado cuando llueva con intensidad, nieve, exista viento excesivo, una temperatura ambiente superior a 40°C o se prevea que dentro de las 48 horas siguientes pueda descender la temperatura ambiente por debajo de los 0°C. EL CONTRATISTA. Dispondrá en obra de una serie de medios, en previsión de que se produzcan cambios bruscos de las condiciones ambientales durante el hormigonado o posterior periodo de fraguado, no pudiendo comenzarse el hormigonado de los diferentes elementos sin la autorización por escrito del director de la ejecución de la obra. PROCESO DE EJECUCIÓN FASES DE EJECUCIÓN. Apeo del forjado. Montaje del sistema de encofrado. Replanteo y disposición del conector. Fijación del conector con clavos, mediante clavadora a pólvora. Colocación de las fibras en la amasadora para hormigonado, Curado del hormigón. Desmontaje del sistema de encofrado y retirada del apeo. Limpieza de los restos generados. CONDICIONES DE TERMINACIÓN. El forjado será monolítico y transmitirá correctamente las cargas. La superficie quedará uniforme y sin irregularidades. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO. Se evitará la actuación sobre el elemento de acciones mecánicas no previstas en el cálculo. CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONOS Se medirá la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto. )

Ud	Resumen	Med	Pres	ImpPres
	<b>REHABILITACIÓN ALTERNATIVA 3.2</b>	<b>1</b>	<b>18.579,06</b>	<b>18.579,06</b>
m2	Refuerzo de capa de compresión de forjado de P. 1ª con hormigón UHPC	484,00	31,31	18.579,06

Refuerzo de capa de compresión de forjado de 1ª planta. Refuerzo de forjado o de losa de hormigón mediante recrecido de 2 centímetros de espesor en la cara superior, para capa de compresión de hormigón con fibras, realizada con hormigón tipo HMAR suministrado desde central, con aditivo hidrófugo, y suministrado con camión bomba. NORMATIVA DE APLICACIÓN Elaboración, transporte y puesta en obra del hormigón: Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08). Montaje: UNE-EN 1994. Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero. CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTOS. Superficie medida según documentación gráfica de Proyecto. CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA AMBIENTALES. Se suspenderán los trabajos de hormigonado cuando llueva con intensidad, nieve, exista viento excesivo, una temperatura ambiente superior a 40°C o se prevea que dentro de las 48 horas siguientes pueda descender la temperatura ambiente por debajo de los 0°C. EL CONTRATISTA. Dispondrá en obra de una serie de medios, en previsión de que se produzcan cambios bruscos de las condiciones ambientales durante el hormigonado o posterior periodo de fraguado, no pudiendo comenzarse el hormigonado de los diferentes elementos sin la autorización por escrito del director de la ejecución de la obra. PROCESO DE EJECUCIÓN FASES DE EJECUCIÓN. Apeo del forjado. Montaje del sistema de encofrado. Replanteo y disposición del conector. Fijación del conector con clavos, mediante clavadora a pólvora. Curado del hormigón. Desmontaje del sistema de encofrado y retirada del apeo. Limpieza de los restos generados. CONDICIONES DE TERMINACIÓN. El forjado será monolítico y transmitirá correctamente las cargas. La superficie quedará uniforme y sin irregularidades. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO. Se evitará la actuación sobre el elemento de acciones mecánicas no previstas en el cálculo. CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONOS Se medirá la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto. )

Tras realizar la descripción de las partidas tanto de la alternativa 3.1 y 3.2, en las que la única diferencia entre ambas es el proveedor del material, se procede a evaluar ambas económicamente.

En cuanto a la alternativa 3.1, con marca comercial será de:

PARTIDA	MEDICIÓN (m2)	PRECIO (€/m2)	COSTE (€)
Rehabilitación	484,00	59,92	29.003,37
<b>COSTE TOTAL DE REHABILITACIÓN</b>			<b>29.003,37</b>

Tabla 3. Coste total de ejecución de Alternativa 3 (marca comercial). (Fuente: Elaboración propia)

En este caso el **precio total** de la reparación del forjado de primera planta tendrá un coste de ejecución material de **VEINTINUEVE MIL TRES EUROS Y TREINTA Y SIETE CÉNTIMOS (29.003,37 €)**.

Por otro lado la alternativa 3.2, presentará un coste aproximado de:

PARTIDA	MEDICIÓN (m2)	PRECIO (€/m2)	COSTE (€)
Rehabilitación	484,00	38,39	18.579,06
<b>COSTE TOTAL DE REHABILITACIÓN</b>			<b>18.579,06</b>

Tabla 4. Coste total de ejecución de Alternativa 3 (basado en datos UPV). (Fuente: Elaboración propia)

En este caso el **precio total** de la reparación del forjado de primera planta tendrá un coste de ejecución material de **DIECIOCHO MIL QUINIENTOS SETENTA Y NUEVE EUROS Y SEIS CÉNTIMOS (18.579,06 €)**.

Esta solución, por tanto, para espacios grandes en los cuales hay que realizar la rehabilitación del forjado es de mucha utilidad, ya que además de no generar residuos inertes, permite preservar la estética inicial del forjado.

Por otro lado, en cuanto a los plazos de ejecución, comentar que esta se considera la más rápida de todas, puesto que únicamente es necesario el empleo de un camión bomba para el suministro del hormigón procedente de central y la colocación se realizará mediante únicamente un peón ordinario, puesto que este tipo de hormigones es autocompactables lo que facilita un reparto equitativo en toda la superficie.

Por último, es importante destacar que al tener ya la dosificación realizada, y la no necesidad de la colocación de ferralla ni de conectores, no deberá estar la presencia de un ferrallista.



