



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,  
Canales y Puertos.  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



*APLICACIÓN DE LA  
METODOLOGÍA BIM PARA LA  
EVALUACIÓN DEL ESTADO DE  
CONSERVACIÓN DE PUENTES  
DE FÁBRICA*

Trabajo realizado por:  
*SARA EL ABROUKI*

Dirigido:  
*HAYDEE BLANCO WONG*

Titulación:  
MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL

*Santander, septiembre de 2023*

TRABAJO FIN DE MÁSTER



**A mis amados padres,**

**a mis queridos hermanos,**

**y de manera muy especial, a mi esposo Ibrahim y a mi querida hija Rasil**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al concluir este proyecto, quiero extender mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han brindado su valiosa ayuda. Reconozco que enumerar a todos sería una tarea imposible, y omitir a alguien sería imperdonable. Por lo tanto, deseo expresar mi eterno agradecimiento a todos aquellos que, de una manera u otra, colaboraron en la realización de este Trabajo Fin de Máster.

En primer lugar, deseo expresar mi profundo agradecimiento a la Profesora Haydee Blanco Wong, mi directora de trabajo, por su incansable orientación, sus sabios consejos, su disponibilidad constante y su constante ánimo.

Agradezco de corazón a mi familia por estar siempre cerca, a pesar de la distancia, y por demostrar un interés genuino en el desarrollo de este proyecto. Su apoyo incondicional y su amor infinito han sido mi mayor motivación. Quiero destacar especialmente a mis padres, a quienes agradezco por moldear quien soy hoy y por inculcarme desde siempre el espíritu del trabajo arduo y el sacrificio, sin los cuales no habría llegado tan lejos.

Por supuesto, quiero expresar mi profundo agradecimiento a Ibrahim, mi querido esposo, quien ha sido un compañero indispensable en este largo viaje. Sin su constante ayuda, comprensión y apoyo incondicional, este logro no habría sido posible. Agradezco por tenerlo siempre a mi lado y ser el pilar de mi vida.

Finalmente, quiero agradecer a todas las demás personas que, de una forma u otra, contribuyeron al enriquecimiento de mis conocimientos y al éxito de esta investigación.

A todos, ¡MUCHAS GRACIAS!



# RESUMEN

El presente trabajo de Fin de Máster aborda la aplicación de la metodología BIM para la evaluación del estado de conservación de puentes de fábrica. Este estudio se centra en la implementación de BIM (*Building Information Modeling*) como una herramienta avanzada para la gestión y preservación de puentes históricos de fábrica.

El trabajo comienza con una sólida revisión del estado del arte en BIM, destacando sus definiciones, orígenes, diferencias con CAD, beneficios y su adopción tanto a nivel mundial como en el contexto español. Además, se explora en profundidad H-BIM (*Heritage BIM*), relacionando esta metodología con la preservación del Patrimonio Cultural y analizando sus dimensiones, niveles de desarrollo y proceso de implementación.

El enfoque se desplaza luego hacia los puentes de fábrica, donde se examinan los materiales constitutivos, elementos estructurales y no estructurales, así como los procesos patológicos comunes en estas estructuras. Se introduce el concepto de sistemas de gestión de puentes (SGP) y se detallan las etapas generales de un SGP, enfatizando la importancia de los inventarios y las inspecciones, incluyendo las básicas, principales y especiales.

El trabajo también aborda los conceptos básicos de la fotogrametría, destacando sus principios, clasificaciones y herramientas utilizadas, junto con ejemplos de aplicación en proyectos similares.

El núcleo del trabajo se centra en la aplicación de la metodología BIM en la evaluación del estado de conservación de puentes de fábrica, implementándola en el Puente Mayor de Liérganes como caso de estudio. Se describe la importancia histórica de este puente, se detallan sus características geométricas y constructivas, y se presenta un inventario completo de la infraestructura. Se realizan inspecciones exhaustivas, que incluyen inspección básica, fichas de procesos patológicos y una inspección principal que evalúa daños en la superestructura y subestructura.

Por su parte, la metodología desarrollada para el levantamiento del Puente Mayor mediante fotogrametría terrestre se describe minuciosamente, lo que proporciona datos precisos para el posterior proceso de modelado BIM. Finalmente, se aborda el modelado del puente utilizando la metodología BIM, lo que permite una comprensión profunda de su estado y comportamiento, contribuyendo significativamente a la preservación y conservación de esta importante estructura histórica. En resumen, este trabajo de Fin de Máster representa una contribución valiosa a la aplicación de BIM en la evaluación y conservación de puentes de fábrica.

# SUMMARY

This Master's thesis addresses the application of Building Information Modeling (BIM) methodology for assessing the conservation status of masonry bridges. This study focuses on the implementation of BIM as an advanced tool for the management and preservation of historic masonry bridges.

The work begins with a comprehensive review of the state of the art in BIM, highlighting its definitions, origins, differences from CAD, benefits, and its adoption both globally and in the Spanish context. Furthermore, it delves deeply into Heritage BIM (H-BIM), linking this methodology to the preservation of Cultural Heritage and analyzing its dimensions, levels of development, and implementation process.

The focus then shifts towards masonry bridges, where the constituent materials, structural and non-structural elements, as well as common pathological processes in these structures, are examined. The concept of Bridge Management Systems (BMS) is introduced, and the general stages of a BMS are detailed, emphasizing the importance of inventories and inspections, including basic, major, and special inspections.

The work also addresses the fundamental concepts of photogrammetry, highlighting its principles, classifications, and tools used, along with examples of its application in similar projects.

The core of the work revolves around the application of the BIM methodology in assessing the conservation status of masonry bridges, implementing it on the "Puente Mayor de Liérganes" as a case study. The historical significance of this bridge is described, its geometric and construction characteristics are detailed, and a comprehensive inventory of the infrastructure is presented. Thorough inspections are conducted, including basic inspections, records of pathological processes, and a major inspection that assesses damage to the superstructure and substructure.

Meanwhile, the methodology developed for surveying the "Puente Mayor" through terrestrial photogrammetry is described in detail, providing precise data for the subsequent BIM modeling process. Finally, the bridge modeling using the BIM methodology is addressed, allowing for a deep understanding of its condition and behavior, significantly contributing to the preservation and conservation of this important historical structure. In summary, this Master's thesis represents a valuable contribution to the application of BIM in the assessment and conservation of masonry bridges.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	<b>I</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>III</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE ILLUSTRACIONES</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. ESCENARIO Y MOTIVACIÓN .....	1
1.2. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.3. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO .....	5
<b>CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>7</b>
2.1. BIM.....	7
2.1.1. Definición .....	7
2.1.2. Origen .....	8
2.1.3. Diferencias entre CAD y BIM.....	10
2.1.4. Beneficios BIM .....	12
2.1.5. Niveles de desarrollo (LOD) .....	13
2.1.6. Dimensiones BIM.....	15
2.1.7. Softwares BIM.....	16

2.1.8.	Bim en el mundo .....	18
2.1.9.	Bim en España .....	19
2.2.	HERITAGE BIM (H-BIM) .....	22
2.2.1.	Introducción.....	22
2.2.2.	El concepto H-BIM .....	22
2.2.3.	El Patrimonio Cultural.....	23
2.2.4.	Las dimensiones del H-BIM.....	24
2.2.5.	Información Geométrica, No Geométrica y Semántica.....	26
2.2.6.	Niveles de desarrollo (LOD) .....	26
2.2.7.	Proceso del proyecto H-BIM.....	28
2.3.	PUENTES DE FÁBRICA .....	30
2.3.1.	Introducción.....	30
2.3.2.	Materiales Constitutivos .....	31
2.3.3.	Clasificación de los elementos constitutivos de los puentes de fábrica ...	33
2.3.4.	Descripción de los elementos estructurales de los puentes de fábrica .....	34
2.3.5.	Descripción de los elementos no estructurales de los puentes de fábrica	41
2.3.6.	Procesos patológicos comunes en puentes de fábrica .....	41
2.4.	SISTEMAS DE GESTIÓN DE PUENTES .....	46
2.4.1.	Introducción.....	46
2.4.2.	Concepto de sistema de gestión de puentes (SGP).....	46
2.4.3.	Etapas generales de sistema de gestión de puentes (SGP) .....	47
2.4.4.	Inventarios del SGP .....	49
2.4.5.	Inspecciones en puentes.....	49
2.5.	CONCEPTOS BÁSICOS DE LA FOTOGRAMETRÍA .....	53
2.5.1.	Principios de la fotogrametría .....	53
2.5.2.	Clasificación de la fotogrametría.....	53
2.5.3.	Herramientas utilizadas para la fotogrametría.....	54
2.5.4.	Ejemplos de la utilización de la fotogrametría .....	57
<b>CAPÍTULO 3: CASO DE ESTUDIO .....</b>		<b>60</b>
3.1.	IMPORTANCIA HISTÓRICA DEL PUENTE MAYOR DE LIERGANES .	60
3.2.	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y CONSTRUCTIVAS DE LA INFRAESTRUCTURA .....	61
3.3.	INVENTARIO DEL PUENTE MAYOR DE LIERGANES .....	61
3.4.	INSPECCIONES EN EL PUENTE.....	63
3.4.1.	Inspección Básica .....	63

3.4.2. Fichas de procesos patológicos.....	66
3.4.3. Inspección Principal .....	68
3.5. METODOLOGÍA DESARROLLADA.....	71
3.6. LEVANTAMIENTO DEL PUENTE MAYOR MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE.....	72
3.7. EL MODELADO DEL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES .....	73
<b>CAPÍTULO 4:CONCLUSIÓN Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN ...</b>	<b>78</b>
4.1. CONCLUSIÓN.....	78
4.2. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....	79
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>
ANEXO 1. ....	87
FICHAS TIPO DE INSPECCIÓN PRINCIPAL.....	87
ANEXO 2. ....	89
CATÁLOGO FOTOGRÁFICO DE LOS PROCESOS PATOLÓGICOS MÁS FRECUENTES EN PUENTES DE FÁBRICA.....	89
ANEXO 3. ....	100
FICHAS DE INVENTARIO .....	100
ANEXO 4. ....	103
FICHAS TIPO DE INSPECCIÓN BÁSICA.....	103
ANEXO 5. ....	103
FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS PATOLÓGICOS EN EL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES .....	103

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Flujo de trabajo sin el uso de la metodología BIM.</i> .....	11
<i>Ilustración 2. Curva de MacLeamy.</i> .....	12
<i>Ilustración 3. Niveles LOD.</i> .....	14
<i>Ilustración 4. Niveles LOD</i> .....	14
<i>Ilustración 5. Dimensiones del BIM</i> .....	16
<i>Ilustración 6. Evolución número licitaciones</i> .....	20
<i>Ilustración 7. Evolución inversión acumulada (PBL sin impuestos)</i> .....	21
<i>Ilustración 8. Licitaciones promovidas por administraciones autonómicas, locales y diputaciones provinciales agrupadas por comunidades autónomas en 2022</i> .....	21
<i>Ilustración 9. Representación de 7D BIM vs. 7D HBIM.</i> .....	26
<i>Ilustración 10. Justificación de la propuesta del Proyecto H-BIM.</i> .....	29
<i>Ilustración 11. Propuesta de fases para un proyecto H-BIM.</i> .....	29
<i>Ilustración 12. Elementos constitutivos de un puente de fábrica.</i> .....	34

<i>Ilustración 13. Tipologías de cimentación en puentes de fábrica.....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 14. Geometría de pila. Talud constante.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 15. Pila de talud variable.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 16. Ejemplos de posibles directrices en puentes arco .....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 17. Tipos de aparejos utilizados en bóvedas de fábrica de ladrillo .....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 18. Alzado, planta y secciones transversales típicas de los tímpanos.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 19. Esquema de la composición de los rellenos en un puente de bóvedas de fábrica.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 20. Secciones transversales de los puentes de la Riera de Rubí y de Urnieta .....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 21. Esquema de funcionamiento del sistema de gestión de puentes .....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 22. a) Inspección perimetral inferior. b) Inspección Zigzag inferior. c) Inspección de la cara superior del tablero y equipamientos. ....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 23. a) Cámara métrica. b) Cámara no métrica. ....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 24. a) Cámara estereométrica. b) Cámara semi-métrica. ....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 25. ejemplo de toma de fotografías en un vuelo fotogramétrico .....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 26. a) fotografía del espacio profundo. b) fotografía de un agujero negro..</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 27. Ubicación Puente Mayor Liérganes. ....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 28. Alzado derecho Puente Mayor de Liérganes .....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 29. Alzado izquierdo Puente Mayor de Liérganes.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 30. Ficha de inventario (1) puente Mayor de Liérganes .....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 31. Ficha de inventario (2) puente Mayor de Liérganes .....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 32. Ficha de Inspección Básica Puente Mayor de Liérganes.....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 33. Principales procesos patológicos detectados en el Puente .....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 34. El puente mayor desde diversos ángulos y posiciones. ....</i>	<i>72</i>

<i>Ilustración 35. Las posiciones de la cámara a lo largo del puente Mayor.....</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 36. Añadir fotos en los chunks dentro del software Agisoft Metashape. ....</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 37. la interfaz de 'Orientar fotos' en el software Agisoft Metashape.....</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 38. Interfaz de “Crear nube de puntos densa” en el software Agisoft Metashape.....</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 39. Nube de puntos del Puente Mayor en Agisoft Metashape (Alzado izquierdo).....</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 40. Nube de puntos del Puente Mayor en Agisoft Metashape (Alzado derecho). .....</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 41. Nube de puntos del Puente Mayor en RECAP.....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 42. a) Ejemplo de familia en sitio. b) Ejemplo de familia cargable. ....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 43. Introducción de información a través de parámetros en REVIT.....</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 44. Hoja de datos de inventario general, integrada en información de proyecto en Revit. ....</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 45. los parámetros agregados al proyecto del Puente Mayor.....</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 46. El puente Mayor desde los cuatros alzados.....</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 47. El modelo 3D del Puente Mayor en Revit.....</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 48. CIM-01 Descripción: Socavación de cimentaciones superficiales.....</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 49. CIM-02 Descripción: Socavación de cimentación ejecuta con pilotes. ....</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 50. CIM -04 Descripción: Degradación de las cabezas de pilotes y/o de los emparrillados de madera. ....</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 51. ALT-01 Descripción: Erosión.....</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 52. ALT-02 Descripción: Depósitos salinos (Eflorescencias/Concreciones/Incrustaciones/Costras Negras). ....</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 53. ALT-03 Descripción: Desplacación o Lajación. ....</i>	<i>91</i>

<i>Ilustración 54. ALT-04 Descripción: Desagregación (Arenización/Pulverización/Descohesión).</i> .....	91
<i>Ilustración 55. ALT-05 Descripción: Alveolización.</i> .....	91
<i>Ilustración 56. ALT-06 Descripción: Pérdida de material de juntas.</i> .....	92
<i>Ilustración 57. FIS-01 Descripción: Fisuración o agrietamiento oblicuo de la bóveda.</i> .....	92
<i>Ilustración 58. FIS-02 Descripción: Flecha diferencial de la bóveda respecto a tímpanos y boquillas.</i> .....	92
<i>Ilustración 59. FIS-03 Descripción: Fisuración o agrietamiento longitudinal en franja central de apoyos y bóveda.</i> .....	93
<i>Ilustración 60. FIS-04 Descripción: Deslizamiento y/o caída de dovelas de bóveda....</i>	93
<i>Ilustración 61. FIS-05 Descripción: Giro con tendencia al vuelco de tímpanos.</i> .....	93
<i>Ilustración 62. FIS-06 Descripción: Deslizamiento horizontal de tímpanos.</i> .....	94
<i>Ilustración 63. FIS-07 Descripción: Fisuración o agrietamiento de la bóveda en la unión con las boquillas.</i> .....	94
<i>Ilustración 64. FIS-08 Descripción: Fisuración o agrietamiento inclinado del borde de pila o estribo.</i> .....	94
<i>Ilustración 65. FIS-09 Descripción: Abombamiento de tímpanos.</i> .....	95
<i>Ilustración 66. FIS-10 Descripción: Fisuración o agrietamiento en cabeza de pila o estribo bajo apoyo de tableros.</i> .....	95
<i>Ilustración 67. FIS-11 Descripción: Fisuración transversal del intradós en la clave y del trasdós en los arranques.</i> .....	95
<i>Ilustración 68. FIS-12 Descripción: Fisuración transversal del intradós en los arranques y del trasdós en la clave.</i> .....	96

<i>Ilustración 69. FIS-13 Descripción: Fisuración transversal, asimétrica y alterna de la bóveda.....</i>	<i>96</i>
<i>Ilustración 70.FIS-14 Descripción: Fisuración transversal del intradós a la altura de los riñones. ....</i>	<i>96</i>
<i>Ilustración 71. FIS-15 Descripción: Fisuración o agrietamiento en muros de acompañamiento y aletas, junto a estribos. ....</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 72. FIS-16 Descripción: Asientos absolutos o diferenciales de pilas o estribos. ....</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 73. FIS-17 Descripción: Rotura de aristas y esquinas de sillares .....</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 74. FUN-01 Descripción: Desplazamiento, daños o rotura de peto. ....</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 75. FUN-02 Descripción: Disminución de la capacidad de desagüe bajo el puente. ....</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 76.UN-03 Descripción: Depósitos superficiales (enmugrecimiento, suciedad).....</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 77. FUN-04 Descripción: Desprendimiento del revestimiento. ....</i>	<i>99</i>
<i>Ilustración 78. FUN-05 Descripción: Manchas de humedad e inadecuado funcionamiento de los mechinales. ....</i>	<i>99</i>
<i>Ilustración 79. FUN-06 Descripción: Crecimiento y desarrollo de vegetación. ....</i>	<i>99</i>
<i>Ilustración 80. Ficha tipo de inspección básica.....</i>	<i>100</i>
<i>Ilustración 81. Ficha de inventario 1. ....</i>	<i>101</i>
<i>Ilustración 82. Ficha de inventario 2 .....</i>	<i>102</i>

# ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Numero de estructuras clasificadas en función de su tipología estructural....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 2: Numero de estructuras de fábrica clasificadas en función de su luz.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 3: Catálogo de patologías más frecuentes en puentes de fábrica.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 4: Cuantificación del estado de conservación de un puente.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 5: Deterioros observados en Puente Mayor. ....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 6: Inspección Principal Puente Mayor de Liérganes. ....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 7: Inspección Principal Puente Mayor de Liérganes. ....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 8: Ficha1 registro de inspección.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 9: Informe de daños .....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 10: Ficha 1 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes .....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 11: Ficha 2 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes .....</i>	<i>106</i>

<i>Tabla 12: Ficha 3 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 13: Ficha 1 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 14: Ficha 5 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 15: Ficha 6 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 16: Ficha 7 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 17: Ficha 8 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 18: Ficha 9 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 19: Ficha 10 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 20: Ficha 11 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 21: Ficha 12 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.</i>	<i>124</i>

# CAPÍTULO 1: Introducción

## 1.1. ESCENARIO Y MOTIVACIÓN

La revolución tecnológica está dejando su huella en todos los aspectos de la vida cotidiana, remodelando rápidamente la rutina de las personas. Se ha convertido en una presencia esencial en prácticamente todos los aspectos de nuestra vida diaria, creando una ola masiva que puede llevarnos hacia adelante o derribarnos. La tecnología se presenta como un doble filo: te exige subir a bordo para mantener el ritmo en un entorno competitivo, o de lo contrario, te verás excluido del mercado debido a enfoques de trabajo obsoletos que no aprovecharon sus ventajas.

Numerosos sectores han incorporado la tecnología en sus procesos, mejorando significativamente su eficiencia. Un ejemplo de esto es el estudio *“Reinventing construction through a productivity revolution”* presentado por la consultora McKinsey, donde se evalúan los diferentes sectores a tres niveles: activos digitales, utilización digital y Trabajadores digitales. Dentro de este análisis, se pone de manifiesto que el sector de la construcción y la agricultura son dos de los sectores menos digitalizados hasta el momento. No obstante, el estudio concluye que la digitalización de los sectores conlleva una mejora en su productividad.

El sector de la construcción requiere transformaciones que impacten positivamente en la duración y los costos de los proyectos. Aquí es donde participa la novedosa metodología BIM (*Building Information Modeling*), que busca resolver los desafíos que ralentizan la labor. Basándose en el progreso tecnológico para generar y gestionar los datos del proyecto, y fomentando una comunicación constante entre los participantes del proyecto, BIM se vale también del modelado tridimensional para asegurar una mayor excelencia en la conceptualización y comprensión del proyecto.

Este enfoque conecta toda la información del proyecto en una única base de datos, permitiendo un seguimiento continuo de todos sus aspectos. Además, resalta la importancia de una colaboración eficiente de los diferentes actores durante las distintas fases del proyecto.

Aunque es un enfoque de gestión relativamente nuevo, son sus logros los que la han convertido en un nombre reconocido a nivel mundial. Su implementación ha reportado beneficios a numerosas empresas en los campos de la construcción y la ingeniería.

La metodología BIM ofrece valiosas aplicaciones en la conservación y mantenimiento de monumentos históricos. En este contexto, su utilidad radica en proporcionarnos una mayor comprensión y supervisión de estos activos, permitiéndonos llevar a cabo un mantenimiento preventivo acorde con su significado histórico. Esta metodología de trabajo nos brinda la capacidad de gestionar y centralizar la información necesaria para el cuidado de monumentos históricos, que buscan ser preservados por su relevancia patrimonial.

La relevancia de contar con un modelo que concentre la información de estos elementos esencialmente importantes se traduce en una toma de decisiones más informada para su conservación y mantenimiento. Esto conlleva a un uso más eficiente de recursos al tener toda la información almacenada en una base de datos integral. Para casos como la conservación de puentes, la metodología BIM posibilita programar acciones de preservación en una etapa que no sea costosa y, simultáneamente, dar seguimiento a las previas patologías a través de un control documental implementado en el modelo.

Por todo lo referido, el presente trabajo Fin de Máster se focaliza, tras identificar las potencialidades de la metodología BIM, en su aplicación en la gestión y conservación de un puente de fábrica. Este puente, al ser un monumento histórico, representa un desafío particular en términos de mantenimiento y conservación. No obstante, a través de la

integración de la metodología BIM, se busca impulsar una gestión más eficaz y sostenible de su ciclo de vida. La importancia de este estudio radica en su contribución a la modernización de la industria de la construcción y la ingeniería. Al combinar herramientas tecnológicas avanzadas con enfoques de gestión innovadores, se busca optimizar la toma de decisiones a lo largo del tiempo, lo que resulta fundamental para extender la vida útil de esta infraestructura histórica de manera responsable. En última instancia, este proyecto no solo busca preservar un patrimonio invaluable, sino también sentar las bases para un paradigma más eficiente y sostenible en la gestión de estructuras históricas y monumentos emblemáticos.

## **1.2. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Objetivo principal:**

El objetivo principal de esta investigación consiste en el desarrollo práctico de un proyecto sobre el puente Mayor ubicado en Liérganes, España, con el fin de elaborar los principios que posibiliten la incorporación de la metodología BIM como herramienta para respaldar el inventario y la gestión de la infraestructura. Al aprovechar las capacidades de BIM, se busca crear modelo digital detallado que integre información multidisciplinaria, desde aspectos geométricos hasta datos sobre materiales, sistemas estructurales, instalaciones y más.

### **Objetivos específicos:**

La investigación y desarrollo práctico presentes en este trabajo implican una serie de metas secundarias que contribuyen a lograr el objetivo principal. Estas metas secundarias son detalladas a continuación:

- **Establecimiento de Fundamentos Introdutorios de BIM:** El propósito es dotar al lector con conocimientos esenciales sobre qué implica BIM y cuáles son las características cruciales para su aplicación. Esto permite establecer una base sólida para comprender los conceptos clave.
- **Análisis del Estado del Arte en España y a Nivel Global en la Implementación de BIM en Licitaciones y Construcción:** Se busca brindar una comprensión exhaustiva de cómo se está adoptando la metodología BIM en licitaciones y proyectos de construcción tanto a nivel nacional como internacional.

- Exploración de Usos de Modelos BIM y H-BIM en Mantenimiento y Conservación de Infraestructuras: Se busca identificar los diversos usos de modelos BIM en la gestión y conservación de infraestructuras, particularmente en el contexto de puentes históricos. Esto facilita la comprensión de los objetivos y beneficios al crear un modelo Heritage-BIM (H-BIM) para fines de mantenimiento y conservación.
- Identificación de Características Fundamentales de Puentes de Fábrica: El objetivo es comprender mejor las características inherentes a los puentes de fábrica, lo que resulta esencial para gestionarlos adecuadamente y llevar a cabo inspecciones precisas.
- Introducción a Conceptos de Patologías Comunes en Puentes de Fábrica: Se busca presentar los conceptos básicos relacionados con las patologías más frecuentes que pueden afectar a puentes de fábrica, lo cual es crucial para el proceso de mantenimiento y conservación.
- Definición de Características Esenciales de Modelos BIM para la Gestión de Puentes de Fábrica Existentes: Se pretende enunciar las características básicas que un modelo BIM debe poseer para ser efectivamente aplicado en la gestión de puentes de fábrica ya construidos. Esto proporciona un marco para el desarrollo y uso adecuado de los modelos.
- Generación de Información para el Proceso de Modelado BIM en Puentes de Fábrica Actuales: El objetivo es proporcionar la información necesaria para llevar a cabo el proceso de creación de modelos BIM en el contexto de puentes de fábrica en su estado actual.
- Creación de un Heritage BIM del Puente Mayor de Liérganes: Se busca desarrollar un modelo Heritage BIM que actuará como un repositorio de todas las intervenciones realizadas en el puente, y permitirá llevar un registro de futuros trabajos de mantenimiento planificados.

En resumen, este trabajo de investigación y desarrollo tiene como objetivo principal el establecimiento de un modelo BIM para la gestión de puentes de fábrica, y para lograrlo se abordan varias metas secundarias que abarcan desde la comprensión general de BIM hasta la aplicación específica en la conservación de infraestructuras históricas.

### **1.3. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO**

La información contenida en el presente trabajo Fin de Máster se estructura en 4 Capítulos, un apartado de Referencias bibliográficas y 3 Anexos, cuya organización es la siguiente:

- **Capítulo 1: Introducción**

En el presente capítulo se establecen las bases y pautas a seguir en la investigación. Se inicia con un apartado introductorio que recoge el escenario actual y las motivaciones por las cuales se ha desarrollado el estudio. A continuación, se definen el objetivo general y los específicos a conseguir, y se describen los contenidos en los que se ha estructurado el estudio.

- **Capítulo 2: Estado del Arte**

En el segundo capítulo de este trabajo, titulado “Estado del Arte”, se realiza un análisis exhaustivo de las áreas clave que sustentan la investigación. El capítulo se divide en varias secciones para abordar de manera integral las temáticas pertinentes. En la sección 2.1, se explora el concepto fundamental del Modelado de Información para la Construcción (BIM por sus siglas en inglés), sentando las bases teóricas de la metodología. A continuación, en la sección 2.2, se profundiza en la perspectiva específica de “Heritage BIM” (H-BIM), examinando cómo esta variante de BIM se aplica a estructuras históricas y monumentos, como el puente de fábrica objeto de estudio. En la sección 2.3, se aborda el contexto de los puentes de fábrica, destacando sus características y desafíos inherentes en términos de conservación y gestión. Posteriormente, en la sección 2.4, se exploran los Sistemas de Gestión de Puentes, identificando sus funciones esenciales y su relevancia en la administración eficiente de infraestructuras. Finalmente, la sección 2.5 introduce los conceptos básicos de la fotogrametría, una herramienta crucial en la obtención de datos precisos para la elaboración de modelos y análisis de puentes. Esta estructura garantiza un análisis completo y sistemático de los elementos clave que respaldan el desarrollo y la implementación exitosa de la metodología BIM en la conservación de puentes históricos.

- **Capítulo 3: Caso de Estudio**

En el Capítulo 3 se aborda un caso práctico relacionado con el Puente Mayor de Liérganes. En este capítulo, se explorarán varios aspectos clave.

Se comienza analizando la Importancia histórica del Puente Mayor, destacando su relevancia en el contexto histórico. Luego, se profundiza en las Características geométricas y constructivas de la construcción, examinando sus aspectos físicos y su diseño.

A continuación, se realiza un inventario exhaustivo de la estructura y se describen las inspecciones llevadas a cabo, que comprenden una inspección básica y la elaboración de fichas de procesos patológicos. Estas fichas detallan minuciosamente todos los deterioros observados en el puente, junto con su ubicación precisa en la estructura. Además, se efectúa una inspección principal para evaluar los daños en la superestructura y subestructura.

Posteriormente, se presenta la metodología desarrollada para el levantamiento del Puente Mayor mediante fotogrametría terrestre, lo que proporciona datos precisos para el posterior proceso de modelado. Finalmente, se aborda la etapa de modelado del puente utilizando la metodología BIM, que permitirá una comprensión más profunda de su estado y comportamiento. La implementación de BIM en este caso de estudio implica la creación de un modelo 3D detallado del Puente Mayor de Liérganes, que no solo captura la geometría de la estructura, sino que también almacena información adicional relevante, incluyendo los datos recopilados durante las inspecciones realizadas.

En conjunto, este capítulo sienta las bases esenciales para el análisis detallado del Puente Mayor de Liérganes en el contexto de la investigación.

- **Capítulo 4: Conclusión y líneas futuras de investigación**

En este capítulo, se resumen las principales conclusiones obtenidas de la investigación llevada a cabo, así como se plantean diversas direcciones para futuras líneas de investigación.

- **Referencias bibliográficas**

En este apartado se agrupan las fuentes bibliográficas fundamentales utilizadas durante la elaboración del trabajo Fin de Máster.

- **Anexos**

En esta sección, se encuentran reunidas diversas fichas que desempeñaron un papel fundamental durante el desarrollo del estudio. Estas fichas incluyen las de tipo de

inspección básica, inventario, inspección principal, así como la ficha de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes. Además, se presenta un valioso catálogo fotográfico que ilustra de manera detallada los procesos patológicos más recurrentes identificados en puentes de fábrica.

# CAPÍTULO 2:

## Estado del Arte

### 2.1. BIM

#### 2.1.1. Definición

“BIM es el acrónimo de *Building Information Modeling* (modelado de la información del edificio) y se refiere al conjunto de metodologías de trabajo y herramientas caracterizado por el uso de información de forma coordinada, coherente, computable y continua, empleando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información en lo referente al edificio que se pretende diseñar, construir o usar.” (Eloi Coloma, 2008).

Según (Strafaci, 2008), BIM no es un producto ni un software propietario. Es un proceso integrado que se basa en información coordinada y confiable sobre un proyecto, desde el diseño hasta la construcción y su posterior operación. BIM no solo se destina al campo de la arquitectura, aunque se originó en esta disciplina. Los principios de BIM se aplican a todo lo que se construye, incluyendo carreteras y autopistas, y los beneficios de BIM son experimentados por ingenieros civiles de la misma manera que lo disfrutaban los arquitectos.

BIM no se trata solo de modelos en 3D (aunque eso es parte de ello). BIM permite a los ingenieros predecir con mayor facilidad el rendimiento de los proyectos antes de su

construcción, responder a los cambios de diseño de manera más rápida, mejorar los diseños mediante la utilización de técnicas de análisis, simulación y visualización, y proporcionar documentación de construcción más precisa y detallada. Además, permite a los equipos ampliados extraer datos valiosos del modelo para facilitar la toma de decisiones tempranas y la entrega más económica del proyecto.

### **2.1.2. Origen**

Para comprender el origen del BIM, es fundamental repasar los hitos importantes en su evolución histórica. Según el análisis del experto en BIM (Montejano, 2015) la cronología de su desarrollo incluye una serie de eventos significativos:

- **1963**

Ivan Sutherland creó Sketchpad, el primer sistema de CAD, que permitía generar líneas en la pantalla de una computadora. Este programa se convirtió en un hito en la historia de la informática, siendo el primer software de su tipo en existir.

- **1974**

Charles Eastman, arquitecto con formación en Berkeley y experto en ciencias de la computación en la Universidad Carnegie Mellon, es considerado como el padre del BIM. En 1974, mucho antes de la existencia de ordenadores personales, desarrolló el sistema BDS (*Building Description System*) que incluía los principales elementos del BIM actual. El BDS abordaba el proceso de diseño a partir de una base de datos que descomponía los componentes del edificio en piezas individuales. Eastman criticaba la falta de coherencia en la información arquitectónica que resultaba de la falta de un modelo integrado.

- **1982**

El surgimiento del BIM tal como lo conocemos hoy en día se atribuye a dos brillantes matemáticos del Bloque Soviético, Gábor Bojar y Leonid Raiz, quienes fundaron ArchiCAD y Revit, respectivamente. A pesar del rápido desarrollo de la industria del software en los Estados Unidos y el Reino Unido, Bojar, en 1982, desafió al gobierno comunista de Hungría y fundó una empresa privada para desarrollar ArchiCAD.

- **1984**

Se lanzó la primera versión de ArchiCAD, inicialmente conocida como CH RADAR y diseñada para el sistema operativo Apple Lisa. Con esto, ArchiCAD se convirtió en el primer software BIM disponible para ordenadores personales, basándose en el poderoso

lenguaje GDL (*Geometric Description Language*). El mismo año, Autodesk lanzó AutoCAD, otro software de CAD que pronto se convertiría en uno de los más utilizados en el mundo. También en 1984, Georg Nemetschek creó Allplan después de desarrollar varios programas de CAD para su propia oficina técnica. Allplan es considerado el segundo software BIM para ordenadores personales en la historia.

