



Universidad
Politécnica
de Cartagena

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Indicadores de condición en gestión de activos físicos. Aplicación a grandes infraestructuras hidráulicas operadas por un organismo de cuenca

AUTOR: JAVIER CABALLERO LÓPEZ

DNI: 48618841-S

TUTOR: LUIS ALTAREJOS GARCÍA

COTUTOR: MARIO ANDRÉS URREA MALLEBRERA



Curso académico 2018/2019

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor Luis Altarejos la oportunidad brindada aquel día cuando me propuso indagar en el mundo de la gestión de activos, ampliando mis conocimientos en una rama en la que no había profundizado hasta la fecha. Agradezco enormemente su asesoramiento, paciencia y colaboración en este proyecto, el cual ha sido posible gracias a su inestimable ayuda.

En segundo lugar, a Mario Urrea, para el cual solo tengo palabras de agradecimiento al formar parte de este proyecto, involucrándose de manera clave en los cálculos que se encuentran en este trabajo, dando un inmejorable apoyo desde el punto de vista técnico en la elaboración de este proyecto.

He de agradecer a mis padres y mi hermano los años de sacrificio que hemos tenido que pasar todos para que este periodo llegue a su fin, ya que sin su incondicional apoyo en el día a día nada de esto se hubiera podido hacer realidad.

Por último, quiero agradecer a mi pareja, Blanca, su paciencia y apoyo moral en todos estos años, dándome ánimo y consejos para mantenerme con fuerzas cuando más lo necesitaba, ha sido un pilar fundamental en esta etapa.

Resumen

La gestión de activos resulta clave en el desarrollo de la sociedad y es por ello que su aplicación se está expandiendo cada vez más a nivel mundial. Uno de los objetivos perseguidos es valorar y optimizar el servicio prestado por los activos de un sistema de producción o infraestructura, para lo cual existen diversos indicadores que sustentan esta gestión. Se ha empleado uno de estos indicadores, el IVI, del cual se desprenden una serie de conclusiones respecto al mantenimiento y conservación de activos. En este caso se ha utilizado la Confederación Hidrográfica del Segura como modelo, evaluándose diversos activos pertenecientes a ella, para lo cual ha sido necesario una previa recopilación de información desde el punto de vista económico y temporal. De este modo ha sido posible ejemplificar la aplicación de este indicador a un caso real cuyos resultados obtenidos reflejan el estado de las infraestructuras en relación con las inversiones de reposición y mantenimiento que han recibido.

Abstract

Asset management is key to the development of society and that is why its application is increasingly expanding worldwide. One of the main objectives to achieve is to value and optimize the service provided by assets of a production or infrastructure system, for which there are several indicators that support this management. One of these indicators has been used, the IVI, from which a number of conclusions can be drawn with regard to the maintenance and conservation of assets. In this case, the ‘Confederación Hidrográfica del Segura’ has been used as a model, evaluating various assets belonging to it. For this purpose, it has been necessary to collect information in advance from an economic and temporal point of view. In this way, it has been possible to exemplify the application of this indicator to a real case whose results obtained reflect the state of the infrastructures in relation to the replacement and maintenance investments they have received.

Palabras clave

- Asset Management
- IVI
- Valorización
- Inversión
- Mantenimiento
- Activo

ÍNDICE

Agradecimientos	I
Resumen	III
Abstract	III
Palabras clave	III
Índice	IVI
Índice de Tablas	VII
Índice de Ilustraciones.....	VIII
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes históricos.....	1
1.3. Objetivos	5
2. GESTIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS	6
2.1. ¿Qué es la Gestión de Activos Físicos (GAF)?.....	6
2.2. ¿Por qué es importante la GAF?	14
2.3. ¿Quién la está aplicando en el mundo?	16
2.4. Indicadores de la GAF.....	20
3. INFRASTRUCTURE VALUE INDEX (IVI)	22
3.1. Concepto y formulación básica	22
3.1.1. Evaluación del IVI	23
3.1.2. Interpretación de los resultados de IVI.....	25
4. PROPUESTA METODOLÓGICA Y CASO DE ESTUDIO	27
4.1. Propuesta metodológica	27
4.1.1. Metodología de cálculo	27
4.2. Descripción del caso de estudio	32
4.2.1. Recopilación de información.....	32
4.2.2. Tratamiento de la información.....	34
4.3. Cálculo de indicadores.....	36
4.3.1. Cálculo del indicador IVI (Infrastruture Value Index).....	36
5. RESULTADOS OBTENIDOS	41
6. ANALISIS DE SENSIBILIDAD.....	44
7. CONCLUSIONES	48
ANEJO 1. GRÁFICAS DE VALORES ECONÓMICOS	50
A. Subsistema 5.....	51
B. Subsistema 1.....	75

<i>Bibliografía</i>	90
Referencias.....	90
Bibliografía	91

Índice de Tablas

Tabla 1. Vida útil de cada tipología según el tipo de activo.	28
Tabla 2. Base de datos para recopilación de intervenciones en activos físicos.....	34
Tabla 3. Ficha tipo de activos.....	35
Tabla 4. Distribución de sobrecostos por tipología.	37
Tabla 5. Porcentaje total de sobrecostos por tipología.	37
Tabla 6. Valor de IVI parcial de cada tipología y activo del Subsistema 5.	41
Tabla 7. Valor de IVI de cada activo del Subsistema 5.	42
Tabla 8. Valor de IVI parcial de cada tipología y activo del Subsistema 1.	42
Tabla 9. Valor de IVI de cada activo del Subsistema 1.	42
Tabla 10. Valor de IVI por tipología y activo del Subsistema 1 (Vida útil de 75 años).	44
Tabla 11. Valor de IVI por tipología y activo del Subsistema 1 (Vida útil de 100 años).	44
Tabla 12. Valor de IVI por tipología y activo del Subsistema 1 (Vida útil de 125 años).	45
Tabla 13. Resumen de análisis de sensibilidad del Subsistema 1.	47

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Mejores Prácticas para la gestión de activos.	2
Ilustración 2. Institute of Asset Management.	2
Ilustración 3. Publicly Available Specifications 55 (PAS 55).	3
Ilustración 4. Esquema de gestión de activos del IAM.	4
Ilustración 5. Clasificación por grupos de actividades para la gestión de activos.	4
Ilustración 6. ISO 55000.	5
Ilustración 7. Etapas del ciclo de vida de un activo físico.	9
Ilustración 8. Niveles de madurez de un activo según el PAS 55.	10
Ilustración 9. Clasificación jerárquica de conceptos clave en la gestión de activo.	13
Ilustración 10. Esquema de gestión de activos físicos.	14
Ilustración 11. Evolución de costes de Hunter Water Corporation frente a la media.	17
Ilustración 12. Certificado de cumplimiento del PAS 55.	18
Ilustración 13. Calificación del mantenimiento en la planta de Ford de Almussafes.	20
Ilustración 14. Gráfico de valor patrimonial de un activo.	31
Ilustración 15. Acueducto de la Matanza.	39

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

Como se puede observar con el paso de los años, la sociedad va evolucionando y adaptándose a los cambios con el transcurso del tiempo. En lo que respecta a las actividades empresariales y la gestión de las mismas, se ha producido una gran evolución sobre todo desde la época de la revolución industrial hasta la actualidad.

Los principales culpables de que se haya producido dicha revolución son el enorme desarrollo tecnológico y científico que se ha producido hasta ahora, y que persiste en la actualidad aparentando no tener fin. En este contexto se deben incluir el sector del transporte y el de las comunicaciones, siendo los impulsores del desarrollo tecnológico, sin los cuales parece imposible pensar en esta gran evolución.

Debido a esta situación, los activos físicos (que pueden ser desde maquinaria o edificios hasta plantas de producción) juegan un papel fundamental. Dada la relevancia que tienen, se debe poner especial atención a su comportamiento durante su vida útil, con el fin de ser competentes y tener sostenibilidad económica.

Para prestar la atención necesaria a los activos, se requiere de mantenimiento, convirtiéndose éste en una herramienta necesaria para garantizar que todos los procesos que desarrolla el activo a lo largo de su ciclo de vida se ejecuten de forma correcta, sin comprometer al sistema del que forma parte.

1.2. Antecedentes históricos

Tras realizar una introducción de lo que es la gestión de activos, y explicar brevemente en qué consisten el resto de conceptos de los que se va a hablar en este trabajo y que están directamente relacionados con la gestión de activos, se va a dar paso a una explicación del desarrollo histórico de este tema, de forma que queden detallados de forma cronológica los principales sucesos que intervienen en la aparición y evolución de la gestión de activos.