*Figura 8. Reparación de forjados con Hormigones UHPC (Fuente: Mapei catalogo comercial)*



*Figura 9. Ejecución de refuerzo con UHPC. (Fuente: Mapei catalogo comercial)*

## 2.4. Alternativa 4.

Esta alternativa consiste en la demolición del forjado actual y en la utilización de un forjado compuesto de una chapa de acero colaborante y hormigón. Esta solución presenta ciertas ventajas y desventajas con respecto a los forjados unidireccionales de viguetas. La sección estudiada para poder ofrecer como solución este tipo de forjado viene reflejado en Plano 11.

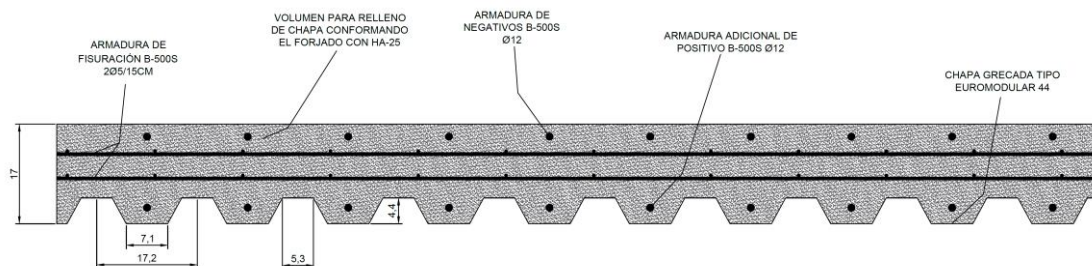


Figura 10. Sección transversal de la alternativa 4 (Fuente: elaboración propia)

Tal y como se muestra en la figura, esto corresponde a un forjado formado por un perfil EUROMODUL 44 en posición u, las características del acero corresponden a una losa mixta de 17 centímetros de canto con un espesor de chapa grecada de 0.75 milímetros, la altura del perfil es de 44 mm y presenta un intereje de 17 mm.

Por otro lado, el hormigón utilizado para la capa de compresión corresponde a un hormigón tipo HA-25/B/IIa, compuesto por Malla electrosoldada ME 15 x 15 B500T Ø6-6 con diámetros para la armadura de positivos de Ø12 y del mismo diámetro para los momentos negativos que se puedan generar. En cuanto a las características del forjado a utilizar es un ancho inferior de 71mm, ancho superior de 53mm el tipo de solape lateral será superior, el límite elástico es de 3261,98 Kp/cm<sup>2</sup>, el peso superficial es de 7,67 kg/m<sup>2</sup> el momento de inercia es de 31,16 cm<sup>4</sup>/m y el módulo resistente es de 15,12.

A continuación, se procede a la descripción de la partida introducida a la hora de realizar el presupuesto.

Ud	Resumen	Med	Pres	ImpPres
<b>REHABILITACIÓN ALTERNATIVA 4</b>		<b>1</b>	<b>18.759,84</b>	<b>18.759,84</b>
m2	Forjado colaborante de losa mixta de 17 cm de canto.	484,00	38,76	18.759,84

Forjado colaborante (Losa mixta de 17 cm de canto, con chapa colaborante de acero galvanizado con forma grecada, de 0,75 mm de espesor, 44 mm de altura de perfil y 171 mm de in tereje, 10 conectores soldados de acero galvanizado, de 19 mm de diámetro y 81 mm de altura y hormigón armado realizado con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido con cubilote, volumen total de hormigón 0,132m³/m²; acero UNE-EN 10080 B 500 SD, con una cuantía total de 1 kg/m²; y malla electrosoldada ME 15x15 Ø 6-6 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080; apoyado todo ello sobre estructura metálica. Incluso apuntalamiento y desapuntalamiento de la losa, piezas angulares para remates perimetrales y de voladizos, tornillos para fijación de las chapas, alambre de atar, separadores y agente filmógeno para el curado de hormigones y morteros.

NORMATIVA DE APLICACIÓN Elaboración, transporte y puesta en obra del hormigón: Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08). Ejecución: UNE-EN 1994. Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO. Superficie medida en verdadera magnitud, según documentación gráfica de Proyecto, deduciendo los huecos de superficie mayor de 6 m².

CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA AMBIENTALES. Se suspenderán los trabajos de hormigonado cuando llueva con intensidad, nieve, exista viento excesivo, una temperatura ambiente superior a 40°C o se prevea que dentro de las 48 horas siguientes pueda descender la temperatura ambiente por debajo de los 0°C. No se realizarán trabajos de soldadura cuando la temperatura sea inferior a 0°C.

DEL CONTRATISTA. Dispondrá en obra de una serie de medios, en previsión de que se produzcan cambios bruscos de las condiciones ambientales durante el hormigonado o posterior periodo de fraguado, no pudiendo comenzarse el hormigonado de los diferentes elementos sin la autorización por escrito del director de la ejecución de la obra. Presentará para su aprobación, al director de la ejecución de la obra, el programa de montaje de la estructura, basado en las indicaciones del Proyecto, así como la documentación que acredite que los soldadores que intervengan en su ejecución estén certificados por un organismo acreditado.

PROCESO DE EJECUCIÓN FASES DE EJECUCIÓN. Replanteo. Montaje de las chapas. Apuntalamiento. Fijación de las chapas y resolución de los apoyos. Fijación de los conectores a las chapas, mediante soldadura. Colocación de armaduras con separadores homologados. Vertido y compactación del hormigón. Regleado y nivelación de la superficie de acabado. Curado del hormigón. Desapuntalamiento.

CONDICIONES DE TERMINACIÓN. La losa será monolítica y transmitirá correctamente las cargas. La superficie quedará uniforme y sin irregularidades.

CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO. Se evitará la actuación sobre el elemento de acciones mecánicas no previstas en el cálculo.

<b>DEMOLICIONES</b>		<b>1</b>	<b>12.354,23</b>	<b>12.354,23</b>
m2	Demolición de forjado incluido viguetas	530,68	23,28	12.354,23

Demolición de forjado (Demolición de forjado de viguetas metálicas y entrevigado de revoltón cerámico formado por una o dos roscas de ladrillo cerámico y relleno de senos con cascotes y mortero de cal, realizado con martillo neumático y equipo de oxicorte, previo levantado del pavimento y su base, y carga manual sobre camión o contenedor. El precio incluye el corte previo de viguetas en las zonas que sea necesario.