- **1985**

En el año mencionado, Richard Diehl desarrolla VectorWorks, también conocido como MiniCAD, el cual se convierte en el tercer software BIM para ordenadores personales. Inicialmente disponible solo para la plataforma MAC, VectorWorks se convierte en una herramienta popular en el mercado de diseño arquitectónico. Además, en el mismo año, Bentley lanza su software PseudoStation, que luego cambia su nombre a Microstation.

- **1993**

GraphiSoft lanza la primera versión de ArchiCAD compatible con el sistema Windows, convirtiéndose en el primer software CAD-BIM multiplataforma de la historia.

- **1996**

Diehl GraphSoft desarrolló la versión 6 de Minicad, que estaba disponible tanto para Windows como para Mac, convirtiéndose así en el segundo CAD-BIM multiplataforma de la historia.

- **2000**

En 1997, Leonid Raiz e Irwin Jungreis decidieron abandonar PTC (Parametric Technology corporation) y fundaron Charles River Software con el objetivo de desarrollar un software BIM para arquitectos. Posteriormente, la empresa cambió su nombre a Revit Technology Corporation y lanzó la primera versión de Revit en el año 2000. Una de las estrategias innovadoras de Revit fue su distribución a través de suscripciones mensuales en línea, sin la necesidad de distribuidores físicos. Dado que los fundadores provenían del mundo de la ingeniería, contrataron al arquitecto David Conant para ayudar en el diseño de la interfaz de usuario del software.

- **2002**

Autodesk adquiere Revit por una suma de 133 millones de dólares.

- **2009**

Revit mantiene su interfaz de iconos similar a la de su lanzamiento en 2002.

- **2010**

El programa experimenta un cambio total de su interfaz, adoptando la tecnología de la cinta (Ribbon), que se mantiene hasta la actualidad.

- **Actualmente**, Revit de Autodesk es el programa líder en BIM utilizado tanto en España como a nivel global.

### **2.1.3. Diferencias entre CAD y BIM**

Entender que CAD y BIM son diferentes, pese a que al verlos da la impresión de que es el mismo tipo de software, entonces queda la duda de sus diferencias más visible que presentan, para ello se recuerda el concepto de BIM (modelado de la información del edificio), y CAD (diseño asistido por ordenador), trabajando este último en dos dimensiones consiguiendo de esta manera un dibujo virtual usando elementos genéricos como líneas y tramas. En tanto que BIM no es una herramienta de dibujo como tal, aunque permite realizar esta función, la propiedad que lo caracteriza es el almacenamiento de información de cada elemento constructivo que compone una edificación, destacando distintos aspectos en donde BIM enfatiza del CAD (García, 2017).

Para analizar esta diferencia, vamos a apoyarnos de nuevo en las explicaciones de Strafaci, que se presentan en la Ilustración 1.

Los programas de diseño 2D, siguen un proceso que comienza con el diseño preliminar, pasa al diseño detallado y luego a la documentación de construcción. Cada paso se completa antes de que comience el siguiente, y la colaboración es muy limitada. Este proceso funciona bien hasta que se necesita hacer un cambio de diseño inevitable, momento en el cual se requieren actualizaciones de dibujo manual propensas a errores y que consumen mucho tiempo. Como tal, este proceso tiene limitaciones prácticas inherentes.

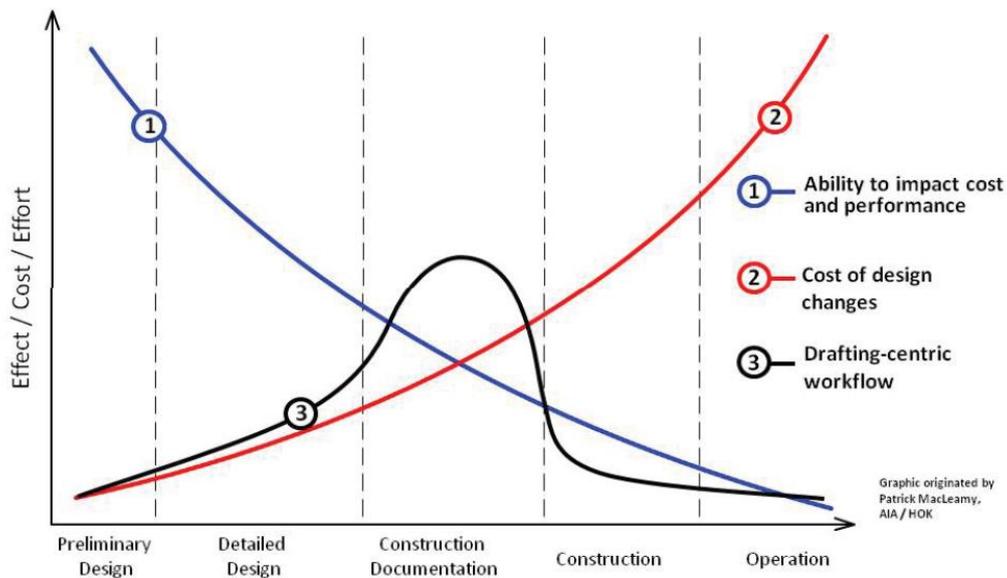


Ilustración 1. Flujo de trabajo sin el uso de la metodología BIM.

Fuente: [http://images.autodesk.com/adsk/files/what\\_does\\_bim\\_mean\\_for\\_civil\\_engineers\\_ce\\_news\\_1008.pdf](http://images.autodesk.com/adsk/files/what_does_bim_mean_for_civil_engineers_ce_news_1008.pdf)

El gráfico en la Ilustración 1 muestra el nivel de esfuerzo requerido a lo largo del ciclo de vida de un proyecto típico de diseño de carreteras desde el diseño preliminar hasta la construcción y la operación. Como indica la línea azul, la capacidad del ingeniero civil para influir en el costo y el rendimiento es máxima durante el diseño preliminar, pero disminuye bruscamente a medida que avanza el proyecto.

La línea roja muestra cómo el costo de hacer y ejecutar cambios de diseño es bajo durante el diseño preliminar, pero aumenta bruscamente durante el proyecto. Finalmente, la línea negra ilustra que los ingenieros civiles y diseñadores gastan la mayor cantidad de esfuerzo y recursos durante la fase de documentación de construcción.

El problema con este gráfico es que el pico del esfuerzo (línea negra) coincide con un punto en el proyecto en el que la capacidad del ingeniero para influir en el rendimiento (línea azul) del proyecto está disminuyendo y el costo (línea roja) de hacer cambios de diseño está aumentando.

Es demasiado costoso hacer múltiples cambios de diseño y evaluar el impacto en el rendimiento del proyecto una vez que se ha iniciado la documentación de construcción. Como conclusión, un proceso centrado en el diseño 2D generalmente produce el primer diseño, y no necesariamente el diseño óptimo.

De acuerdo con Strafaci (2008) y haciendo referencia a la Ilustración 2, la introducción de BIM (línea verde) coincide con un momento clave en el que la capacidad del ingeniero para influir en los costos y en el desempeño del proyecto es alta, mientras que el costo de introducir cambios en el diseño es bajo. Esto se traduce en beneficios significativos a nivel de productividad, eficiencia y diseño.

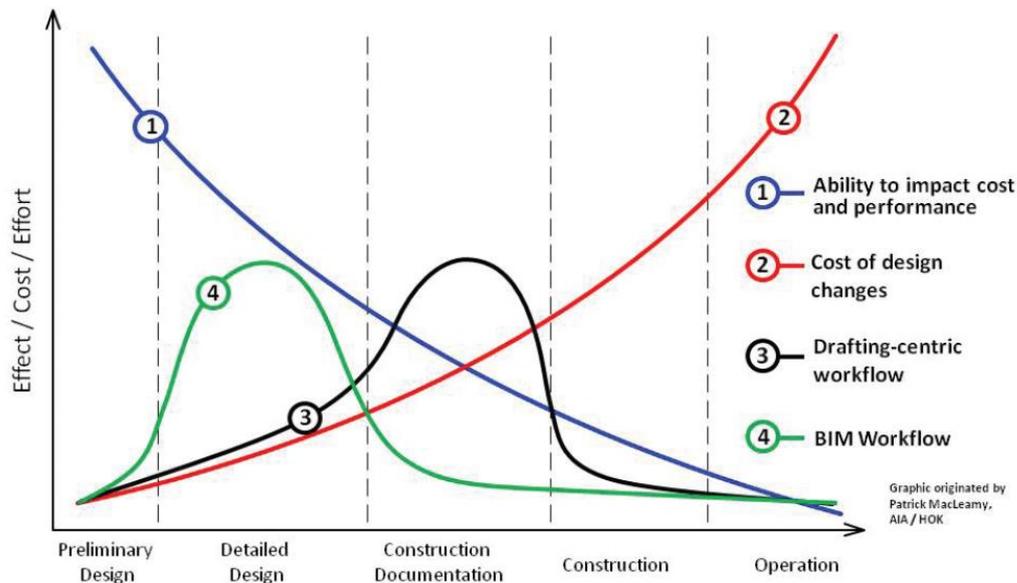


Ilustración 2. Curva de MacLeamy.

Fuente: [http://images.autodesk.com/adsk/files/what\\_does\\_bim\\_mean\\_for\\_civil\\_engineers\\_ce\\_news\\_1008.pdf](http://images.autodesk.com/adsk/files/what_does_bim_mean_for_civil_engineers_ce_news_1008.pdf)

BIM surge como una alternativa a las limitaciones del enfoque tradicional de diseño 2D, permitiendo la creación de información de diseño coordinada, modificable y óptima de un proyecto. A diferencia del diseño 2D, en el que es necesario finalizar una fase para poder comenzar con la siguiente, con BIM se pueden introducir cambios en las diversas fases y elementos del proyecto de manera flexible.

#### 2.1.4. Beneficios BIM

Aparte de las ventajas mencionadas anteriormente, hay otra serie de beneficios derivados de la implementación y uso de BIM que son destacables y que fueron señalados por Rodríguez, Cordero y Garrido en 2016.

- ✓ A diferencia de lo que sucede con el software 2D, en BIM se trabaja con elementos constructivos virtuales y no con primitivas básicas y sin entidad propia (líneas, puntos, superficies, etc.).
- ✓ Permite el trabajo multidimensional simultáneo.
- ✓ Posibilita generar un diseño visual, claro y atractivo de cara al cliente.
- ✓ Tras finalizar el proyecto permite llevar a cabo su gestión y mantenimiento.
- ✓ Permite concentrar la toma de decisiones en los procesos iniciales de diseño del proyecto e identificar y solucionar errores e interferencias antes de que tengan lugar.
- ✓ Introducir modificaciones se vuelve más sencillo, rápido y cómodo, permitiendo reducir costes de tiempo y esfuerzo y, por ende, aumentando la productividad, puesto que las modificaciones se actualizan en todos los niveles.

### 2.1.5. Niveles de desarrollo (LOD)

Cuando estamos desarrollando un proyecto con la metodología BIM el modelo 3D requiere definir el LOD del mismo para el uso destinado. Las siglas LOD corresponden a las iniciales de *Level of Development* o Nivel de Desarrollo, que define hasta qué punto se ha desarrollado un elemento del modelo, por ejemplo, puedes crear un muro conceptual con su espesor y altura, o puedes hacer un muro totalmente definido por materiales, capas, detalle, información de fabricante, características, etc.

Es por eso que *The American Institute of Architects* (AIA) desarrolló en 2008 un documento (E202-2008) donde se establece los LOD existentes y sus definiciones. Este documento fue actualizado posteriormente en 2013 y según él es posible que cualquier agente es libre para incluir otros niveles de desarrollo, y que se encuentra en función de sus necesidades.

- LOD 100: se trata de un diseño conceptual que proporciona una visión general del proyecto, incluyendo el volumen, la orientación y el área.
- LOD 200: se proporciona información aproximada sobre el tamaño, la forma, la ubicación y la orientación, lo que permite aumentar la capacidad de análisis, aunque las mediciones nunca son definitivas.
- LOD 300: se proporciona información y geometría precisa, lo que permite incorporar detalles constructivos importantes y obtener mediciones más precisas que en el nivel LOD 200, aunque el nivel de detalle externo puede no ser completo.

- LOD 400: se incluye el detalle necesario para la fabricación o construcción y las mediciones son exactas.
- LOD 500: representa el proyecto construido en sí mismo, con condiciones conformes a la obra. El modelo resultante es adecuado para el mantenimiento y el funcionamiento de la instalación.

Nuevas innovaciones de LOD:

- LOD 600: no hay una definición detallada del objeto a nivel geométrico, pero sí se especifican aspectos relacionados con la sostenibilidad, tales como el reciclado de sus materiales, su vida útil, toxicidad, formas de traslado...
- LOD 000: ofrece información topográfica y de planimetría.
- LOD X00: se define como un comodín de cara a la realización de nuevos niveles LOD.

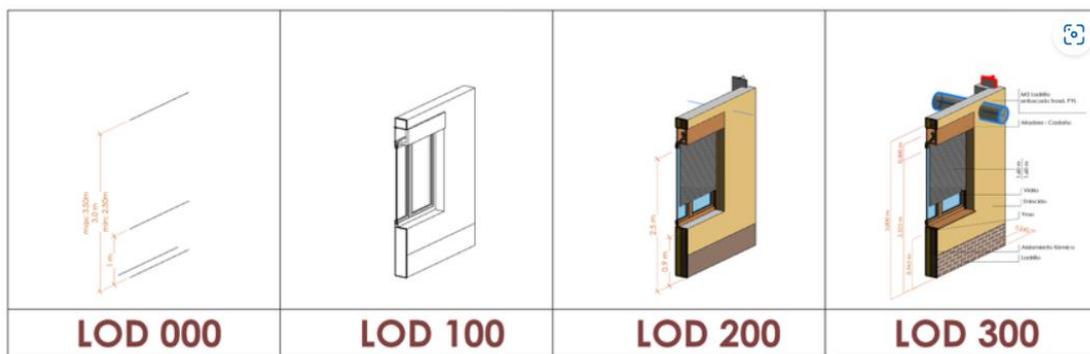


Ilustración 3. Niveles LOD

Fuente: LOD NIVEL DE DESARROLLO - Editeca

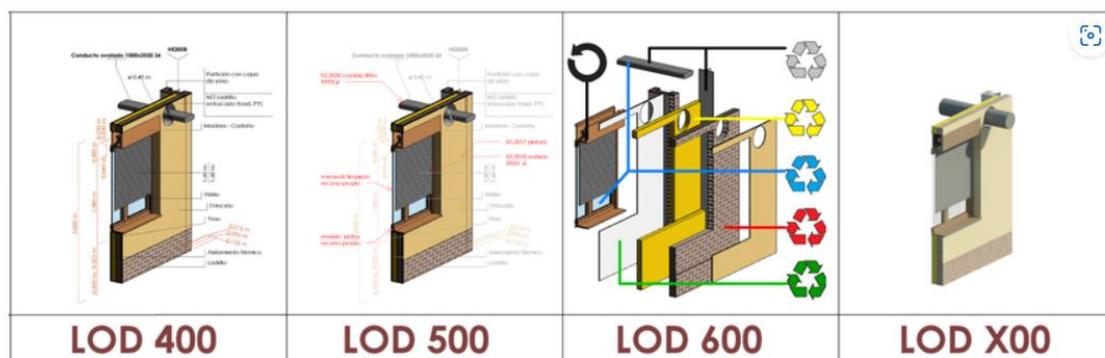


Ilustración 4. Niveles LOD

Fuente: LOD NIVEL DE DESARROLLO - Editeca

### **2.1.6. Dimensiones BIM**

Dentro del ámbito BIM, podemos encontrar diversas dimensiones de trabajo (Ilustración 5), que también se pueden considerar como fases o procesos de trabajo dentro del proyecto. Cada nueva aplicación o conjunto de información añade una nueva dimensión de información al modelo BIM. A continuación, se pueden distinguir las siguientes dimensiones BIM:

- 3D – Modelado Tridimensional

Combina tres elementos clave: las instalaciones, las estructuras y la arquitectura, permitiendo que los profesionales de cada una de estas especialidades trabajen juntos de manera colaborativa. Esta capacidad de trabajo en equipo es una gran ventaja de BIM, ya que permite un diseño integrado que proporciona datos precisos sobre el flujo de trabajo de cada uno de los especialistas.

Además, otra ventaja importante de BIM es su capacidad para permitir una visita virtual del proyecto. Esto permite que los recursos humanos involucrados en el desarrollo del proyecto tengan una comprensión más profunda y visual del mismo, lo que resulta en una mejor toma de decisiones y en un proceso de construcción más eficiente.

- 4D – Tiempo

Al BIM 3D, se puede añadir una cuarta dimensión, que es el tiempo. Con la ayuda del software BIM puedes realizar un cronograma de las actividades del proyecto, pudiendo asignar tiempos a las distintas partes de la obra y sus elementos, con el fin de programar totalmente la ejecución del proyecto antes de su inicio. De esta forma tenemos controlada la organización de la obra viendo a tiempo real la evolución del proyecto en el modelo virtual y en la realidad, pudiendo optimizar al máximo los recursos utilizados para cada actividad (mano de obra, maquinaria, etc.).

- 5D – Control de costes

La quinta dimensión BIM implica la incorporación de la estimación de costos en el proceso. Esto se logra a través de la medición de los materiales que se necesitan en cada fase del proyecto, lo que permite calcular los costos de manera precisa. Esta información se utiliza para mejorar la elaboración de los presupuestos y estimaciones iniciales, y también permite hacer comparaciones entre diferentes modelos de costos

- 6D – Sostenibilidad

La sexta dimensión comprende la sostenibilidad del proyecto. Se puede considerar que un proyecto es BIM 6D cuando cuenta con estudios de eficiencia energética, análisis de impacto ambiental y/o ecodiseño

- 7D – Mantenimiento

Esta fase se produce cuando la construcción del proyecto ha finalizado, permitiendo gestionar y organizar el control del mantenimiento de las instalaciones durante el ciclo de vida útil del mismo.

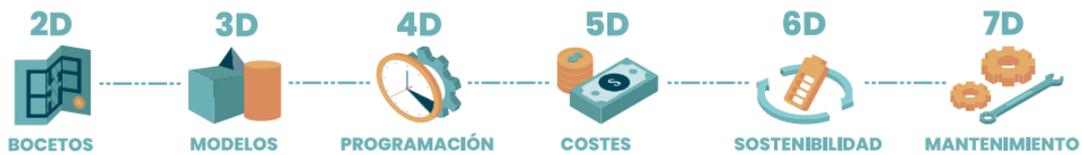


Ilustración 5. Dimensiones del BIM

Fuente: *Fundamentos BIM para la contratación pública* (cepc.es)

### 2.1.7. Softwares BIM

Hay una amplia variedad de herramientas BIM disponibles en el mercado para ayudar en el desarrollo de proyectos en distintas etapas. Diferentes empresas que proporcionan estas herramientas están haciendo un gran esfuerzo para adaptarlas a la metodología BIM y su flujo de trabajo. Algunas empresas están creando herramientas que pueden cubrir todas las fases del proceso, sin necesidad de utilizar otras herramientas de otras compañías. Por otro lado, otras empresas están centrando sus esfuerzos en mejorar sus herramientas para hacerlas compatibles con cualquier programa de modelado digital.

A continuación, se destacan las herramientas de software disponibles para cada una de las dimensiones de BIM, según las contribuciones del Equipo BIMnD (2018).

- Dimensión 3D:
  - ✓ ArchiCAD (Graphisoft)
  - ✓ REVIT (Autodesk)
  - ✓ Allplan (Nemetschek)
  - ✓ Aecosim (Bentley Systems)
  - ✓ Vectorworks (Nemetschek)

- ✓ Edificius (ACCA Software)
- ✓ Civil 3D (Autodesk)
- Dimensión 4D (planificación de obra):
  - ✓ Naviswork (Autodesk)
  - ✓ Synchro Pro (Bentley)
  - ✓ TCQi
  - ✓ Project (Microsoft)
  - ✓ Primavera P6
- Dimensión 5D (costes, mediciones y presupuestos):
  - ✓ Arquímedes (CYPE)
  - ✓ Presto - Cost It
  - ✓ Gest.MidePlan (Arktec)
  - ✓ iTwo
  - ✓ Vico Office
- Dimensión 6D (gestión ambiental y eficiencia energética):
  - ✓ EcoDesigner (Graphisoft)
  - ✓ Green Building Studio (Autodesk)
  - ✓ CYPETHERM HE
  - ✓ RIUSKA
- Dimensión 7D (facility management):
  - ✓ Maximo (IBM)
  - ✓ ARCHIBUS
- Diseño de Instalaciones:
  - ✓ CYPECAD MEP
  - ✓ DDS CAD
- Diseño de Estructuras:
  - ✓ Tricalc
  - ✓ Tekla Structures
- Visores BIM:
  - ✓ BIM Collab Zoom
  - ✓ BIMx (Graphisoft)
  - ✓ Solibri Model Viewer
  - ✓ A360 (Autodesk)

- ✓ DALUX BIM Viewer
- ✓ BIMSYNC
- ✓ BIM Vision
- ✓ BIMkeeper
- ✓ usBIM Viewer (ACCA Software)

### 2.1.8. BIM en el mundo

La implementación de BIM como una norma metodológica ha sido adoptada en muchas regiones del mundo, lo que ha cambiado la forma en que se diseña y construye. Aunque en algunos lugares todavía se está aprendiendo acerca del alcance y beneficios de esta metodología, hay países que han tomado una postura firme y lo han convertido en un requisito obligatorio en la construcción dentro de sus territorios.

(González, 2019) ha proporcionado información detallada sobre la implementación de BIM en todo el mundo, que podemos utilizar para conocer más sobre el estado actual de esta metodología en diferentes países y regiones.

- Estados Unidos

Desde hace varios años, **Estados Unidos** ha sido líder en la implementación de BIM en proyectos públicos de gran envergadura, y en el año 2009, casi la mitad de las empresas ya habían adoptado esta metodología. Por su parte, **el gobierno canadiense** impuso estándares BIM en el año 2015, lo que demuestra el compromiso de este país con el uso de tecnologías avanzadas en la construcción.

- Europa

La adopción del BIM en Europa varía según el país, siendo **Francia** uno de los más avanzados ya que se exige su uso en proyectos de más de 20M€ y próximamente será obligatorio en todos los proyectos. BIM tiene una alta tasa de adopción en **Holanda**, donde en el año 2015 se utilizaba en un 76% de los proyectos, abarcando desde la fase de diseño hasta la de mantenimiento. Desde 2017, en Suiza se encuentra disponible una Guía Open BIM para ayudar a los usuarios en el desarrollo de sus proyectos con esta metodología. En **el Reino Unido**, el BIM es obligatorio para proyectos públicos desde 2016, y el 80% de las empresas ya trabajan con algún proyecto BIM. En **Alemania**, el uso del BIM es de iniciativa privada y en un 90% de los casos es el cliente quien lo

demanda, mientras que el gobierno no exige su uso en proyectos públicos. A partir de 2019, **el gobierno ruso** hizo obligatorio el uso del BIM para todos los proyectos que sean comisionados por él.

- Países escandinavos

**Noruega** ha estado utilizando el BIM desde 2007 y desde 2016 lo están implementando en el sector público, enfocándose en la eficiencia energética, coordinación y optimización de errores. **Finlandia** también comenzó con algunos proyectos en 2007 y desde 2012, la Confederación de la Construcción ha estado utilizando BIM como metodología en los proyectos. En **Suecia**, la BIM Alliance Sueca se formó en 2014 para homogeneizar los estándares BIM y en la actualidad, la mayoría de las empresas lo utilizan. En **Dinamarca**, han estado utilizando BIM desde 2011 en proyectos locales y regionales de más de 2,7M€ y en los proyectos centrales de más de 700.000€.

- Latinoamérica.

La adopción del BIM en los grandes proyectos de América Latina no se está produciendo de manera uniforme. Mientras que en países como **Chile, Colombia y Perú** se ha convertido en una realidad con una gran aceptación en proyectos públicos y una alta demanda de profesionales con conocimientos BIM, en el resto de países de habla hispana su adopción está avanzando a un ritmo más lento.

### **2.1.9. BIM en España**

La Directiva 2014/24/UE del Parlamento Europeo, publicada el 26 de febrero de 2014, incentivó a los países miembros de la Unión Europea a modernizar sus normativas de contratación y licitación pública, a través del uso de nuevas tecnologías, con el objetivo de optimizar y agilizar dichos procesos.

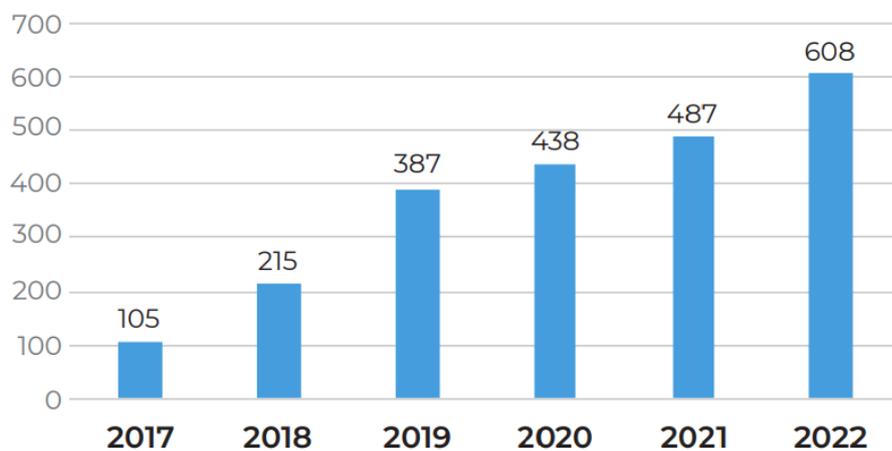
En respuesta a esto, el Gobierno de España estableció la Comisión BIM (CBIM), una comisión interministerial de carácter temporal que tiene como objetivo impulsar y garantizar la coordinación entre la Administración General del Estado (AGE) y sus organismos públicos y entidades de derecho público asociados o dependientes, en relación con la implementación de la metodología BIM en la contratación pública. Esta comisión fue establecida mediante el Real Decreto 1515/2018 del 28 de diciembre y se constituyó en abril de 2019.

El Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) estableció en mayo de 2017 el Observatorio de Licitaciones Públicas BIM, como parte de la Comisión BIM. Su función es monitorear el progreso de la implementación de la metodología BIM en España y proporcionar información actualizada sobre el avance de la adopción de BIM en la contratación pública

El Gobierno de España fijó dos fechas claves para la implementación del BIM en proyectos públicos de construcción.

- ✓ El primero, a partir del 17 de diciembre de 2018, se hizo obligatorio el uso de BIM en todas las licitaciones de proyectos constructivos públicos de edificación que superen los 2 millones de euros de presupuesto.
- ✓ El segundo, el 26 de julio de 2019, marcó el comienzo de la obligatoriedad del uso de BIM en proyectos públicos de infraestructuras.

En base a los datos que nos aporta el Observatorio de Licitaciones (20 de diciembre de 2022), y haciendo referencia a las ilustraciones 6 y 7, se destaca un notable auge del número de licitaciones con contenido BIM en los pliegos. con un incremento del 25% en comparación con los valores del año pasado.



*Ilustración 6. Evolución número licitaciones*

*Fuente: Observatorio de Licitaciones Informe 20 - Cuarto Trimestre 2022*

Además, el valor presupuestario de estas licitaciones también se ha incrementado considerablemente, alcanzando una inversión de 1.388 M€ en el último trimestre del año

2022, lo que representa un aumento del 168% en comparación con el mismo periodo del año 2021 y un 97% si se compara con el tercer trimestre del año 2022.

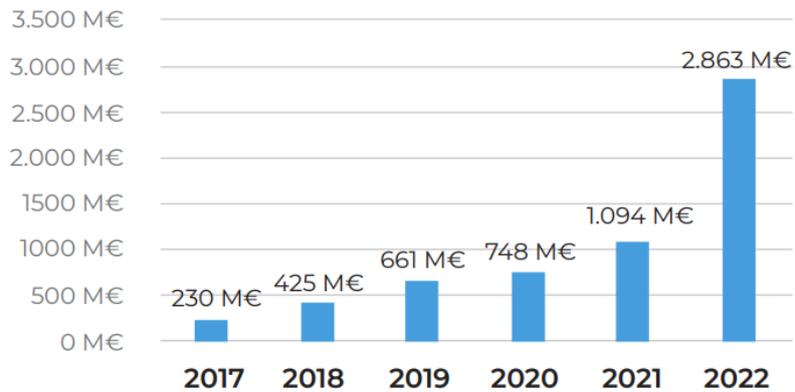


Ilustración 7. Evolución inversión acumulada (PBL sin impuestos)

Fuente: Observatorio de Licitaciones Informe 20 - Cuarto Trimestre 2022



Ilustración 8. Licitaciones promovidas por administraciones autonómicas, locales y diputaciones provinciales agrupadas por comunidades autónomas en 2022

Fuente: Observatorio de Licitaciones Informe 20 - Cuarto Trimestre 2022

Basándonos en la ilustración 8, Cataluña la comunidad autónoma sigue liderando el ranking de implantación BIM, seguida de lejos por la Comunidad de Madrid y Comunidad Valenciana. En cambio, Navarra y La Rioja se sitúan en los últimos puestos según los datos del observatorio.

Estos datos indican que la adopción de BIM en las licitaciones públicas sigue en aumento en España, y se espera que esta tendencia continúe en el futuro cercano.

## **2.2. HERITAGE BIM (H-BIM)**

### **2.2.1. Introducción**

En las últimas décadas, el sector de la construcción ha adoptado gradualmente la metodología BIM debido a los numerosos beneficios que aporta y a su capacidad para ahorrar recursos durante el diseño, la planificación y la construcción de nuevos edificios. Como resultado, se está convirtiendo en una práctica común. No obstante, el uso de BIM en el mantenimiento, remodelación/restauración o demolición de edificios existentes continúa siendo limitado. Aunque se está intensificando la investigación sobre la implementación de BIM en edificios existentes, con el objetivo de aprovechar sus ventajas en este tipo de construcciones.

Un caso particularmente desafiante dentro de este ámbito es el de los edificios históricos, ya que requieren adaptar los modelos BIM a sus características únicas. Para abordar esta necesidad, se han desarrollado los llamados modelos H-BIM (*Heritage Building Information Modeling*), que son modelos de información integrada de edificios patrimoniales. Estos modelos se han convertido en un nuevo sistema de gestión de la información en el ámbito de las intervenciones en el patrimonio cultural. (Merchán et al, 2018)

### **2.2.2. El concepto H-BIM**

El concepto de H-BIM (*Heritage Building Information Modeling*) se introdujo por primera vez en 2007 por Murphy et al. para describir el proceso de modelado y documentación de elementos arquitectónicos relacionados con el patrimonio. Esta tecnología es de particular interés en la creación de catálogos de arquitectura, ya que permite organizar la información en un modelo 3D único. Además, mediante un sistema

de gestión, es posible administrar la diversidad de contenidos y funcionalidades generados por los distintos especialistas involucrados en la conservación, protección, restauración y difusión del patrimonio. (Quintilla,2021)

H-BIM Comienza con la recopilación remota de datos, lo que significa que se capturan datos sin tener que intervenir físicamente en la estructura.

Para recopilar datos, se utilizan escáneres láser terrestres que capturan la geometría tridimensional de la estructura con gran precisión. Estos escáneres generan nubes de puntos que representan la forma y la ubicación de los elementos arquitectónicos.

Además de los escáneres láser, se utilizan cámaras digitales para capturar imágenes de alta resolución de la estructura, también puede incorporar ensayos no destructivos para evaluar el estado de la estructura. Es posible emplear diferentes técnicas para esto, entre las cuales se encuentran el uso de ultrasonidos, el análisis espectral y multiespectral, la fotogrametría, la termografía y la sonorización. Estas técnicas permiten detectar posibles problemas o daños en la estructura sin causar daños adicionales. Una vez que se han recopilado los datos, se utilizan programas de software especializados para combinar la imagen y los datos escaneados y crear modelos virtuales de las estructuras históricas. Estos modelos pueden incluir información detallada sobre la geometría, los materiales, los sistemas estructurales y otros aspectos relevantes de la edificación. (Murphy et al, 2009)

El objetivo principal de H-BIM es proporcionar una herramienta digital que permita documentar y preservar estructuras históricas de forma precisa y detallada. Estos modelos pueden utilizarse para realizar análisis estructurales, simular cambios o restauraciones, planificar proyectos de conservación y difundir el patrimonio cultural a través de representaciones virtuales interactivas.

### **2.2.3. El Patrimonio Cultural**

El patrimonio cultural se refiere a un conjunto de recursos que son heredados del pasado, creados en el presente y transmitidos a las generaciones futuras para su beneficio. En este sentido, el patrimonio cultural es tanto un producto como un proceso que proporciona a las sociedades una riqueza invaluable.

El patrimonio cultural incluye:

- Monumentos: obras arquitectónicas de esculturas o pinturas monumentales, elementos arqueológicos, inscripciones, cavernas y grupos de elementos que tienen un valor excepcional desde una perspectiva histórica, artística o científica.
- Se trata de agrupaciones o estructuras arquitectónicas, tanto aisladas como reunidas, que destacan por su excepcional valor histórico, artístico o científico, gracias a su arquitectura, unidad e integración en el paisaje.
- Engloba lugares creados por el hombre o en colaboración con la naturaleza, así como zonas, incluyendo sitios arqueológicos, que poseen un valor excepcional desde una perspectiva histórica, estética, etnológica o antropológica (UNESCO, 2014).