Si echamos la vista a los inicios de la gestión de activos, hay que ubicarse directamente en la década de los 70. Fue precisamente entre 1973 y 1979 cuando la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) tomó la decisión de elevar considerablemente el precio del petróleo, terminando por tanto con el petróleo barato que había contribuido al crecimiento de posguerra.

Consecuencia de esta situación se produjo un parón en el crecimiento económico mundial: suponiendo un aumento considerablemente de la inflación, produciéndose una disminución en las tasas de crecimiento e incrementándose el desempleo en la población. Esto provocó que muchas industrias se vieran en la necesidad de tomar medidas oportunas, de manera que comenzaron a implementar innovaciones tecnológicas en sus cadenas de producción, a ahorrar energía y a reducir la cantidad de personal con el objetivo de evitar una caída en su productividad.

Todas estas razones provocaron una situación económica desastrosa, ante la cual comenzaron a surgir iniciativas que trataban de buscar una mejora en el rendimiento de producción, para lo cual establecen una serie de estrategias de optimización (maximizando la producción y minimizando los costes). Formalizando estas iniciativas, en 1990 se crea en los

Estados Unidos la North American Maintenance Excellence Award (NAMEA), cuyo objetivo principal es el de impulsar la calidad y la competencia en el empleo de las “mejores prácticas” y la identificación de empresas líderes, llevando a cabo además el intercambio de las mejores prácticas, estrategias y beneficios que supone la implementación de éstas en la gestión de activos de un sistema de producción.

Estas mejores prácticas (*Ilustración 1*) para la gestión de activos son un total de 10:

1. Trabajo en equipo
2. Contratistas orientadas a la productividad
3. Integración con proveedores de materiales y servicios
4. Apoyo y visión de la dirección
5. Planificación y programación proactiva
6. Mejoramiento continuo
7. Gestión disciplinada de stock de materiales
8. Integración de sistemas
9. Gestión de paradas de planta
10. Producción basada en confiabilidad



Ilustración 1. Mejores Prácticas para la gestión de activos.

Ya en el año 1993, en Reino Unido, tiene lugar uno de los hechos más importantes en lo que a gestión de activos se refiere: nace el Institute of Asset Management (IAM). Esta entidad engloba a un grupo de empresas que tienen en común el interés en compartir experiencias y mejores prácticas de ellas mismas, enfocadas directamente a aumentar y mejorar tanto la rentabilidad como la productividad de la empresa.



Ilustración 2. Institute of Asset Management.

Las nuevas prácticas (conocidas como Asset Management) supusieron una revolución en Reino Unido, Nueva Zelanda y Australia. Esta importante filosofía de la gestión denominada Asset Management (Gestión de Activos) tuvo su máximo desarrollo en las regiones anteriormente citadas.

Dos años más tarde, en 1995, diferentes empresas y compañías provenientes de Reino Unido, Nueva Zelanda y Australia se unen al Institute of Asset Management (IAM). Durante los años siguientes se genera una necesidad por parte de las industrias y empresas de crear unas bases sólidas para la implementación de estas mejores prácticas.

Entre los años 2003 y 2004 se establece el comité British Standard en Asset Management para finalmente, en mayo de 2004 publicar las especificaciones British Standard Publicly Available Specifications 55 (PAS 55), donde se desarrollan 28 requerimientos. Se puede ver por tanto que este estándar surge como respuesta a la demanda que tenían las industrias y los mercados de tener unas bases comunes en las que apoyarse para llevar a cabo la gestión de activos. El PAS 55 además tiene la ventaja de que puede ser aplicado a cualquier organización en la que los activos físicos son fundamentales para cumplir adecuadamente los objetivos de negocio.

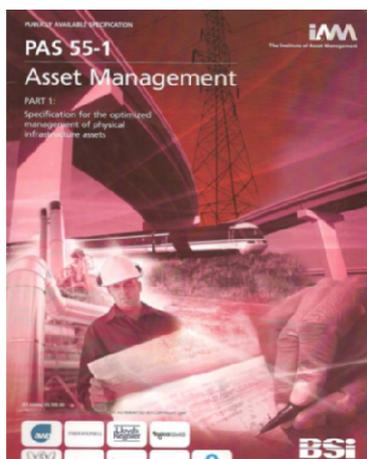


Ilustración 3. Publicly Available Specifications 55 (PAS 55).

Dado el éxito en el que se tradujo la aplicación de este estándar, a partir de 2008 empieza su internacionalización, nace el PAS 55 en castellano y debido a la gran aceptación recibida se plantea la elaboración de una norma o estándar ISO, la cual considerara toda la experiencia desarrollada en lo que se refiere a Asset Management hasta aquel momento de forma simple y esquematizada. El estándar ISO 55000 aparentemente surge para solventar el vacío que existía en cuanto a rentabilidad y productividad de los negocios, ya que por el contrario sí que existía un estándar ISO 9000 para asegurar la calidad e intereses de los clientes, un estándar OSHA 18000 para todo lo asociado con la seguridad de las personas y también un estándar ISO 14000 para todo lo relacionado con el medioambiente.

En 2010 el comité técnico de ISO decide crear un Estándar Internacional denominado ISO 55000, el cual se basa en el anteriormente citado PAS 55.

Ya en el año 2012, el IAM lanza el documento Asset Management – anatomy. Este es un documento muy importante que facilita la comprensión de la idea de gestión de activos, estableciendo una relación directa entre la anatomía del cuerpo humano y la anatomía de la

gestión de activos. En él se desarrolla de forma conceptual un modelo de gestión de activos que maneja 6 grandes grupos de actividades requeridas:

- 1- Planificación estratégica
- 2- Toma de decisiones
- 3- Organización y personas
- 4- Conocimiento sobre el activo
- 5- Ciclo de vida del activo
- 6- Revisión del riesgo



Ilustración 4. Esquema de gestión de activos del IAM.

La Ilustración 4 muestra el Modelo propuesto por el IAM en el documento Anatomy. Si se profundiza más en este documento, se puede ver un total de 39 requerimientos se distribuyen entre los 6 grupos de tareas anteriormente citados (Ilustración 5):

Estrategia de Gestión y Planificación de Activos	<ul style="list-style-type: none"> • Política de Gestión de Activos • Estrategia de Gestión de Activos • Análisis de la demanda • Planificación Estratégica • Planes de gestión de Activos 	Conocimiento del Activo	<ul style="list-style-type: none"> • Estrategia de Información de Activo • Estándares de Información de Activo • Sistemas de Información de Activo • Gerencia del datos y de la información
Planificación de la Gestión Activos "Toma de decisiones"	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de decisiones para inversión de capital • Toma de decisiones en operaciones y Mantenimiento • Costo del Ciclo de Vida y Optimización de Valor • Estrategia y Optimización de recursos • Estrategia y Optimización de Paradas 	Organización y Personas	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de la Cadena de Compras y Suministros • Liderazgo de Gestión de Activos • Estructura Organizativa • Cultura organizacional • Gerencia de Competencia
Actividades del Ciclo de Vida	<ul style="list-style-type: none"> • Normas técnicas y Legislación • Creación de activos y adquisición • Ingeniería de sistemas • Gestión de la configuración • Entrega del Mantenimiento • Ingeniería de Confiabilidad • Operaciones de Activos • Gestión de recursos • Paradas y estrategias de Interrupción • Respuestas a fallas e incidentes • Racionalización y eliminación de activos 	Revisión del Riesgo	<ul style="list-style-type: none"> • Valoración y Gestión del Riesgo • Planes de Contingencia y Flexibilidad organizativa • Desarrollo sostenible • Gestión del Cambio • Desempeño del activo y Monitoreo de salud • Monitoreo del sistema de gestión de activos • Examen de la Gestión, Auditoría y Aseguramiento • Costeo de Activos y Valuación • Compromiso del grupo de interesados

Ilustración 5. Clasificación por grupos de actividades para la gestión de activos.

Finalmente, en 2014 y de forma oficial, tiene lugar la publicación de la norma ISO 55000 (Ilustración 6), la cual se compone de los siguientes documentos:

- ISO 55000: Gestión de Activos – Información general, principios y terminología.
- ISO 55001: Gestión de Activos – Sistemas de gestión – Requerimientos.
- ISO 55002: Gestión de Activos – Sistemas de gestión – Directrices sobre la aplicación de la norma ISO 55001.