NORMATIVA DE APLICACIÓN. Ejecución: NTE-ADD. Acondicionamiento del terreno. Desmontes: Demoliciones.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO. Superficie medida según documentación gráfica de Proyecto.

CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA DEL SOPORTE. Se verificará que sobre el elemento a demoler no hay almacenados ni mobiliario utilizable ni materia-les combustibles, explosivos o peligrosos; y que se ha procedido a su desratización o desinfección en caso de que fuese necesario. Deberán haberse concluido todas aquellas actuaciones previas previstas en el Proyecto de Derribo correspondiente: medidas de seguridad, anulación y neutralización por parte de las compañías suministradoras de las acometidas de instalaciones, trabajos de campo y ensayos, apeo y apuntalamientos necesarios. Se habrán tomado las medidas de protección indicadas en el correspondiente Estudio de Seguridad y Salud, tanto en relación con los operarios encarga-dos de la demolición como con terceras personas, viales, elementos públicos o edificios colindantes. Se dispondrá en obra de los medios necesarios para evitar la formación de polvo durante los trabajos de demolición y de los sistemas de extinción de incendios adecuados.

DEL CONTRATISTA. Habrá recibido por escrito la aprobación, por parte del director de la ejecución de la obra, de su programa de trabajo, conforme al Proyecto de Derribo.

PROCESO DE EJECUCIÓN FASES DE EJECUCIÓN. Replanteo de la superficie de forjado a demoler. Demolición del elemento. Fragmentación de los escombros en piezas manejables. Retirada y acopio de escombros. Limpieza de los restos de obra. Carga manual de escombros sobre camión o contenedor.

CONDICIONES DE TERMINACIÓN. No quedarán partes inestables del elemento demolido parcialmente, y la zona de trabajo estará limpia de escombros.

CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO. Mientras se sigan realizando los trabajos de rehabilitación y no se haya consolidado definitivamente la zona de trabajo, se conservarán los apeos y apuntalamientos previstos.

A continuación, se pasa a nombrar algunas ventajas:

- Suele ser una solución económica ya que no se disponen de las viguetas, si no que únicamente se utiliza hormigón con armaduras.
- Ausencia de encofrados de madera, puesto que la chapa de acero galvanizado es autoportante y es capaz de resistir el peso del hormigón.
- Rápida ejecución de la obra, para la realización del forjado, presentan unos rendimientos diarios elevadísimos.
- Disponibilidad de unos inmediata de las plantas construidas.
- Bajo espesor de losas
- Ahorro en apuntalamientos
- Gran adaptabilidad a las necesidades requeridas.
- Flexibilidad a la hora de ubicar servicios e instalaciones de paso.

Por otro lado, presenta otros inconvenientes como pueden ser:

- Limitación de luces, ya que únicamente se aceptan luces de 5 metros de espacio libre, ya que a partir de esta distancia se produce una flecha considerable.
- Necesidad de montaje realizado con personal especializado para el montaje.
- No permite la improvisación, puesto que viene realizado desde fabrica.
- En caso de producirse acciones dinámicas no existe una conexión entre chapa y hormigón, lo que en caso de sismo no se recomienda su uso.
- En caso de incendio, no soporta una gran resistencia al fuego.
- Tendencia a vibrar de manera perceptible.
- Se ha de modificar completamente la estética del edificio, o bien colocar un falso techo para poder cubrir.

Por último, se procede a realizar una evaluación económica de la alternativa propuesta mediante un forjado de chapa colaborante:

PARTIDA	MEDICIÓN (m2)	PRECIO (€/m2)	COSTE (€)
Demolición	530,68	23,29	12.354,23
Rehabilitación	484,00	38,76	18.759,84
<b>COSTE TOTAL DE REHABILITACIÓN</b>			<b>31.114,07</b>

*Tabla 5. Coste total de ejecución de Alternativa 4. (Fuente: Elaboración propia)*

En este caso el **precio total** de la reparación del forjado de primera planta tendrá un coste de ejecución material de **TREINTA Y UN MIL CIENTO CATORCE EUROS Y SIETE CÉNTIMOS (31.114,07 €)**.

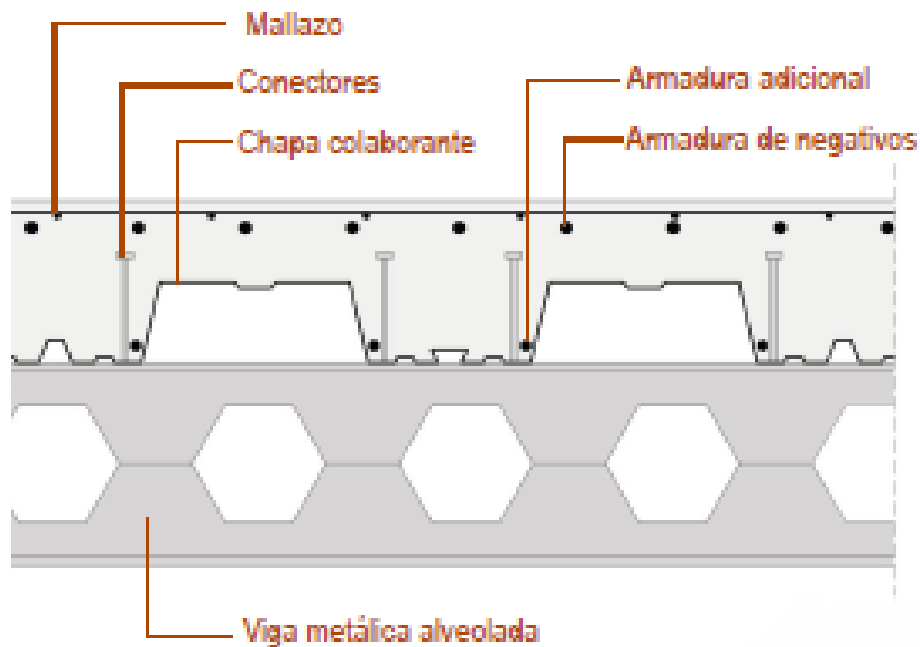


Figura 11. Sección transversal tipo forjado de chapa colaborante. (Fuente: Catalogo comercial ACERALIA transformados).