#### **2.2.4. Las dimensiones del H-BIM**

Aunque hay diferentes definiciones y números de dimensiones en el entorno H-BIM, generalmente se acepta que existen siete, que resumiremos a continuación. (Merchán et al, 2018)

- 2D

Para la creación de H-BIM, es crucial llevar a cabo una etapa primordial de documentación exhaustiva, en la que se recopila toda la información histórica del edificio. Aunque esta tarea puede plantear un desafío significativo en ocasiones, su ejecución facilita enormemente la fase de diseño al proporcionar una base sólida de conocimiento y orientación.

- 3D

En HBIM, la incorporación de esta dimensión se enfoca en generar un modelo 3D mediante la utilización de diversas tecnologías que permiten capturar de manera precisa la realidad, y posteriormente procesar de forma adecuada los datos adquiridos en la dimensión previa.

- 4D (la dimensión del tiempo)

Cuando se aborda un proyecto de restauración, la planificación del tiempo se vuelve aún más fascinante, dado que existe una alta probabilidad de encontrar obstáculos inesperados que requieran ajustar la idea original. El uso de la tecnología 4D-H-BIM permite simular virtualmente diversas soluciones y procesos, protegiendo así la integridad del edificio

hasta encontrar la mejor medida de acción posible. Además, esta herramienta registra la evolución del edificio a lo largo del tiempo, lo cual, si se gestiona adecuadamente, puede brindar a los equipos multidisciplinares herramientas hasta ahora desconocidas.

- 5D (la dimensión del costo)

En el caso de H-BIM, es importante resaltar que la capacidad de considerar todos los escenarios posibles en el modelo virtual ayuda a prevenir discrepancias y reducir errores. Además, al compartir el flujo de trabajo entre todos los involucrados, se puede actualizar el presupuesto en tiempo real.

- 6D (la sostenibilidad)

Esta dimensión necesita una especial dedicación en los entornos H-BIM, ya que en la mayoría de los casos los edificios patrimoniales no están sujetos a las normas de certificación de eficiencia energética. Un análisis del consumo de energía en la recreación virtual del edificio proporciona muchas herramientas para encontrar soluciones alternativas con el fin de empezar la adaptación a la normativa.

- 7D (el mantenimiento)

En el contexto de un edificio patrimonial, el ciclo de vida se centra en el uso, mantenimiento y reparación del mismo. En este sentido, la dimensión de H-BIM se encarga de la detección y control de problemas, así como de supervisar la evolución del monumento. Gracias a esta dimensión, se logra unificar los criterios y datos necesarios para preservar adecuadamente el edificio, poniéndolos a disposición de todos los profesionales responsables de esta tarea.

La ilustración 9 presenta una comparación entre las siete dimensiones de BIM, según se han definido hasta el momento, y las dimensiones para H-BIM. En esta representación, la longitud de cada barra indica la relevancia que cada dimensión posee en el contexto de BIM/H-BIM.



Ilustración 9. Representación de 7D BIM vs. 7D HBIM

Fuente: (Merchán et al, 2018)

### 2.2.5. Información Geométrica, No Geométrica y Semántica

El H-BIM se utiliza en construcciones existentes, como monumentos, edificios o áreas patrimoniales, aplicando el concepto de ingeniería reversa. Se analizan los procesos de construcción para mejorar el modelo, incorporando la mayoría de las características de manera precisa. El modelo de información resultante utiliza datos **geométricos** en una representación tridimensional a escala 1:1, así como datos **no geométricos** relacionados con elementos del proyecto, como información constructiva, materiales y patologías. Además, el modelo HBIM incluye información **semántica**, como antecedentes históricos, ubicación y contexto, lo cual permite abordar cuestiones como la evolución del modelo, el mapeo de datos, la gestión de datos temporales y la adaptación según el uso y usuario para el mantenimiento. Las dificultades actuales radican en la interoperabilidad técnico-sistémica y conceptual-informativa para la integración del modelo HBIM (Gutiérrez, 2022).

### 2.2.6. Niveles de desarrollo (LOD)

La implementación del BIM en el patrimonio histórico construido requiere una estrategia adecuada para subdividir el modelo en las partes necesarias y luego asociar los diferentes tipos de datos del sistema de información que se planea implementar. Los principales niveles de subdivisión del modelo se fundamentan en dos criterios: la secuencia de transformaciones y la configuración constructiva (resultado de un análisis estratigráfico, su naturaleza evolutiva). Estos dos criterios son complementarios, y la subdivisión se aplica siempre que uno de los dos lo indique, aunque en muchas ocasiones la subdivisión

constructiva se genera a lo largo de su secuencia de transformaciones y viceversa. De esta manera, se establecen cuatro niveles de desarrollo (Building SMART Spain (2018):

- LOD 100: Este nivel representa un modelo sin subdivisión alguna, es decir, es un elemento unitario. Por lo general, se obtiene directamente a partir de levantamientos con escáner láser o fotogrametría. El LOD 100 tiene la menor cantidad de ventajas para la gestión de información, pero requiere menos recursos para su creación.
- LOD 200: En este nivel, el modelo se divide en sus cuerpos constructivos fundamentales, como bloques, alas, pandas, torres, etc. También se considera la secuencia de transformaciones genérica, como fases, etapas o periodos históricos. El LOD 200 proporciona una mayor subdivisión y permite una mejor comprensión de la estructura.
- El LOD 300 involucra la segmentación del modelo en función de sus componentes constructivos, tales como cimientos, estribos, muros, vanos, tejados y bóvedas entre otros. Además, se tiene en cuenta la secuencia de transformaciones que ocurren desde los grados más amplios, como fases, etapas o periodos de construcción, hasta los grados de mayor detalle, que involucran actividades y unidades estratigráficas. En resumen, el LOD 300 permite organizar el modelo BIM de manera específica, mostrando la progresión constructiva y brindando mayor información detallada sobre cada elemento y proceso de construcción.
- LOD 400: El modelo se divide en función de los materiales de construcción utilizados (como bloques de piedra, sillares, ladrillos, carpinterías, losas, etc.) y la secuencia de transformaciones desde los niveles generales (fases, etapas, periodos) hasta los niveles de detalle más altos (actividades y unidades estratigráficas).
- LOD 500: El modelo se divide en función de los materiales de construcción utilizados (como bloques de piedra, sillares, ladrillos, carpinterías, losas, etc.) y la secuencia de transformaciones se realiza con el nivel de detalle más alto (unidades estratigráficas). Este nivel representa la máxima subdivisión y ofrece las mayores ventajas para la gestión de la información. Sin embargo, requiere una mayor cantidad de recursos para su creación.

### 2.2.7. Proceso del proyecto H-BIM

El diagrama de flujo, que se muestra en la ilustración 10, muestra la justificación del proyecto HBIM. El proyecto se basa en cuatro niveles de acción:

- **Auscultación del edificio histórico:** En esta etapa, se realiza un escaneo del edificio histórico para obtener medidas precisas y ajustar el modelado en el proyecto H-BIM a las dimensiones reales. La auscultación implica la recopilación de datos sobre la forma, la estructura y otros aspectos relevantes del edificio.
- **Texturizado del modelo con imágenes rectificadas por fotogrametría:** Una vez obtenido el modelo 3D del edificio, se aplica el proceso de texturizado. Esto implica asignar imágenes rectificadas, obtenidas a través de técnicas de fotogrametría, a las superficies del modelo. De esta manera, el modelo H-BIM tendrá una apariencia visual realista y detallada.
- **Identificación y catalogación de piezas irregulares:** Durante la auscultación y el modelado del edificio, se identificarán y catalogarán las piezas o elementos arquitectónicos irregulares. Estos podrían incluir elementos decorativos, ornamentales o cualquier característica única del edificio histórico. Esta información se incorporará al modelo H-BIM para su posterior gestión y documentación.
- **Gestión de la información por un equipo interdisciplinar:** En esta fase final, se establece un equipo interdisciplinario encargado de gestionar y utilizar la información recopilada en el proyecto H-BIM. Este equipo puede incluir expertos en arquitectura, ingeniería, conservación del patrimonio, entre otros. La gestión de la información implica organizar, analizar y utilizar los datos del modelo H-BIM para fines de conservación, mantenimiento y toma de decisiones informadas sobre el patrimonio arquitectónico.

El proyecto H-BIM se basa en un levantamiento geométrico preciso, que implica la recopilación de datos precisos sobre las características físicas del edificio histórico, y utiliza el sistema BIM como una herramienta para la creación y gestión del modelo de información. Además, permitirá un flujo retroactivo de datos por los participantes en el proyecto, esto significa que pueden acceder y utilizar la información del modelo H-BIM de manera bidireccional, lo que facilita la colaboración y el intercambio de datos entre los diversos agentes participantes (Building SMART Spain, 2018).

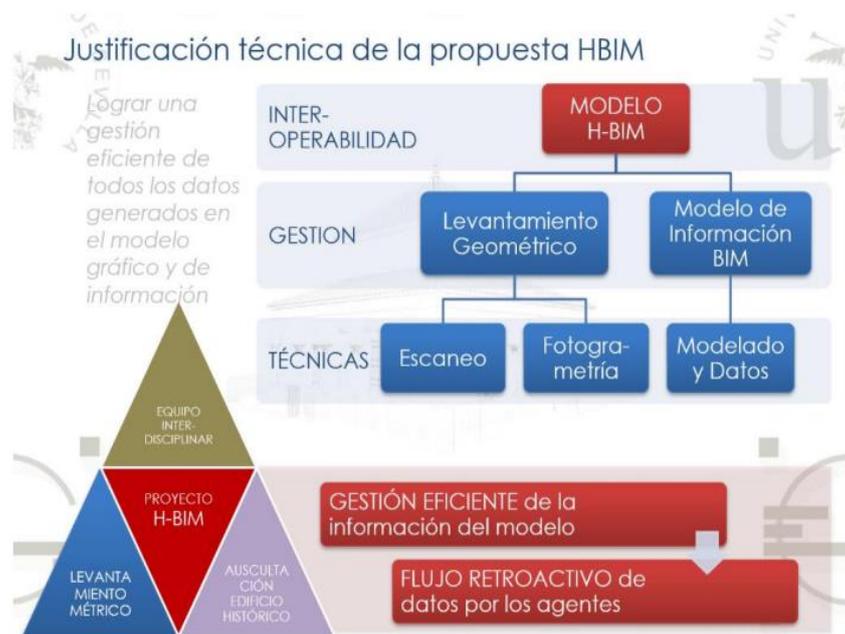


Ilustración 10. Justificación de la propuesta del Proyecto H-BIM.

Fuente: (Building SMART Spain, 2018)

La ilustración 11 presenta por su parte un Propuesta de fases para un proyecto H-BIM.



Ilustración 11. Propuesta de fases para un proyecto H-BIM

Fuente: (Building SMART Spain, 2018)

## **2.3. PUENTES DE FÁBRICA**

### **2.3.1. Introducción**

Tanto en la infraestructura de carreteras como en la de ferrocarriles, los puentes son unos de los componentes más críticos e indispensables.

“un puente ha sido, y es, sin género de duda, un elemento indispensable para el desarrollo de la civilización y de la cultura” (Arenas,2002).

Según (Aguilo,2008), “los puentes expresan la superación de un obstáculo, de una incomunicación, de una situación comprometida”.

Se consideran puentes aquellas obras en que se superan los 10 metros de luz libre (Ribera,1925).

Efectivamente, hay diversos tipos de puentes disponibles, cada uno diseñado para cumplir con requisitos y circunstancias específicas. No obstante, nos enfocaremos en este estudio en los puentes de fábrica.

Un puente de fábrica se define como obra de paso con una distancia horizontal libre entre apoyos mayor a 3 metros, que se construye utilizando materiales pétreos. Los materiales pétreos incluyen piedras en diferentes niveles de labrado, ya sea unidas o no con mortero de conglomerantes hidráulicos, hormigón en masa y ladrillos (CEDEX, 2013).

Los puentes de fábrica son extremadamente relevantes debido a su antigüedad promedio y a su abundancia. Estos puentes han sido predominantes en las redes de comunicación de todas las civilizaciones desde aproximadamente el año 2000 a.C., hasta bien entrado el siglo XX, cuando comenzaron a coexistir con los puentes metálicos y de hormigón. Aunque esta tipología casi desapareció a partir de la tercera década del siglo XX, tuvo un resurgimiento, especialmente en España, debido a las restricciones en el consumo de acero impuestas por la demanda de los países en conflicto durante la Segunda Guerra Mundial.

La importancia cuantitativa de los puentes arco de fábrica en España viene justificada por su número. La Red de Carreteras del Estado tiene una longitud de 26.459,261 km, soportando el 80% del tráfico total. Según el inventario general de puentes, los puentes arco de fábrica suponen el 30% del total (unos 3000 puentes). La composición de estructuras de la Red viene detallada en la Tabla 1.

Hormigón			Acero	Mixta	Relleno sobre bóveda
Masa	Armado	Pretensado			
10	2.165	3.843	13	224	2.925
1%	22%	38%	1%	2%	29%

Tabla 1: Numero de estructuras clasificadas en función de su tipología estructural.

Fuente: (Caro Álamo, 2001)

La Red Autonómica, de 72.553 km de longitud, no goza todavía de un inventario general de las estructuras de la red, aunque se sabe que el número total de Puentes arco de fábrica asciende a 3791 unidades, lo que, de nuevo, habla por sí solo de la importancia cuantitativa de estas estructuras. El caso ferroviario presenta las mismas características, casi el 40% de sus estructuras son de fábrica.

Rango de Luces	$2 < L < 10$	$L > 10$
Nº	3.160	631
Fábrica	60%	45%
Hormigón en masa	40%	55%

Tabla 2: Numero de estructuras de fábrica clasificadas en función de su luz.

Fuente: (Caro Álamo, 2001)

### 2.3.2. Materiales Constitutivos

A continuación, se describe de manera resumida los materiales que se emplean para la construcción de puentes de fábrica, la elección dependerá de los materiales cercanos a la zona, los claros a librar y las cargas impuestas al puente (Ribera, 1925).

- Fábricas de piedra:
  - ✓ **La piedra:** El material clásico y sin lugar a dudas el mejor. Se debe dar preferencia a aquella que sea dura y resistente. Todas las piedras son aceptables, siempre y cuando no sean heladizas ni se descompongan al agua o al aire.

- ✓ **Sillería:** La fábrica de piedras labradas con mayor o menor perfección, dependiendo de los cortes geométricos previos. Los arquitectos la llaman cantería, mientras que los ingenieros la denominan sillería, siendo cada pieza denominada sillar. Dependiendo de la importancia de las obras, los sillares pueden tener dimensiones muy diversas. Es recomendable, en la medida de lo posible, limitar las dimensiones de las hiladas a un máximo de 30 a 50 cm. Esto facilitará su manejo durante la construcción y, sobre todo, asegurará un ajuste adecuado en la obra sin perjuicio de su resistencia.
- ✓ **Sillarejo:** En la actualidad, los Ingenieros tienden a evitar o al menos disminuir el uso de sillería de grandes dimensiones, optando en su lugar por un tipo llamado sillarejo. En esta técnica, las hiladas no superan los 25 cm, manteniendo las mismas condiciones de labra. Esto resulta en una fábrica más fácil de desmontar, además de ser más económica en términos de adquisición, colocación y labra.
- ✓ **Mamposterías:** son fábricas construidas con piedras sin labrar de dimensiones que oscilan entre 20 y 50 cm en cualquier dirección, las cuales son colocadas por los mamposteros en el lugar de la construcción. Estas mamposterías se pueden clasificar en varios tipos, incluyendo mamposterías en general, en seco, ordinarias, careadas y concertadas.

- **Fábricas de ladrillo:**

Se utilizan diversos aparejos del ladrillo, todos son eficientes, siempre y cuando se alternen los ladrillos de tizón y sogá y no se alineen las juntas verticales en dos hiladas consecutivas. Después de nivelar una hilada, se aplica una capa de mortero, conocida como tendel, con aproximadamente dos centímetros de espesor, sobre la cual se coloca la siguiente hilada.

- **Fábricas mixtas de piedra y ladrillo:**

Se intercalan verdugadas de dos o más hiladas de ladrillo, y se ejecutan los elementos resistentes, también de ladrillo, macizando los huecos intermedios, con cajones de mampostería. Esta clase de fábrica es decorativa, pero su mano de obra es costosa y no parece adecuada para proyectos de obras públicas.

- **Morteros:**

Llamamos mortero, a la mezcla húmeda y íntima de arena y un aglomerante: cemento o cal.

- **Fábricas de Hormigón:**

El empleo del hormigón en la construcción de fábricas se impuso al de la piedra o ladrillo por su economía en la fabricación y puesta en obra y por el monolitismo de las fábricas así ejecutadas. Existen dos variaciones el hormigón en masa y el hormigón ciclópeo.

### **2.3.3. Clasificación de los elementos constitutivos de los puentes de fábrica**

Los puentes de fábrica pueden dividirse en dos categorías de elementos: estructurales y no estructurales.

- **Los elementos estructurales** estarán incluidos en alguno de los tres grupos siguientes: superestructura, subestructura e infraestructura.
  - ✓ La infraestructura o Cimentación es la parte de la construcción en contacto con el terreno realizada con el objeto de repartir convenientemente sobre él las cargas que le llegan.
  - ✓ La subestructura del puente, ubicada en su parte intermedia, tiene como función principal transferir las cargas desde la superestructura hacia la cimentación. Está constituida por muros, aletas, pilas, y estribos. Los estribos conforman los apoyos extremos del puente, teniendo además la misión de contención de tierras, en tanto que las pilas constituyen los apoyos intermedios cuando el puente tiene más de un vano.
  - ✓ La superestructura forma la parte superior del puente, abarca todos los componentes estructurales, como bóvedas, boquillas, rellenos y tímpanos, Su función es proporcionar una plataforma con las características adecuadas para permitir el tránsito de vehículos y personas sobre la estructura.
- **Los elementos no estructurales** pueden ser clasificados, en función de la parte de la estructura a la cual pertenecen, en:
  - ✓ Elementos afectados a la superestructura, constituidos, entre otros, por: gálibos, balizamiento, Impermeabilización, aceras, bordillos, impostas, barreras, barandillas o pretilas, señalización, pavimento, desagües superficiales, drenaje e iluminación.
  - ✓ Elementos ubicados en la subestructura como: mechinales, rellenos con material filtrante, tubos de drenaje, sistemas de tuberías y conductos, barreras de protección como escolleras, revestimientos.

- ✓ Elementos utilizados para proteger la infraestructura, como: escolleras, zampeados, gaviones, cunetas de guarda, plantaciones y barreras.

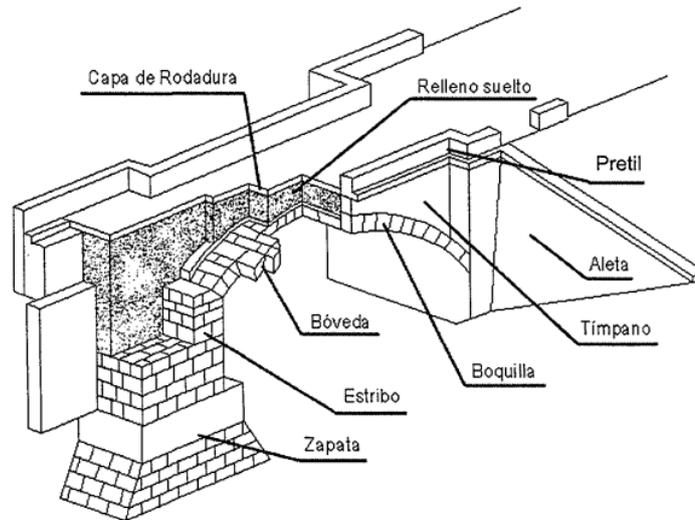


Ilustración 12. Elementos constitutivos de un puente de fábrica.

Fuente: (Caro Álamo, 2001) <https://oa.upm.es/647/1/04200107.pdf>

## 2.3.4. Descripción de los elementos estructurales de los puentes de fábrica

### 2.3.4.1. Cimentación

Existen dos formas de clasificar la cimentación: la primera se basa en su tipología, la cual puede ser superficial o profunda. La segunda forma de clasificación se centra en el material utilizado para su construcción, pudiendo ser de sillería y madera o de hormigón.

- **La cimentación superficial** se utiliza para transferir la carga de la pila directamente al estrato subyacente, que se supone es competente, a través de una zapata o losa de cimentación. Si el estrato inmediato se consideraba lo suficientemente adecuado, se optaba por una cimentación superficial como elección.
- **Profundas o indirectas:** La cimentación profunda o indirecta de los puentes de fábrica suele estar construida por elementos como pilotes, cajones o pozos, que trasladan el reparto de cargas a niveles profundos del terreno, cuando este no ofrece en superficie las características portantes adecuadas, a continuación, se presentan y describen los casos más importantes:
  - ✓ **Pilotes:** Los pilotes pueden ser de distintos materiales (madera, metálicos, hormigón) y tamaños según su época de construcción y están habitualmente unidos en su cabeza por una plataforma horizontal (emparrillado de madera o encepado de mampostería). Además, se garantiza la estabilidad de los conjuntos

de pilotes frente a los desplazamientos horizontales y se previene la socavación mediante la colocación de taludes de escollera tanto alrededor como dentro del conjunto.

- ✓ **Pozos:** Se podía lograr la construcción de pozos debajo del agua mediante el uso de obras provisionales o elementos auxiliares especiales. Para garantizar un espacio impermeable y seco donde llevar a cabo la excavación y construir los cimientos con métodos tradicionales, era posible emplear ataguías para contener el agua y luego drenarla por completo. Se podía proceder a la construcción del hormigón de los pozos de cimentación de una manera más reciente mediante la realización previa de un dragado en el terreno suelto. Luego, se creaba un área delimitada utilizando un cajón de madera sin fondo o utilizando pilotes y tablestacas de madera. A continuación, se protegía esa área con escollera y finalmente se llevaba a cabo la colocación del hormigón bajo el agua. (CEDEX,2013)

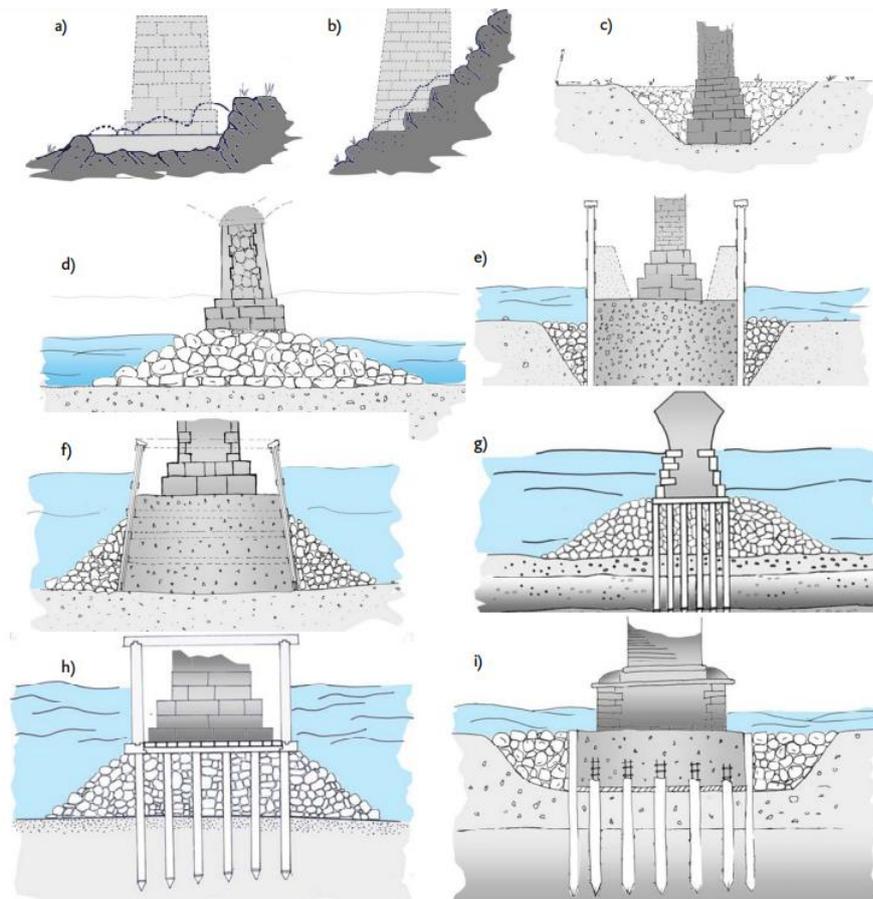


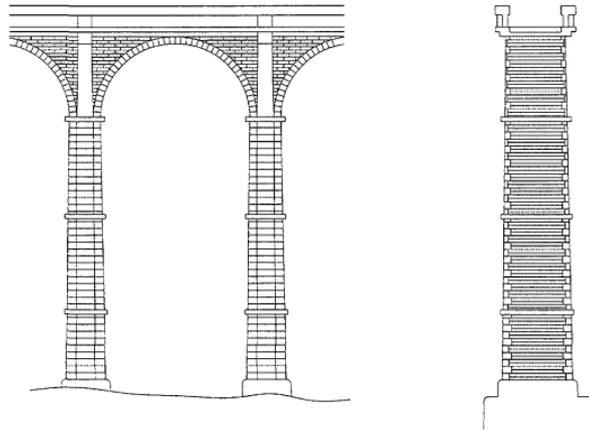
Ilustración 13. Tipologías de cimentación en puentes de fábrica. a) Cimentación directa en roca con excavación horizontal. b) Cimentación directa en roca con excavación escalonada. c) Cimentación directa sobre terrenos "flojos". d) Cimentación directa sobre escollera.

Fuente: (Espejo Niño, 2007)

### 2.3.4.2. *Subestructura*

La subestructura del puente está compuesta por las pilas y estribos, los cuales se erigen sobre la cimentación y funcionan como elementos de soporte fundamentales.

- **Los estribos** se definen como los puntos de apoyo ubicados en los extremos de los tramos o arcos principales. Su función principal es soportar las fuerzas generadas por las bóvedas y el empuje del terraplén. Gracias a su diseño robusto, cumplen adecuadamente con esta tarea. Por lo general, los estribos están compuestos por un muro frontal, acompañados de muros laterales y/o aletas.
- **Las pilas** son los pilares que sostienen los tramos intermedios del puente. Su principal función es transferir la carga de las bóvedas hacia los cimientos. Además, deben ser capaces de resistir las fuerzas externas que actúan directamente sobre ellas, como el viento o las riadas, etc. A lo largo de la historia, las dimensiones de las pilas han experimentado diversos cambios, convirtiéndose en los elementos estructurales más modificados en un puente arco de fábrica.



*Ilustración 14. Geometría de pila. Talud constante*

*Fuente: (Caro Álamo, 2001)*

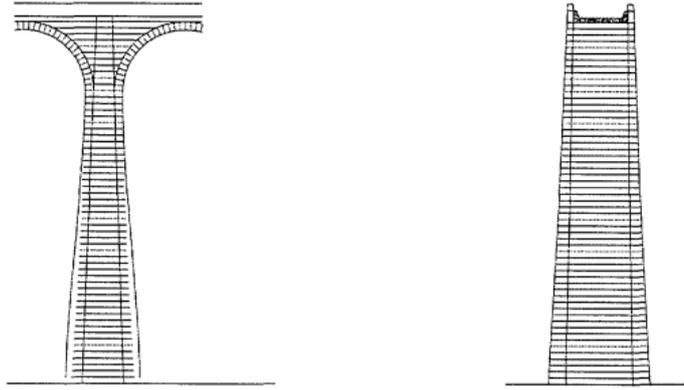


Ilustración 15. Pila de talud variable

Fuente: (Caro Álamo, 2001)

### 2.3.4.3. Superestructura

- **Las Bóvedas**

Son componentes estructurales fundamentales en los puentes de fábrica, partiendo de la coronación de las pilas y estribos. Su función principal es cubrir los espacios entre dos pilas o estribos, proporcionando resistencia a la compresión. Existen diversas variaciones en cuanto a su forma (geometría), los materiales utilizados (tipo de fábrica) y la carga que son capaces de soportar. Por lo tanto, resulta conveniente clasificarlas en base a estos criterios.

- ✓ la forma (geometría): las bóvedas se clasifican de varias maneras.
  - En primer lugar, se pueden clasificar según la forma de su planta. Las bóvedas pueden ser rectas, curvas o esviadas.
  - En cuanto a la segunda clasificación, se han seleccionado 4 parámetros geométricos que influyen en el comportamiento resistente de la bóveda de fábrica. Estos son:
    - 1- La luz libre entre los paramentos: bóvedas con una luz menor a 20.00 m, las que tienen una luz entre 20.00 m y 40.00 m, y las que poseen una luz superior a 40.00 m.
    - 2- La esbeltez de la bóveda, que se cuantifica mediante la relación entre el canto de la bóveda y la luz libre. Las bóvedas pueden ser consideradas esbeltas o robustas.
    - 3- El peralte, que se mide mediante la relación entre la flecha y la luz libre. Las bóvedas pueden ser rebajadas o peraltadas
    - 4- Bóvedas en base a la variación en su directriz: las bóvedas de medio punto, apuntadas, escarzanas, carpaneles, entre otras.

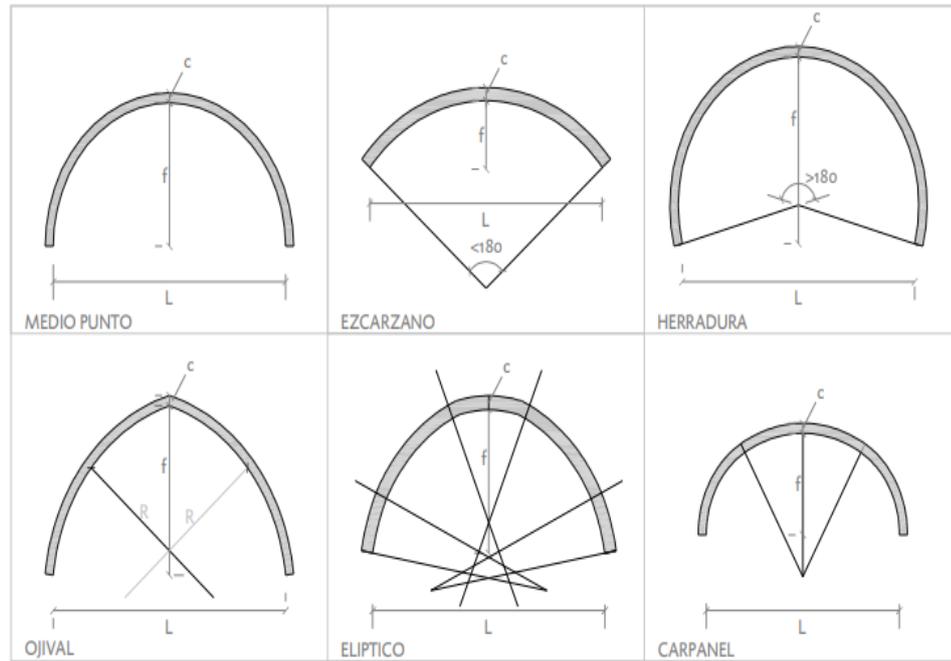


Ilustración 16. Ejemplos de posibles directrices en puentes arco

Fuente: (Espejo niño, 2007)

- ✓ los materiales (tipo de fábrica): En función del material utilizado en la bóveda se distinguen tres tipos diferentes:
  - Bóveda de fábrica de sillería.
  - Bóvedas de fábrica de ladrillo
  - Bóvedas en hormigón en masa.

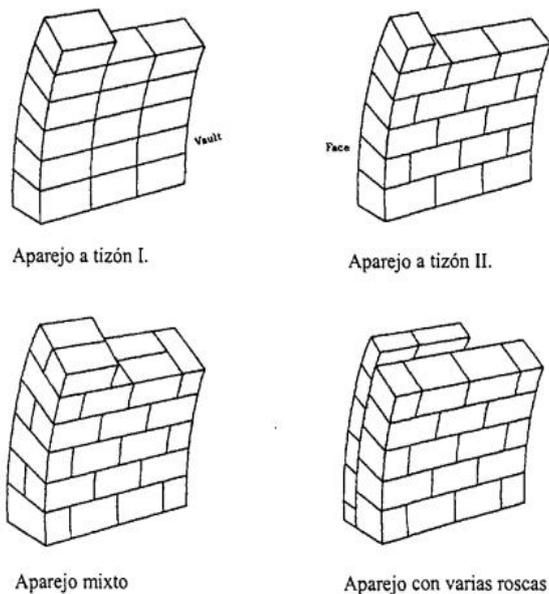


Ilustración 17. Tipos de aparejos utilizados en bóvedas de fábrica de ladrillo

Fuente: (Caro Álamo, 2001) <https://oa.upm.es/647/1/04200107.pdf>

- **Tímpanos**

Son elementos verticales que se encuentran adyacentes a las bóvedas a lo largo de la estructura. Su principal función es contener y confinar el relleno lateralmente, actuando como una estructura de contención de tierras. En la mayoría de los casos, los tímpanos son o llenos o macizos. La superficie exterior de los tímpanos es plana y completamente vertical, mientras que la cara interna puede tener una ligera pendiente o escalonamiento, lo que aumenta gradualmente el espesor del tímpano de arriba hacia abajo. En planta, la alineación de los tímpanos puede ser recta o tener variaciones lineales, mostrando un espesor máximo en los extremos de la bóveda y mínimo en la clave de la misma.