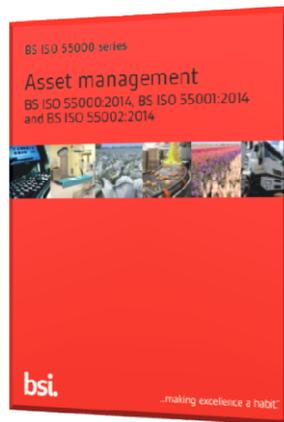


Ilustración 6. ISO 55.000.

1.3. Objetivos

El presente Trabajo de Fin de Máster (TFM) tiene como objeto la evaluación de un indicador económico mediante su aplicación a diferentes activos de la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS). Para ello, se recopilará información sobre los activos de dos subsistemas de la confederación, teniendo en cuenta el registro de intervenciones económicas aplicadas por activo, detallando a qué tipología del mismo va orientada (entendiéndose como tipología a la *obra civil* por ejemplo).

Se va a trabajar con el Infrastructure Value Index (IVI) como indicador principal del trabajo, obteniendo valores mediante la metodología que se muestra más adelante, y que alcanza un nivel de detalle bastante elevado.

Se trata de un indicador económico que analiza las inversiones de reposición/obra nueva que se realizan a un activo para un determinado valor total de reposición del mismo en el año de estudio, con el fin de extraer el estado en que se encuentra dicho activo físico. Fue desarrollado en 2014 por H. Alegre, D. Vitorino y S. Coelho en el artículo "*Infrastructure Value Index: a powerful modelling tool for combined long-term planning of linear and vertical assets*".

2. GESTIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS

2.1. ¿Qué es la Gestión de Activos Físicos (GAF)?

Se podría definir la Gestión de Activos como una estrategia de negocio cuyo fin principal es conseguir los objetivos de una organización. Si se analiza por partes, tenemos el término *gestionar* según la Real Academia Española RAE significa: “Ocuparse de la administración, organización y funcionamiento de una empresa, actividad económica u organismo”. De la misma forma, la RAE define *activo* como: “Bien material que forma parte de la riqueza de quien lo posee”. A continuación, tras ver la definición de ambos términos según la RAE, se va a hacer referencia a la definición de gestión de activos según las dos normas más importantes del propio ámbito, la PAS 55 y la ISO 55000.

Para la PAS 55, la gestión de activos se define como: “Conjunto de actividades y prácticas coordinadas y sistemáticas por medio de las cuales una organización maneja de manera óptima y sustentable sus activos y sistemas de activos, su desempeño, riesgo y gastos a lo largo de sus ciclos de vida, con el fin de lograr su plan estratégico organizacional”, mientras que la norma ISO 55000 indica el siguiente significado: “Actividades coordinadas de una organización para materializar el valor de sus activos”.

La gestión de activos se define como un proceso de razonamiento, autoevaluación, desarrollo de la estrategia, objetivos y planes de acción, y desarrollo del plan de la fase de implementación que: “coordina el conocimiento y las funciones de toda la organización” (Amendola, 2011).

Según Amendola, la gestión de activos es un sistema de control en que todo debe controlarse y optimizarse cuidadosamente, es la gestión de activos tangibles e intangibles como “un planteamiento integrado para operar con el fin de crear un entorno que soporte firmemente los objetivos primarios de la empresa”.

Ya se ha comentado en qué consiste la gestión de activos. Ahora bien, para explicarla bien hay que entender muy bien los elementos que componen la propia definición de gestión de activos.

En primer lugar, se parte de que el objetivo principal que persigue la gestión de activos es el de garantizar un nivel de servicio que proporcione la máxima rentabilidad, para lo cual se lleva a cabo una administración de activos teniendo en cuenta los usuarios actuales, pero también para los futuros usuarios que vayan a utilizar un determinado servicio. La rentabilidad por tanto se encuentra ligada a la gestión de activos, de forma que si se producen alteraciones positivamente o negativamente en la rentabilidad, estos cambios irán asociados a una correcta o incorrecta gestión de activos.

Antes de comenzar se va a explicar de forma detallada el concepto de activo. Para ello, vamos a hacer distinciones en lo que a gestión de activos se refiere. Esto significa que en la gestión de activos, los propios activos dependen del campo de estudio en el que se esté trabajando o el ámbito en el que se encuentren, lo cual va a determinar que busquemos unos objetivos u otros. Por tanto, se van a diferenciar dos posturas respecto al significado de Asset Management (Gestión de Activos):

Para el personal de Finanzas y Contabilidad significa:

- Asegurar que los activos en servicio estén inventariados en los libros de la empresa.

- Que los activos sean apropiadamente depreciados y eliminados de los libros cuando sean retirados.
- Prácticas de mantenimiento preventivo que minimizan el gasto (capital y operaciones).
- Manejo prudente de los gastos de mantenimiento y operaciones para minimizar el impacto de coste sobre el cliente

Para el personal de Ingeniería significa:

- Asegurar la continuidad y confiabilidad operativa de los activos, a través de una ejecución apropiada del mantenimiento.
- Minimizar las acciones de emergencia debido a fallos de los activos.
- El Asset Management se centra en la planificación y diseño del reemplazo y mantenimiento mayor de un sistema de activos.
- El Asset Management le corresponde el monitoreo y control de las actividades de mantenimiento y reemplazo de los activos.

En este TFM no se van a considerar activos financieros, sino que se van a considerar activos físicos, es decir, activos que se deben gestionar desde el punto de vista de la ingeniería.

Los activos físicos se definen como sistemas estacionarios que sirven a comunidades definidas en las que el sistema en su conjunto está destinado a mantenerse indefinidamente hasta un nivel específico de servicio mediante el reemplazo y la renovación continua de sus componentes.

Generalmente, los activos físicos se encuentran en:

- Redes de transporte (carreteras, ferrocarril, puertos, aeropuertos)
- Sistemas de suministro de energía (producción de gas/electricidad/petróleo, transmisión y distribución)
- Parques y facilidades recreativas.
- Servicios de agua (abastecimiento de agua, aguas residuales y sistemas de aguas pluviales)
- Redes de telecomunicaciones
- Protección contra inundaciones y sistemas de drenaje de tierras.
- Instalaciones de residuos sólidos.
- Instalaciones del sector educativo y de la salud.
- Bibliotecas, administración y otras instalaciones comunitarias.
- Plantas de fabricación.

Dado que en el presente trabajo se va a trabajar con los activos físicos vinculados a la gestión de recursos hídricos de la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS), este trabajo se incluiría en el grupo de *Servicios de Agua* anteriormente nombrado.

Por ello, los activos físicos que se van a considerar son infraestructuras hidráulicas de captación, regulación y redes de suministro en alta gestionadas por la CHS. Entre estas infraestructuras aparecen presas, embalses, equipos de bombeo, conducciones (tanto en lámina libre como en presión), depósitos, válvulas y todos los distintos elementos que hagan posible el correcto funcionamiento de la red suministro de agua.

En estas redes de infraestructuras, hay una característica muy importante que es el grado de independencia, no solo dentro de una misma red de activos, sino también el grado de independencia entre dos redes de activos distintas. Así, cuando se produzca un fallo en uno de los componentes de una red de activos, este fallo provoque alteraciones en la capacidad de operación de otras redes distintas.

Cabe señalar que la gestión de activos no corresponde a un área o persona determinada, sino que se trata del trabajo de un equipo multidisciplinar en el que entran en juego varios campos de trabajo (operación, mantenimiento, logística, economía y otros). A pesar de ello, en muchas ocasiones no resulta ser así.

A día de hoy se puede observar cómo, cuando se trata de sistemas en los que el impacto de un fallo es inaceptable, se le da mucha más importancia y protagonismo al mantenimiento de este sistema desde el inicio de su ciclo de vida. Ejemplos claros de esto que se acaba de decir se pueden observar en centrales nucleares o en el transporte aéreo. La razón de esto no es más que el grave impacto que conlleva un fallo en estos sistemas, produciéndose un elevado número de muertes y teniendo consecuencias catastróficas para la sociedad.

En paralelo a esta idea, hoy en día la competitividad y sostenibilidad del mercado también hacen necesaria una optimización de los costos del ciclo de vida de los activos físicos en todos los sectores presentes en la sociedad.

Debido a esto, la gran mayoría de las empresas entienden la necesidad de un cambio hacia la mejora de las relaciones entre procesos de gestión internos con el fin de preservar el correcto funcionamiento de los activos físicos. A pesar de ello y debido a que el ritmo de avance en la gestión interna de las empresas es menor que el ritmo del desarrollo tecnológico y las exigencias del mercado, sólo aquellas empresas y entidades cuya dinámica se lo han permitido, han hecho posible que exista una relación directa entre la producción, el mantenimiento y los recursos disponibles.