Figura 12. Ejecución de forjado con chapa colaborante. (Fuente: Apuntes de la asignatura de Edificación año 2017)

### 3. ANÁLISIS MULTICRITERIO.

La selección de la mejor alternativa se realizará a partir del análisis multicriterio, que es una herramienta muy útil que permite emitir un juicio comparativo entre las alternativas. El análisis multicriterio nace como herramienta para analizar fenómenos complejos y no repetibles. Es un método que permite orientar la toma de decisiones tomando varios criterios comunes. Su objetivo es alcanzar una solución mediante la simplificación del problema.

Para la realización del análisis multicriterio se deben definir una serie de criterios que resalten las diferencias entre las distintas alternativas propuestas y que permita jerarquizarlas, dado que el objetivo de este estudio comparativo es encontrar aquella alternativa que resulte más adecuada.

Condicionantes económicos:

El factor económico, como en cualquier aspecto es muy relevante, ya que puede darnos puntos a favor para la realización del proyecto, por eso a la hora de realizar cualquier tipo de obra el factor económico es uno de los más valorados. Como en cualquier obra de hoy en día el factor económico suele ser el más importante, en nuestro caso al ser una reparación de una parte del edificio, si se mirara por la rehabilitación integral del edificio en su conjunto no se le daría un gran valor, puesto que la modificación del presupuesto sería pequeña. Por ello, y en vista de la importancia del forjado en este trabajo, se ha realizado, como si la rehabilitación del forjado fuera la única acción a realizar.

Condicionante de funcionalidad.

El condicionante estructural es muy importante, ya que en él se tiene en cuenta tanto la resistencia del forjado como la flecha que se puede producir en cada uno de ellos y por lo tanto la comodidad para el usuario que lo va a utilizar, cabe destacar que en una aproximación los forjados se han calculado para poder resistir las acciones consideradas en el anejo de cálculo. Puesto que se trata de un tipo de edificio perteneciente a un uso C, es importante la comodidad del usuario. Por todo esto el condicionante funcional también obtiene una gran importancia en el análisis multicriterio. Tal y como se ha comentado con anterioridad al tratarse de una rehabilitación del edificio para un uso público, la funcionalidad adquirirá un gran peso específico a la hora de valorar este apartado.

#### Condicionantes ambientales:

Cuando se trata de la rehabilitación de un forjado, bien si se opta por demolerlo y volverlo a hacer, o bien se realiza una demolición parcial de los elementos del forjado, siempre se genera gran cantidad de residuos, que tienen que llevarse a vertederos, por ello tal y como avanza la sociedad, y teniendo en cuenta la cantidad de CO<sub>2</sub> que se puede llegar a generar durante el proceso de demolición de elementos de construcción, también es un factor a tener en cuenta. Es un condicionante que también tiene una repercusión directa en el condicionante económico ya que por residuo transportado y descargado en vertedero se ha de abonar un canon de vertido para su posterior procesado y reciclado, el impacto ambiental que se genera no debe empeorar en mayor medida el ambiente, puesto que además de la demolición del forjado se realizan otras actividades en la obra.

#### Condicionantes estéticos:

En cuanto a los condicionantes estéticos, pueden ser de gran importancia, puesto que se trata de un edificio antiguo, y presenta un forjado característico que se ejecutaba en la época en la que se construyó. Puesto que se va a utilizar para un edificio de uso público, el valor estético puede tener un cierto peso específico a la hora de elegir la mejor opción.

#### Condicionante de Procedimiento constructivo.

Los condicionantes relacionados con el procedimiento de construcción de los forjados son importante, ya que cuanto más sencillo es de realizar menos operarios en la zona y por lo tanto menos probabilidades de accidente en obra durante la ejecución de los trabajos, por todo ello es importante este condicionante, además de poder realizarse con mayor rapidez y seguridad.

## 4. COEFICIENTES DE PONDERACIÓN.

Los coeficientes de ponderación se utilizan para evaluar la importancia de un criterio frente a los demás. En este apartado se van a asignar diferentes coeficientes de ponderación a cada condicionante. Se establecerá un valor entre 0 y 5 a cada uno, siendo más relevante cuanto mayor sea el coeficiente asignado.

El **condicionante económico** es muy importante. En este condicionante se deberá de analizar tanto los materiales utilizados, así como la valoración económica que pueda repercutir en cada una de las alternativas. Puesto que se trata de uno de los aspectos más importantes en el sector de la construcción, se opta por darle un peso específico de 5 puntos.

El **condicionante funcional** es otro aspecto muy importante, ya que es algo esencial en toda obra de edificación, y más si se trata de una obra de acceso al público y al que todo el mundo puede tener acceso, por lo tanto, la comodidad y funcionalidad del forjado es algo primordial, por ello se le asigna un valor de 5 puntos.

Al **condicionante ambiental** se le concede un coeficiente de ponderación de 2 puesto que tiene cierta importancia, sobre todo, por el impacto que produce todo tipo de demoliciones con elementos de hormigón y de acero, además por la cantidad de CO<sub>2</sub> que se genera tanto para su fabricación como en el proceso de demolición.

El **condicionante estético**, también es importante puesto que, al tratarse de un edificio antiguo, y al no colocar falso techo en la parte inferior del forjad, mantener la estética e integración del edificio en este caso es importante, por ello, se le da un peso específico de 4 puntos, es un condicionante que a priori puede no ser de gran importancia, pero en este caso sí, puesto que se trata de un edificio de dominio público.