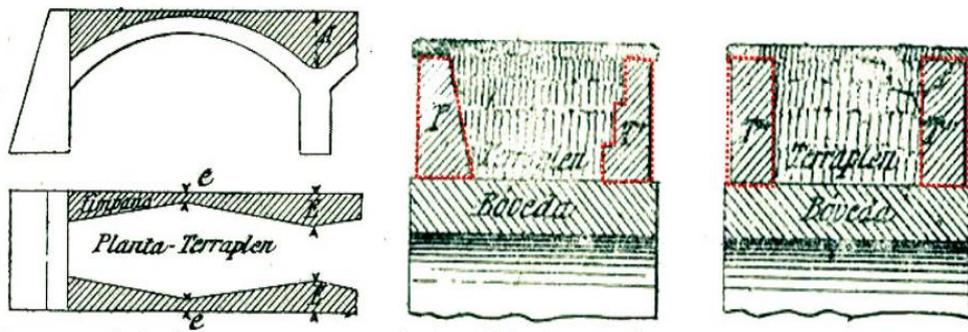


Ilustración 18. Alzado, planta y secciones transversales típicas de los tímpanos

Fuente: (Ribera 1929)

- **Rellenos**

Se refiere a todo material ubicado entre los tímpanos, en el espacio entre el intradós de la bóveda y la superficie de rodadura. Por lo tanto, se incluyen bajo esta denominación una amplia variedad de materiales en diferentes estados y condiciones. Por lo general, se pueden identificar dos tipos distintos de relleno: uno que se encuentra sobre las sillas de las pilas o estribos, compuesto principalmente por piedras unidas con algún tipo de ligante (relleno rígido o cementado); y otro que se sitúa encima del anterior y consiste en material suelto (relleno suelto o granular) (Espejo Niño, 2007).

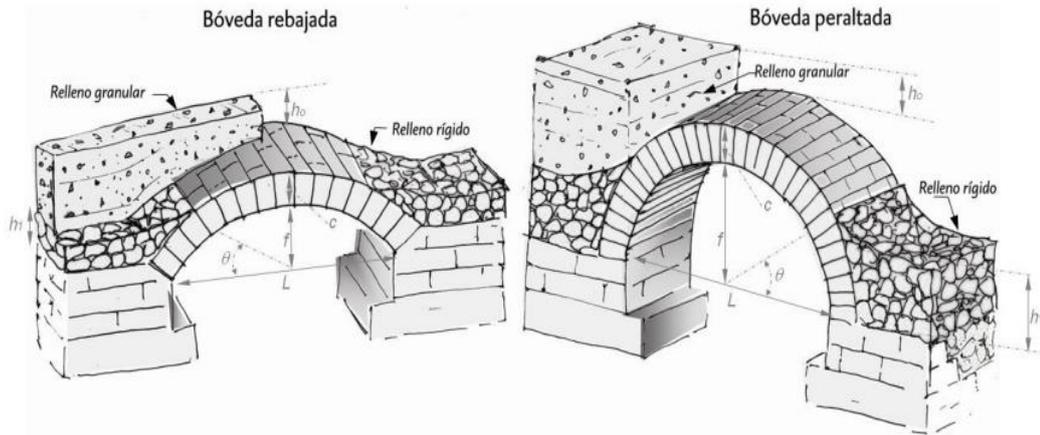


Ilustración 19. Esquema de la composición de los rellenos en un puente de bóvedas de fábrica.

Fuente: (Espejo Niño, 2007).

- ✓ El relleno rígido o cementado se localiza principalmente en la proximidad de los puntos de inicio de la bóveda, es decir, en la zona de transición entre la bóveda y las pilas o estribos. Puede estar compuesto por diversos materiales, como el hormigón romano elaborado con puzolanas, canto y cal, grandes piedras unidas con un mortero de cal, o bien hormigón ciclópeo que utiliza áridos gruesos o bolos en una matriz de mortero de cemento Pórtland. En algunos casos, se extiende a lo largo y ancho de toda la estructura, como sucede, por ejemplo, en los puentes romanos. La altura del relleno rígido es un factor determinante en la capacidad de resistencia final de la estructura, ya que la presencia de esta zona de mayor rigidez en los puntos de inicio mejora el comportamiento del puente.
- ✓ El relleno suelto o granular se refiere a la acumulación de materiales de diferentes tamaños, como arenas, limos o arcillas, que se encuentra normalmente en áreas cercanas a la clave o entre la parte superior del relleno cementado y el nivel de plataforma. Este tipo de relleno constituye la mayor proporción volumétrica en comparación con otros materiales. Su granulometría no es claramente definida y puede variar de una bóveda a otra. Por lo general, está compuesto por materiales naturales obtenidos de la excavación de la cimentación, del cauce del puente o de los desmontes de taludes cercanos.

La presencia del relleno ejerce una carga permanente que beneficia el comportamiento de la estructura. Además de su propio peso, genera una componente adicional que contribuye al comportamiento de la bóveda, ya que concentra las líneas de presión dentro de la bóveda, lo que aumenta su capacidad

(similar al efecto del pretensado). Además, el relleno suelto se encarga de distribuir las cargas aplicadas en la superficie de rodadura y transmitir las hacia el trasdós de la bóveda, reduciendo así el efecto local de las cargas. (Espejo Niño, 2007).



Ilustración 20. Secciones transversales de los puentes de la Riera de Rubí y de Urnieta. Se pueden diferenciar con claridad la bóveda y su aparejo, los tímpanos y su forma, además se comprueba la existencia del relleno rígido y relleno granular.

Fuente: (Espejo Niño, 2007)

### 2.3.5. Descripción de los elementos no estructurales de los puentes de fábrica

Dentro de los componentes adicionales de un puente de fábrica, se incluyen los siguientes elementos, los cuales se describirán de forma introductoria a continuación.

- **Plataforma:** Se encuentra sobre el relleno, que constituye el apoyo de los elementos necesarios para garantizar la funcionalidad del mismo: aceras, arcnos, pavimento, etc.
- **Pavimento:** que es la capa de material, habitualmente formada por un acabado de aglomerado asfáltico o hormigón, sobre la que se produce el contacto directo de la rodadura de los vehículos que circulan sobre la estructura.
- **Acabados:** son estos componentes, que no son de carácter estructural, pero que son examinados, son responsables de asegurar las condiciones funcionales y de comodidad de un puente. Entre ellos se incluyen los pavimentos, las aceras, el balizamiento, la señalización y los sistemas de drenaje.

### 2.3.6. Procesos patológicos comunes en puentes de fábrica

Para facilitar las labores en las inspecciones principales de los puentes de fábrica, es beneficioso contar con fichas de consulta rápida que contengan información concisa y

clara sobre los aspectos técnicos fundamentales relacionados con los daños más comúnmente identificados en las estructuras analizadas en este estudio.

El objetivo de la presentación y clasificación de las fichas de procesos patológicos, siguiendo la norma mencionada, es permitir al inspector identificar de manera rápida el daño específico que está observando en la estructura mediante síntomas claros (acompañados de ilustraciones y fotografías descriptivas). Esto se logra al incluir el proceso patológico real en el Catálogo, asegurando una fácil y precisa correspondencia. Se puede consultar el ANEXO 1 para ver las fichas.

### ***2.3.6.1. Clasificación de los procesos patológicos***

Se han clasificado las patologías en dos categorías principales en función de la ubicación en el puente donde se detectan: infraestructura y resto de la estructura.

Las fichas del primer grupo incluirán todos los defectos que se generan y se pueden observar directamente, ya sea con mayor o menor facilidad, en la infraestructura o cimentación. La presencia de estos defectos puede ocasionar daños en los elementos estructurales superiores.

El segundo grupo, que abarca los procesos patológicos presentes tanto en la subestructura como en la superestructura, se divide en tres subgrupos que abordan lo siguiente: los daños visibles en forma de fisuras, grietas o movimientos en algún elemento estructural que se encuentra sobre la cimentación, los deterioros que afectan a aspectos o elementos funcionales del puente, y las degradaciones de los materiales constitutivos que componen la estructura.

Como resultado, se han identificado finalmente los cuatro tipos más comunes de daños en cuestión:

- **CIM:** Este grupo engloba todos los posibles daños que pueden afectar directamente a la infraestructura o la cimentación, incluso si no son fácilmente visibles a simple vista. Dentro de esta categoría se incluyen defectos como los causados por la socavación de la base, la erosión de los elementos o la degradación de los materiales constituyentes. La presencia de procesos patológicos en la cimentación puede o no tener impacto, dependiendo de sus características y nivel de desarrollo, en la aparición de otras lesiones detectables en el resto de la estructura, las cuales también requerirán ser evaluadas.

- **FIS:** Bajo esta clasificación se incluyen los daños que se presentan como fisuras, grietas o movimientos detectables en los diversos elementos de la subestructura y la superestructura, como pilas, estribos, muros, arcos, bóvedas y tímpanos. Estas lesiones pueden originarse tanto por deficiencias estructurales en la parte visible de la construcción como por un comportamiento inadecuado de la cimentación que le proporciona soporte.
- **FUN:** Este subgrupo engloba los defectos asociados exclusivamente a aspectos funcionales y de equipamiento de la obra, tanto aquellos que afectan directamente a la seguridad vial y al uso de la plataforma de paso, como aquellos que buscan garantizar la estanqueidad, un buen drenaje y la protección de la superestructura y del relleno. La presencia prolongada de defectos funcionales en el puente también tendrá repercusiones a medio plazo en el rendimiento y la durabilidad de la estructura en su conjunto, por lo que es imprescindible abordar y solucionar los deterioros de manera prioritaria (CEDEX, 2013).
- **ALT:** Bajo esta categoría se engloban los procesos patológicos que surgen como resultado de la degradación de los materiales estructurales constitutivos tanto de la subestructura como de la superestructura de los puentes, como la piedra y el mortero. Aunque estos procesos de degradaciones suelen ser gradualmente progresivos, tienen un impacto considerablemente negativo en la apariencia estética del puente y pueden reducir significativamente su vida útil si no se toman medidas oportunas para detenerlos a tiempo (CEDEX, 2013).

### 2.3.6.2. *Índice de catálogo de los procesos patológicos más comunes en puentes de fábrica*

En la Tabla 4 se presenta el catálogo de las patologías más comunes encontradas en puentes de fábrica, según lo establecido por la CEDEX. Además, para una representación gráfica de las diferentes lesiones, se puede consultar el ANEXO 2.

Referencia	Descripción
CIM-01	Socavación de cimentaciones superficiales.
CIM-02	Socavación de cimentación ejecutada con pilotes.
CIM-03	Disgregación de cimientos por disolución o alteración química.
CIM-04	Degradación de las cabezas de pilotes y/o de los emparrillados de madera.
ALT-01	Erosión.
ALT-02	Depósitos salinos (Eflorescencias/Concreciones/Incrustaciones/Costras Negras).
ALT-03	Desplacación o lajación.
ALT-04	Desagregación (Arenización/Pulverización/Descohesión).

ALT-05	Alveolización.
ALT-06	Pérdida de material de juntas.
FIS-01	Fisuración o agrietamiento oblicuo de la bóveda.
FIS-02	Flecha diferencial de la bóveda respecto a tímpanos y boquillas.
FIS-03	Fisuración o agrietamiento longitudinal en franja central de apoyos y bóveda.
FIS-04	Deslizamiento y/o caída de dovelas de bóveda.
FIS-05	Giro con tendencia al vuelco de tímpanos.
FIS-06	Deslizamiento horizontal de tímpanos.
FIS-07	Fisuración o agrietamiento de la bóveda en la unión con las boquillas.
FIS-08	Fisuración o agrietamiento inclinado del borde de pila o estribo.
FIS-09	Abombamiento de tímpanos.
FIS-10	Fisuración o agrietamiento en cabeza de pila o estribo bajo apoyo de tableros.
FIS-11	Fisuración transversal del intradós en la clave y del trasdós en los arranques.
FIS-12	Fisuración transversal del intradós en los arranques y del trasdós en la clave.
FIS-13	Fisuración transversal, asimétrica y alterna de la bóveda.
FIS-14	Fisuración transversal del intradós a la altura de los riñones.
FIS-15	Fisuración o agrietamiento en muros de acompañamiento y aletas, junto a estribos.
FIS-16	Asientos absolutos o diferenciales de pilas o estribos.
FIS-17	Rotura de aristas y esquinas de sillares.
FUN-01	Desplazamiento, daños o rotura de peto.
FUN-02	Disminución de la capacidad de desagüe bajo el puente.
FUN-03	Depósitos superficiales (enmugrecimiento, suciedad).
FUN-04	Desprendimiento del revestimiento.
FUN-05	Manchas de humedad o inadecuado funcionamiento de los mechinales.
FUN-06	Crecimiento y desarrollo de vegetación.

Tabla 3: Catálogo de patologías más frecuentes en puentes de fábrica.

Fuente: Información original de (CEDEX, 2013)

### 2.3.6.3. Características de las fichas de daños

La información proporcionada en las fichas tiene como objetivo tanto facilitar la toma de decisiones inmediatas, incluso en situaciones urgentes, respecto a las acciones necesarias a tomar en cada caso, como unificar los criterios utilizados en la evaluación y gestión integral de los puentes. Cada ficha de daño incluida en el catálogo brinda información relevante sobre los aspectos técnicos fundamentales que pueden afectar el diagnóstico y las recomendaciones generales resultantes de este proceso.

La información técnica proporcionada en las fichas de daño incluye los siguientes datos:

- **Descripción somera:** se presenta una breve descripción del defecto y de la ubicación en la que ocurre, permitiendo identificar claramente el tipo de lesión.

- **Descripción gráfica:** se incluye un dibujo o una fotografía que ilustra de manera gráfica el tipo de defecto que se está analizando.
- **Síntomas:** se detallan las apariencias y características externas que suelen presentar los procesos patológicos que pertenecen al grupo mencionado.
- **Causas probables:** Explicación breve de las posibles causas que han podido influir de manera directa o indirecta en la aparición y progresión del daño.
- **Alcance:** se evalúa el alcance del daño teniendo en cuenta los siguientes aspectos:
  - ✓ Grado de desarrollo del deterioro: se clasifica como ligero o notable.
  - ✓ Extensión del daño: porcentaje reducido o considerable de la zona total que puede ser afectada por el deterioro.
  - ✓ Edad del daño: se distingue entre daños antiguos o recientes.
  - ✓ Gravedad del daño: se evalúa si es inofensivo o peligroso.
  - ✓ Funcionalidad residual del elemento: se considera la capacidad del elemento afectado para cumplir o no su función de acuerdo con los requerimientos actuales.
  - ✓ Daños inducidos: se identifican los deterioros que el elemento afectado por la lesión ha causado o puede causar en otros elementos.
- **Posible evolución:** obviamente en buena parte de los casos es difícil predecir cual será la evolución de los daños. Ante esta frecuente incertidumbre, puede ser de mayor utilidad estimar cuales pueden ser las condiciones de seguridad y funcionalidad de la estructura si el proceso patológico progresa.
- **Actuaciones:** a partir de todas las informaciones anteriores, se proponen las actuaciones futuras que se consideran más oportunas en cada caso.
- **Mantenimiento preventivo:** labores periódicas de mantenimiento que es aconsejable que realicen los equipos permanentes de mantenimiento de carreteras, con los limitados medios materiales y humanos de que disponen, para prevenir o evitar que progresen determinados daños.
- **Reparaciones y refuerzos:** tipos de reparación o refuerzos que “a priori” parecen adecuados para resolver las deficiencias provocadas por las lesiones y garantizar los niveles exigibles de seguridad, funcionalidad y durabilidad del puente.

## **2.4.SISTEMAS DE GESTIÓN DE PUENTES**

### **2.4.1. Introducción**

Es fundamental para cualquier sociedad priorizar la conservación y el mantenimiento adecuado de las infraestructuras. No obstante, ya sea debido a razones estructurales o circunstanciales, aquellos encargados de esta responsabilidad no brindan la atención ni los recursos necesarios para llevar a cabo dicha tarea. Es evidente que la inversión destinada a la conservación de los activos ha sido históricamente insuficiente, incluso en naciones desarrolladas (Yepes, 2016).

Desde hace años, los expertos han ido adquiriendo la creciente conciencia de que los puentes no son “eternos”, ni tienen una vida ilimitada. Experimentan deterioros y achaques, cuyas causas se encuentran en su uso excesivo, así como en su exposición constante a condiciones climáticas adversas, la influencia de corrientes de agua, la invasión de vegetación parasitaria y, lamentablemente, a veces también debido a acciones humanas poco precisas.

Todo esto conlleva a problemas en el servicio (como movimientos, apertura de juntas, etc.) y a preocupaciones crecientes en cuanto a seguridad. Lo negativo es que, mientras algunos daños se presentan de forma gradual y advierten de su presencia, como las arrugas o la vista cansada en los seres humanos, indicando el proceso de envejecimiento, otros se manifiestan de manera oculta, clandestina y traicionera, lo que significa que el colapso puede ocurrir de repente y de manera frágil, cuando todo parecía ser resistente y prometía perdurar. Estos tipos de fallos son comparables a un infarto, un derrame cerebral y otras sorpresas dramáticas.

Conscientes del problema, Numerosas administraciones en todo el mundo han implementado una serie de acciones para mejorar la gestión del patrimonio de puentes bajo su responsabilidad. En España, tanto el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana como otras entidades, tanto públicas como privadas, han estado implementando desde hace varios años un sistema que refleja las etapas del proceso de gestión de estructuras en régimen de explotación. (León González, 2006).

### **2.4.2. Concepto de sistema de gestión de puentes (SGP)**

La gestión de puentes puede describirse como el conjunto de medidas que se implementan para asegurar la seguridad y el rendimiento óptimo de las estructuras bajo gestión,

maximizando la eficiencia de los recursos disponibles. Es importante destacar que esta gestión no se limita únicamente a la etapa de servicio del puente, sino que debe comenzar lo antes posible, preferiblemente durante las fases de diseño, proyecto y ejecución (Cañamares, 2016).

Los sistemas de gestión de puentes están compuestos por diferentes módulos básicos que presentan una estructura modular. Estos módulos incluyen:

- Inventario.
- Inspección y evaluación.
- Apoyo a las decisiones y la gestión. Matrices de decisión.
- Catálogo de daños.

Estos sistemas deben proporcionar al gestor información relevante para la toma de decisiones en base a las inspecciones y evaluación de la condición de los puentes. Esto implica simular diferentes escenarios de acción con el fin de predecir el nivel de conservación futuro de cada componente, de esta manera optimizando los recursos económicos destinados a acciones que extiendan la vida útil de los puentes de la red y garanticen un nivel de servicio óptimo.

Además, estos sistemas deben ofrecer criterios objetivos para determinar el momento oportuno para llevar a cabo medidas de conservación. Se consideran tanto los beneficios de la inversión como los riesgos asociados al crecimiento de los deterioros con el tiempo, los cuales podrían resultar en costos de reparación mucho más altos. (Yepes, 2018)

#### **2.4.3. Etapas generales de sistema de gestión de puentes (SGP)**

Aunque no es una tarea fácil debido al posible condicionamiento económico al que pueda enfrentarse la administración gestora, lo cual podría requerir restricciones en el gasto por debajo de límites que garanticen la eficiencia en las tareas de gestión, se proponen las siguientes etapas generales según diversas metodologías de sistemas de gestión de puentes:

- Definición de los elementos estándar presentes en un puente.
- Realización de un inventario y creación de una base de datos que contenga información sobre los puentes y los elementos existentes en ellos.
- Inspección de los puentes para identificar las anomalías en cada elemento, así como el desarrollo de modelos que permitan predecir su deterioro futuro.

- Establecimiento de estrategias de conservación y mantenimiento específicas para cada conjunto de elementos y todas las anomalías detectadas.
- Generación de modelos de optimización y toma de decisiones para mejorar los procesos.

En términos generales, se ha producido un progreso significativo en los países desarrollados en los últimos años en cuanto al inventariado y la creación de bases de datos. Sin embargo, todavía hay aspectos pendientes en las etapas finales de implementación de sistemas de gestión, como los modelos de predicción y la toma de decisiones, que presentan vacíos y áreas de mejora (Yepes, 2018).

Todas estas etapas se reflejan en el Esquema de funcionamiento representado en Ilustración 21 que se muestra a continuación:

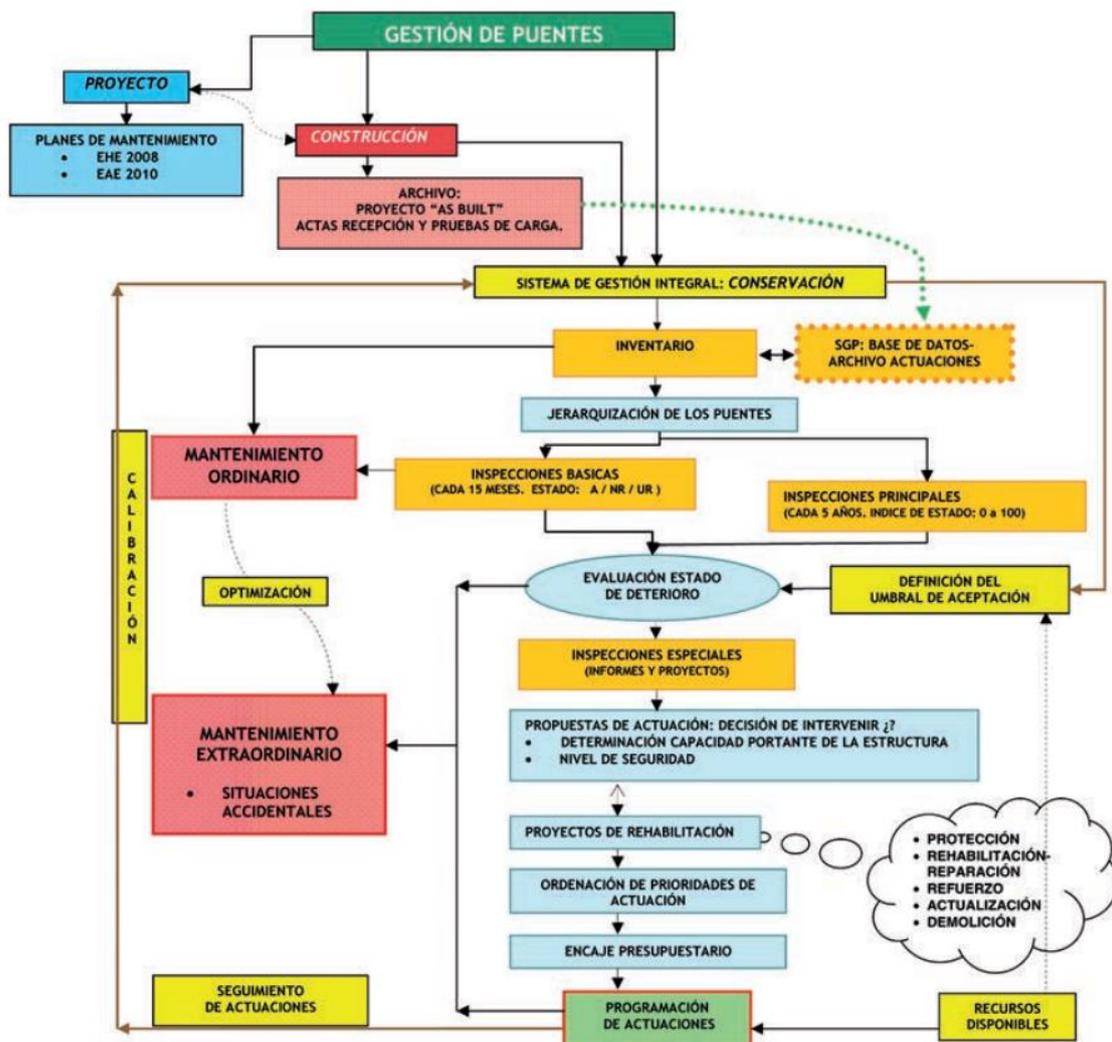


Ilustración 21. Esquema de funcionamiento del sistema de gestión de puentes

Fuente: (Ministerio de Fomento, 2012)

#### **2.4.4. Inventarios del SGP**

El inventario de puentes se basa en el almacenamiento de forma ordenada de las propiedades que caracterizan a cada puente. Para lograr un acceso eficiente a esta información, se suelen emplear “bases de datos” en los que se pueden encontrar tres tipos de datos: alfanuméricos (fichas de inventario), planos y fotos

En las fichas de inventario (revisa el ANEXO 3) se deben recopilar todos los datos que definen cada obra de fábrica agrupados por conceptos afines. Para cada puente, se especificarán los siguientes datos:

- Datos administrativos.
- Datos de identificación o localización, como carretera, kilómetro, provincia, etc.
- Datos tipológicos y de materiales que constituyen sus principales elementos.
- Datos geométricos, como el número de vanos, longitud, anchura de la plataforma, luz máxima, altura de las pilas, etc.
- Datos funcionales, como el número de carriles y la presencia de aceras.
- Datos de limitaciones de explotación, como la existencia de limitación de gálibo horizontal o vertical, restricciones de carga o velocidad.

Además de toda esta información, es necesario que la definición de cada puente incluya un plano informatizado que represente, al menos, la planta, el alzado y la sección tipo de la obra de fábrica en cuestión.

Para concluir, es necesario agregar las fotografías del puente a la base de datos, incluyendo al menos una vista lateral y otra de la plataforma.

#### **2.4.5. Inspecciones en puentes**

##### **2.4.5.1. Inspección Básica**

Es el primer paso en las inspecciones, realizado por el personal encargado de mantener regularmente la carretera, aunque no necesariamente cuentan con experiencia en aspectos estructurales. Sin embargo, reciben una formación básica para identificar visualmente problemas importantes de manera temprana, evitando así la necesidad de esperar a inspecciones de niveles superiores que podrían empeorar el problema con el tiempo. Estas inspecciones se registran en fichas básicas (consulta el ANEXO 3) que se adjuntan a los informes de mantenimiento de la red vial (Cañamares, 2016).

La frecuencia de esta inspección es de uno o dos años. No obstante, siempre que sea necesario, se podrá llevar a cabo una nueva inspección básica.

#### **2.4.5.2. Inspección Principal**

La Inspección Principal es una minuciosa evaluación visual del estado de todos los elementos del puente, representando una verdadera exploración exhaustiva del mismo. En principio, no requiere el uso de métodos extraordinarios. Estas inspecciones deben ser llevadas a cabo por personal especializado, bajo la supervisión de un ingeniero. Se recomienda realizar la primera Inspección Principal, conocida generalmente como Inspección cero, un poco antes de que el puente entre en servicio, ya que servirá como punto de referencia para determinar la evolución de los daños.

Un tipo particular de inspección principal es la denominada inspección detallada, en ambos tipos de inspección se obtiene el mismo tipo de datos y ambas son de carácter visual (no se realizan ensayos, cálculos, estudios, etc.), se recomienda que el intervalo medio entre dos inspecciones principales sea de 5 años, el intervalo puede ser reducido, dependiendo de la presencia de anomalías detectadas en inspecciones previas y de las frecuencias de inspección establecidas en el sistema de gestión. Las cuatro zonas en donde se centra la inspección son la cimentación, subestructura, superestructura y equipamientos, además del cauce si lo hubiera.

Cada vez que se detecte un daño en un elemento específico, se registran en el campo tres índices (índices de extensión, gravedad y evolución) que evalúan el daño desde diferentes perspectivas. Utilizando estos datos obtenidos en campo y mediante algoritmos integrados en el Sistema de Gestión, se obtiene un índice del deterioro y un índice del estado (o condición de la estructura) para cada daño (Ministerio de Fomento, 2012).

A continuación, en la tabla 3 se muestra el índice del deterioro y el índice del estado para el caso del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana en España.

Valor	Índice de deterioro significado	Índice de estado
<b>0 - 20</b>	Deterioro sin consecuencias importantes.	Estructura sin patologías evidentes o con deterioros sin consecuencias relevantes para la durabilidad, condiciones de servicio o seguridad de la estructura
<b>21 - 40</b>	Deterioro que puede tener una evolución patológica o reducir las condiciones de servicio o de durabilidad si el elemento no se repara en el tiempo adecuado	Estructura con deterioros que pueden tener una evolución patológica que afecte a la durabilidad o a las condiciones de servicio de la estructura. Es conveniente seguir su evolución temporal para su determinación objetiva.
<b>41 - 60</b>	Deterioro que indica una patología que supone una reducción de las condiciones de servicio o de la durabilidad del elemento.	Estructura con deterioros que evidencian una patología que puede suponer una reducción de las condiciones de servicio de la durabilidad de la estructura. Será necesario seguir una evolución de la patología en las posteriores inspecciones. Puede requerir una actuación a medio plazo para mejorar la durabilidad de la estructura.
<b>61 - 80</b>	Deterioro que se puede traducir en una modificación del comportamiento resistente o funcional	Estructura con deterioros o patologías que se pueden traducir en una modificación del comportamiento resistente o una reducción importante de los niveles de servicio. Requiere una actuación a corto-medio plazo. En función de la naturaleza del daño puede requerir una inspección especial.
<b>81 - 100</b>	Deterioro que compromete la seguridad del elemento	Estructura con deterioros o patologías que comprometen la seguridad del elemento/estructura. Requiere una inspección especial y una actuación urgente. En algunos casos puede ser necesario una limitación del uso.

Tabla 4: Cuantificación del estado de conservación de un puente.

Fuente: (Ministerio de Fomento, 2012)

La Inspección Principal implica una completa evaluación visual de todos los elementos visibles del puente, y debe realizarse de manera sistemática para evitar errores u omisiones. Se realizará siguiendo las siguientes etapas de forma secuencial:

- 1- Inspección del perímetro inferior de los paramentos verticales de los estribos y de las caras laterales del tablero.
- 2- Inspección en patrón de “zig-zag” desde la parte inferior del tablero.
- 3- Inspección del perímetro superior del tablero y los equipos.

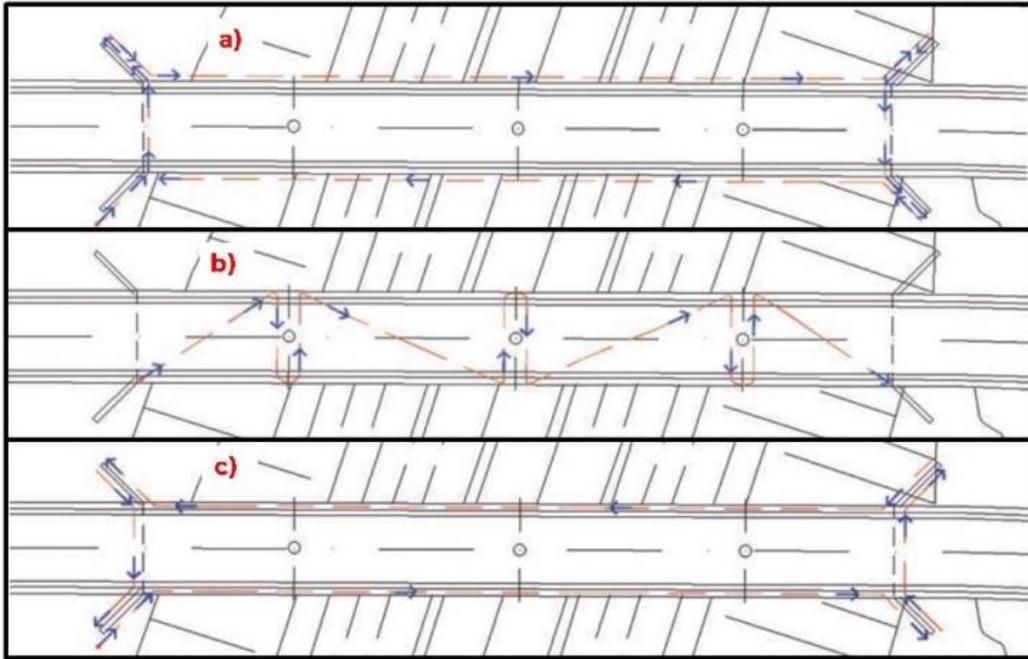


Ilustración 22.a) Inspección perimetral inferior. b) Inspección Zigzag inferior. c) Inspección de la cara superior del tablero y equipamientos.

Fuente: (Ministerio de Fomento, 2012)

### 2.4.5.3. Inspección Especial

Las Inspecciones Especiales se llevan a cabo de manera diferente a las demás, ya que no se realizan de manera sistemática o periódica. En su lugar, surgen principalmente como resultado de los daños detectados en una Inspección Principal o, en casos excepcionales, debido a situaciones singulares como impactos de vehículos, daños causados por riadas u otros desastres naturales, etc. Estas inspecciones requieren la presencia de técnicos y equipos especializados.

Durante la Inspección Especial, además de llevar a cabo una evaluación visual, es necesario realizar ensayos de caracterización y mediciones adicionales. Este nivel de evaluación implica la necesidad de elaborar un plan detallado antes de la inspección, que establezca y valore los aspectos a estudiar, así como las técnicas y recursos a utilizar.

En general, las acciones a realizar en las estructuras de paso como resultado de los hallazgos de la inspección requieren la redacción de un informe de caracterización y evaluación de daños, o un proyecto de reparación.

Es importante mencionar que, en todos los niveles de inspección, debido a su enfoque principalmente visual, algunos deterioros solo se hacen evidentes durante las

reparaciones, cuando se realiza una limpieza específica de las superficies. Incluso en las Inspecciones Especiales, aunque se pueden utilizar diversos métodos, no es común realizar este tipo de limpiezas previas de manera habitual.

## **2.5. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA FOTOGRAMETRÍA**

### **2.5.1. Principios de la fotogrametría**

Las técnicas fotogramétricas han sido utilizadas anteriormente por Durero y Leonardo da Vinci, pero el término “fotogrametría” fue acuñado por el arquitecto alemán Meydenbauer a finales del siglo XIX. Meydenbauer comenzó a utilizar perspectivas fotográficas para realizar representaciones en 3D de distintas estructuras arquitectónicas. El término “fotogrametría” tiene su origen en el griego y podría interpretarse como “la medición de lo escrito con luz”.

En un sentido más formal, la fotogrametría se considera una disciplina que emplea perspectivas fotográficas para realizar mediciones indirectas de objetos. En otras palabras, su objetivo principal es obtener información tridimensional de los objetos a partir de medidas tomadas en fotografías.