Si se tiene en cuenta ahora el concepto de activo desde el punto de vista del capital, se debe asumir un coste del ciclo de vida que requiere ser gestionado. Además de ser gestionado, también es necesario que se relacione con una serie de condiciones de contorno como son el régimen de operación, el entorno ambiental en el que se encuentre, la eficacia del mantenimiento que se le aplique, las buenas o malas prácticas, las condiciones de instalación, etc.

El ciclo de vida como concepto se puede aplicar tanto a un sistema de activos como a un solo activo físico (o incluso a una parte de él) y darle el seguimiento técnico y económico necesario siempre persiguiendo la rentabilidad del negocio. Por ello conviene señalar que la competitividad y sostenibilidad económica depende en gran parte del desempeño llevado a cabo y del coste total del ciclo de vida de sus activos físicos.

En la Figura 2 se muestran las distintas etapas que atraviesa un activo durante su ciclo de vida, los cuales lo caracterizan y sirven para establecer unos límites de actuación desde la primera etapa, antes de su puesta en marcha y tras el inicio de su vida útil. Se distinguen dos partes:

- Las dos primeras etapas, que contribuyen a identificar y valorar la capacidad de mantenimiento antes de la puesta en marcha del activo.
- La segunda parte, donde en la tercera etapa la gestión del mantenimiento se desarrolla durante el ciclo de vida del activo físico (de aquí la importancia de una adecuada estrategia de mantenimiento que vaya acorde al tipo de negocio que se desarrolle y a las condiciones de contorno).



Ilustración 7. Etapas del ciclo de vida de un activo físico.

El mantenimiento es una necesidad a la que nadie se opone, pero si es cierto que hay una falta de estrategia integrada con la gestión de activos. Tampoco se desconocen los procesos que forman esta estrategia ni las funciones que deben llevarse a cabo.

En lo que respecta al mantenimiento de los activos en cualquier ámbito que se trate, a menudo se han considerado dos maneras distintas de actuar:

- La primera consiste en renovar o arreglar un activo cuando éste ha fallado y se encuentra fuera de servicio. Así pues, se muestra indiferencia frente al riesgo, invirtiendo en el activo o sistema de activos exclusivamente cuando el riesgo es máximo, es decir, cuando se produce el fallo.
- En la segunda forma de proceder, por el contrario, se invierte mucho en mantenimiento del activo de forma constante para así reducir el riesgo para evitar que se produzca el fallo, suponiendo por tanto un coste muy elevado.

Ante estas dos posturas opuestas, la gestión de activos trata de conseguir una forma de actuar intermedia, invirtiendo lo suficiente para evitar en la medida de lo posible que el sistema de activos falle, pero siempre optimizando los costes para no producir una sobreinversión en el sistema de activos que encarezca el gasto de forma innecesaria.

Es importante que se comprendan desde el principio los riesgos que supone la implementación de la gestión de activos físicos y que se tomen las medidas oportunas desde las fases iniciales de planificación con el fin de reconocer, evitar o reducir al mínimo estos riesgos.

Algunos de los riesgos más comunes son retrasarse en la finalización, salirse del presupuesto, o no cumplir con los criterios de rendimiento. Existen otros riesgos relacionados con el portafolio de activos e incluso directamente riesgos relacionados con la gestión de activos, como por ejemplo una mala comunicación, decisiones relevantes para el sistema que se toman por omisión o incluso pérdida de documentación importante.

¿En qué apoyarse para llevar a cabo la GAF?

Las mejores prácticas que se aplican a la gestión de activos tienen el objetivo de diseñar y construir con vistas a largo plazo, además de garantizar que se produzcan unas operaciones eficaces de mantenimiento preventivo y correctivo cuando los activos se encuentren en servicio. Con el paso del tiempo, la forma de comprender la gestión de activos ha evolucionado de forma considerable, considerándose a día de hoy una tarea muy compleja.

Ahora bien, para establecer una correcta gestión de activos físicos por medio de las mejores prácticas existen diversas “estrategias” a seguir, algunas de las cuales se han comentado anteriormente y que a continuación van a ser explicadas en detalle para conocer las bases de la gestión de activos físicos.

- **PAS 55**

El Instituto de Gestión de Activos (Institute for Asset Management IAM) es el organismo que impulsa el desarrollo de la Publicly Available Standard 55 (PAS 55) del British Standards Institute’s (BSI) con el fin de optimizar la gestión de los activos físicos.

PAS 55, la cual es independiente del tipo de activos a gestionar, proporciona una especificación de 28 requerimientos para el establecimiento y la verificación de un sistema de gestión de la vida de los activos físicos. Se centra principalmente en el desarrollo de la filosofía integral y el entorno para permitir la gestión de activos, en vez de en los detalles de cualquier aplicación de gestión de activos individuales.

PAS 55 está en parte limitado a describir los principios de aplicación de la gestión de activos en lugar de como implementarla para un tipo de activo específico. PAS 55 requiere el desarrollo de una política de gestión de activos, la cual sirva de base para desarrollar valores de organización (las normas funcionales) y requiere procesos de gestión de activos para la adquisición, utilización, mantenimiento y disposición de los activos. Además, también se necesita un monitoreo del desempeño y las condiciones para que se puedan realizar mejoras continuas en las políticas y procedimientos de actuación. Como tal, la PAS 55 proporciona un marco de aplicación de gestión de activos, pero prácticamente ningún apoyo de implementación detallado.

Por último decir que incluye una metodología para la evaluación de la madurez de gestión de activos. Esta metodología frecuentemente empleada por las organizaciones para evaluar su progreso hacia la aplicación de los elementos del estándar PAS 55.

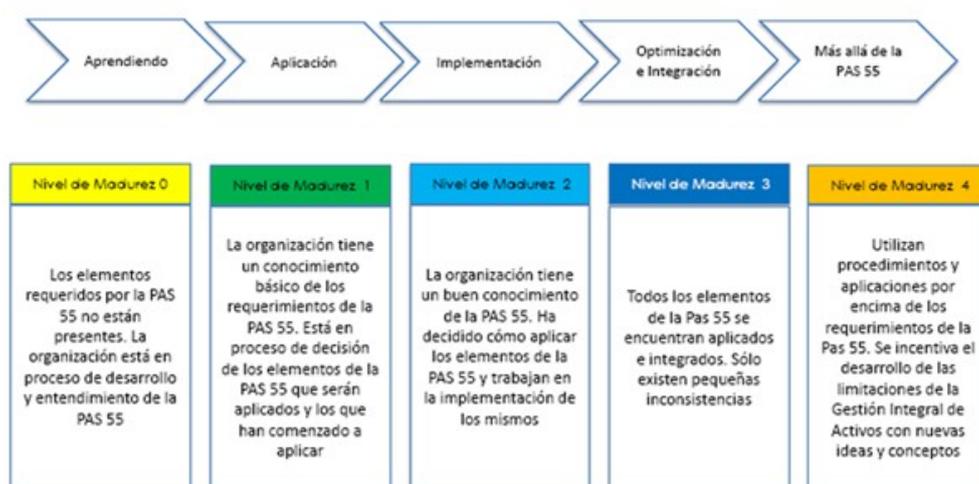


Ilustración 8. Niveles de madurez de un activo según el PAS 55.

- **International Infrastructure Management**

El Manual internacional de Gestión de Infraestructuras (International Infrastructure Management Manual IIMM) fue desarrollado originalmente en el año 2000, y ha sido actualizado en años posteriores: 2002, 2006 y 2011. El desarrollo original fue dirigido por el New Zealand National Asset Management (NAMS) y el Institute of Public Works Engineering of Australia (IPWEA).

La razón de que estas dos organizaciones se involucraran en la gestión de activos esta en las regulaciones que los gobiernos de ambos países llevaron a cabo, las cuales requerían del empleo de los principios de gestión de activos para gestionar las infraestructuras. Este documento tuvo una relevancia creciente con los años, y fue expandiendo su uso a nivel mundial, hasta el punto que las ediciones más recientes incluyen colaboradores de distintas partes del mundo, como Canadá, Sudáfrica y Estados Unidos.

Actualmente, el IIMM se concibe como una de las fuentes de información más empleadas y de mayor importancia en la gestión de activos, aplicándose su metodología en cientos de organizaciones a nivel mundial.