Por último, el **condicionante constructivo**, tiene cierta relevancia ya que puede ser un factor importante a la hora de poder reducir plazo, y por consiguiente en algunos casos disminuir el valor económico, además también se tiene en cuenta el aspecto de seguridad, puesto que en algunas alternativas el uso del personal varía con respecto a otras, y por tanto también se tienen en cuenta el riesgo que esto puede acarrear sobre la obra. Por todo esto a este condicionante se ha optado por ponerle un valor de 3 puntos.

En la siguiente tabla se ha decidido ubicar los correspondientes valores a los condicionantes y poder tener claro que valor específico tiene cada uno para poder realizar una buena valoración de las posibles alternativas.

CONDICIONANTE	COEFICIENTE
Económico	5
Funcional	5
Ambiental	2
Estético	4
Constructivo	3

*Tabla 6. Coeficientes de ponderación. (Fuente: Elaboración propia)*

## 5. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Para realizar la valoración de las alternativas se le asigna subjetivamente a cada una de ellas un valor de 1 a 5, siendo 1 muy malo y 5 muy bueno.

Valoración	Puntuación
Muy bueno	5
Bueno	4
Regular	3
Malo	2
Muy malo	1

Tabla 7. Puntuación para cada valoración. (Fuente: Elaboración propia)

Desde el punto de vista **económico**, la solución óptima tal y como puede verse en las valoraciones económicas recogidas tras la descripción de cada una de las alternativas sería la alternativa 3, puesto que únicamente habría que suministrar sacos de cemento para su colocación encima de la capa de compresión actual, por otro lado, otra alternativa que pudiera ser más económica es la alternativa 1 ya que solo habría que colocar las armaduras de negativos y la colocación de la malla electrosoldada para su ejecución. Por otro lado, el forjado de chapa colaborante se ha calificado con un valor de regular ya que aunque es de los forjados más baratos de ejecutar, habría que demoler y luego colocar el forjado. Por último con un resultado económico de Muy malo sería la alternativa 2, ya que el habría que demoler el forjado existente y colocar otro forjado, pero esta vez de viguetas pretensadas.

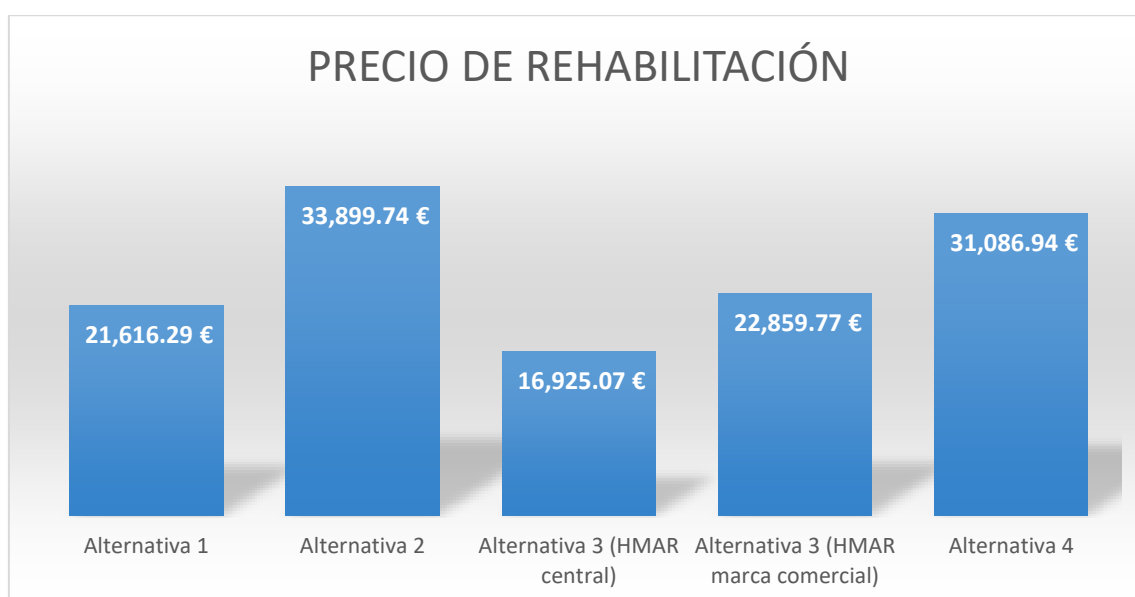


Gráfico. 1. Comparación del precio de ejecución material de las Alternativas. (Fuente: elaboración propia).

Atendiendo al **criterio funcional**, en las alternativas 2 y 4 se obtienen los valores más bajos, de Muy bueno a Bueno, respectivamente, esto se debe a que estas dos alternativas se repone todo el forjado, por lo tanto se debería de mejorar en ambos casos la funcionalidad del forjado, con un resultado de Malo en las alternativas 1 y 2, se han considerado que al no cambiar las viguetas existentes, el criterio funcional pudiera verse reducido con respecto a la incorporación de viguetas nuevas.