La fotogrametría permite realizar un levantamiento completo, mostrando todos los detalles y deformaciones de una manera objetiva y precisa sin necesidad de tocar el objeto a levantar ni causar ningún deterioro. Además, ofrece una mayor velocidad en comparación con otras técnicas.

El Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS) dice: “la fotogrametría ofrece la solución inmediata, óptima y generalmente única a los problemas que presenta un levantamiento” (Buill et al, 2007).

### **2.5.2. Clasificación de la fotogrametría**

Basándonos en la definición previa, podemos identificar dos principales áreas en el campo de la fotogrametría: la fotogrametría métrica y la fotogrametría interpretativa.

La fotogrametría métrica se enfoca en obtener información cuantitativa bidimensional y tridimensional a partir de imágenes fotográficas. El objetivo principal es realizar mediciones precisas y localizar puntos de interés con la máxima exactitud. A través de este enfoque, se pueden generar planos topográficos y obtener datos métricos detallados.

Por otro lado, la fotogrametría interpretativa se ocupa de reconocer e identificar objetos y sus significados a partir de un análisis minucioso de las imágenes fotográficas, infrarrojas, de radares y otros tipos de imágenes. Este enfoque se centra en la interpretación visual y la extracción de información cualitativa (Cuellar, 2014).

La fotogrametría se divide en dos categorías:

- Según la ubicación del sensor durante la captura de imágenes: **terrestre y aérea**. La fotogrametría terrestre presenta la limitación de no poder cubrir toda la superficie debido a la obstrucción causada por los elementos fotografiados. Los objetos más cercanos al punto de captura ocultan a los que se encuentran detrás de ellos. Por otro lado, la fotogrametría aérea logra capturar todos los elementos del terreno, ya que están aproximadamente a la misma distancia y no hay objetos que oculten otros.
- Según el tipo de sensor utilizado, la fotogrametría puede ser clasificada en diferentes categorías, tales como: estereofotogrametría (utilizando pares de fotogramas), fotogrametría monoscópica (usando fotografías independientes), holografía (mediante hologramas), fotogrametría submarina etc.

Como se mencionó previamente, la fotogrametría requiere realizar una captura fotográfica completa del objeto que se desea modelar, creando así un modelo fotogramétrico que se puede observar de manera estereoscópica.

La estereofotogrametría posibilita obtener un modelo idéntico al original utilizando un par de fotografías. La capacidad de trabajar con visión estereoscópica permite observar este modelo y medir con precisión las líneas, superficies y volúmenes del objeto a capturar. Podemos afirmar que la estereofotogrametría es el método más efectivo para obtener modelos tridimensionales con formas geométricas complejas (Buill et al, 2007).

### **2.5.3. Herramientas utilizadas para la fotogrametría**

Entre las herramientas requeridas para generar el modelo de la estructura, se incluyen: una cámara fotográfica y un software de procesamiento de imágenes que transforma estas fotografías en un modelo de nube de puntos.

- **Cámara fotográfica**

Dentro del ámbito de la fotogrametría y la adquisición de imágenes destinadas a la generación de modelos tridimensionales, se emplean diversas categorías de cámaras con el propósito de capturar imágenes de alta calidad y precisión.

- **Fotogrametría terrestre:** La cámara está colocada sobre un trípode de manera que forme un plano paralelo al horizonte.
  - ✓ Cámaras estereométricas: Su distancia base puede variar, abarcando desde 40 cm hasta 1.20 m, ya sea de forma fija o ajustable.
  - ✓ Cámaras métricas: Posibilitan la reconstrucción de la geometría durante la captura de las fotografías, incluyendo la orientación interna.
  - ✓ Cámaras no métricas: Presentan una geometría poco estable y carecen de información sobre los parámetros de distancia focal.
  - ✓ Cámaras semi-métricas: Cámaras no métricas que han sido convertidas en métricas.

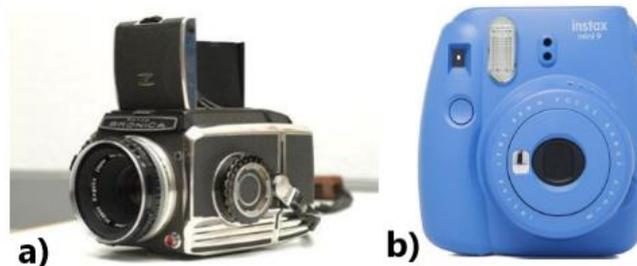


Ilustración 23.a) Cámara métrica. b) Cámara no métrica.

Fuente: (Alcántara et al, 2019).

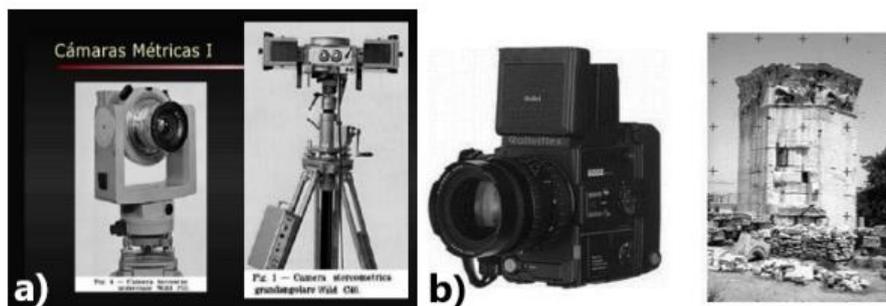


Ilustración 24.a) Cámara estereométrica. b) Cámara semi-métrica.

Fuente: (Alcántara et al, 2019).

- **Fotogrametría aérea:** Captura de imágenes de la superficie terrestre utilizando sensores instalados en un vehículo aéreo tripulado que opera a altitudes elevadas.



Ilustración 25. ejemplo de toma de fotografías en un vuelo fotogramétrico

Fuente: (Alcántara et al, 2019).

- **Fotogrametría sideral:** Imágenes capturadas desde una nave espacial (satélite) o desde una estación terrestre, dirigidas al espacio exterior, una luna, un planeta, entre otros.

El pináculo de la fotogrametría se manifestaría en el EHT (*Horizon Telescope Event*, en inglés), conjunto de telescopios combinando datos procedentes de estaciones de interferometría de muy larga base (*very-long-baseline interferometry*, o VLBI) posicionadas alrededor de la tierra (Alcántara et al, 2019).

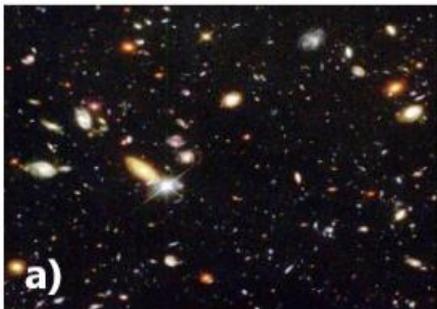


Ilustración 26. a) fotografía del espacio profundo. b) fotografía de un agujero negro.

Fuente: (Alcántara et al, 2019).

- **Software fotogrametría**

En el siguiente apartado, presentaremos algunos de los programas de fotogrametría más conocidos actualmente.

- ReCap Pro, la solución 3D de Autodesk
- Agisoft Metashape
- AliceVision Meshroom
- COLMAP
- Software Bentley ContextCapture
- DroneDeploy
- Mic Mac
- Open Drone Map
- Soluciones de fotogrametría Pix4D
- Tecnologías PhotoModeler
- CapturingReality
- Regard3D
- Trimble Inpho
- WebODM
- Software de fotogrametría 3DF Zephyr

#### **2.5.4. Ejemplos de la utilización de la fotogrametría**

En términos de patrimonio cultural, la fotogrametría es cada vez más reconocida como una herramienta de ingeniería eficaz para la reconstrucción de modelos 3D con fines de documentación. Por ejemplo:

- Galantucci et al. crearon un modelo 3D mediante fotogrametría de un edificio histórico en Italia y luego crearon ortofotos de la fachada del edificio hecha de bloques de piedra caliza. Como resultado, se puede identificar el deterioro estructural causado por cavidades.
- Biscarini et al. utilizaron imágenes de UAV de un puente histórico de mampostería para reconstruir el modelo 3D de la estructura. Los autores extrajeron ortofotos de la plataforma del puente y de las dos fachadas del puente, en base a las cuales se clasificaron manualmente diferentes materiales del puente mediante inspección visual humana.
- Forlin et al. aplicaron fotogrametría para obtener ortofotos a partir de modelos 3D de varios sitios arqueológicos en Chipre y España, en base a los cuales se pueden identificar los patrones de grietas causados por terremotos en las paredes elevadas de los edificios.

Dado que los modelos 3D basados en fotogrametría contienen textura de superficie enriquecida con alta resolución espacial, estos modelos muestran un gran potencial para convertirse en candidatos ideales para investigar el cambio/evolución del deterioro estructural a lo largo del tiempo. Al alinear dos modelos basados en fotogrametría en el mismo sistema de coordenadas, se pueden descubrir las características diferenciales causadas por el deterioro estructural. Con este fin:

- Ulvi utilizó UAV y fotogrametría para obtener nubes de puntos 3D densas de un sitio arqueológico en Turquía durante cuatro fases de excavación, en base a las cuales se extrajeron y compararon perfiles de elevación de secciones de corte seleccionadas.
- Galantucci et al. propusieron una metodología de monitoreo de salud para encontrar pérdida de material en una pequeña área de la fachada de un edificio histórico. Sin embargo, estos estudios se centraron principalmente en investigar cambios en áreas estructurales a pequeña escala y/o cambios geométricos en perfiles de elevación 2D. Debido a la falta de metodologías de procesamiento de datos relacionadas, en la literatura rara vez se informan enfoques de monitoreo a gran escala y asequibles de estructuras históricas en múltiples períodos de inspección.

Recientemente, las tecnologías de registro de nubes de puntos se han aplicado en muchos campos de la ingeniería. Mediante la alineación de nubes de puntos 3D densas en diferentes períodos de inspección a través de algoritmos computacionalmente asequibles, se pueden detectar, localizar y cuantificar las características diferenciales del modelo basado en fotogrametría (es decir, las nubes de puntos). Por ejemplo:

- Zhao et al. utilizaron UAVs y registro de nubes de puntos para monitorear la evolución del daño en presas de concreto reforzado. Los autores concluyeron que el método propuesto es altamente eficiente y de bajo costo para el monitoreo de las condiciones de salud de las presas.
- Jafari et al. aplicaron la fotogrametría multi-vista y el registro de nubes de puntos en el monitoreo de la salud de infraestructuras al detectar la deflexión de una viga simplemente soportada a lo largo del tiempo. Con una precisión de detección de +/- 0,2 mm, este método mostró un gran potencial para la detección de cambios geométricos en una variedad de escenarios de inspección de infraestructuras.

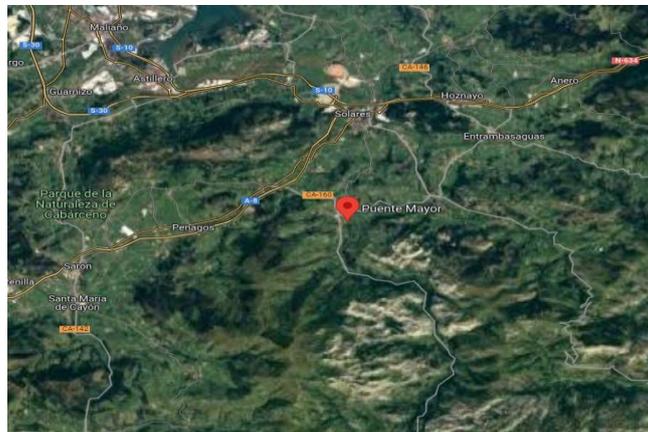
Previamente, los autores establecieron una metodología de registro de nubes de puntos para el monitoreo de la erosión de acantilados costeros. Los resultados de este estudio demostraron la asequibilidad y efectividad del método propuesto para abordar problemas de ingeniería complejos a gran escala. Por lo tanto, el registro de nubes de puntos ha demostrado tener un gran potencial para ser investigado en el campo del monitoreo de salud de estructuras históricas.

# CAPÍTULO 3:

## Caso de estudio

### 3.1. IMPORTANCIA HISTÓRICA DEL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES

El puente Mayor de Liérganes, también denominado “puente romano”, se encuentra sobre el río Miera en el casco antiguo de esta villa , está situado en la localidad cántabra, en España, y fue diseñado por Bartolomé de Hermosa en 1587, siendo inaugurado en 1606 (declarado Conjunto Histórico Artístico en el año 1978). Dada la gran afluencia de turismo a esta bella localidad, es probablemente uno de los puentes más fotografiados de Cantabria.



*Ilustración 27, Ubicación Puente Mayor Liérganes.*

*Fuente: Google Maps*

### 3.2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y CONSTRUCTIVAS DE LA INFRAESTRUCTURA

El puente Mayor es una construcción pétreo cuya longitud total supera los 30 m y que presenta perfil alomado y tiene dos bóvedas, el arco mayor sería de 60 pies de vano (16.8 m), el menor de 30 pies (8.4 m) y el ancho total de las bóvedas de 15 pies (4.2 m). La pila central junto con sus tajamares (de planta ojival, aguas arriba, y de forma rectangular en su espolón), que alcanzan la altura de la calzada formando apartaderos, sería de 10 pies de ancho (2.8 m) y 25 pies de largo (7.0 m). Los pretiles tendrían 4 pies de alto (1.12 m) que una vez encachada la calzada , quedarían de una altura de 3.5 pies (0.98 m), serían de mampostería y con remate superior de piedra redondeadas o hexagonales, a elección del maestro, se empedraría todo el largo del puente y las calzadas adyacentes, con guijarro menudo, con tres hiladas de cadena de piedra de un pie de ancho (0.28 m) cada una, dos de ellas pegadas a los antepechos y la otra al medio, con encadenados perpendiculares a estas líneas cada 20 pies (5.6 m) y teniendo desagües para el agua de lluvia.

### 3.3. INVENTARIO DEL PUENTE MAYOR DE LIERGANES

Una vez recopilada toda la información relevante sobre el puente mayor, procedemos a registrar estos datos en las fichas de inventario ubicadas en el ANEXO 4. Dichas fichas se encuentran ilustradas en las figuras 30 y 31. Además de esta información, se han añadido las fotografías de los alzados derecho (Ilustración 28) e izquierdo (Ilustración 29) del Puente Mayor.



*Ilustración 28. Alzado derecho Puente Mayor de Liérganes*

*(Fuente propia)*



Ilustración 29. Alzado izquierdo Puente Mayor de Liérganes

(Fuente propia)

SISTEMA DE GESTIÓN DE PUENTES - INVENTARIO 1 de 2					
<b>INFORMACIÓN GENERAL PARA PUENTES DE FÁBRICA</b>					
FECHA	05/07/2023	TIPO DE PUENTE	PASO SUPERIOR	X	
NOMBRE DEL INSPECTOR	Sara El Abrouki		PASO INFERIOR		
			PASO PEATONAL SUPERIOR		
NOMBRE DEL PUENTE	Puente Mayor	FORMA DEL PUENTE	RECTO		
CRUZA	Río Miera		CURVO		
CIUDAD	Liérganes		ESVIADO		
PROVINCIA	Cantabria		PERFIL ALOMADO	X	
AÑO DE CONSTRUCCION	1586 - 1606	OBSTÁCULO	CARRETERA		
			CAUCE	X	
			LINEA DE FERROCARRIL		
			FACILIDADES		
COORDENADAS					
LATITUD (N)	43°20'34.21"				
LONGITUD (W)	3°44'29.21"				
<b>DATOS GEOMÉTRICOS</b>					
LONGITUD	Supera 30 m	PILA	LARGO DE PILA	7 m	
			ANCHO DE PILA	2,8 m	
BÓVEDAS	NÚMERO DE VANO	2	NUMERO DE CARRILES SOPORTADOS	1	
	ARCO MAYOR	16,8 m			
	ARCO MENOR	8,4 m			
	ANCHO TOTAL DE BÓVEDAS	4,2 m	PRETIL	ALTO	1,12 m
<b>IMÁGENES</b>					
IMAGEN	DESCRIPCION				
1	Alzado derecho				
2	Alzado izquierdo				
<b>CROQUIS REFERENCIAL</b>					
<b>UBICACIÓN</b>					

Ilustración 30. Ficha de inventario (1) puente Mayor de Liérganes

(Fuente propia)

INFORMACIÓN DE ELEMENTOS		SISTEMA DE GESTIÓN DE PUENTES - INVENTARIO 2 de 2			
<b>SUPERESTRUCTURA</b>					
<b>TABLERO</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Bóveda <input type="checkbox"/> Mixto <input checked="" type="checkbox"/> Obra de fábrica	<b>BÓVEDA</b>	<input type="checkbox"/> Maciza <input type="checkbox"/> Aligerada <input checked="" type="checkbox"/> Boquilla <input checked="" type="checkbox"/> Tímpano <input type="checkbox"/> Refuerzos <input type="checkbox"/> Pintura <input type="checkbox"/> Revestimientos <input type="checkbox"/> Relleno suelto sobre tablero <input type="checkbox"/> Losa en voladizo		
<b>SUBESTRUCTURA</b>					
<b>PILAS</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Única <input type="checkbox"/> Múltiple <input type="checkbox"/> Gaviones <input type="checkbox"/> Cargadero <input checked="" type="checkbox"/> Obra de fábrica <input type="checkbox"/> Prefabricado <input type="checkbox"/> Hormigonado en situ	<b>ESTRIBOS</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Cerrado <input type="checkbox"/> Abierto <input type="checkbox"/> Muro de contención de bloque <input type="checkbox"/> Muro de contención de panel <input type="checkbox"/> Muro de contención <input type="checkbox"/> Otros elementos (Pilas, contrafuertes) <input type="checkbox"/> Aletas <input type="checkbox"/> Gaviones <input type="checkbox"/> Prefabricado	<b>MURO DE ACOMPAÑAMIENTO</b>	<input type="checkbox"/> De tierra <input checked="" type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Muro de contención de bloque <input type="checkbox"/> Muro de contención de panel <input type="checkbox"/> Aliviadero <input type="checkbox"/> Encachado <input type="checkbox"/> Escollera <input type="checkbox"/> Gunitado <input type="checkbox"/> Gaviones
		<b>TERRAPLENES</b>	<input checked="" type="checkbox"/> De tierra <input type="checkbox"/> Losa reforzada <input type="checkbox"/> Muro de contención de bloque <input type="checkbox"/> Muro de contención de panel <input type="checkbox"/> Aliviadero <input type="checkbox"/> Escollera <input type="checkbox"/> Gunitado <input type="checkbox"/> Gaviones	<b>CIMENTACIONES</b>	<input checked="" type="checkbox"/> No se observa <input type="checkbox"/> Directa <input type="checkbox"/> Profunda
<b>ACCESORIOS DEL PUENTE</b>					
<b>PARAPETOS</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Protección de los peatones <input type="checkbox"/> Protección de coches <input checked="" type="checkbox"/> Defensa lateral o pretil <input type="checkbox"/> New jersey <input type="checkbox"/> Perfiles de acero <input type="checkbox"/> Paralelos de hormigón <input type="checkbox"/> Otros	<b>SISTEMA DE DRENAJE</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Imbornal sumideros <input type="checkbox"/> Tuberías <input type="checkbox"/> Gárgolas <input checked="" type="checkbox"/> Tubo de desagüe	<b>OTRAS FACILIDADES ADJUNTAS</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input checked="" type="checkbox"/> Agua <input type="checkbox"/> Petróleo <input type="checkbox"/> Gas <input checked="" type="checkbox"/> Electricidad <input type="checkbox"/> Semáforos
		<b>MEDIANA</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Existe <input type="checkbox"/> Canto <input type="checkbox"/> Adoquín	<b>ILUMINACION</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input checked="" type="checkbox"/> Existe

Ilustración 31. Ficha de inventario (2) puente Mayor de Liérganes

Ilustración 31: (Fuente propia)

### 3.4. INSPECCIONES EN EL PUENTE

#### 3.4.1. Inspección Básica

Con el propósito de realizar un seguimiento efectivo del estado del Puente Mayor y detectar posibles problemas visibles que puedan resultar en costosas tareas de conservación o reparación si no se abordan a tiempo, hemos llevado a cabo labores de vigilancia visual. Estas actividades nos han proporcionado una serie de datos que son registrados en la Ficha de Inspección Básica, cuyo formato se presenta en la Ilustración 32.



<b>ESTRUCTURA</b>	<b>DETERIOROS OBSERVADOS</b>
<b>Bóveda 1</b>	Fisuración o agrietamiento de la bóveda en la unión con la boquilla
<b>Estribo+ Boquilla de la Bóveda 1</b>	Eflorescencias
<b>Bóveda 2</b>	Eflorescencias
<b>Bóveda 1+ Muro de acompañamiento</b>	Costras negras
<b>Tímpano</b>	Desagregación
<b>Muro de acompañamiento</b>	Desagregación
<b>Bóveda 1</b>	Alveolización
<b>Bóveda 1</b>	Perdida de material de juntas
<b>Estribo en la parte superior</b>	Perdida de material de juntas
<b>Estribo en la parte inferior</b>	Desagregación y pérdida de material de juntas
<b>Pila</b>	Rotura de aristas y esquinas de sillares
<b>Estribo de la bóveda 2</b>	Manchas de humedad o inadecuado funcionamiento de los mechinales
<b>Toda la estructura</b>	Crecimiento y desarrollo de vegetación
<b>Estribo de bóveda 1</b>	Fisura o agrietamiento inclinado

Tabla 5: Deterioros observados en Puente Mayor.

(Fuente propia)

### 3.4.2. Fichas de procesos patológicos

A continuación, se muestran las principales ilustraciones de los elementos del puente, en las cuales pueden apreciarse los deterioros correspondientes (Ilustración 33). Asimismo, se recoge en el ANEXO 5 la información técnica correspondiente para cada uno de los procesos patológicos en el que se incluye: lesión y su descripción, causas probables, alcance, posible evolución, actuaciones, mantenimiento preventivo, finalmente reparaciones y refuerzos.



Fisuración o agrietamiento de la bóveda 1 en la unión con la boquilla



- a) Eflorescencia en el estribo de la bóveda 1 desde el lado izquierdo
- b) Eflorescencia en la boquilla de la bóveda 1 desde lado izquierdo



Eflorescencia en la bóveda 2



- a) Costras negras en la bóveda 1
- b) Costras negras en el muro de acompañamiento desde el lado izquierdo



Desagregación en el Tímpano de la bóveda 2 desde el lado derecho



Desagregación en el Muro de acompañamiento de la bóveda 1 desde el lado derecho



Alveolización en la bóveda 1



Perdida de material de juntas en la bóveda 1



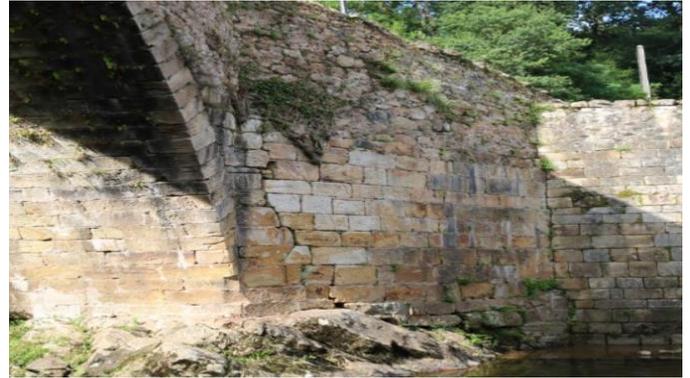
a) Perdida de material de juntas en el estribo en la parte superior  
b) Desagregación y perdida de material de juntas en el estribo en la parte inferior



Rotura de aristas y esquinas de sillares en la pila



Manchas de humedad o inadecuado funcionamiento de los mechinales en el estribo de la bóveda 2 desde el lado derecho



Fisura o agrietamiento inclinado del borde de estribo de bóveda 1 desde el lado izquierdo



Crecimiento y desarrollo de vegetación en toda la estructura

*Ilustración 33. Principales procesos patológicos detectados en el Puente*

*(Fuente propia)*

### **3.4.3. Inspección Principal**

En esta etapa, procedemos a realizar una minuciosa inspección visual del estado de todos los elementos visibles del Puente Mayor, centrandó nuestra atención en la subestructura y superestructura. Cada vez que detectamos un daño en un elemento específico, registramos tres índices en el campo: la extensión del daño, la gravedad del daño y la evolución del mismo, evaluando así el daño desde diversas perspectivas. Utilizando los datos obtenidos, calculamos un índice de deterioro para cada tipo de daño.

A continuación, presentamos los resultados obtenidos.

### 3.4.3.1. Daños en la superestructura

ELEMENTO	REFERENCIA	DAÑO	EXTENSIÓN DEL DAÑO	GRAVEDAD DEL DAÑO	EVOLUCIÓN DEL DAÑO	ÍNDICE DE DETERIORO
Bóveda 1	FIS-07	Fisuración o agrietamiento de la bóveda en la unión con la boquilla	2	2	1	5
	ALT-02	Costras negras	3	1	1	5
	ALT-05	Alveolización	1	1	1	3
	FUN-06	Crecimiento y desarrollo de vegetación	4	1	1	6
	ALT-06	Perdida de material de juntas	1	1	1	3
Bóveda 2	ALT-02	Eflorescencias	2	1	1	4
Boquilla de la Bóveda 1	ALT-02	Eflorescencias	1	0	1	2
Tímpano	ALT-04	Desagregación	1	1	1	3
				<b>ÍNDICE DE DETERIORO TOTAL</b>		<b>31</b>

Tabla 6: Inspección Principal Puente Mayor de Liérganes.

(Fuente propia)

El índice de deterioro obtenido de la superestructura toma el valor de 31 esto significa que la superestructura tiene un deterioro que puede tener una evolución patológica o reducir las condiciones de servicio o de durabilidad del elemento si no se repara en el tiempo adecuado.

**3.4.3.2. Daños en la subestructura**

ELEMENTO	REFERENCIA	DAÑO	Extensión del daño	Gravedad del daño	Evolución del daño	índice de deterioro
Estribos 1	ALT-02	Eflorescencias	2	1	1	4
	ALT-06	Perdida de material de juntas	3	2	1	6
	ALT-04	Desagregación	1	2	1	4
	FIS-08	Fisura o Agrietamiento inclinado	1	2	0	3
Estribo 2	FUN-05	Manchas de humedad o inadecuado funcionamiento de los	1	0	1	2
Pila	FIS-17	Rotura de aristas y esquinas de sillares	1	2	1	5
Muro de acompañamiento	ALT-02	Costras negras	4	1	1	6
Muro de acompañamiento	ALT-04	Desagregación	1	2	1	4
				<b>ÍNDICE DE DETERIORO TOTAL</b>		<b>34</b>

Tabla 7: Inspección Principal Puente Mayor de Liérganes.

(Fuente propia)

El índice de deterioro obtenido de la subestructura toma el valor de 34 esto significa que la subestructura tiene un deterioro que puede tener una evolución patológica o reducir las condiciones de servicio o de durabilidad del elemento si no se repara en el tiempo adecuado.

Una vez obtenidos todos los índices de los deterioros existentes en el puente, el objetivo consiste en poder valorar el estado de conservación de dicho puente. Así **el índice de Estado o Condición** del Puente Mayor de Liérganes toma el valor de 65 lo que significa que es un puente con deterioros o patologías que se pueden traducir en una modificación

del comportamiento resistente o una reducción importante de los niveles de servicio. Requiere una actuación a corto-medio plazo. En función de la naturaleza del daño puede requerir una inspección especial

### **3.5. METODOLOGÍA DESARROLLADA**

Para realizar el levantamiento del puente Mayor de Liérganes a través del uso de la fotogrametría (metodología que corresponde al levantamiento de datos visuales) se implementaron una serie de pasos claves.

En nuestro caso se trabajó la fotogrametría terrestre utilizando la cámara Canon 750D para este propósito. En primer lugar, se procedió a capturar una serie completa de fotografías de alta resolución del puente desde diferentes ángulos y ubicaciones estratégicas, aprovechando la calidad de imagen distintiva que ofrece la cámara Canon 750D.

Posteriormente, se emplearon programas especializados como Agisoft Metashape, Recap y Revit para el procesamiento de las imágenes capturadas. Una vez que completada la fase de captura de imágenes, se utilizó el programa Agisoft Metashape para generar la nube de puntos para poder obtener un modelo tridimensional inicial. Luego, mediante el software Recap, se procedió a la mejora de la precisión y la calidad de esa nube de puntos, garantizando que su adecuación para su posterior uso en software Revit.

Finalmente, se empleó el software Revit para llevar a cabo la reconstrucción tridimensional detallada del puente. Este programa permitió incorporar información adicional sobre la estructura, como dimensiones precisas y detalles arquitectónicos. La combinación de estos softwares permitió crear un modelo digital tridimensional altamente preciso y detallado del puente Mayor.

En resumen, al utilizar la cámara Canon 750D en conjunto con los programas Agisoft Metashape, Recap y Revit, se logró una metodología completa y efectiva para el levantamiento y la reconstrucción tridimensional del puente Mayor. Este modelo digital resultante no solo servirá como base para la planificación y conservación futura, sino que también capturará de manera fiel la esencia y los detalles arquitectónicos de este valioso elemento histórico.

### 3.6. LEVANTAMIENTO DEL PUENTE MAYOR MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE

El proceso de levantamiento del Puente Mayor mediante fotogrametría terrestre implicó múltiples salidas al campo y un enfoque meticuloso para posicionar la cámara en diversas ubicaciones estratégicas a lo largo del puente. Esta metodología resultó en la adquisición de un conjunto diversificado de imágenes que fueron esenciales para la generación de modelos tridimensionales precisos y detallados de la estructura del puente. Las imágenes capturadas desde múltiples ángulos y posiciones contribuyeron significativamente a la exactitud y riqueza de la representación tridimensional final.

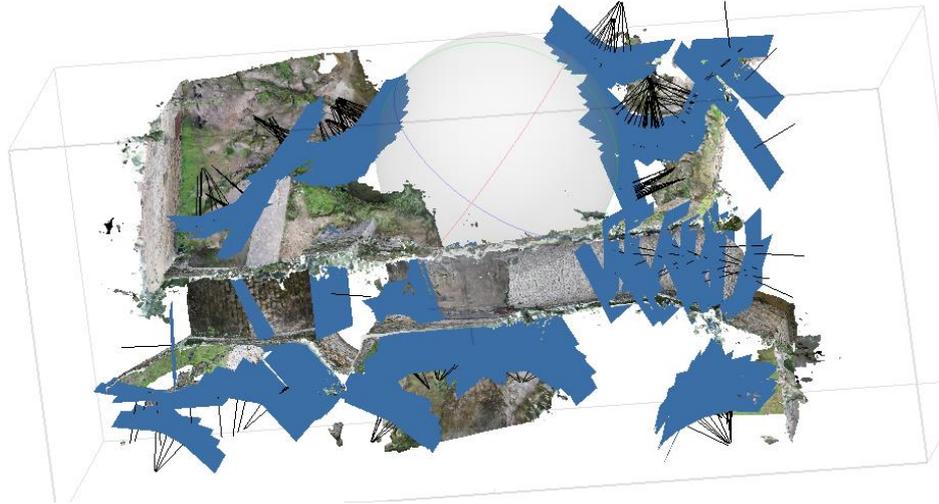
En la figura 34 se pueden apreciar fotografías del puente Mayor desde diversos ángulos y posiciones.



Ilustración 34. El puente mayor desde diversos ángulos y posiciones.

(Fuente propia)

La Ilustración 35 representa las posiciones de la cámara (parches azules) a lo largo del puente.



*Ilustración 35. Las posiciones de la cámara a lo largo del puente Mayor*

*(Fuente propia)*

### **3.7. MODELADO DEL PUENTE MAYOR DE LÍERGANES**

Una vez completada la recolección de imágenes, se procedió a la generación de la nube de puntos con el objetivo de obtener el modelo que refleja las condiciones actuales del puente. En esta etapa, se empleó el software Agisoft Metashape para llevar a cabo el primer procesamiento de los datos recopilados.

A continuación, se presentan algunas imágenes obtenidas, a modo de ejemplo, que ilustran los pasos necesarios para generar la nube de puntos del Puente Mayor.

En la figura 36, se detalla el primer paso del proceso, que implica la incorporación de fotografías en los 'chunks' dentro del software Agisoft Metashape. La figura 37 muestra la interfaz correspondiente al proceso de 'Orientar fotos' en el mismo software, mientras que la figura 38 representa el paso final, que consiste en 'Crear nube de puntos densa' en Agisoft Metashape.

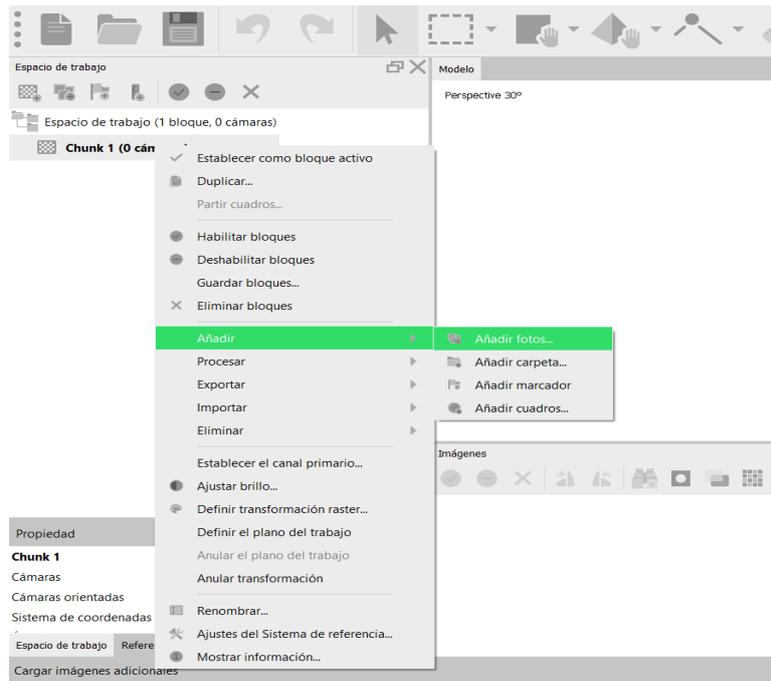


Ilustración 36. Añadir fotos en los chunks dentro del software Agisoft Metashape.