Una de las diferencias que existen respecto a la PAS 55 es que este IIMM proporciona un nivel de detalle mayor. Este último proporciona una especie de guía con el fin de desarrollar e implementar un programa integral de gestión de activos. De esta forma, cualquier organización o entidad que ponga en práctica el IIMM, estarán cumpliéndose también los requisitos que requiere la PAS 55, así como de la norma ISO 55000.

Un aspecto de vital importancia para la aplicación del IIMM es la necesaria definición de los niveles de servicio. La definición del nivel de servicio a ser provisto por un activo le permite a una organización entender que la perfección es imposible de alcanzar, y que por tanto hay que centrarse en las soluciones realistas y desarrollar objetivos alcanzables.

Los usuarios del servicio que presten el sistema de activos son los que van a determinar el nivel de servicio de éstos, siempre definiéndolos en base al porcentaje de tiempo que el servicio está disponible, al número/duración de interrupciones, al cumplimiento de restricciones medioambientales, etc.

Cuando se comienza a elaborar un programa de gestión de activos, uno de los retos más grandes y de mayor trabajo que afrontan muchas organizaciones es la creación de una estructura de registro de datos de los distintos activos (portafolio de activos), teniendo siempre un nivel de detalle adecuado y una correcta jerarquía.

El IIMM habla sobre el nivel de detalle para cada activo, estableciendo la regla de que cualquier activo o componente que requiera inspección o mantenimiento preventivo, tenga un valor de más de 1.000 dólares o sea crítico para el correcto funcionamiento del sistema en su conjunto será incluido en el registro de datos.

Además del nivel de detalle de los activos, también se ha comentado anteriormente la importancia de la jerarquía de los activos. La jerarquía define cuanto de crítico es cada uno de los elementos dentro del sistema general para que las decisiones se puedan optimizar como parte del proceso de gestión de riesgos. Respecto a este tema, hay que hacer hincapié en que cada organización debe enfocar de forma distinta cada tipo de infraestructura que gestiona.

El IIMM se apoya en una la escala de 5 niveles de madurez de la gestión de los activos, tal y como lo hace el PAS 55. También incluye una tabla de ejemplo que indica algunas de las técnicas de monitorización que podrían ser aplicadas en función del tipo de activo del que se trate.

▪ **ISO 55000**

Se trata de la norma de la International Organization for Standardization vinculada a la gestión de activos: ISO 55000. Tanto esta norma internacional como la PAS 55 proporcionan “la combinación óptima de los costes, los riesgos relacionados con los activos, el rendimiento y la situación de los activos y sistemas de activos a través de todo el ciclo de vida”.

Desde su creación en el año 2004 (revisada y reeditada en 2008), PAS 55 ha sido la principal referencia para la definición de los requisitos para las buenas prácticas en la gestión de activos físicos. Ahora bien, desde su creación en 2014, la norma ISO 55000 se ha convertido en el presente y el futuro de la gestión de activos.

Esta norma tiene sus cimientos en la PAS 55 del British Standards Institute's, pero existen ciertas diferencias entre ambas. Una de las principales diferencias respecto a la PAS 55 es el alcance de la gestión de activos. Mientras que la PAS 55 estaba orientada principalmente en los activos físicos, la ISO 55000 se centra más en los objetivos organizacionales a nivel “Estratégico-Táctico-Operativo”, con el fin de conseguir una optimización de los procesos coste-riesgo en la industria.

Pese a que se observen a simple vista dos enfoques diferentes, la intención no es otra que proporcionar de la misma forma una medida de las buenas prácticas en la gestión de activos, por lo que la ISO 55000 allana el camino hacia la gestión de activos empresariales a nivel mundial, convirtiéndose por tanto en un concepto a perseguir desde el punto de vista de la industria tanto pública como privada.

Con objeto de apoyar a la ISO 55000 está la ISO 17021-5, “Requisitos de competencia de Auditoría y Certificación de sistemas de Gestión de Activos”. Es el requisito confirmado por los organismos de certificación para tener un conocimiento específico de gestión de activos, con el fin de auditar los requerimientos de la norma ISO 55001.

Esto será de gran ayuda para garantizar que los evaluadores reconocen las buenas prácticas cuando las ven, y también para determinar las deficiencias y carencias de forma adecuada. En contraste con otras normas, la ISO 55001 exige explícitamente la demostración de prácticas reales (no sólo la existencia de procesos y manuales de aplicación). Esto último es precisamente la razón de que sea de gran importancia utilizar un asesor con amplia experiencia en la gestión de activos con el fin de conseguir una implementación exitosa de la norma.

Si se retrocede a los *Antecedentes Históricos*, se observa que la ISO 55000 está compuesta a su vez por tres normas que se complementan:

- ISO 55000: Gestión de Activos (información general, principios y terminología)
- ISO 55001: Gestión de Activos (requerimientos)
- ISO 55002: Gestión de Activos (directrices sobre la aplicación de la norma ISO 55001)

La primera de ellas (ISO 55000) es la que define la terminología que se empleará en los tres documentos. Incluye además el siguiente gráfico (Ilustración 9) en el que se observa la relación entre los conceptos clave:



Ilustración 9. Clasificación jerárquica de conceptos clave en la gestión de activo

La norma ISO 55000 (entendiéndola como el conjunto de las tres normas antes citadas) destaca que la realización del valor de los activos de la organización considera la gestión del riesgo.

Según se incluye la norma, el concepto de riesgo se definiría como “Efecto de la incertidumbre sobre los objetos”, diciendo con más detalle en la Nota 1 “Un efecto es una desviación de lo esperado – positiva y/o negativa”.

La norma ISO 55001 se desarrolla siguiendo de forma ordenada la siguiente estructura:

1. Contexto de la Organización
2. Liderazgo
3. Planeamiento
4. Soporte
5. Operación
6. Evaluación del desempeño
7. Mejora

Cabe señalar que la ISO 55001 no es un estándar sobre gestión de mantenimiento y confiabilidad, pero ello no significa que el mantenimiento y la confiabilidad desempeñen un papel fundamental dentro de ella.

Por último, se van a mostrar las relaciones existentes entre los elementos fundamentales de un sistema de gestión de activos físicos cualquiera, tal y como aparece en el Anexo B de la ISO 55000 al traducirlo del inglés:



Ilustración 10. Esquema de gestión de activos físicos.

Resumiendo, esta norma ISO lo que quiere transmitir es que mantengamos controlado el riesgo, es decir, que se gestione toda la información relativa al transcurso de la vida de los activos en cuestión, de forma que se integre con los demás sistemas de información de la organización con el objeto de obtener datos útiles para tomar decisiones.

2.2. ¿Por qué es importante la GAF?

Insistiendo en la introducción de este trabajo, en la actualidad se observa que la sociedad atraviesa una época en la cual se producen cambios de forma constante y donde los precios tienen total dependencia del mercado, siendo por tanto cada vez más difícil competir. Es por ello que sólo aquellas empresas que sean capaces de optimizar sus procesos al máximo al final serán quienes obtengan un beneficio mayor y por tanto serán más competitivas y rentables económicamente.

En este contexto, la norma ISO 55000 trata de identificar estas desventajas y actuar sobre ellas garantizando que la empresa o entidad gestione sus activos de la forma más eficiente posible, aumentando la rentabilidad de éstos y disminuyendo el riesgo de fallo.

A continuación se enumeran los principales beneficios que se desprenden de un sistema de gestión de activos:

- A) Mejores resultados financieros: puede lograrse mayor retorno de las inversiones y reducción de costos, preservando el valor de los activos sin sacrificar en el corto y largo plazo la realización de los objetivos de la organización.
- B) Decisiones informadas para la inversión: permitiendo a la organización mejorar su toma de decisiones estableciendo un equilibrio adecuado de los costos, riesgos, oportunidades y desempeño.
- C) Gestión del riesgo: reduciendo pérdidas financieras, mejorando la seguridad, reputación, minimizando el impacto ambiental y social, que de superar unos límites establecidos pueden acarrear responsabilidades en forma de primas de seguro, multas y penalizaciones.
- D) Mejoras en los servicios y resultados: asegura el desempeño de los activos conduciendo a una mejora de servicios o productos que de forma consistente cumplan o excedan las expectativas de clientes y accionistas.
- E) Demostrar responsabilidad social: mejorarla habilidad de la organización para, por ejemplo, reducir emisiones, conservar recursos y adaptarse al cambio climático, demostrar prácticas de negocios éticas y socialmente responsables.
- F) Demostrar cumplimiento: cumplir de forma transparente con los requerimientos legales y regulatorios, así como adherencia a los estándares, políticas y procesos de gestión de activos.
- G) Mejorar reputación: mejorando satisfacción del cliente y conciencia y confianza de los accionistas.
- H) Mejora sostenibilidad organizacional: gestionando efectivamente efectos de corto y largo plazo, gastos y desempeño.
- I) Mayor eficiencia y efectividad: revisión y mejora de procesos, procedimientos y desempeño de los activos.