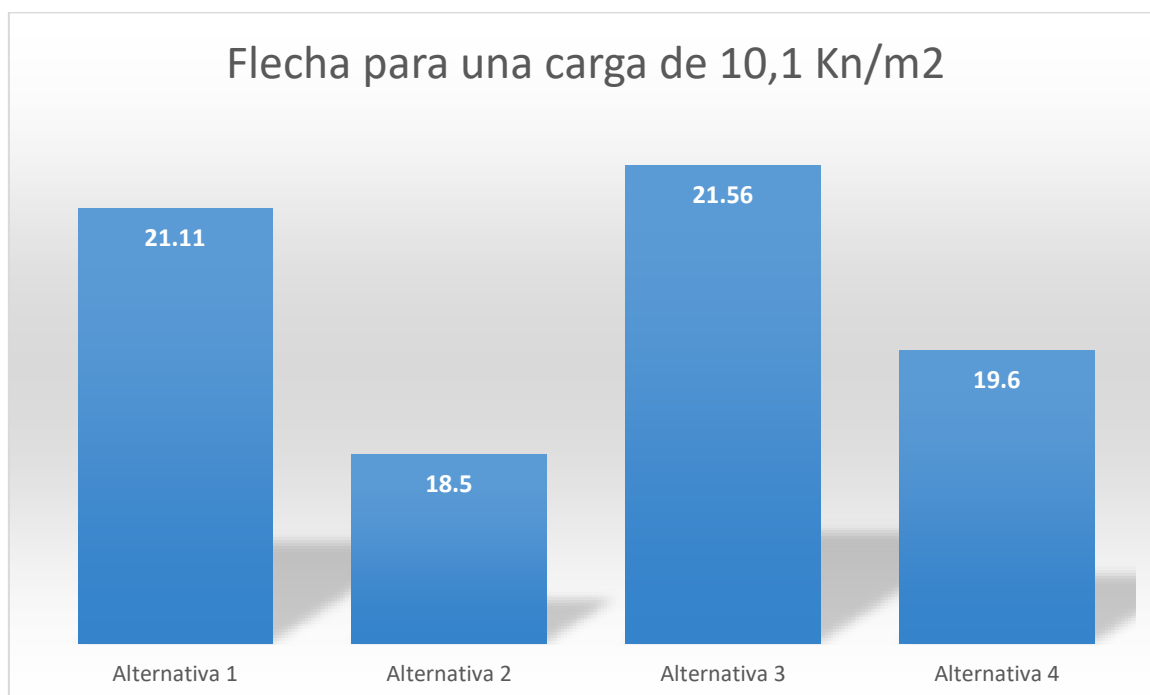


Gráfico. 2. Flecha generada para una misma carga en cada alternativa. (Fuente: elaboración propia)

Continuando con el **criterio ambiental**, el que mayor puntuación ambiental ha conseguido es la alternativa 3, puesto que no se produciría demolición del forjado existente, y únicamente utilizando el forjado existente y añadiendo más hormigón se conseguiría constituir el forjado rehabilitado. Por otro lado, la alternativa 2 se ha calificado con una calificación de Buena, ya que se tiene que demoler parte del forjado, y por lo tanto generas residuos, pero no se realiza la demolición total del forjado. Con respecto a la alternativa 2 se le ha dotado de una puntual de MUY MALO, ya que se procede a la demolición total del forjado y a la utilización de gran cantidad de materiales, que su elaboración emite CO<sub>2</sub> a la atmosfera. Por último, la alternativa 4, se le ha dotado de una calificación de MALO por la misma razón que la alternativa 2 al emitir CO<sub>2</sub> durante su elaboración.

Para poder comprar la cantidad de residuos generados, se ha realizado una estimación de los residuos que se transportarían a vertederos, en metros cúbicos.

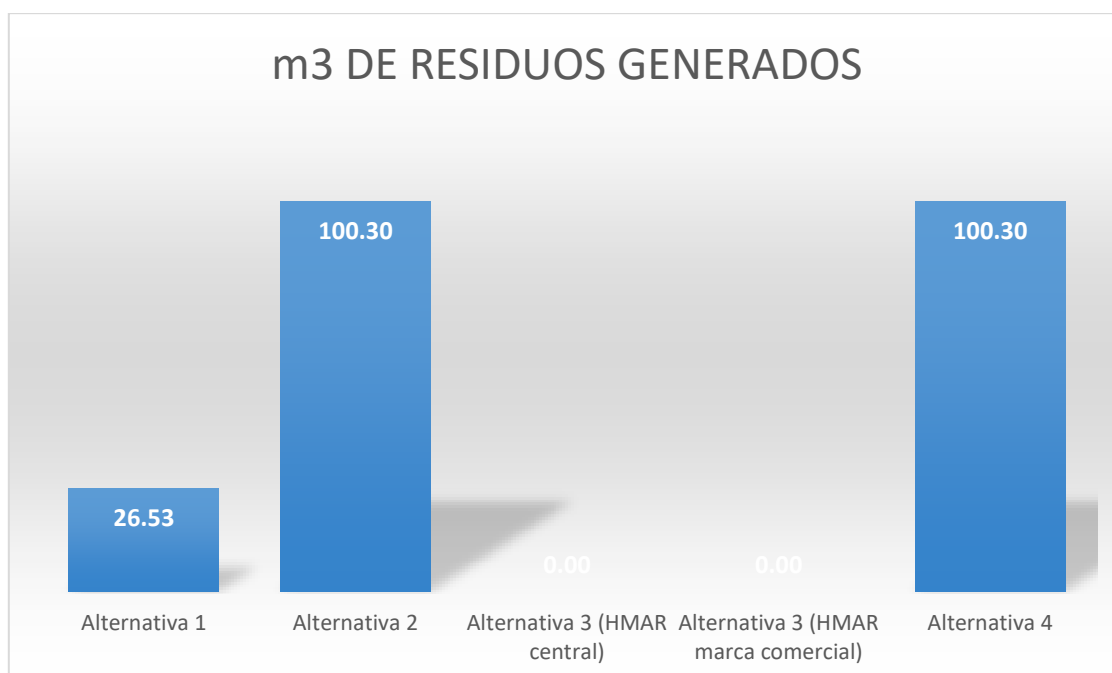


Gráfico. 3. Cantidad de residuos generados en obra de cada alternativa. (Fuente elaboración propia).

El **criterio estético**, se busca conservar la estética del edificio, para evitar cambiar así y que haya fuertes cambios visuales dentro del edificio, por ello en este criterio se ha optado por lo siguiente; calificar como MUY BUENO a las alternativas que conservarán la estética inferior del forjado actual correspondientes a las alternativa 1 y 3, por otro lado se ha califica de MALO a aquellas que modificarán la cara inferior del forjado, y por lo tanto será necesaria la ubicación de falsos techos, como son las alternativas 2 y 4.