(Fuente propia)

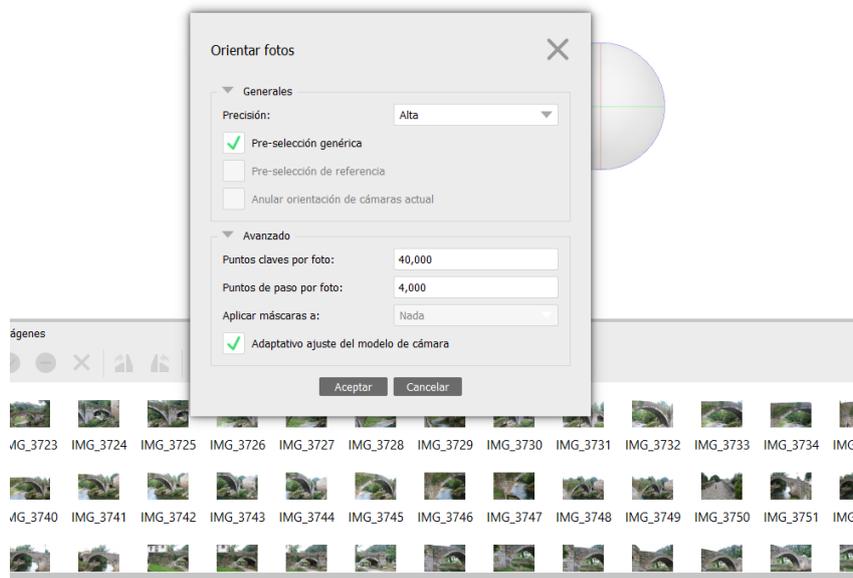


Ilustración 37. la interfaz de 'Orientar fotos' en el software Agisoft Metashape.

(Fuente propia)

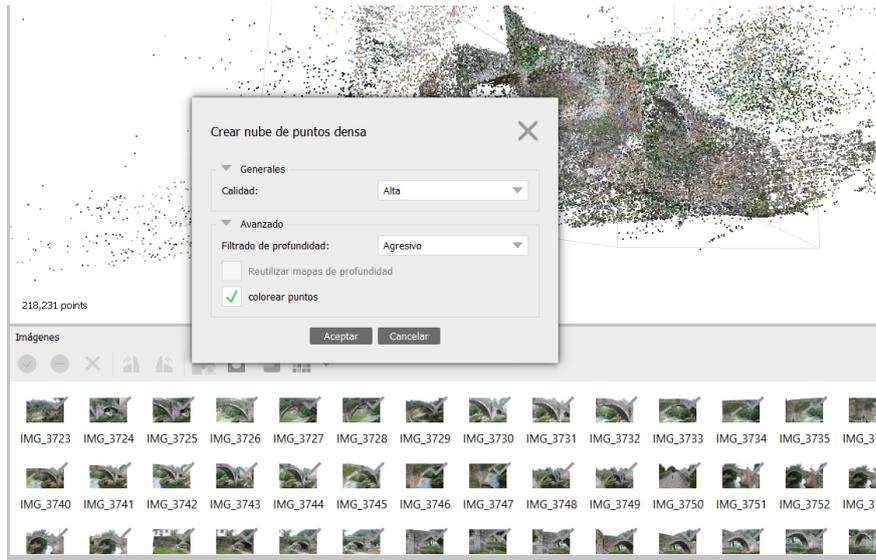


Ilustración 38. Interfaz de “Crear nube de puntos densa” en el software Agisoft Metashape.

(Fuente propia)

A continuación, se muestra la nube de puntos obtenida del Puente Mayor desde los alzados izquierdo (Ilustración 39) y derecho (Ilustración 40).

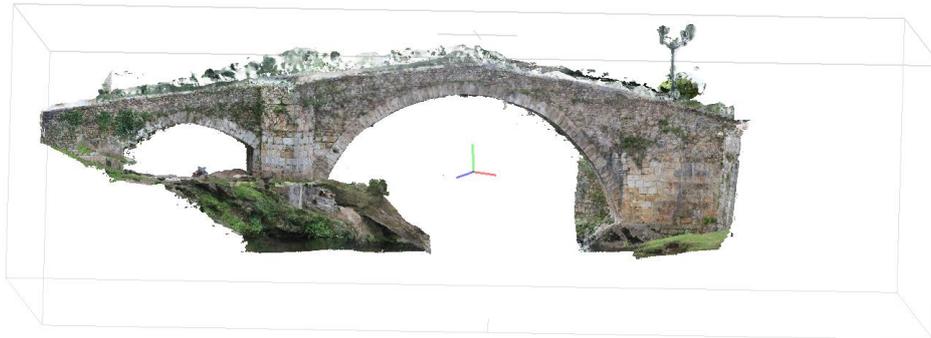


Ilustración 39. Nube de puntos del Puente Mayor en Agisoft Metashape (Alzado izquierdo).

(Fuente propia)

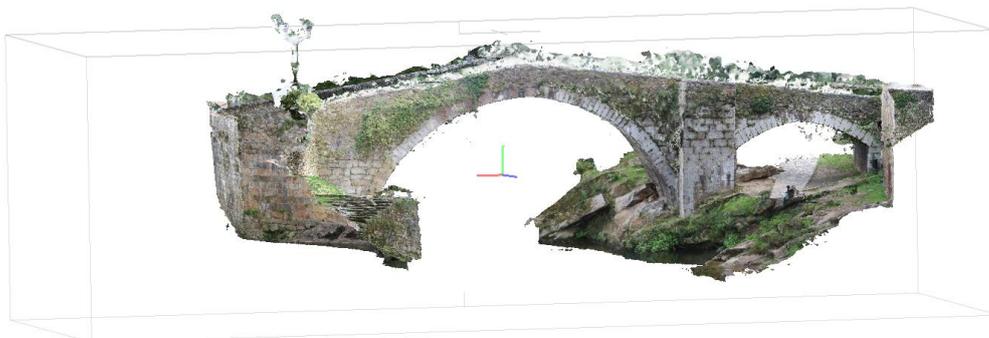


Ilustración 40. Nube de puntos del Puente Mayor en Agisoft Metashape (Alzado derecho).

(Fuente propia)

Tras generar la nube de puntos en Agisoft Metashape, se procedió a exportarla a Recap, cuyo resultado obtenido se muestra en la ilustración 41.

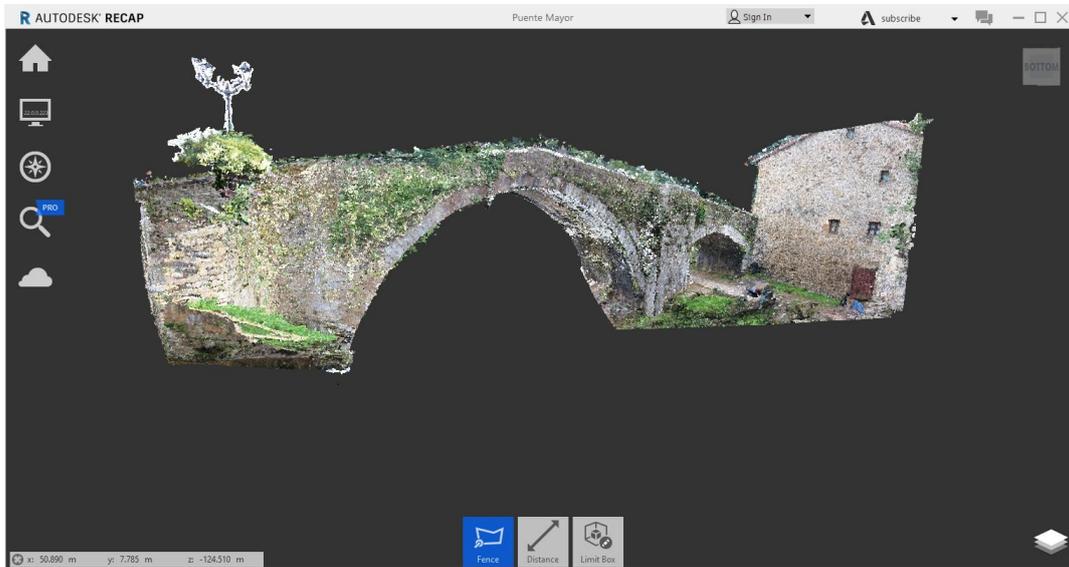


Ilustración 41. Nube de puntos del Puente Mayor en RECAP.

(Fuente propia)

Tras obtener la nube de puntos en Recap, se procedió a su exportación e inserción en Revit.

Una vez que hemos planificado y recopilado la información necesaria para nuestro modelo BIM, el siguiente paso es la creación de los objetos BIM. Estos objetos representan elementos constructivos esenciales y contienen información crucial para su construcción y mantenimiento, como forjados, muros, puertas, pilares etc.

En software BIM como Revit, tenemos la flexibilidad de crear nuestros propios objetos BIM si no están disponibles de manera nativa. En Revit, los objetos BIM se crean a partir de componentes nativos llamados "familias". Una vez que identificamos las familias necesarias para nuestro modelo, procedemos a crearlas en Revit. Hay dos formas de hacerlo: como "familias cargables" o como "familias en sitio". Cada una de estas familias almacena información específica según la tipología del elemento de construcción. Es importante destacar que no todos los parámetros serán iguales en todas las familias, ya que cada una está vinculada a un objeto de construcción.

En la Figura 42, se ilustra un ejemplo que representa los dos tipos distintos de formatos utilizados para la creación de familias.

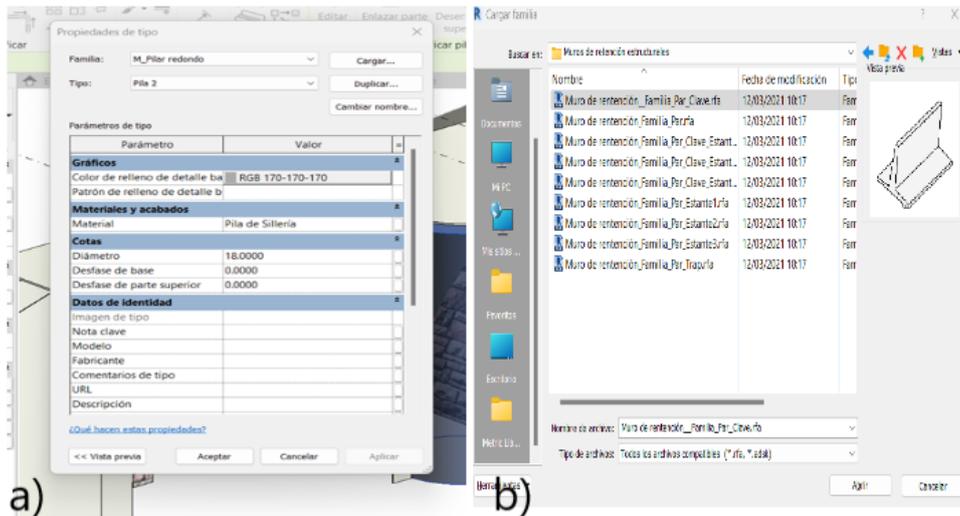


Ilustración 42. a) Ejemplo de familia en sitio. b) Ejemplo de familia cargable.

(Fuente propia)

Una vez que los objetos BIM están generados, se debe proceder a introducir los parámetros que incluyen datos generales del inventario, así como aquellos que son necesarios según los estándares BIM establecidos

Para asignar los parámetros correctos a las familias correspondientes, se requiere agregar parámetros de proyecto, especificar el nombre, la disciplina, el tipo de parámetro, el grupo de parámetros, seleccionar entre tipo o ejemplar, y, además, asignar la categoría.

En la Ilustración 43 se presenta un ejemplo de cómo se introduce información a través de parámetros en Revit.

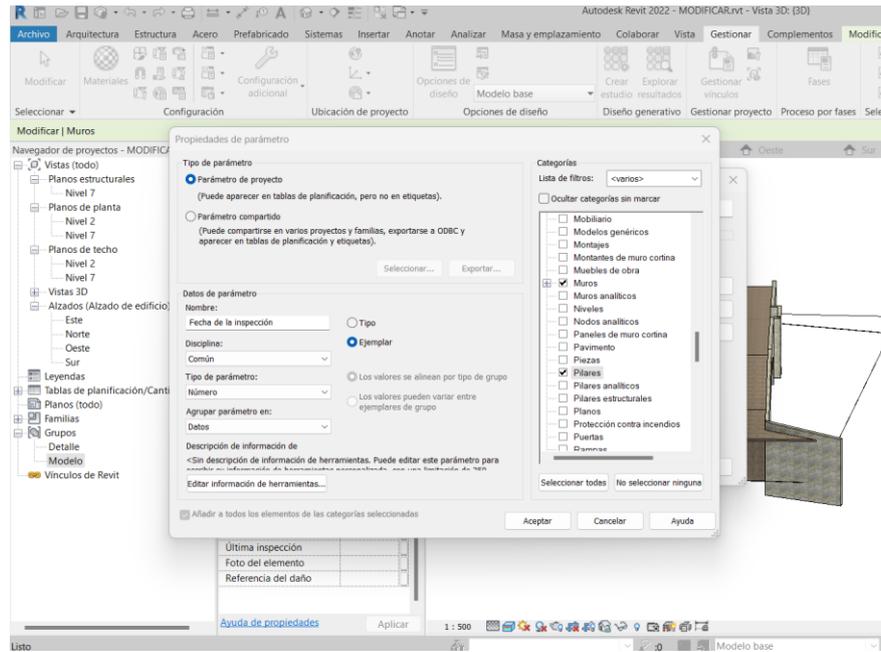


Ilustración 43. Introducción de información a través de parámetros en REVIT.

(Fuente propia)

En la ilustración 44 se muestra, a modo de ejemplo, una hoja de datos y la información dentro del modelo como base de datos generales del inventario.

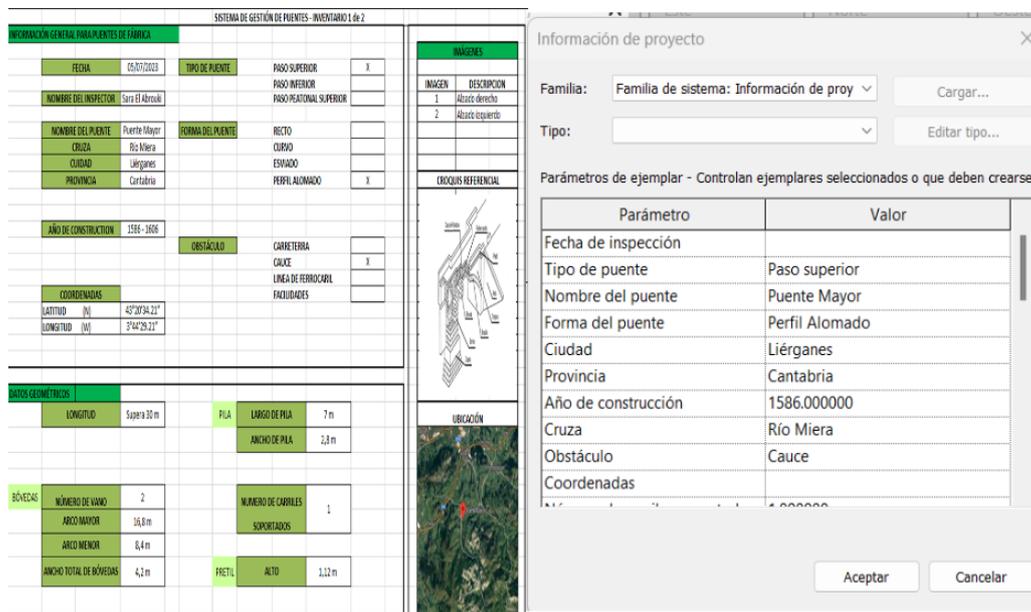


Ilustración 44. Hoja de datos de inventario general, integrada en información de proyecto en Revit.

(Fuente propia)

Una vez modelado el puente, se incorporó información general de la estructura y detalles relativos a las inspecciones realizadas, como la fecha de la inspección, el nombre del

inspector, el índice de estado de los elementos y de la estructura, los daños observados etc. Para ello, se utilizaron algunos parámetros preexistentes y se crearon otros nuevos.

En la Figura 45 se exhiben los parámetros agregados al proyecto del Puente Mayor

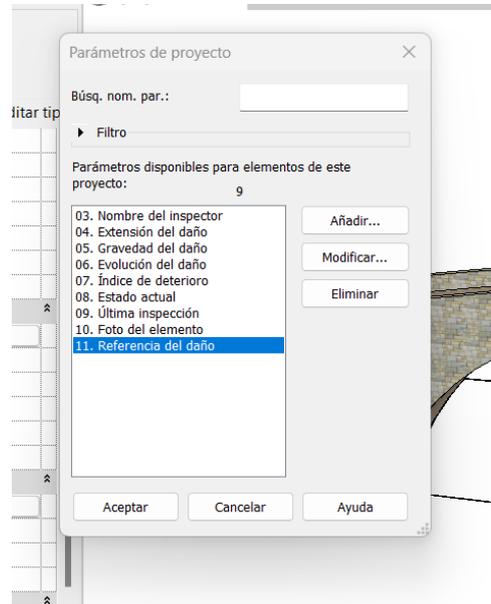


Ilustración 45. los parámetros agregados al proyecto del Puente Mayor.

(Fuente propia)

Por último, el modelo BIM del puente funciona como un repositorio que almacena los resultados obtenidos de múltiples inspecciones, manteniendo toda la información de estas inspecciones en un solo archivo centralizado.

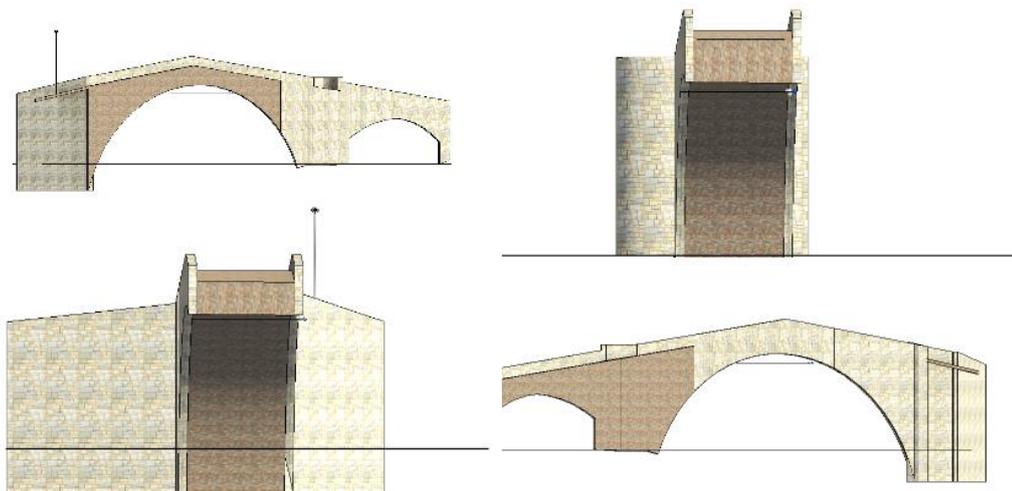


Ilustración 46. El puente Mayor desde los cuatros alzados.

(Fuente propia)

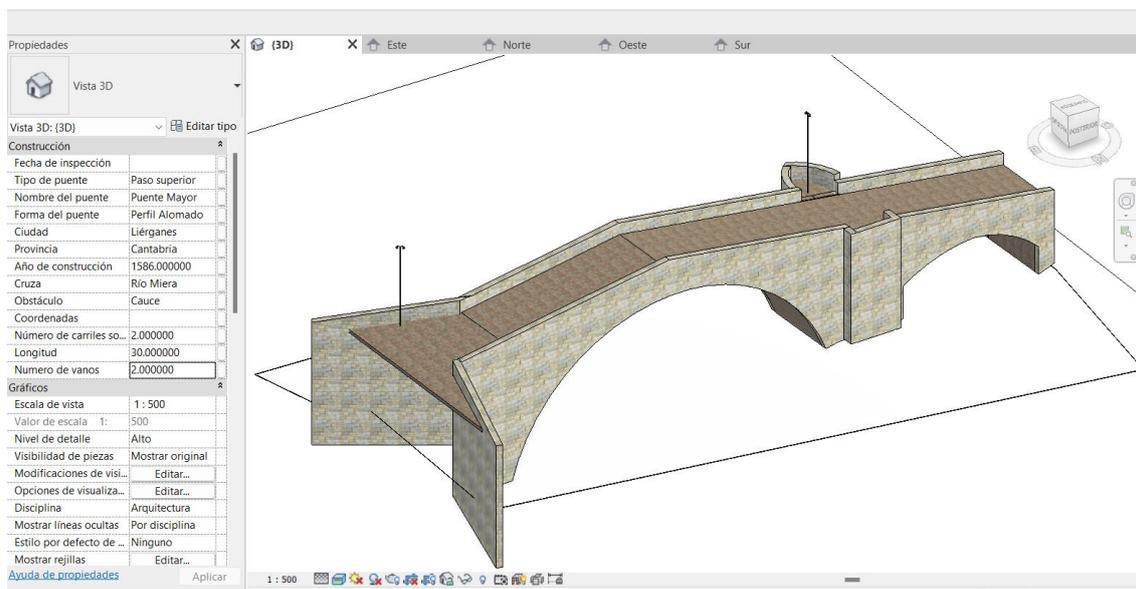


Ilustración 47. El modelo 3D del Puente Mayor en Revit

(Fuente propia)

# CAPÍTULO 4:

## Conclusiones y líneas futuras de investigación

### 4.1. CONCLUSIONES

Una vez finalizado el presente trabajo se concluye que la aplicación adecuada de la metodología BIM puede mejorar significativamente la gestión al centralizar la información necesaria para reducir el tiempo empleado en la búsqueda de datos relacionados con el puente. Además, hemos constatado que la herramienta Revit es útil en la generación de modelos H-BIM, aunque presenta algunas limitaciones. Actualmente, esta herramienta permite la creación de modelos BIM y la integración de la información requerida según los estándares BIM establecidos.

Hemos demostrado que es factible implementar un sistema de gestión inicial utilizando la metodología BIM, lo que mejora la recopilación de datos y optimiza nuestro proceso documental. Sin embargo, es importante destacar que para replicar este proceso se necesita a un profesional con amplia experiencia en el uso de la metodología BIM, conocimientos en sistemas de gestión de puentes e inventario de monumentos históricos,

así como formación en dirección de proyectos para identificar correctamente los flujos de trabajo en un proyecto H-BIM.

Este profesional debe dominar el modelado avanzado en herramientas de autoría BIM, tener conocimientos sobre gestión de nubes de puntos y geolocalización de modelos. En resumen, la implementación exitosa de la metodología BIM requiere de un equipo altamente capacitado y comprometido para aprovechar al máximo sus beneficios en la gestión de puentes y monumentos históricos.

## **4.2. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN**

A lo largo del desarrollo del presente trabajo fueron surgiendo algunos aspectos cuya profundización sería deseable:

- Utilización de modelos BIM para automatizar la evaluación de los Sistemas de Gestión de Puentes (SGP).
- El desarrollo de familias paramétricas destinadas a la modelación de monumentos históricos.
- Generación de objetos BIM para la representación y evaluación de daños en puentes u otras estructuras similares.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Institute of Architects. (2017). Level of development specification guide.
- Diego Martínez Montejano. (2015) Una pequeña historia del BIM.  
<https://prezi.com/negia11dlk0q/una-pequena-historia-del-bim/>
- Directiva 2014/24/UE del parlamento europeo y del consejo de 26 de febrero de 2014 sobre contratación pública y por la que se deroga la Directiva 2004/18/CE (Texto pertinente a efectos del EEE) [DUMMY \(boe.es\)](http://boe.es)
- Eloi Coloma, P. (2008) Introducción a la tecnología BIM: [INDEX \(upc.edu\)](http://upc.edu)
- Equipo BIMnD (2018) ¿Qué tipos de software BIM existen en el mercado?  
[¿Qué tipos de software BIM existen en el mercado? · BIMnD](#)
- Garcia, P. (2017) Metodología BIM en la realización de proyectos de construcción. Estudio de 6 viviendas adosadas en Gilet.  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/89577/García%20Plaza%2C%20José%20María%20Metodología%20BIM%20en%20la%20realización%20de%20proyectos%20de%20construcción.%20Estudio%20de%206%20viviendas%20adosadas%20en%20Gilet.pdf?sequence=3>

- González, R. (2019) Metodología Bim en el mundo. <https://es.linkedin.com/pulse/metodología-bim-en-el-mundo-rafael-gonzalez>
- Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). Informes trimestrales del Observatorio. <https://cbim.mitma.es/observatorio/informes-trimestrales-del-observatorio>
- Observatorio de Licitaciones. Análisis de la Inclusión de Requisitos BIM en la Licitación Pública Española. Informe 20 - Cuarto Trimestre 2022 [https://cbim.mitma.es/recursos\\_cbim/observatorio\\_licitaciones\\_bim\\_diciembre\\_2022\\_0.pdf](https://cbim.mitma.es/recursos_cbim/observatorio_licitaciones_bim_diciembre_2022_0.pdf)
- Rodríguez, A. M. R., Cordero, P., y Garrido, A. C. (2016) BIM diseño y gestión de la construcción.
- Strafaci, A. (2008) What does BIM mean for civil engineers. CE News, Transportation.
- Ribera, J. E. (1925) Puentes de fábrica y hormigón armado: Tomo 1, PRIMERA PARTE, Capítulo II.- Materiales que se emplean en las obras de fábrica [https://fhop.aopandalucia.es/fileadmin/media/docs/ribera/tomo\\_1/capitulo\\_2\\_materiales\\_que\\_se\\_emplean\\_en\\_las\\_obras\\_de\\_fabrica.pdf](https://fhop.aopandalucia.es/fileadmin/media/docs/ribera/tomo_1/capitulo_2_materiales_que_se_emplean_en_las_obras_de_fabrica.pdf)
- Arenas, J.J. (2002) Camino en el aire: los puentes.
- Aguilo, M. (2008) forma y tipo en el arte de construir puentes
- CEDEX (2013), centro de estudios y experimentación de obras públicas. Transferencia tecnológica relativa a la evaluación del estado de los vestigios estructurales de obras de fábrica de itinerarios históricos. [https://www.secegsa.gob.es/NR/rdonlyres/6085E31E-D786-43F8-84B8-619C2F94049C/124980/Accion41TTIGEM\\_P.pdf](https://www.secegsa.gob.es/NR/rdonlyres/6085E31E-D786-43F8-84B8-619C2F94049C/124980/Accion41TTIGEM_P.pdf)
- Caro Álamo, J. A. M. (2001) Análisis estructural de puentes arco de fábrica. Criterios de Comprobación <https://oa.upm.es/647/1/04200107.pdf>
- Espejo Niño, S. R. (2007) Estudio del comportamiento experimental de dos puentes de fábrica ensayados hasta rotura. Puente ferroviario de la Riera de Rubí y Puente sobre el ferrocarril del Plazaola en Urnieta [https://web.archive.org/web/20130609225355/http://hormigon.mecanica.upm.es/fil/es/2007\\_Espejo\\_V-01.pdf](https://web.archive.org/web/20130609225355/http://hormigon.mecanica.upm.es/fil/es/2007_Espejo_V-01.pdf)

- Ribera, J. E. (1929) Puentes de fábrica y hormigón armado: T O M O III, SEGUNDA PARTE, Capítulo XI.- Tímpanos:
- [https://fhop.aopandalucia.es/fileadmin/media/docs/ribera/tomo\\_3/capitulo\\_11\\_timpanos.pdf](https://fhop.aopandalucia.es/fileadmin/media/docs/ribera/tomo_3/capitulo_11_timpanos.pdf)
- Yepes, P.V. (2018) Concepto de Sistema de Gestión de Puentes (SGP) <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/07/02/concepto-de-sistema-de-gestion-de-puentes-sgp/>
- Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras. Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la red de carreteras del estado. (2012).
- Yepes, P.V. (2016) La “crisis” de las infraestructuras <https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/09/12/la-crisis-de-las-infraestructuras/>
- León González, J. (2006) Reflexiones en torno a la inspección de puentes, FHECOR Ingenieros Consultores. [https://www.ogup.cl/img/proyectos/file/000000004000/inspeccionpuentes\\_es\\_4405.pdf](https://www.ogup.cl/img/proyectos/file/000000004000/inspeccionpuentes_es_4405.pdf)
- José María de Villar, “sistema de gestión de conservación de puentes” <http://www.torrojaingenieria.es/Publicaciones/210-conferencia.oporto.pdf>
- Cañamares, J. M. (2016) Sistemas de gestión de puentes, optimización de estrategias de mantenimiento, implementación en redes locales de carreteras. [https://oa.upm.es/39436/1/Javier\\_Martinez\\_Canamares.pdf](https://oa.upm.es/39436/1/Javier_Martinez_Canamares.pdf)
- Merchán, P., Salamanca, S., Merchán, M.J., Pérez, E., Moreno, M.D. (2018) pasado, presente y futuro de los HBIM (heritage/historic building information models) [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/24906/2018\\_Merchan\\_Pilar\\_Pasado-presente-futuro-HBIM.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/24906/2018_Merchan_Pilar_Pasado-presente-futuro-HBIM.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Quintilla, C.M. (2021) HBIM para el inventario del patrimonio arquitectónico. (PDF) [HBIM PARA EL INVENTARIO DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/351841414_HBIM_PARA_EL_INVENTARIO_DEL_PATRIMONIO_ARQUITECTONICO)
- UNESCO (2014) Indicadores UNESCO de cultura para el desarrollo. Manual Metodológico, P132,134 [https://es.unesco.org/creativity/sites/creativity/files/iucd\\_manual\\_metodologico\\_1.pdf](https://es.unesco.org/creativity/sites/creativity/files/iucd_manual_metodologico_1.pdf)

- Murphy, M., Mcgovern, E., Pavia, S. (2009). Historic building information modelling (HBIM). Structural Survey.  
[\(PDF\) Historic building information modelling \(HBIM\) \(researchgate.net\)](#)
- Gutiérrez, V.C.B (2022) iglesia detif, isla lemuy, chiloé: gestión de la información a través de la metodología HBIM para su conservación y mantenimiento.
- Building SMART Spain Chapter (2018) Guía de usuarios BIM. BIM aplicado al patrimonio cultural, documento 14.  
<https://www.buildingsmart.es/bim/guías-ubim/>
- Hernández, J.L.R (2019) aplicación de la metodología Bim en la conservación de puentes existentes.  
[https://www.academia.edu/41059922/Aplicación\\_de\\_la\\_metodología\\_BIM\\_en\\_la\\_conservación\\_de\\_puentes\\_existentes](https://www.academia.edu/41059922/Aplicación_de_la_metodología_BIM_en_la_conservación_de_puentes_existentes)
- Buill, F., Núñez, A.M., Rodríguez, J.J. (2007) Fotogrametría arquitectónica.  
[Fotogrametría arquitectónica - Felipe Buill, Joan J. Rodríguez Jordana, María Amparo Núñez Andrés - Google Libros](#)
- Alcántara, C.M., Aguirre, F.V., Alan, M.V.A., Castro, M.J. (2019) Análisis multitemporal para el estudio en la evolución de la infraestructura en el bosque de Chapultepec  
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/28570/Análisis%20multitemporal%20para%20el%20estudio%20de%20la%20evolución%20de%20la%20infraestructura%20en%20el%20bosque%20de%20Chapultepec.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cuellar, B.J. (2014) Modelado en 3D mediante Fotogrametría de puente en Sangonera la Verde  
<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4716/pfc5888.pdf;sequence=1>
- Galantucci, R.A., Fatiguso , F., Galantucci , L.M. A proposal for a new standard quantification of damages of cultural heritages, based on 3D scanning, SCIRES-IT-SCientific RESearch and Information Technology, vol 8, issue (1) (2018), 121–138  
[A proposal for a new standard quantification of... | Galantucci | SCIRES-IT - SCientific RESearch and Information Technology \(sciresit.it\)](#)
- Biscarini, C., Catapano, I., Cavalagli, N., Ludeno, G., Pepe, F.A., Ubertini, F.