Además, dejando a un lado las empresas y entidades privadas e indagando ahora en el sector público y el potencial de las distintas naciones, se puede observar como todas las economías a nivel mundial se sustentan en una amplia infraestructura de carreteras y otros sistemas de transporte, red de abastecimiento de agua, eliminación de residuos, energía, telecomunicaciones, redes recreativas. La infraestructura de una nación es completamente compatible con la vida moderna, dándose por sentado que todo está en perfecto estado hasta que algo falla o ya no se consigue el servicio esperado a priori.

Esta enorme infraestructura de comunicaciones propia de los países desarrollados requiere una grandísima inversión como es lógico, y en estos países dicha inversión de ha ido acumulando progresivamente durante el último siglo. Esta situación que se acaba de exponer se convierte en una razón más que suficiente para aplicar las mejores prácticas de gestión de activos para así poder garantizar que se siga otorgando un servicio sostenible y económico.

Por último se añaden una serie de razones de peso más que suficientes para establecer las mejores prácticas en la gestión de activos de la infraestructura pública:

- Las redes de infraestructura proporcionan la plataforma para el desarrollo económico y social.
- La infraestructura y los activos inmobiliarios cumplen cada vez más las necesidades recreativas y de otro tipo de la comunidad.
- La infraestructura de buena calidad es la piedra angular de la salud y la seguridad públicas.
- La infraestructura de buena calidad mitiga los posibles impactos ambientales adversos de la sociedad.
- Las prácticas de gestión de activos promueven la sostenibilidad de los servicios de infraestructura.

2.3. ¿Quién la está aplicando en el mundo?

La implementación de la Gestión de Activos Físicos como estrategia de optimización se está expandiendo considerablemente en los últimos años, llegando a distintas partes del mundo en las que no se conocía aún y que cada vez potencian más su empleo.

Como se dijo al principio de este trabajo, los pioneros en la gestión de activos fueron Australia, Reino Unido y Nueva Zelanda, y es precisamente en estos lugares donde se ha avanzado e investigado de forma más intensiva sobre gestión de activos, sumándose más tarde también Estados Unidos o Canadá.

A continuación se exponen una serie de ejemplos de implantación de un sistema de activos físicos con objeto de desarrollar las mejores prácticas en diferentes sectores (desde abastecimiento de agua hasta la industria de automovilística) para así optimizar costes y minimizar riesgo de fallo. Dichos ejemplos se han extraído de *US Army Corps of Engineer* (2013) y *PMM Learning* (2013).

Electricity Services, Ciudad del Cabo

En Ciudad del Cabo (Sudáfrica) se desarrolló un sistema de gestión de activos físicos para el servicio de suministro eléctrico de toda la ciudad, la cual tiene una población que se eleva a los 3,4 millones de habitantes. La organización de servicios de asistencia eléctrica gestiona toda la infraestructura eléctrica, contando con un total de 25.000 km de cableado subterráneo, 3.000 km de líneas aéreas y un total de 9.000 subestaciones. Se implementaron las mejores prácticas en gestión de activos de acuerdo con el Manual Internacional de Gestión de Infraestructuras (International Infrastructure Management Manual IIMM) a partir de 2006. Su estrategia para mejorar la gestión de activos fue incorporar mejoras en cada una de las 17 áreas clave de rendimiento, con el objetivo de mejorar dicho rendimiento desde un nivel 1 hasta elevarlo al nivel 4 de un total de 5 que componen la escala de madurez de gestión de activos. Cuando el sistema de gestión de activos se aplicó por completo en el año 2011, se alcanzaron los siguientes logros:

- La estrategia de gestión de activos se integró en todas las operaciones a través de equipos multifuncionales.
- La condición de los activos se gestionaba casi en tiempo real y se usaba para la planificación del capital.
- El número de órdenes de trabajo completadas aumentó hasta 10 veces más, mientras que el esfuerzo de trabajo se redujo en un 25%, y el costo promedio por trabajo se redujo en un 38%.
- Las calificaciones promedio de satisfacción del cliente mejoraron de "Aceptable" a "Muy buena".
- Las decisiones de gestión de activos se tomaron en función de los costos totales de la vida.
- El nivel medio de madurez de la administración de activos mejoró a 4 de 5.

HUNTER Water Corporation, AUSTRALIA

En la década de los 90 Hunter Water Corporation, la cual da servicio aproximadamente a 500.000 habitantes en la costa del este de Australia, comenzó a llevar a cabo un programa de gestión de activos físicos basado en los conceptos establecidos en el Manual Internacional de Gestión de Infraestructuras (International Infrastructure Management Manual IIMM) al igual que el ejemplo anterior. En este caso, desarrollaron un modelo que cuantificaba el riesgo con objeto de establecer una toma de decisiones, basándose en la evaluación de la combinación de la

probabilidad de fallo y la consecuencia de fallo para cada uno de los activos que compone el inventario.

La aplicación de este modelo de gestión de activos tuvo las siguientes consecuencias:

- Se redujeron los costes de operación del sistema de activos en aproximadamente un 40%.
- El gasto público de Australia también se vio reducido, ahorrándose 185 millones de dólares.

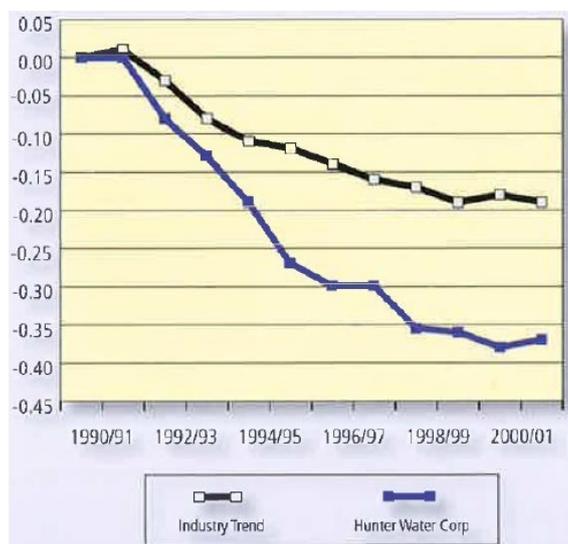


Ilustración 11. Evolución de costes de Hunter Water Corporation frente a la media.

En la Figura anterior se muestra la variación porcentual acumulada de los costes de operación año tras año por Hunter Water. Durante el periodo de estudio se observa que en el sector industrial (línea negra) la tendencia fue descensos anuales suaves que desembocan en una reducción acumulada de los costes de operación entorno al 19%. Si en cambio se observa la evolución de Hunter Water Corp., la reducción progresiva de los costes es mucho mayor, llegando a ser la disminución acumulada de aproximadamente el 37%.

De esta manera se demuestra de forma muy directa la influencia de la gestión de activos en la disminución de costes, lo cual como ya se ha comentado aumenta la rentabilidad de la entidad.

Public Utilities, Seattle

Los Servicio Público de Seattle proporciona agua potable, saneamiento, drenaje y servicios de residuos sólidos a más de 1,3 millones de usuarios en la zona de Seattle. Se trata de otro caso en el que interviene un programa de gestión de activos basado en los conceptos del IIMM, desarrollado en 2002 para hacer frente a los problemas que derivaban del envejecimiento de los activos que conformaban la infraestructura, de las especificaciones que dictaban las normativas y de la necesidad de optimizar la utilización de los recursos hídricos.

Se aplicó un sistema de gestión de activos basado en los siguientes apartados:

- Educar, formar y comunicar
 - Implementando un programa que aumente las capacidades del personal.
 - Organización reestructurada que gire alrededor de la gestión de activos.
 - Desarrollo de un Plan Estratégico de Gestión de Activos.
 - Añadir un enfoque de integración y polivalencia en las operaciones.