Desde el punto de vista **constructivo**, se ha tenido en cuenta para la realización de la puntuación los siguientes criterios:

1. Cualificación necesaria del personal en obra para efectuar los trabajos. Máximo 3 puntos
2. Cantidad de personal involucrado a la hora de realizar la rehabilitación. Máximo 2 Puntos

Una vez fijados los criterios para poder obtener la calificación de cada una de las alternativas, se ha procedido a evaluarlas de la siguiente manera.

- I. Alternativa 1: con respecto a esta alternativa se ha calificado con un total de 2 puntos para la calificación necesaria del personal de obra, puesto que es necesario tener durante la ejecución a un soldador, por ello no ha podido calificarse con la máxima nota. Con respecto al segundo criterio se le ha dado el máximo posible de 2 puntos. Por todo ello se ha tenido una calificación de BUENO
- II. Alternativa 2; en esta alternativa para el primer criterio se le asigna un valor de 2 puntos, puesto que mínimo haría falta la ayuda de un gruísta y de un soldador para su ejecución. Con respecto al segundo criterio se le asigna un valor de 1 puesto que haría más falta de personal en obra, obteniendo una puntuación de MALO
- III. Alternativa 3: en esta alternativa, se ha obtenido la máxima puntuación, ya que en este criterio el personal a ser utilizado no ha de tener grandes conocimientos, y no haría falta a un soldador como si sucede en los casos anteriores, por otro lado, el personal en obra será reducido por ello obtiene una puntuación total de MUY BUENA
- IV. Alternativa 4: En esta alternativa, se ha calificado al primer criterio de ellos con un valor de 1 puesto que se necesita de personal muy especializado para la colocación de este tipo de forjados, de ahí que la calificación sea baja. Por otro lado, con respecto a la puntuación del segundo apartado la calificación obtenida es de 1 punto puesto que para realizarlo bien y en los tiempo concretos es necesario bastante personal a la vez en obra.

A continuación, en las siguientes tablas se muestran el nº de trabajadores para poder efectuar las obras y la cantidad de oficiales y de personal especializado para proceder a su ejecución.

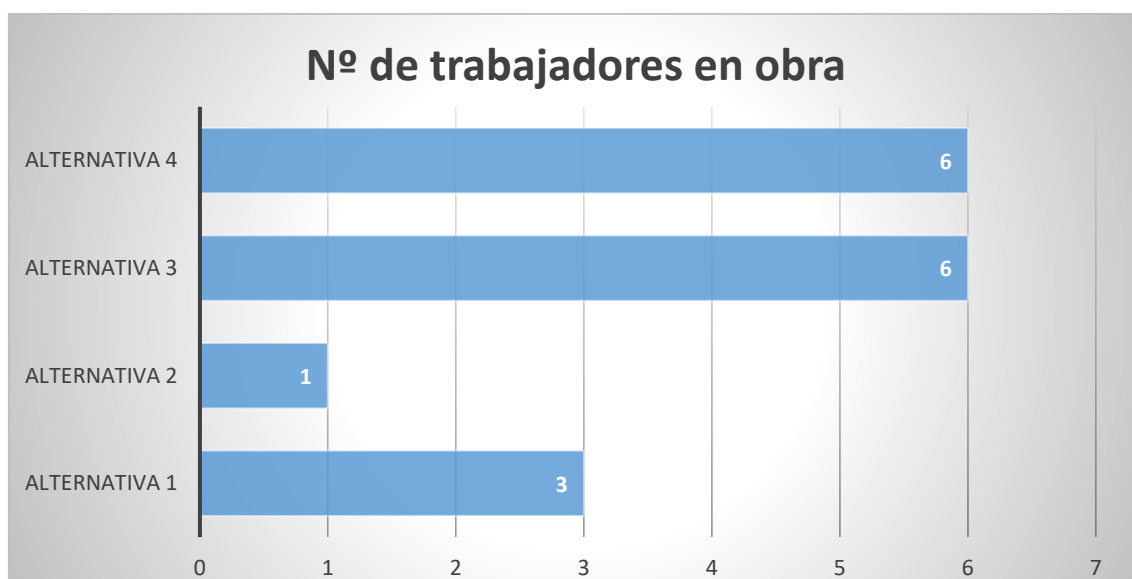


Gráfico. 4. Número de trabajadores necesarios en obra en cada una de las alternativas (Fuente: elaboración propia)