UAV photogrammetry, infrared thermography and GPR for enhancing structural and material degradation evaluation of the Roman masonry bridge of Ponte Lucano in Italy, *NDT & E International*, vol 115 (2020), 102287

[UAV photogrammetry, infrared thermography and GPR for enhancing structural and material degradation evaluation of the Roman masonry bridge of Ponte Lucano in Italy - ScienceDirect](#)

- Forlin ,P., Valente ,R., Kazmér, M. Assessing earthquake effects on archaeological sites using photogrammetry and 3D model analysis, *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, Vol 9, (2018), e00073

[Assessing earthquake effects on archaeological sites using photogrammetry and 3D model analysis - ScienceDirect](#)

- Paredes, G., J., F., (2019) Modelos de Gestión para la conservación de Puentes tipo Fábrica
- Ulvi ,A. Using UAV photogrammetric technique for monitoring, change detection, and analysis of archeological excavation sites, *Journal on Computing and Cultural Heritage* Vol 15, Issue 3, (2022) , 1–19

[Using UAV Photogrammetric Technique for Monitoring, Change Detection, and Analysis of Archeological Excavation Sites | Journal on Computing and Cultural Heritage \(acm.org\)](#)

- Galantucci, R.A., Fatiguso, F. Advanced damage detection techniques in historical buildings using digital photogrammetry and 3D surface analysis, *Journal of Cultural Heritage*, vol. 36, (2019) 51–62,

[Advanced damage detection techniques in historical buildings using digital photogrammetry and 3D surface analysis - ScienceDirect](#)

- Zhao, S., Kang, F., Li, J., Ma, C. Structural Health monitoring and inspection of dams based on UAV photogrammetry with image 3D reconstruction, Automation in Construction, vol.130, (2021), 103832,  
[Structural health monitoring and inspection of dams based on UAV photogrammetry with image 3D reconstruction - ScienceDirect](#)
- Jafari, B., Khaloo, A., Lattanzi, D. Deformation tracking in 3D point clouds via statistical sampling of direct cloud-to-cloud distances, Journal of Nondestructive Evaluation, vol. 36, (2017)  
[Deformation Tracking in 3D Point Clouds Via Statistical Sampling of Direct Cloud-to-Cloud Distances | SpringerLink](#)

# ANEXOS

## ANEXO 1. FICHAS TIPO DE INSPECCIÓN PRINCIPAL

<b>FICHA 1: REGISTRO DE INSPECCIÓN INSPECCIÓN PRINCIPAL</b>
Itinerario:
Carretera:
Estructura:
Nombre:
P.K:
Fecha de la inspección:
Climatología:   · Temperatura: ..... °C · Tipo: ..... (S:Seco, N:Niebla, l:llovizna, L:Lluvia)
Organización del Inspector:
Nombre del Inspector:
Intervalo hasta la próxima inspección: ..... Años

Tabla 8: Ficha1 registro de inspección.

Fuente: ((CEDEX), 2013)

<b>FICHA 2: INFORME DE DAÑOS INSPECCIÓN PRINCIPAL</b>	
Itinerario:	
P.K:	
Carretera:	
Estructura:	
Elemento:	
Fecha de la inspección:	
<b>DESCRIPCIÓN DEL DAÑO</b>	
Daño:	Foto:
Síntomas:	Causas probables:
Extensión:	Gravedad:
Edad:	Evolución:
Posible evolución:	
<b>PROPUESTA DE MANTENIMIENTO</b>	
Actuaciones:	
Mantenimiento preventivo:	
Reparaciones y refuerzos:	

Tabla 9: Informe de daños

Fuente: (CEDEX, 2013)

## ANEXO 2.

### CATÁLOGO FOTOGRÁFICO DE LOS PROCESOS PATOLÓGICOS MÁS FRECUENTES EN PUENTES DE FÁBRICA

A continuación, se muestra por medio de figuras y fotografías los procesos patológicos más frecuentes dentro de los puentes de fábrica:

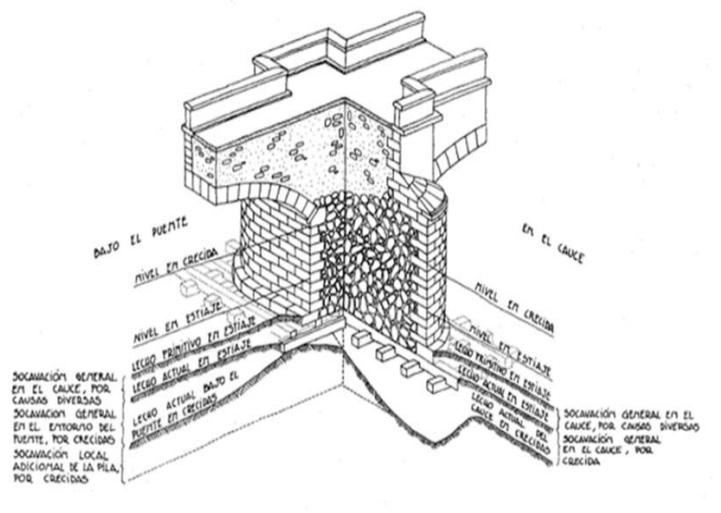


Ilustración 48. CIM-01 Descripción: Socavación de cimentaciones superficiales.

Fuente: (CEDEX, 2013)

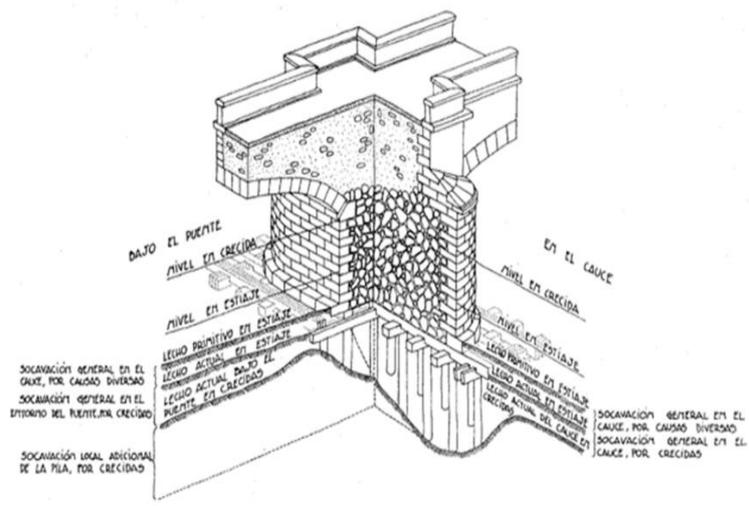
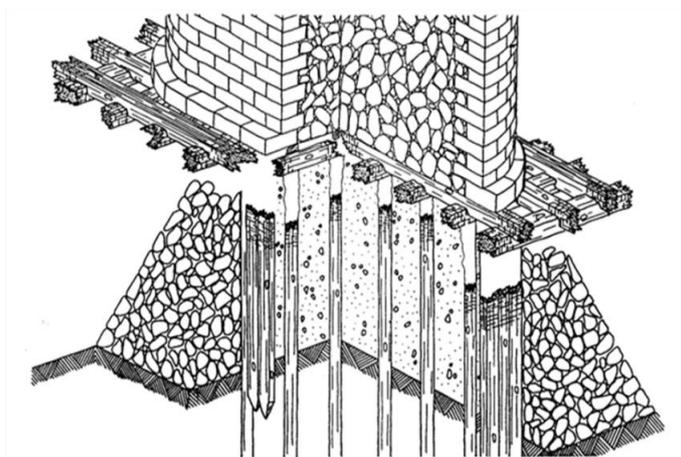


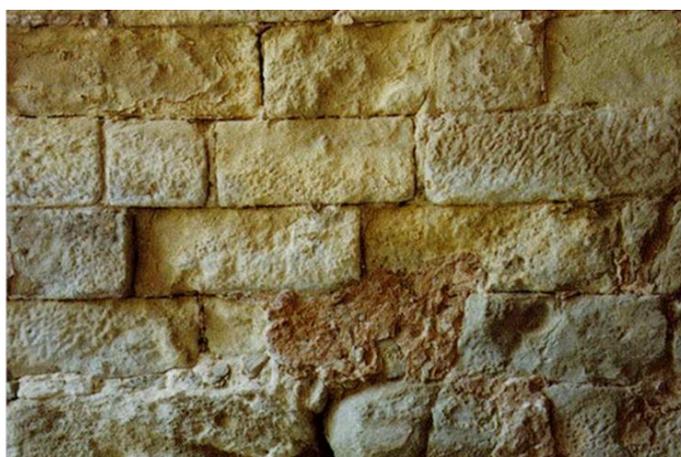
Ilustración 499. CIM-02 Descripción: Socavación de cimentación ejecuta con pilotes.

Fuente: (CEDEX, 2013)



*Ilustración 50. CIM -04 Descripción: Degradación de las cabezas de pilotes y/o de los emparrillados de madera.*

*Fuente: (CEDEX, 2013)*



*Ilustración 511. ALT-01 Descripción: Erosión.*

*Fuente: (CEDEX), 2013)*



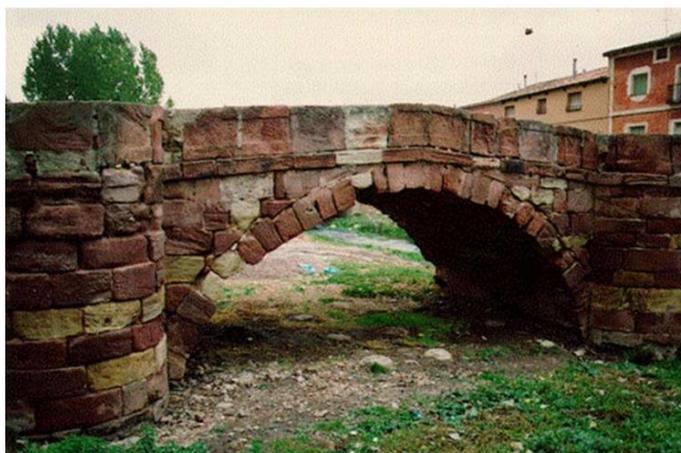
*Ilustración 522. ALT-02 Descripción: Depósitos salinos (Eflorescencias/Concreciones/Incrustaciones/Costras Negras).*

*Fuente: (CEDEX, 2013)*



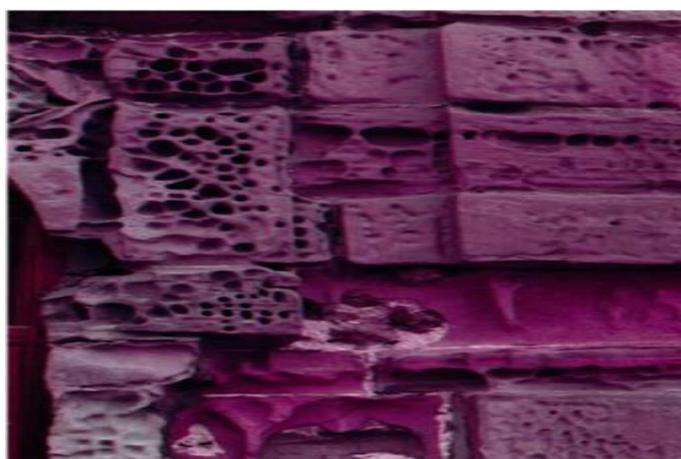
*Ilustración 533. ALT-03 Descripción: Desplacación o Lajación.*

*Fuente: (CEDEX, 2013)*



*Ilustración 544. ALT-04 Descripción: Desagregación (Arenización/Pulverización/Descohesión).*

*Fuente: (CEDEX, 2013)*



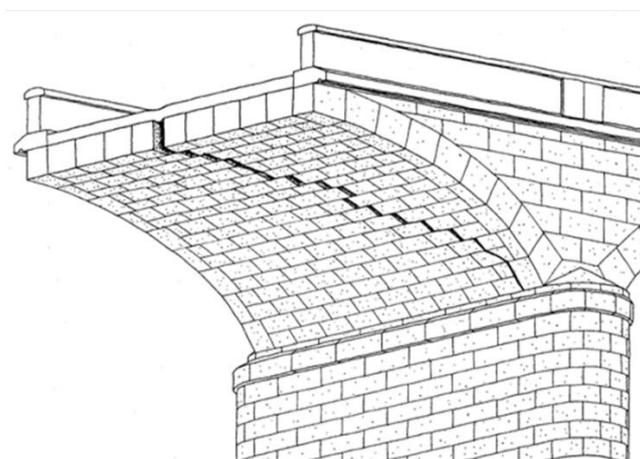
*Ilustración 555. ALT-05 Descripción: Alveolización.*

*Fuente: (CEDEX, 2013)*



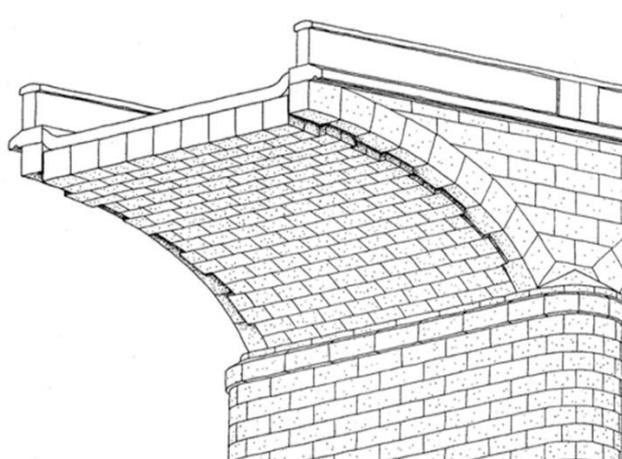
*Ilustración 566. ALT-06 Descripción: Pérdida de material de juntas.*

*Fuente: (CEDEX, 2013)*



*Ilustración 577. FIS-01 Descripción: Fisuración o agrietamiento oblicuo de la bóveda.*

*Fuente: (CEDEX, 2013)*



*Ilustración 588. FIS-02 Descripción: Flecha diferencial de la bóveda respecto a tímpanos y boquillas.*

*Fuente: (CEDEX, 2013)*

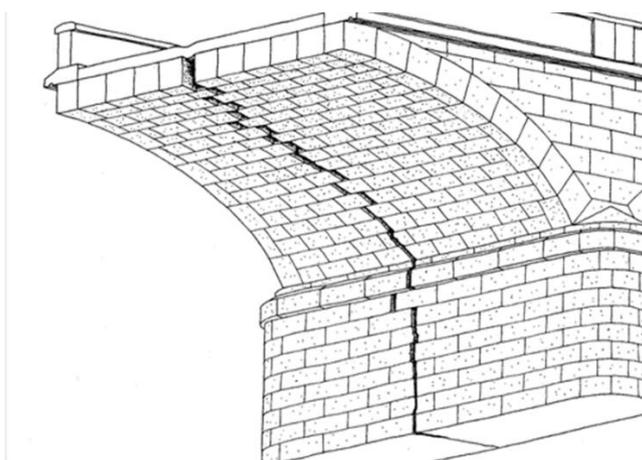


Ilustración 599. FIS-03 Descripción: Fisuración o agrietamiento longitudinal en franja central de apoyos y bóveda.

Fuente: (CEDEX, 2013)

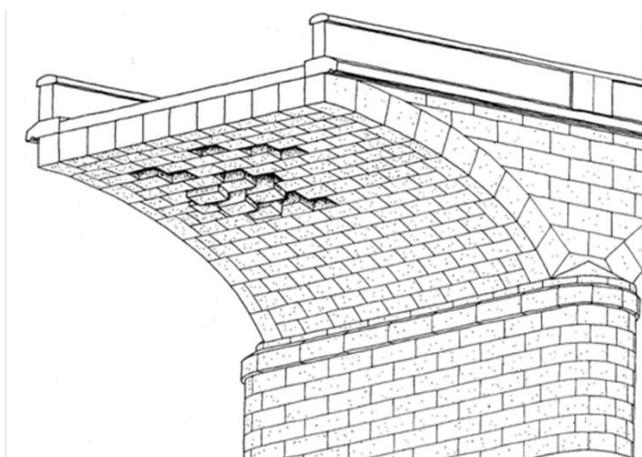


Ilustración 600. FIS-04 Descripción: Deslizamiento y/o caída de dovelas de bóveda.

Fuente: (CEDEX, 2013)

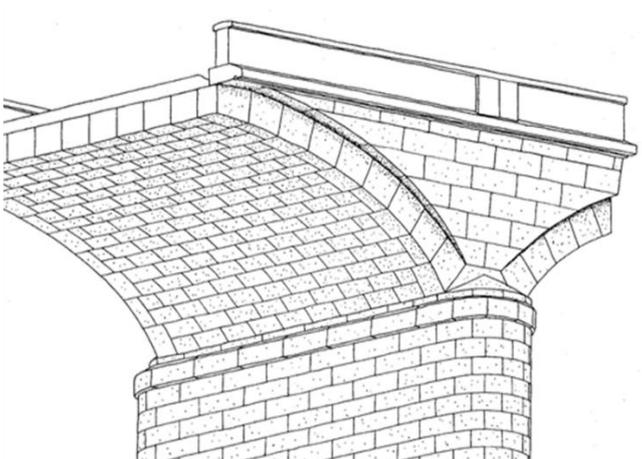
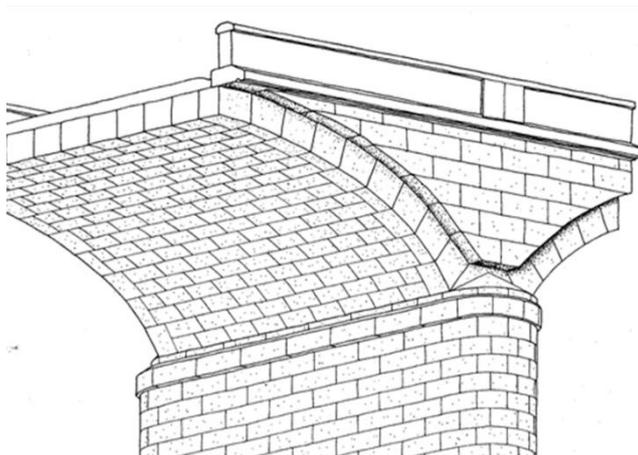


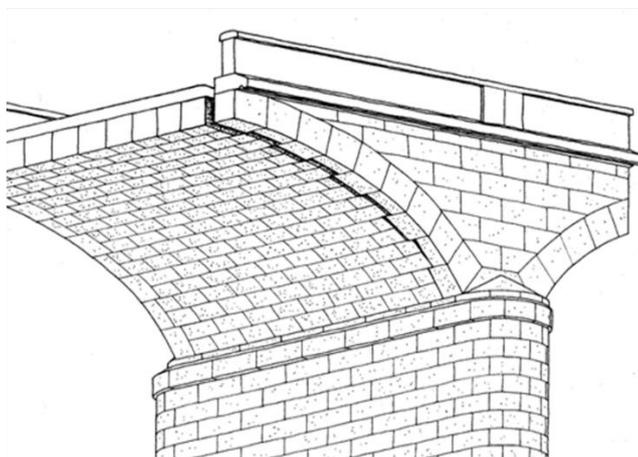
Ilustración 611. FIS-05 Descripción: Giro con tendencia al vuelco de tímpanos.

Fuente: (CEDEX, 2013)



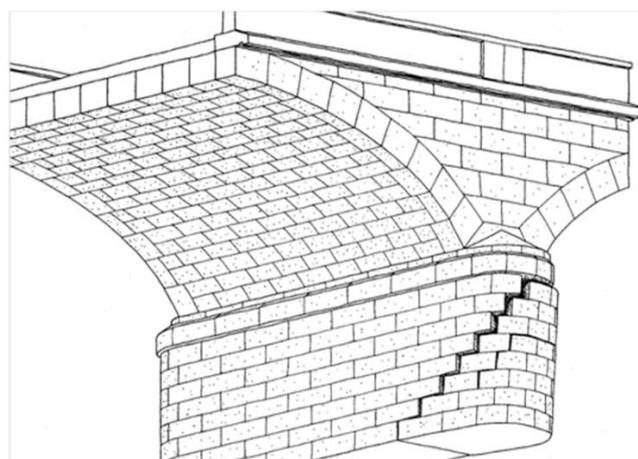
*Ilustración 622. FIS-06 Descripción: Deslizamiento horizontal de tímpanos*

*Fuente: (CEDEX, 2013)*



*Ilustración 633. FIS-07 Descripción: Fisuración o agrietamiento de la bóveda en la unión con las boquillas.*

*Fuente: (CEDEX, 2013)*



*Ilustración 644. FIS-08 Descripción: Fisuración o agrietamiento inclinado del borde de pila o estribo.*

*Fuente: (CEDEX, 2013)*

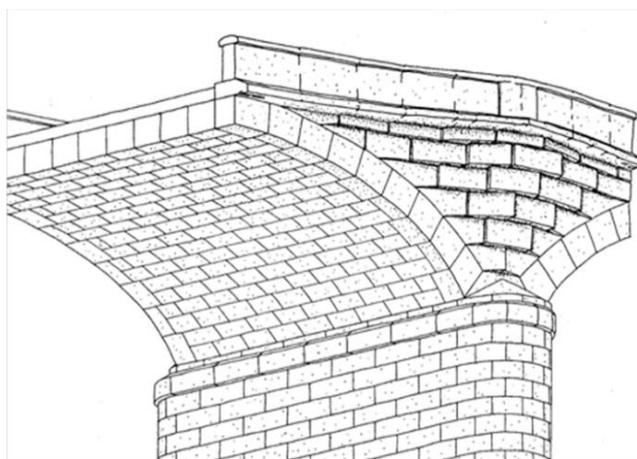


Ilustración 655. FIS-09 Descripción: Abombamiento de tímpanos.

Fuente: (CEDEX, 2013)

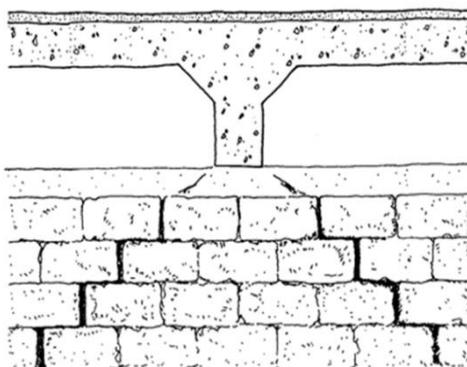


Ilustración 666. FIS-10 Descripción: Fisuración o agrietamiento en cabeza de pila o estribo bajo apoyo de tableros.

Fuente: (CEDEX, 2013)

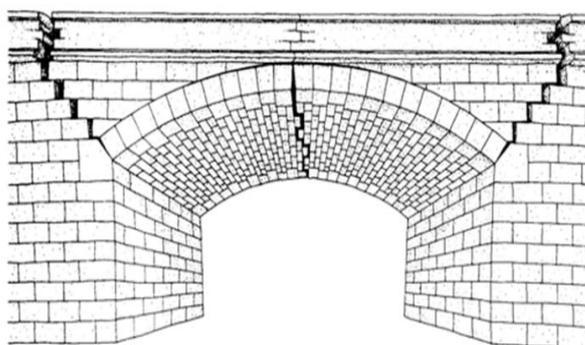


Ilustración 677. FIS-11 Descripción: Fisuración transversal del intradós en la clave y del trasdós en los arranques.

Fuente: (CEDEX, 2013)

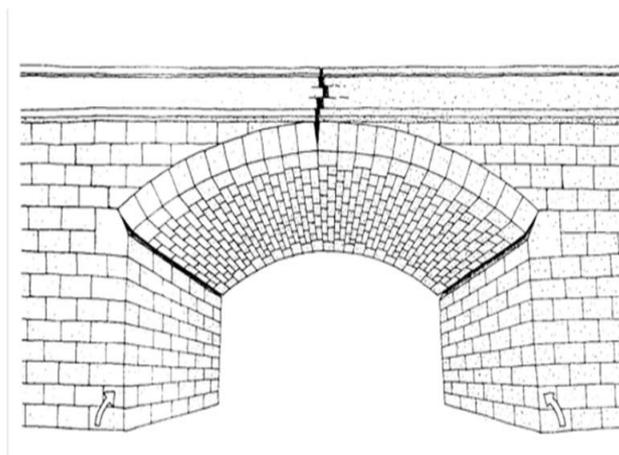


Ilustración 688. FIS-12 Descripción: Fisuración transversal del intradós en los arranques y del trasdós en la clave.

Fuente: (CEDEX, 2013)

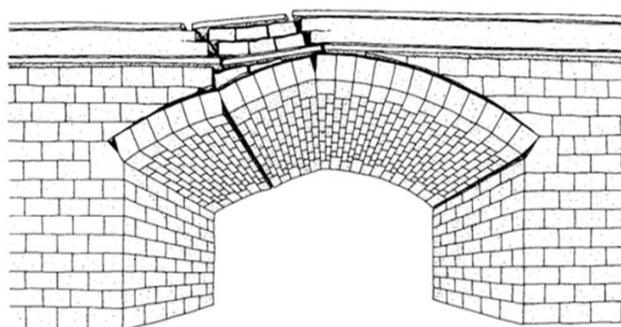


Ilustración 699. FIS-13 Descripción: Fisuración transversal, asimétrica y alterna de la bóveda.

Fuente: (CEDEX, 2013)

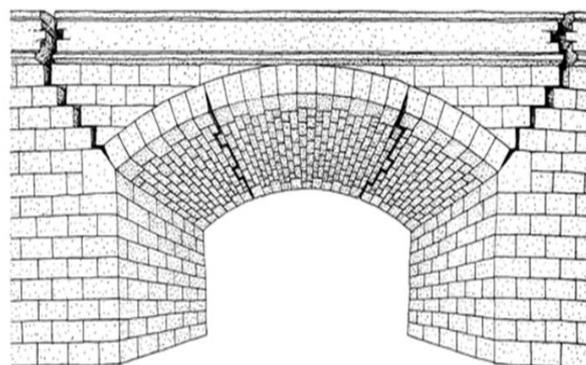
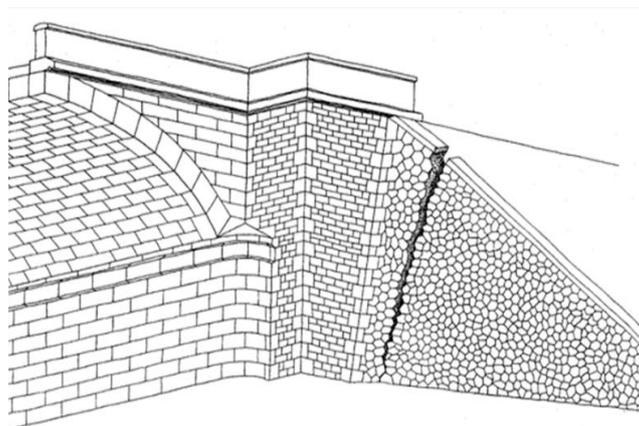


Ilustración 700. FIS-14 Descripción: Fisuración transversal del intradós a la altura de los riñones.

Fuente: (CEDEX), 2013)



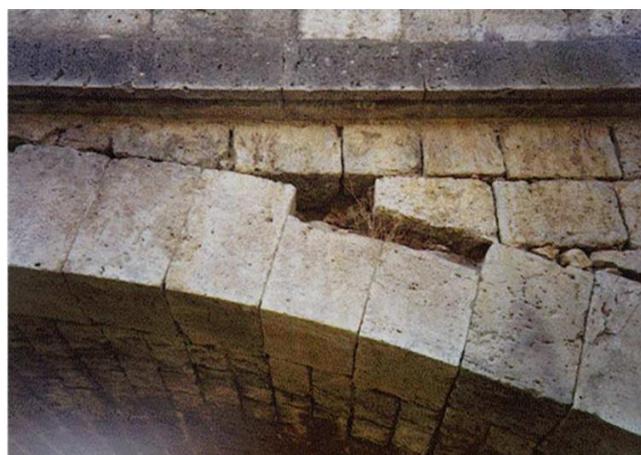
*Ilustración 711. FIS-15 Descripción: Fisuración o agrietamiento en muros de acompañamiento y aletas, junto a estribos.*

*Fuente: (CEDEX, 2013)*



*Ilustración 722. FIS-16 Descripción: Asientos absolutos o diferenciales de pilas o estribos.*

*Fuente: (CEDEX, 2013)*



*Ilustración 733. FIS-17 Descripción: Rotura de aristas y esquinas de sillares*

*Fuente: (CEDEX, 2013)*

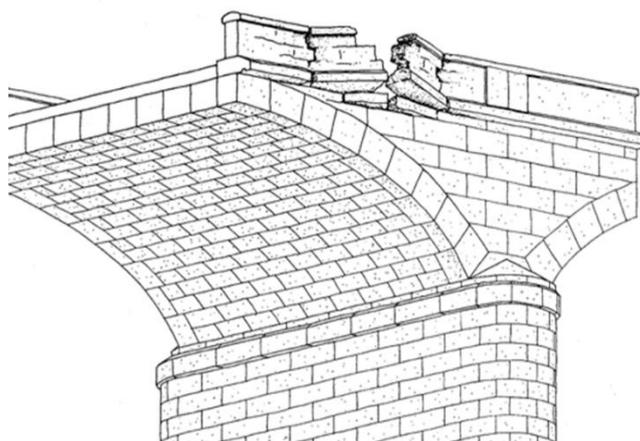


Ilustración 744. FUN-01 Descripción: Desplazamiento, daños o rotura de peto.

Fuente: (CEDEX, 2013)

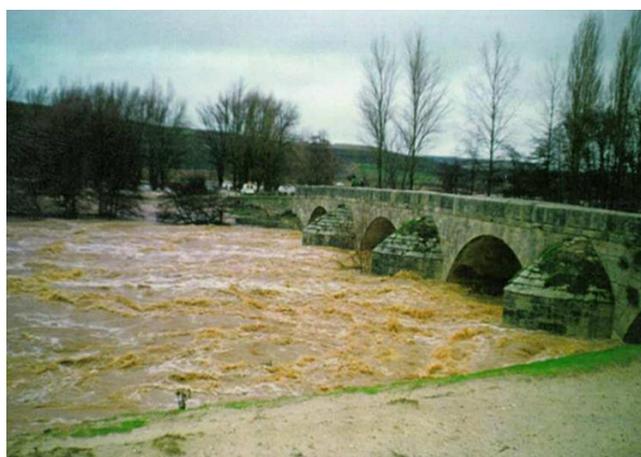


Ilustración 755. FUN-02 Descripción: Disminución de la capacidad de desagüe bajo el puente.

Fuente: (CEDEX, 2013)



Ilustración 766. UN-03 Descripción: Depósitos superficiales (enmugrecimiento, suciedad).

Fuente: (CEDEX, 2013)



Ilustración 777. FUN-04 Descripción: Desprendimiento del revestimiento.

Fuente: (CEDEX, 2013)



Ilustración 788. FUN-05 Descripción: Manchas de humedad e inadecuado funcionamiento de los mechinales.

Fuente: (CEDEX, 2013)



Ilustración 799. FUN-06 Descripción: Crecimiento y desarrollo de vegetación.