- Determinar los niveles de servicio
 - Dichos niveles se desarrollaran mediante consultas a los usuarios
 - Evaluación de la criticidad de los activos y del riesgo
- Establecimiento de un proceso de revisión del capital
 - Revisión de futuros proyectos para el nivel de servicio y para las implicaciones de gestión de activos
 - Proyecto autorizado por fases con el fin de mejorar el seguimiento de costes y toma de decisiones
 - Enfatizar en la renovación de proyectos que aumentan la vida de la infraestructura
- Revisión de tareas y costes de operación y mantenimiento
 - Desarrollo de un marco para ahorros operativos a largo plazo.
 - Evaluación comparativa

Seattle Public Utilities consiguió de esta forma una notable mejora general del sistema, traduciéndose en un ahorro de entorno a los 10 millones de dólares anuales en operación y mantenimiento y cerca de 40 millones de dólares en costes de capital.

ESBI Facility Management España S.L.

La empresa ESBI Facility Management España S.L., de acuerdo a los requerimientos del IAM, obtuvo en el año 2013 el certificado de cumplimiento del PAS 55 por parte de PMM Institute for Learning (empresa consultora acreditada como asesor respaldado por el IAM), convirtiéndose así en la primera empresa en España y de habla hispana en conseguir la certificación de este estándar.



Ilustración 12. Certificado de cumplimiento del PAS 55.

ESBI pertenece al grupo ESB (Electric Supply Board of Ireland), el cual apuesta fuertemente por una gestión de activos alineada a los requerimientos de PAS 55. El grupo ESB Internacional (ESBI) es un grupo que cuenta con una amplia experiencia en el sector energético a nivel internacional y ha llevado a cabo proyectos en alrededor de 115 países. Actualmente se mantienen operaciones activas en una veintena de países, entre ellos España, incluyendo operaciones estratégicas y contratos de mantenimiento con un total de 2800 MW.

Actualmente la empresa española tiene un retorno de 500.000€ y es pionera en las Turbinas de Gas de Ciclo Combinado (CCGT). La planta española de Amorebieta tiene una capacidad instalada de 750 MW, emplea a 40 personas para operación y mantenimiento y para hacerse una idea de su importancia, se tiene que suministra el 30% de la energía total demandada en el País Vasco.

ESBI Facility Management España, S.L. (ESBI FM) lleva trabajando desde el 31 de agosto de 2005 en la integración de su sistema de gestión. En diciembre de 2006 su sistema de gestión integrado fue certificado en ISO 9000. Tras ello, siguieron trabajando desde 2007 desarrollando su Sistema de Gestión de Activos, incluyendo aspectos relativos al análisis de eventos de riesgos, fortalecimiento de los planes a largo plazo, análisis de los Eventos de Riesgo Relacionados, Gestión de Proyectos, Proyectos de Paradas Programadas, y EAM (Enterprise Asset Management).

En 2010 comienzan un proceso de cambio organizacional, y en 2012 ESBI FM decide iniciar el proceso de alineación de su gestión de activos físicos con PAS 55.

En Junio del 2012 recurren a la consultora PMM Institute for Learning con el fin de iniciar este proceso. El primer paso fue el de iniciar un programa de entrenamiento en la norma en la que participaron todos los habilitadores de la organización, incluyendo el Director de la Planta. Este equipo de trabajo sería el equipo líder que participaría en el proyecto que conduciría a ESBI FM hacia la certificación.

Finalmente en el año 2013 ESBI FM logra conseguir que PMM Institute for Learning tuviera evidencias suficientes de que la empresa cumplía con las características y requerimientos que proporciona PAS 55, lo que se tradujo en que el Doctor Luis Amendola (CEO de PMM Institute for Learning) otorgará a ESBI Facility Management España S.L. la certificación en PAS 55.

FORD España, Planta de Almussafes

La factoría de automóviles Ford Motor Company, inaugurada en 1976, se encarga de fabricar diferentes modelos de vehículos de la marca Ford, proporcionando tanto empleo directo como a la industria auxiliar. La cuota de Ford Motor en el Producto Interior Bruto de la Comunidad Valenciana asciende al 8,2%.

Con el proyecto de mejora de la gestión de los activos físicos de la Planta de Montaje de Ford Almussafes, se llevó a cabo una evaluación en dos niveles. El primero consiste en identificar el nivel de mantenimiento percibido por la organización mientras que el segundo nivel está relacionado con definir el nivel de madurez de la organización en cuanto a su Gestión de Activos Físicos.

El estudio consta en primer lugar de un cuestionario con preguntas acerca de la percepción del nivel de mantenimiento que tiene la organización, valorando cada pregunta con Puntuación Baja (1 punto), Puntuación Media (2 puntos) y Puntuación Alta (3 puntos). La intención de este estudio no es otra que identificar y analizar los problemas más frecuentes existentes en la Gestión del Mantenimiento. En este estudio han participado 72 personas pertenecientes a las organizaciones de Mantenimiento.

Una vez analizados los resultados del primer estudio, por un lado se identificó el nivel de mantenimiento percibido por la organización de la Planta de Montaje FORD Almussafes en

función de cinco niveles: *Clase Mundial*, *Mejor en su clase*, *Consciente*, *Insatisfactorio* e *Inocente*. (Figura siguiente)

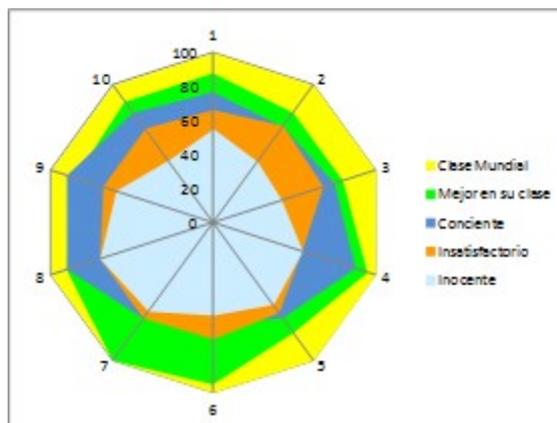


Ilustración 13. Calificación del mantenimiento en la planta de Ford de Almussafes.

Tras realizar el primer nivel de evaluación (mantenimiento percibido), se analizan los puntos más débiles (aquellos que poseen una puntuación más baja por parte de los encuestados) y los puntos más fuertes (aquellos que reciben una puntuación mayor).

En este segundo nivel se realizó una valoración para definir el nivel de madurez de la organización respecto a cómo se gestionan actualmente sus activos físicos (estudio realizado a través de PAM PAS Assessment Methodology). En este estudio participó un equipo de trabajo de Ford con acceso a aspectos relacionados con el análisis del ciclo de vida de los activos, seguridad, estrategias y políticas relacionadas con la gestión de activos, gestión de la información, proveedores y gestión de mantenimiento.

En base a esta evaluación (Estudio de primer y de segundo nivel) se definieron acciones de mejora a corto, medio y largo plazo, para conducir a la Planta de Montaje de Ford Almussafes hacia el camino de la Excelencia Operacional. PMM Institute of Learning, junto con el personal de FORD España, realizaron el Assessment, Análisis de Criticidad, Análisis del Ciclo de Vida y trazaron el camino hacia la implementación de PAS 55 – ISO 55000.

Las metodologías empleadas entre Ford – PMM tienen un enorme valor añadido para la alta dirección de la empresa en la definición de su estrategia de negocios conectando la misión, visión y valores de la empresa con las estrategias del mantenimiento de activos de la planta de montaje.

Dentro del estudio realizado se definieron los factores clave de éxito de la Planta de Montaje de Ford. Del mismo modo, se definieron sus puntos fuertes y débiles, así como los objetivos y metas estratégicas para avanzar en la optimización de la gestión del mantenimiento y de los procesos que garanticen que se alcance una gestión integral de activos físicos.

2.4. Indicadores de la GAF

Para comenzar a hablar de indicadores, lo primero que hay que hacer es entender por qué hacen falta los indicadores y para qué se usan.

Como se ha dicho anteriormente, para llevar a cabo una correcta gestión de activos físicos una de las cosas imprescindibles que hay que realizar es medir el desempeño de los activos para comprobar su estado y detectar cuales están perfectamente operativos y cuales presentan alguna alteración que merme su funcionamiento entre otras cosas. De esta forma con

las medidas del estado de los activos se posibilita la toma de decisiones en función de cómo se encuentre nuestro la infraestructura.

El desempeño del sistema de gestión de activos debería evaluarse con respecto a los objetivos especialmente fijados para el sistema. El principal objetivo de la evaluación del sistema debería ser determinar si es eficaz y eficiente para apoyar la gestión de activos de la organización.