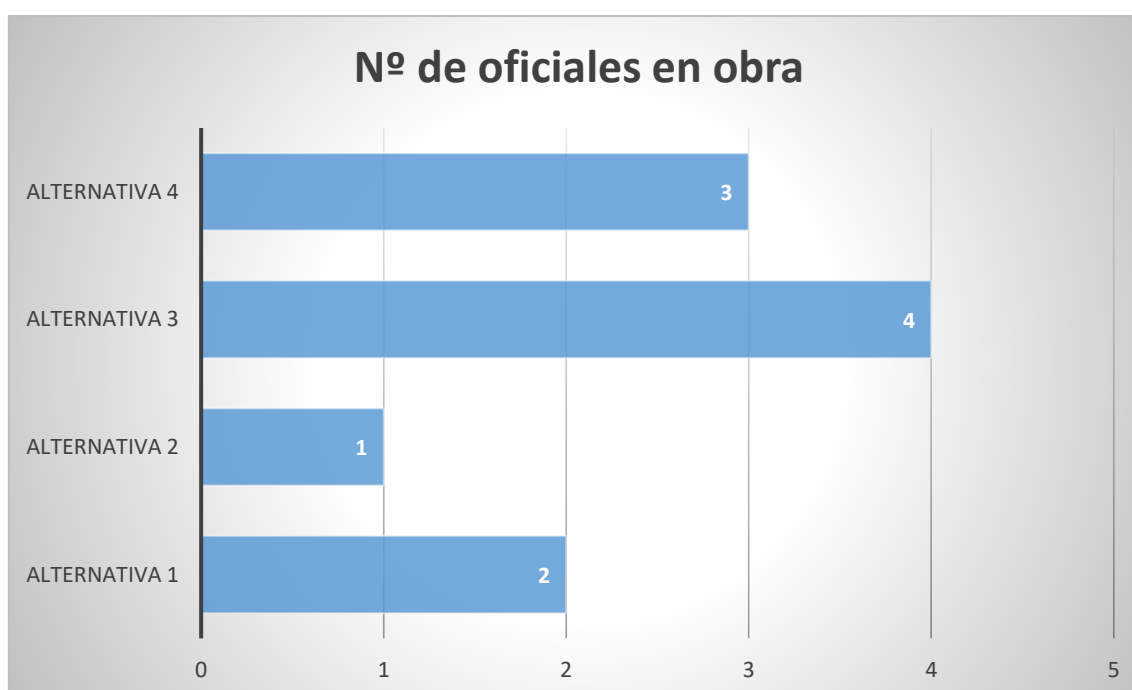


Gráfico. 5. Número de oficiales especializados en obra en cada una de las alternativas (Fuente: elaboración propia).

Tal y como se ha podido observar en la gráfica anterior, la alternativa 2 solamente precisaría la presencia de un operario, tal y como indican las marcas comerciales en su presentación del producto, el operario no es necesario que tenga una cualificación para poder realizar la dosificación ni la puesta en obra, ya que el hormigón es autocompactante. En los otros casos el mínimo de personal necesario para la ejecución del forjado es de 4 personas en las que al menos 2 de ellas han de ser oficiales de primera.

Por último, en cuanto a los plazos de realización, aunque anteriormente no se haya nombrado, en distintos documentos revisados, afirman que en la parte de ejecución del forjado, incluyendo las armaduras y pernos de anclaje, la alternativa con hormigones tipo HMAR presenta un rendimiento mucho mayor que el de las técnicas convencionales.

En la presentación de los productos por las marcas comerciales, estas afirman que la colocación del hormigón HMAR presenta un rendimiento mayor de aproximadamente del 60%.

Por todo esto, el plazo de ejecución del HMAR sería bastante inferior a las demás alternativas, por esta razón habría que tener en cuenta la importancia de una ejecución rápida, ya que en caso de tener que realizar acabados y tabiquerías se podrían reducir bastante los plazos de ejecución.

En la siguiente matriz se muestra la valoración asignada a cada alternativa, teniendo en cuenta los distintos condicionantes.

Condicionantes	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Económicos	4	1	5	3
Funcionales	2	5	2	4
Ambientales	4	1	5	2
Estéticos	5	3	5	3
Constructivos	4	3	5	1

*Tabla 8. Puntuación dada a cada alternativa. (Fuente: Elaboración propia)*

## 6. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Finalmente, según las clasificaciones que se han realizado, se ha creado la siguiente matriz multicriterio que permite realizar un buen análisis, reflejando la ponderación de cada valoración con los pesos asignados a los diferentes condicionantes.

Condicionantes	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
<b>Económicos</b>	20	5	25	15
<b>Funcionales</b>	10	25	10	20
<b>Ambientales</b>	8	2	10	4
<b>Estéticos</b>	20	12	20	12
<b>Constructivos</b>	12	9	15	3
<b>TOTAL</b>	70	53	80	54

*Tabla 9. Valoración final de cada alternativa. (Fuente: Elaboración propia)*

Tras analizar todas las alternativas, se observa que entre la alternativa 1 y la 3 hay muy poca diferencia, siendo la segunda un poco mejor. Por tanto, para realizar la obra se escoge la alternativa 3, que es la más adecuada según todos los criterios expuestos.

Con todo esto, se puede afirmar que la alternativa 3 es la mejor desde un punto de vista global, en este sentido utilizar una técnica novedosa, aunque tal y como se ha mencionado anteriormente en otros países ya se ha extendido mucho su uso e incluso se han elaborado normas e indicaciones para poder calcular el funcionamiento de este tipo de hormigones en colaboración con hormigón existente. Por ello, además de ser más barato económicamente hablando, ofrece otro tipo de ventajas como puede ser una menor contaminación, evitar riesgos al tener menos trabajadores realizando la rehabilitación, y la ventaja principal de poder mantener la estética inicial del edificio.

Por ello, tras el análisis se obtiene que el principal competidor de la solución adoptada es la que viene reflejada en el proyecto inicial, por ello en los siguientes anejos se procederá a desarrollar en mayor profundidad la solución adoptada, explicando las principales características de este tipo de hormigones y posteriormente, realizar una valoración económica más en profundidad de todas las soluciones propuestas, realizando una descomposición de los precios para poder obtener una idea de como se produce el reparto del precio en cada una de las distintas alternativas.

Como conclusión, puede obtenerse que la alternativa 3 es la más ventajosa tanto desde el punto de vista económica, desde el punto de vista estético, el ambiental y en cuanto a los plazos de ejecución, por todo ello se escoge esta alternativa como la solución óptima para realizar los trabajos de rehabilitación del forjado. Por esta razón en el siguiente Anejo se procederá a describir más en detalle la solución adoptada, así como explicar el material que se va a utilizar y se procederá a realizar el cálculo para asegurar así la viabilidad de la solución escogida.

## 7. Referencias.

- Catálogo Comercial de MAPEI, 2019. Disponible en: <http://www.mapei.com/VE-ES/Sistemas-de-Reparaci%C3%B3n-de-Concreto/Morteros-de-reparaci%C3%B3n-de-concreto> [consultado 30.06.2019]
- Base de datos del programa CYPECAD. [consultado 01.07.2019].
- Apuntes de la asignatura Edificación impartida en el Grado de Ingeniería Civil, correspondientes al tema de Forjados Unidireccionales, 2017.
- Hormigón de ultra-alta resistencia UHPC. Hormigón del siglo XXI. Disponible en: <https://www.breinco.com/breincosmartblog/hormigon-uhpc-alta-resistencia/> [consultado 02.07.2019]