Fuente: (CEDEX, 2013)

### ANEXO 3. FICHA TIPO DE INSPECCIÓN BÁSICA

SISTEMA DE GESTIÓN DE PUENTES - INSPECCIÓN BÁSICA										
CONDICIÓN DE LOS ELEMENTOS										
<b>TABLERO</b>	<input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Malo	<b>BÓVEDA</b>	<input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Malo				IMÁGENES			
<b>PILAS</b>	<input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Malo	<b>ESTRIBOS</b>	<input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Malo	<b>APOYOS</b>	<input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Malo	IMAGEN	DESCRIPCIÓN			
<b>TERRAPLENES</b>	<input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Malo	<b>MUROS DE CONTENCIÓN</b>	<input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Malo	<b>CIMENTACIONES</b>	<input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Malo					
<b>PARAPETOS</b>	<input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Malo	<b>SISTEMA DE DRENAJE</b>	<input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Malo	<b>MEDIANA</b>	<input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Malo					
<b>OTRAS FACILIDADES ADJUNTAS</b>	<input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Malo	<b>ILUMINACIÓN</b>	<input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Malo							
ACCIONES DE MANTENIMIENTO										
<b>TABLERO</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Mantenimiento menor <input type="checkbox"/> Inspección principal <input type="checkbox"/> Avisar al Ministerio	<b>TERRAPLENES</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Mantenimiento menor <input type="checkbox"/> Inspección principal <input type="checkbox"/> Avisar al Ministerio	<b>SISTEMA DE DRENAJE</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Mantenimiento menor <input type="checkbox"/> Inspección principal					
<b>BÓVEDA</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Mantenimiento menor <input type="checkbox"/> Inspección principal <input type="checkbox"/> Avisar al Ministerio	<b>MUROS DE CONTENCIÓN</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Mantenimiento menor <input type="checkbox"/> Inspección principal <input type="checkbox"/> Avisar al Ministerio	<b>MEDIANA</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Mantenimiento menor <input type="checkbox"/> Inspección principal					
<b>PILAS</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Mantenimiento menor <input type="checkbox"/> Inspección principal <input type="checkbox"/> Avisar al Ministerio	<b>CIMENTACIONES</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Mantenimiento menor <input type="checkbox"/> Inspección principal <input type="checkbox"/> Avisar al Ministerio	<b>ILUMINACIÓN</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Mantenimiento menor <input type="checkbox"/> Inspección principal					
<b>ESTRIBOS</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Mantenimiento menor <input type="checkbox"/> Inspección principal <input type="checkbox"/> Avisar al Ministerio	<b>PARAPETOS</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Mantenimiento menor <input type="checkbox"/> Inspección principal <input type="checkbox"/> Avisar al Ministerio	<b>OTRAS FACILIDADES ADJUNTAS</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Admin.					
<b>COMENTARIOS</b>										
						FOTO GENERAL				

Ilustración 80. Ficha tipo de inspección básica

Fuente (Paredes, 2019)



SISTEMA DE GESTIÓN DE PUENTES - INVENTARIO 2 de 2			
INFORMACIÓN DE ELEMENTOS			
<b>SUPERESTRUCTURA</b>			
<b>TABLERO</b>	<input type="checkbox"/> Bóveda <input type="checkbox"/> Mixto <input type="checkbox"/> Obra de fábrica	<b>BÓVEDA</b>	<input type="checkbox"/> Maciza <input type="checkbox"/> Aligerada <input type="checkbox"/> Boquilla <input type="checkbox"/> Tímpano <input type="checkbox"/> Losa en voladizo <input type="checkbox"/> Refuerzos <input type="checkbox"/> Pintura <input type="checkbox"/> Revestimientos <input type="checkbox"/> Relleno suelto sobre tablero
<b>SUBESTRUCTURA</b>			
<b>PILAS TIPO 1</b>	<input type="checkbox"/> Única <input type="checkbox"/> Múltiple <input type="checkbox"/> Gaviones <input type="checkbox"/> Cargadero <input type="checkbox"/> Obra de fábrica <input type="checkbox"/> Prefabricado <input type="checkbox"/> Hormigonado in situ	<b>ESTRIBOS</b>	<input type="checkbox"/> Cerrado <input type="checkbox"/> Abierto <input type="checkbox"/> Muro de contención de bloque <input type="checkbox"/> Muro de contención de panel <input type="checkbox"/> Muro de contención <input type="checkbox"/> Otros elementos (pilas, contrafuertes) <input type="checkbox"/> Aletas <input type="checkbox"/> Gaviones <input type="checkbox"/> Prefabricado
<b>PILAS TIPO 2</b>	<input type="checkbox"/> Única <input type="checkbox"/> Múltiple <input type="checkbox"/> Gaviones <input type="checkbox"/> Cargadero <input type="checkbox"/> Obra de fábrica <input type="checkbox"/> Prefabricado <input type="checkbox"/> Hormigonado in situ	<b>TERRAPLENES</b>	<input type="checkbox"/> De Tierra <input type="checkbox"/> Losa reforzada <input type="checkbox"/> Muro de contención de bloque <input type="checkbox"/> Muro de contención de panel <input type="checkbox"/> Aliviadero <input type="checkbox"/> Escollera <input type="checkbox"/> Gunitado <input type="checkbox"/> Gaviones
<b>ACCESORIOS DEL PUENTE</b>			
<b>PARAPETOS TIPO 1</b>	<input type="checkbox"/> Protección de los peatones <input type="checkbox"/> Protección de coches <input type="checkbox"/> Defensa lateral ó pretil <input type="checkbox"/> New Jersey <input type="checkbox"/> Perfiles de acero <input type="checkbox"/> Parapetos de hormigón <input type="checkbox"/> Otros	<b>SISTEMA DE DRENAJE</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Imbornal/sumideros <input type="checkbox"/> Tuberías <input type="checkbox"/> Gárgolas <input type="checkbox"/> Tubo de desagüe
<b>PARAPETOS TIPO 2</b>	<input type="checkbox"/> Protección de los peatones <input type="checkbox"/> Protección de coches <input type="checkbox"/> Defensa lateral ó pretil <input type="checkbox"/> New Jersey <input type="checkbox"/> Perfiles de acero <input type="checkbox"/> Otros	<b>MEDIANA</b>	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Existe <input type="checkbox"/> Canto <input type="checkbox"/> Adoquín
<b>MURO DE ACOMPAÑAMIENTO</b>			
<input type="checkbox"/> De Tierra <input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Muro de contención de bloque <input type="checkbox"/> Muro de contención de panel <input type="checkbox"/> Aliviadero <input type="checkbox"/> Encachado <input type="checkbox"/> Escollera <input type="checkbox"/> Gunitado <input type="checkbox"/> Gaviones			
<b>CIMENTACIONES</b>			
<input type="checkbox"/> No se observa <input type="checkbox"/> Directa <input type="checkbox"/> Profunda			
<b>OTRAS FACILIDADES ADJUNTAS</b>			
<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Agua <input type="checkbox"/> Petróleo <input type="checkbox"/> Gas <input type="checkbox"/> Electricidad <input type="checkbox"/> Semáforos			
<b>ILUMINACIÓN</b>			
<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Existe			

Ilustración 82. Ficha de inventario 2

Fuente (Paredes, 2019)

## ANEXO 5.

### FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS PATOLÓGICOS EN EL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES

FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS PATOLÓGICOS EN EL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES	Ficha No. 1
	Fecha: 05/07/2023
<p><b>Lesión:</b> Fisuración o agrietamiento de la bóveda 1 en la unión con la boquilla.</p>	
<p><b>Descripción:</b> Se observa una fisuración o agrietamiento en la unión entre la bóveda y la boquilla, donde la apertura va aumentando desde los arranques hasta llegar al clave. Esta condición patológica ocasiona la separación entre la bóveda y la combinación boquilla-tímpano, debido al desplazamiento lateral de la boquilla. Esto puede llevar a la generación de fracturas por compresión en la superficie exterior de las dovelas de arranque, así como a la formación de fisuras por tracción en la superficie interna.</p>	
<p><b>Causas probables:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Excesiva fuerza horizontal ejercida por los rellenos sobre tímpanos que están correctamente encajados con las boquillas.</li> <li>- Aumento en las fuerzas horizontales generadas por el relleno debido a la acumulación de agua sobre el trasdós, resultado de un sistema de drenaje inadecuado.</li> <li>- Insuficiente interconexión entre las dovelas de las boquillas y las de la bóveda.</li> </ul>	
<p><b>Alcance:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En casos extremos, existe la posibilidad de que ocurra el vuelco del conjunto formado por la boquilla, el tímpano y el peto, lo que podría resultar en la potencial pérdida del material de relleno que sostiene la superficie del puente.</li> <li>- Cuando el grado de desarrollo es notable, la condición patológica puede ser clasificada como riesgosa</li> </ul>	
<p><b>Posible Evolución:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Si no se toman medidas para aplicar el refuerzo necesario, La amplitud del agrietamiento irá aumentando gradualmente hasta que el conjunto estructural finalmente se voltee.</li> </ul>	

**Actuaciones:**

- Mantener un seguimiento constante de cómo avanzan los deterioros.
- Cuando el nivel de desarrollo de la patología sea notable o su avance sea evidente, llevar a cabo una inspección especial estructural.
- En caso de que la situación sea especialmente delicada, será necesario bloquear totalmente el acceso hasta que se implemente el refuerzo necesario, ya sea temporal o permanente.
- Si los daños se encuentran en una etapa temprana y no muestran progresión, llevar a cabo tareas de mantenimiento.

**Mantenimiento Preventivo:**

- Realizar el sellado y relleno de las grietas.
- Llevar a cabo la limpieza de los componentes del sistema de drenaje.

**Reparaciones y Refuerzos:**

Si se detecta un nivel insuficiente de seguridad en la estabilidad de los tímpanos y se considera que la limpieza y el sistema de drenaje no son adecuados, es necesario planear y llevar a cabo una de las alternativas de refuerzo que se detallan a continuación:

- Realización de una sutura horizontal en los tímpanos mediante el uso de barras alargadas.
- Aplicación o cambio del material de relleno para disminuir la presión ejercida sobre los tímpanos.
- Reconstrucción y renovación de los tímpanos a través de su demolición y la sustitución del material de relleno

*Tabla 10: Ficha 1 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes*

*(Fuente propia)*

<b>FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS PATOLÓGICOS EN EL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES</b>	<b>Ficha No. 2</b>
	<b>Fecha: 05/07/2023</b>
<p><b>Lesión:</b> Eflorescencia en el estribo y la boquilla de la bóveda 1</p>	
<p><b>Descripción:</b> En general se trata de acumulaciones, estratos o láminas que se forman sobre la fábrica de ladrillo o la superficie de rocas. Estas manifestaciones pueden adoptar diversas formas (capas, lentejón, láminas, formaciones tipo estalagmita o estalactita) y presentan una variada composición (mezcla de sustancias salinas junto con otros componentes orgánicos e inorgánicos). Además, su apariencia en términos de color y textura varía en función de lo que las compone. Las acumulaciones salinas reciben diferentes nombres según las características antes mencionadas: concreciones, incrustaciones, eflorescencias o costras.</p>	
	
<p><b>Causas Probables:</b> La generación de depósitos salinos en la superficie externa de los materiales ocurre debido al desplazamiento de las sales que ya están presentes en el interior de estos materiales. Este proceso es impulsado por la presencia de agua, que provoca la migración de las sales desde el interior hacia el exterior, donde posteriormente vuelven a cristalizarse o precipitarse. Esta precipitación, en su mayoría, se desencadena por procesos de evaporación.</p>	
<p><b>Alcance:</b> En general, los depósitos salinos que aparecen en la superficie de los materiales (como eflorescencias, incrustaciones y concreciones) suelen ser principalmente un problema estético de deterioro. En la mayoría de los casos, estos depósitos pueden ser vistos como imperfecciones que no representan un riesgo significativo.</p>	
<p><b>Posible Evolución:</b> Por lo general, si no se llevan a cabo tareas de limpieza, habrá un aumento gradual en la acumulación de depósitos salinos</p>	
<p><b>Actuaciones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Normalmente, no requieren acciones urgentes, ya que por lo general no hay un impacto significativo en la seguridad.</li> </ul>	

- En caso de ser necesario para garantizar la durabilidad de la obra, se recomienda llevar a cabo una inspección estructural especial para revisar y controlar las posibles vías por las que el agua pueda ingresar a la estructura, así como los sistemas de drenaje.
- Si la acumulación de depósitos salinos fuera considerable, especialmente en el caso de las costras negras, se aconseja realizar una limpieza de las superficies afectadas.

**Mantenimiento Preventivo:**

- Realizar limpiezas regulares de los sistemas de drenaje y de los canales de evacuación de agua.

**Reparaciones y Refuerzos:**

- Aplicar un revestimiento impermeable en la superficie de la plataforma y establecer un sistema eficiente para dirigir y eliminar el agua de la superficie.
- Optimizar el sistema de drenaje y la evacuación de aguas que se hayan infiltrado en los rellenos.
- Si fuera necesario fortalecer la capacidad estructural mediante un refuerzo que implique la eliminación de rellenos, aprovechar la oportunidad para impermeabilizar las partes superiores de las bóvedas, los tímpanos y los estribos.

*Tabla 11: Ficha 2 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes*

*(Fuente propia)*

<b>FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS PATOLÓGICOS EN EL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES</b>	<b>Ficha No. 3</b>
	<b>Fecha: 05/07/2023</b>
<p><b>Lesión:</b> Costras negras en la bóveda1 y el muro de acompañamiento</p>	
<p><b>Descripción:</b> En general se trata de acumulaciones, estratos o láminas que se forman sobre la fábrica de ladrillo o la superficie de rocas. Estas manifestaciones pueden adoptar diversas formas (capas, lentejón, láminas, formaciones tipo estalagmita o estalactita) y presentan una variada composición (mezcla de sustancias salinas junto con otros componentes orgánicos e inorgánicos). Además, su apariencia en términos de color y textura varía en función de lo que las compone. Las acumulaciones salinas reciben diferentes nombres según las características antes mencionadas: concreciones, incrustaciones, eflorescencias o costras.</p>	
	
<p><b>Causas Probables:</b> La generación de depósitos salinos en la superficie externa de los materiales ocurre debido al desplazamiento de las sales que ya están presentes en el interior de estos materiales. Este proceso es impulsado por la presencia de agua, que provoca la migración de las sales desde el interior hacia el exterior, donde posteriormente vuelven a cristalizarse o precipitarse. Esta precipitación, en su mayoría, se desencadena por procesos de evaporación. En situaciones donde se forman costras negras, la contaminación atmosférica juega un papel crucial en el proceso, especialmente en lo que respecta a la contribución de sales.</p>	
<p><b>Alcance:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En general, los depósitos salinos que aparecen en la superficie de los materiales (como eflorescencias, incrustaciones y concreciones) suelen ser principalmente un problema estético de deterioro.</li> <li>- Las costras negras, además de su impacto visual, comprometen la integridad de los materiales al debilitar la base en la que se forman.</li> <li>- En general, suelen ser consideradas imperfecciones no amenazantes.</li> </ul>	

**Posible Evolución:**

- Por lo general, si no se llevan a cabo tareas de limpieza, habrá un aumento gradual en la acumulación de depósitos salinos.

**Actuaciones:**

- Normalmente, no requieren acciones urgentes, ya que por lo general no hay un impacto significativo en la seguridad.
- En caso de ser necesario para garantizar la durabilidad de la obra, se recomienda llevar a cabo una inspección estructural especial para revisar y controlar las posibles vías por las que el agua pueda ingresar a la estructura, así como los sistemas de drenaje.
- Si la acumulación de depósitos salinos fuera considerable, especialmente en el caso de las costras negras, se aconseja realizar una limpieza de las superficies afectadas.

**Mantenimiento Preventivo:**

- Realizar limpiezas regulares de los sistemas de drenaje y de los canales de evacuación de agua.
- Realizar limpiezas regulares en las superficies afectadas por las costras negras.

**Reparaciones y Refuerzos:**

- Aplicar un revestimiento impermeable en la superficie de la plataforma y establecer un sistema eficiente para dirigir y eliminar el agua de la superficie.
- Optimizar el sistema de drenaje y la evacuación de aguas que se hayan infiltrado en los rellenos.
- Si fuera necesario fortalecer la capacidad estructural mediante un refuerzo que implique la eliminación de rellenos, aprovechar la oportunidad para impermeabilizar las partes superiores de las bóvedas, los tímpanos y los estribos.

*Tabla 12: Ficha 3 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.*

*(Fuente propia)*

<b>FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS PATOLÓGICOS EN EL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES</b>	<b>Ficha No. 4</b>
	<b>Fecha: 05/07/2023</b>
<p><b>Lesión:</b> Desagregación en el Tímpano y el muro de acompañamiento</p>	
<p><b>Descripción:</b> La desintegración granular o arenosa se define por la caída "grano a grano" de partículas de material, causada por la ausencia de cohesión entre granos o cristales. Los componentes afectados por la desintegración muestran bordes suavizados y reducción en su sección.</p>	
	
<p><b>Causas Probables:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ocurre una disminución o deterioro de la fase cementante o aglutinante de los granos debido a factores químicos y/o físicos. Los procesos que más comúnmente contribuyen al surgimiento de este problema son los siguientes: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Variaciones repetitivas de temperatura.</li> <li>➤ Ciclos de hielo-deshielo.</li> <li>➤ Erosión causada por la circulación de agua a través de las uniones o en las superficies expuestas.</li> </ul> </li> </ul>	
<p><b>Alcance:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En las etapas iniciales, no se puede categorizar como un daño peligroso.</li> </ul>	
<p><b>Posible Evolución:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se produce una reducción gradual y constante de material, debido a la separación de la capa superficial de la piedra o ladrillo, llegando a penetrar varios centímetros en profundidad.</li> <li>- Si no se realizan acciones de reparación o fortalecimiento, la degradación de las partes afectadas podría tener un impacto notable en la integridad estructural de la estructura.</li> </ul>	
<p><b>Actuaciones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Llevar a cabo una inspección estructural especial con el propósito de examinar minuciosamente las causas exactas del fenómeno, estimar la magnitud de los daños y proponer el enfoque de restauración adecuado, especialmente en casos de estructuras con valor histórico, artístico o estético, o cuando la degradación sea significativa.</li> </ul>	

<ul style="list-style-type: none"><li>- Realizar un monitoreo regular de la evolución cuando la patología se detecte en una etapa temprana.</li></ul>
<b>Mantenimiento Preventivo:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Las tareas convencionales de mantenimiento preventivo no logran obtener resultados satisfactorios.</li></ul>
<b>Reparaciones y Refuerzos:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Ante una pérdida sustancial de material y en estructuras de relevancia histórica, artística o estética, se procederá a reemplazar dicho material con una sustitución compatible o a substituir los elementos afectados.</li><li>- Si se presenta una pérdida importante de material en estructuras sin valor histórico, artístico o estético, y si una reducción en las dimensiones es aceptable, se contemplará la planificación y ejecución de una nueva bóveda de hormigón armado en el interior, implementada mediante hormigón proyectado o construida in situ en un encofrado.</li></ul>

Tabla 13: Ficha 1 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.

(Fuente propia)

<b>FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS PATOLÓGICOS EN EL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES</b>	<b>Ficha No. 5</b>
	<b>Fecha: 05/07/2023</b>
<b>Lesión:</b> Alveolización en la bóveda 1	
<b>Descripción:</b> Esta lesión se presenta en forma de cavidades o huecos en forma de globos (alveolos), los cuales pueden estar unidos o aislados entre sí y divididos por salientes. En conjunto, adoptan una apariencia similar a la de un panal de abejas. Este patrón alveolar es típico de ciertos materiales rocosos porosos y granulares (como tobas y areniscas). Es importante no confundir la alveolización con la creación de cuevas subterráneas.	
<b>Causas Probables:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Los alveolos se forman principalmente debido a dilataciones diferenciales en materiales heterogéneos en regiones con cambios térmicos significativos, así como por la acumulación de sustancias salinas y el crecimiento de ciertos microorganismos (bacterias del ciclo del nitrógeno). Ya sea por una de estas razones, se generan pequeñas áreas de deterioro que resultan en la aparición de zonas menos densas y susceptibles de desprenderse con facilidad bajo la influencia de la lluvia o el viento.</li> <li>- En el caso de materiales compuestos de calcio, los alveolos se originan a través de procesos de disolución kárstica.</li> </ul>	
<b>Alcance:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En las etapas iniciales de su formación, la disminución de la capacidad de resistencia en los materiales afectados tiene a ser mínima y, por lo tanto, no se considera como una amenaza.</li> </ul>	
<b>Posible Evolución:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Con el tiempo, el material experimenta una pérdida gradual que avanza hasta alcanzar profundidades de varios centímetros. Si no se llevan a cabo acciones de reparación o refuerzo, esta degradación de los elementos afectados continuará aumentando de manera constante, lo que eventualmente podría comprometer la seguridad.</li> </ul>	
<b>Actuaciones:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuando se trate de estructuras con valor histórico, artístico o estético significativo, así como cuando los daños sean considerables, se debe realizar una inspección</li> </ul>	

<p>estructural especializada. Esto permitirá analizar con precisión las causas subyacentes del fenómeno, evaluar la extensión de los deterioros y ofrecer recomendaciones para la reparación adecuada.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- En el caso de que la condición patológica esté en sus primeras etapas, se recomienda realizar un seguimiento regular del proceso para controlar su evolución.</li></ul>
<p><b>Mantenimiento Preventivo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Las tareas de mantenimiento preventivo convencionales no logran producir los resultados deseados.</li></ul>
<p><b>Reparaciones y Refuerzos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Cuando se presente una pérdida sustancial de material en estructuras de valor histórico, artístico o estético, se requerirá el relleno de cavidades con un material de reemplazo compatible o incluso la sustitución completa de los elementos afectados.</li><li>- En situaciones donde se experimente una pérdida importante de material en estructuras sin relevancia histórica, artística o estética, y si la reducción del perfil es aceptable, se proyectará y llevará a cabo la construcción de una nueva bóveda de hormigón armado en la parte interna. Esto se puede lograr mediante la aplicación de hormigón proyectado o vertido en un encofrado.</li></ul>

Tabla 14: Ficha 5 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes..

(Fuente propia)

FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS PATOLÓGICOS EN EL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES	Ficha No. 6
	Fecha: 05/07/2023
<p><b>Lesión:</b> Pérdida de material de juntas en la bóveda 1.</p>	
<p><b>Descripción:</b> El proceso patológico se distingue por la pérdida del mortero que une los sillares, sillarejos o mampuestos que conforman la estructura del puente.</p>	
<p><b>Causas Probables:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Deficiente calidad del mortero de unión.</li> <li>- Desintegración causada por cambios físicos y químicos en el mortero de unión.</li> </ul>	
<p><b>Alcance:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuando esta condición patológica avanza considerablemente, existe el riesgo de que los sillares o ladrillos se desplacen debido a la falta de cohesión en las estructuras, especialmente en las bóvedas, lo cual puede tener un impacto significativo en la seguridad.</li> <li>- Durante las etapas iniciales de progresión, esta situación puede ser considerada como no representando un peligro.</li> </ul>	
<p><b>Posible Evolución:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En ausencia de acciones de mantenimiento o reparación integral, lesión continuará avanzando gradualmente, lo que podría resultar en el desplazamiento y la eventual caída de sillares, ladrillos o dovelas</li> </ul>	
<p><b>Actuaciones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Llevar a cabo mantenimiento de manera regular.</li> <li>- En casos de daño limitado, realizar tareas de mantenimiento y supervisar el desarrollo a futuro.</li> <li>- Cuando el daño es extenso, llevar a cabo una inspección estructural especializada para evaluar la condición de la estructura y determinar los materiales y métodos de reparación más apropiados.</li> </ul>	
<p><b>Mantenimiento Preventivo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- realizar el relleno manual utilizando un mortero que sea compatible con los materiales originales de los sillares, sillarejos, mampuestos o ladrillos que conforman la estructura.</li> </ul>	

**Reparaciones y Refuerzos:**

- Si la integridad estructural de la construcción no se ve considerablemente comprometida, llevar a cabo la tarea de rellenar las juntas en toda la estructura utilizando morteros que sean compatibles con los materiales originales.

*Tabla 15: Ficha 6 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.*

*(Fuente propia)*

<b>FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS PATOLÓGICOS EN EL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES</b>	<b>Ficha No. 7</b>
	<b>Fecha: 05/07/2023</b>
<p><b>Lesión:</b> Rotura de aristas y esquinas de sillares en la pila.</p>	
<p><b>Descripción:</b> La manifestación de esta Patología se reconoce por la presencia de fracturas en las esquinas y bordes de los sillares.</p>	
<p><b>Causas Probables:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Efectos potenciales causados por el tránsito vehicular.</li> <li>- Fuerzas de tracción generadas entre componentes diversos de la estructura, como por ejemplo entre tímpanos y arcos, o entre boquillas y bóvedas.</li> </ul>	
<p><b>Alcance:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Por lo general, el impacto es limitado ya que se trata de daños altamente focalizados. Esto podría ser considerado como un daño de bajo riesgo</li> </ul>	
<p><b>Posible Evolución:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Habitualmente esta situación se mantiene estable.</li> </ul>	
<p><b>Actuaciones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reposición de los elementos dañados.</li> </ul>	
<p><b>Mantenimiento Preventivo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- No resultan eficaces las labores habituales de mantenimiento preventivo.</li> </ul>	
<p><b>Reparaciones y Refuerzos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Restauración de la estructura mediante la sustitución de los componentes afectados.</li> </ul>	

Tabla 16: Ficha 7 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.

(Fuente propia)

<b>FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS PATOLÓGICOS EN EL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES</b>	<b>Ficha No. 8</b>
	<b>Fecha: 05/07/2023</b>
<b>Lesión:</b> Manchas de humedad o inadecuado funcionamiento de los mechinales en el estribo de la bóveda 2	
<b>Descripción:</b> Presencia de áreas húmedas en la construcción causadas por la filtración de agua a través del relleno. Estas zonas húmedas suelen estar acompañadas de acumulaciones de carbonato de calcio.	
<b>Causas Probables:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La capacidad de absorción en las estructuras que conforman los tímpanos, muros y bóvedas puede resultar en un desempeño inadecuado de los canales de drenaje.</li> </ul>	
<b>Alcance:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Su efecto es limitado en el corto plazo.</li> <li>- a largo plazo podría tener un impacto en la resistencia de las estructuras, ya que las juntas entre sillares, sillarejos o ladrillos podrían erosionarse y debilitarse.</li> </ul>	
<b>Posible Evolución:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potencial deterioro gradual de los materiales que componen la bóveda del puente.</li> </ul>	
<b>Actuaciones:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Llevar a cabo tareas de mantenimiento preventivo y, al detectar señales de deterioro en las estructuras, efectuar medidas de reparación.</li> </ul>	
<b>Mantenimiento Preventivo:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar limpiezas regulares de los canales de drenaje.</li> </ul>	
<b>Reparaciones y Refuerzos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Las acciones de reparación comprenderán una o más de las siguientes intervenciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aplicación de impermeabilización en la superficie.</li> <li>➤ Rellenado de juntas e inyección de la fábrica.</li> <li>➤ Limpieza y mejoramiento de los sistemas de drenaje</li> </ul> </li> </ul>	

Tabla 17: Ficha 8 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.

(Fuente propia)

<b>FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS PATOLÓGICOS EN EL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES</b>	<b>Ficha No. 9</b>
	<b>Fecha: 05/07/2023</b>
<p><b>Lesión:</b> Crecimiento y desarrollo de vegetación en toda la estructura.</p>	
<p><b>Descripción:</b> La vegetación crece y se desarrolla, especialmente plantas más grandes (como arbustos y hierbas, aunque también musgo y líquenes), se establecen en los espacios y las uniones de las piedras. Esto puede causar movimientos de deslizamiento en los sillares y reducir la solidez de la fábrica. Aparte de generar capas de colores y recubrimientos, las raíces de estas plantas pueden resultar en la formación de grietas, la fragmentación del material pétreo y procesos de descomposición.</p>	
	
<p><b>Causas Probables:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Presencia de huecos entre los sillares.</li> <li>- Ausencia de mortero o presencia de mortero de baja calidad.</li> <li>- Falta de cuidado y conservación.</li> <li>- Superficie de la plataforma con capacidad de absorción.</li> </ul>	
<p><b>Alcance:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Los sillares pueden desplazarse significativamente a medida que las raíces se expanden.</li> <li>- En situaciones donde este desplazamiento afecta partes no esenciales para la integridad estructural del puente, generalmente no se considera como una amenaza.</li> <li>- la situación se torna peligrosa cuando estos movimientos influyen en los tímpanos o los muros.</li> </ul>	
<p><b>Posible Evolución:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Los daños aumentan gradualmente a medida que las raíces continúan creciendo.</li> <li>- En casos extremos, podría resultar en la caída de sillares individuales o incluso secciones enteras de la estructura.</li> </ul>	

<b>Actuaciones:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Las labores de mantenimiento o reparación serán apropiadas según el grado de desarrollo de los procesos patológicos.</li></ul>
<b>Mantenimiento Preventivo:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Realizar de manera regular la eliminación de la vegetación que surja.</li></ul>
<b>Reparaciones y Refuerzos:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Remoción total de la vegetación, incluyendo las raíces.</li><li>- Realización de acciones para reemplazar sillares, rellenar juntas y fortalecer las fábricas.</li></ul>

*Tabla 18: Ficha 9 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.*

*(Fuente propia)*

<b>FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS PATOLÓGICOS EN EL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES</b>	<b>Ficha No. 10</b>
	<b>Fecha: 05/07/2023</b>
<b>Lesión:</b> Fisura o agrietamiento inclinado del borde de estribo de bóveda 1 desde el lado izquierdo.	
<b>Descripción:</b> Aparición de grietas en áreas específicas en los bordes de pilas o estribos, con una orientación generalmente inclinada y un aumento en su separación a medida que se eleva la altura.	
<b>Causas Probables:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desplazamiento del borde de la cimentación, normalmente causado por cavidades o hundimientos del terreno debido a la socavación en casos donde el elemento está situado en un cauce.</li> </ul>	
<b>Alcance:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En general, este tipo de daño tendrá un impacto limitado en la estabilidad longitudinal del puente, pero puede afectar su resistencia en sentido transversal. En la mayoría de los casos, si el daño se localiza en los bordes y el elemento no está cimentado en un cauce, no se considera un riesgo significativo.</li> <li>- la situación se torna peligrosa cuando la cimentación está en un cauce, ya que existe el riesgo de inestabilidad en caso de futuras crecidas.</li> </ul>	
<b>Posible Evolución:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Si la cimentación de pilas o estribos que están fuera de cauces, continúa presentando problemas, es probable que los daños aumenten gradualmente en su gravedad.</li> <li>- Existe la posibilidad de que, durante crecidas repentinas, se presente un peligro inminente de inestabilidad con un giro y eventual colapso.</li> </ul>	
<b>Actuaciones:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Supervisar los cambios en el tiempo a través de sistemas de control de desplazamientos y apertura de grietas.</li> <li>- Cuando la afección alcance un nivel significativo y si el elemento se encuentra en un cauce, llevar a cabo una inspección especial estructural y geotécnica.</li> <li>- En casos donde los síntomas sean leves, no haya evidencia de empeoramiento y el elemento no esté en un cauce, llevar a cabo tareas de mantenimiento.</li> </ul>	

**Mantenimiento Preventivo:**

- Realizar el sellado y relleno de las fisuras y grietas en casos de un nivel de afección inicial.

**Reparaciones y Refuerzos:**

- En caso de identificar problemas en el estado o funcionamiento de la subestructura, se debe realizar la planificación y ejecución de las medidas adecuadas para fortalecer y proteger la cimentación.
- Si los daños no son considerablemente notables, después de resolver los problemas en la cimentación, se realizará el relleno de las grietas y fisuras.
- Si los daños son claramente evidentes, tras corregir las deficiencias en la cimentación y tomar las precauciones necesarias, se procederá a la demolición parcial de la pila y la reconstrucción de la sección dañada.

*Tabla 19: Ficha 10 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.*

*(Fuente propia)*

<b>FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS PATOLÓGICOS EN EL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES</b>	<b>Ficha No. 11</b>
	<b>Fecha: 05/07/2023</b>
<b>Lesión:</b> Perdida de material de juntas en la bóveda 1.	
<b>Descripción:</b> Esta lesión se distingue por la pérdida del mortero que une los sillares, sillarejos o mampuestos que conforman la estructura del puente.	
<b>Causas Probables:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Deficiente calidad del mortero de unión.</li> <li>- Desintegración causada por cambios físicos y químicos en el mortero de unión.</li> </ul>	
<b>Alcance:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuando esta condición patológica avanza considerablemente, existe el riesgo de que los sillares o ladrillos se desplacen debido a la falta de cohesión en las estructuras, especialmente en las bóvedas, lo cual puede tener un impacto significativo en la seguridad.</li> <li>- Durante las etapas iniciales de progresión, esta situación puede ser considerada como no representando un peligro.</li> </ul>	
<b>Posible Evolución:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En ausencia de acciones de mantenimiento o reparación integral, la condición patológica continuará avanzando gradualmente, lo que podría resultar en el desplazamiento y la eventual caída de sillares, ladrillos o dovelas</li> </ul>	
<b>Actuaciones:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Llevar a cabo mantenimiento de manera regular.</li> <li>- En casos de daño limitado, realizar tareas de mantenimiento y supervisar el desarrollo a futuro.</li> <li>- Cuando el daño es extenso, llevar a cabo una inspección estructural especializada para evaluar la condición de la estructura y determinar los materiales y métodos de reparación más apropiados.</li> </ul>	
<b>Mantenimiento Preventivo:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- realizar el relleno manual utilizando un mortero que sea compatible con los materiales originales de los sillares, sillarejos, mampuestos o ladrillos que conforman la estructura.</li> </ul>	

**Reparaciones y Refuerzos:**

- Si la integridad estructural de la construcción no se ve considerablemente comprometida, llevar a cabo la tarea de rellenar las juntas en toda la estructura utilizando morteros que sean compatibles con los materiales originales.

*Tabla 20: Ficha 11 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.*

*(Fuente propia)*

<b>FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS PATOLÓGICOS EN EL PUENTE MAYOR DE LIÉRGANES</b>	<b>Ficha No. 12</b>
	<b>Fecha: 05/07/2023</b>
<p><b>Lesión:</b> Eflorescencia en la bóveda 2.</p>	
<p><b>Descripción:</b> En general se trata de acumulaciones, estratos o láminas que se forman sobre la fábrica de ladrillo o la superficie de rocas. Estas manifestaciones pueden adoptar diversas formas (capas, lentejón, láminas, formaciones tipo estalagmita o estalactita) y presentan una variada composición (mezcla de sustancias salinas junto con otros componentes orgánicos e inorgánicos). Además, su apariencia en términos de color y textura varía en función de lo que las compone. Las acumulaciones salinas reciben diferentes nombres según las características antes mencionadas: concreciones, incrustaciones, eflorescencias o costras.</p>	
<p><b>Causas Probables:</b> La generación de depósitos salinos en la superficie externa de los materiales ocurre debido al desplazamiento de las sales que ya están presentes en el interior de estos materiales. Este proceso es impulsado por la presencia de agua, que provoca la migración de las sales desde el interior hacia el exterior, donde posteriormente vuelven a cristalizarse o precipitarse. Esta precipitación, en su mayoría, se desencadena por procesos de evaporación.</p>	
<p><b>Alcance:</b> En general, los depósitos salinos que aparecen en la superficie de los materiales (como eflorescencias, incrustaciones y concreciones) suelen ser principalmente un problema estético de deterioro. En la mayoría de los casos, estos depósitos pueden ser vistos como imperfecciones que no representan un riesgo significativo.</p>	
<p><b>Posible Evolución:</b> Por lo general, si no se llevan a cabo tareas de limpieza, habrá un aumento gradual en la acumulación de depósitos salinos.</p>	

**Actuaciones:**

- Normalmente, no requieren acciones urgentes, ya que por lo general no hay un impacto significativo en la seguridad.
- En caso de ser necesario para garantizar la durabilidad de la obra, se recomienda llevar a cabo una inspección estructural especial para revisar y controlar las posibles vías por las que el agua pueda ingresar a la estructura, así como los sistemas de drenaje.
- Si la acumulación de depósitos salinos fuera considerable, especialmente en el caso de las costras negras, se aconseja realizar una limpieza de las superficies afectadas.

**Mantenimiento Preventivo:**

- Realizar limpiezas regulares de los sistemas de drenaje y de los canales de evacuación de agua.

**Reparaciones y Refuerzos:**

- Aplicar un revestimiento impermeable en la superficie de la plataforma y establecer un sistema eficiente para dirigir y eliminar el agua de la superficie.
- Optimizar el sistema de drenaje y la evacuación de aguas que se hayan infiltrado en los rellenos.
- Si fuera necesario fortalecer la capacidad estructural mediante un refuerzo que implique la eliminación de rellenos, aprovechar la oportunidad para impermeabilizar las partes superiores de las bóvedas, los tímpanos y los estribos.

*Tabla 21: Ficha 12 de identificación de procesos patológicos en el Puente Mayor de Liérganes.*

*(Fuente propia)*