La norma UNE-EN-15341 de 2008 profundiza más que la ISO 55000 en este tema de evaluación del desempeño, estableciendo los siguientes conceptos:

- *Indicador*: Característica de un fenómeno medido, de acuerdo con una fórmula dada, que evalúa la evolución.
- *Cuadro de Mando*: Conjunto de indicadores asociados consistentes y complementarios, que proporcionan información sintética y global.

En este contexto, con objeto de medir el desempeño de los activos, se ha tenido en cuenta la norma UNE-EN-15341, la cual establece los siguientes 4 niveles de indicadores:

- Económicos
- Técnicos
- Organizacionales
- Otros

Ahora que se ha explicado la importancia de los indicadores, se va a exponer un ejemplo de indicador con el cual se va a desarrollar este trabajo:

IVI

El indicador que se presenta es el Indicador de Valor de Activos (Infrastructure Value Index, IVI), cuya definición la encontramos en la siguiente fórmula:

$$IVI (\%) = \frac{\text{Infrastructure current (fair) Value}}{\text{Infrastructure Replacement Cost}}$$

Que traducido significaría algo así:

$$IVI = \frac{\text{Valor monetario activo}}{\text{Coste monetario de reposición del activo}}$$

Se trata de un indicador desarrollado en 2014 por H. Alegre, D. Vitorino y S. Coelho en el artículo “*Infrastructure Value Index: a powerful modelling tool for combined long-term planning of linear and vertical assets*”. Este indicador si está orientado directamente a infraestructuras hidráulicas.

Este indicador es el protagonista del siguiente apartado, ya que se va a analizar con mayor detalle y se va a trabajar directamente con él, aplicándolo a una serie de activos pertenecientes a la Confederación Hidrográfica del Segura.

3. INFRASTRUCTURE VALUE INDEX (IVI)

3.1. Concepto y formulación básica

Como se expuso anteriormente, el IVI queda definido por la relación entre el valor actual de una infraestructura y el coste de reposición de la misma, tal y como se observa en la siguiente expresión:

$$IVI = \frac{\text{Valor monetario activo}}{\text{Coste monetario de reposición del activo}}$$

Al ver la definición, se observa que el IVI es un indicador que se define para cada activo de forma individual, por lo que cuando se desarrolla una estrategia aplicada a estos activos, el IVI puede determinarse teniendo en cuenta la contribución de cada uno de los activos que componen la infraestructura, dando lugar a subsistemas o sistemas de agregación, mediante la siguiente fórmula:

$$IVI(t) = \frac{\sum_{i=1}^N (rc_{i,t} \cdot \frac{rul_{i,t}}{eul_t})}{\sum_{i=1}^N rc_{i,t}}$$

Siendo:

t = tiempo de referencia.

N = número de activos.

IVI = Índice de valor de la infraestructura en el tiempo t .

$rc_{i,t}$ = coste de reposición del activo i en el tiempo t .

$rul_{i,t}$ = vida útil residual del activo i en el tiempo t .

eul_t = vida útil teórica del activo i .

Considerando la ecuación, si todos los activos de una infraestructura determinada tuvieran el mismo coste de reposición y la misma vida útil, el IVI representaría la vida residual de la infraestructura.

El IVI nos va a proporcionar una valoración del grado de madurez del mantenimiento realizado, de forma que una infraestructura que esté bien conservada va a tener un índice del orden del 50% (40-60 %). Valores inferiores de este indicador, para las estructuras analizadas, supondrían una descapitalización del activo debido a un mantenimiento insuficiente. En el caso de este trabajo, se ha optado por aplicar un modelo de cálculo correspondiente al primer caso, enfocándose en los activos y teniendo como variables la vida útil, depreciación y coste de reposición. Estas variables van a ser calculadas de forma detallada y con una serie de consideraciones que trataran de acercas los resultados a la realidad con un alto nivel de precisión.

A continuación se van a exponer cada una de estas tres variables, a nivel de activo, que intervienen en la ecuación, y que por tanto son esenciales para poder hallar el IVI:

- *Coste de reposición*: el coste de reposición refleja el coste que tiene un activo en la actualidad, teniendo en cuenta la inflación, por lo que el coste de reposición dependerá del año
- *Vida útil residual*: se trata de la cantidad de años de vida que le queda a un activo desde el año de estudio hasta el año en que llega a su valor residual. En ella se tiene en cuenta el aumento de vida útil por actuaciones económicas que supongan una vida útil extra.
- *Vida útil estimada*: es la vida útil total del activo, considerando como inicio el año de puesta en servicio y como fin el año en que se alcanza el valor residual una vez que las intervenciones haya aumentado la vida útil inicial.

Tal y como indica *Alegre et al (2014)*, el IVI se puede evaluar con varios procedimientos distintos, derivados de dos enfoques básicos:

- *Orientado a activos*: la base del cálculo se encuentra en la vida útil que presenta cada activo, así como en su curva de depreciación y en su coste de reposición.
- *Orientado al servicio*: en este caso el cálculo basa en el rendimiento que ofrezca la infraestructura.

En la vida real, el IVI de una infraestructura se puede entender como una media ponderada de las vidas residuales de los distintos activos de la infraestructura, siendo el coste de reposición el que provoque dicha ponderación. Además hay que tener en consideración que cada uno de estos activos se compone a su vez por elementos integrantes que se han clasificado en 6 tipos.

Puesto que el IVI va a variar según el coste de reposición, y que éste a su vez depende del año para el cual se calcule, el IVI se va a calcular para un año determinado.

Los datos de información sobre el estado de los activos, así como las previsiones técnicas de vida útil son determinantes para una correcta obtención de resultados del IVI con los que poder realizar una toma de decisiones.

A continuación se explican las dos hipótesis de cálculo del IVI y se exponen los puntos clave en los que se basa la formulación.

3.1.1. Evaluación del IVI

3.1.1.1. Formulación básica orientada a los activos

En esta primera metodología, uno de los fundamentos es la definición de la vida útil. Desde el punto de vista del servicio de abastecimiento y saneamiento de aguas, establecer cuando va a llegar a su fin la vida útil del activo resulta una tarea complicada, ya que los activos no mueren como tal. Así pues, se considera el final de la vida útil de un activo cuando éste deja de ser apto para cumplir el objetivo que le corresponde.

El problema surge con la inaptitud del activo de dar servicio, ya que puede ser debido a la capacidad, a déficit de mantenimiento, a su propia condición, etc. Por ello se han propuesto varios enfoques para llevar a cabo un cálculo de la vida útil, basándose su mayoría en roturas de tuberías, ya que se considera el principal indicador de necesidad de renovación de tuberías en redes de abastecimiento/saneamiento

IVI en un año determinado se puede evaluar de la siguiente manera:

- (i) Establecer un año de referencia para el cálculo.
- (ii) Dotar a cada activo físico incluido en el sistema de su respectivo coste de reposición.
- (iii) Evaluar los costes de reposición de cada activo o conjunto de activos, basados en la función de coste unitario y con las cuantías correspondientes.
- (iv) Evaluar el coste total de reposición a nivel infraestructura como la suma de cada coste de reposición de activo.
- (v) Establezca las vidas útiles estimadas en función del mejor fundamento disponible.
- (vi) Corregir la vida útil actual de cada activo o infraestructura, si existe y se justifica información sólida sobre la modificación.

- (vii) Evaluar el valor de cada activo: multiplicar su coste de reposición por su vida residual; Sumar todos los activos para obtener el valor actual de la infraestructura. No se recomienda el uso de valores de activos contables depreciados.
- (viii) Evalúe el IVI como la relación entre los valores obtenidos en (vi) y (iv) como se establece en (1) y (2).

Este enfoque tiene las siguientes suposiciones subyacentes principales:

- a) La Infraestructura tendrá un valor determinado resultante de sumar, de forma adecuada, los valores de sus activos individuales.
En ocasiones, el diseño ideal actual de una infraestructura difiere considerablemente del existente. Si las diferencias se limitan a la sustitución de un activo por su equivalente moderno, esta suposición subyacente es válida. Solo cuando haya diferencias importantes en el diseño global, por ejemplo, en el diseño de las redes, se debe adoptar una evaluación IVI agregada.
- b) Es posible proporcionar vidas útiles técnicas para cada tipo de activo.
El final de la vida de un activo depende naturalmente de su adecuación para el propósito, que tiene notable grado de subjetividad. El análisis estadístico de prácticas pasadas no es suficiente para inferir prácticas futuras o criterios de aceptación. En general, los fallos en activos son reparables, por lo que no suponen el fin de la vida del activo. Debido a todo esto, existen sofisticados algoritmos para evaluar vidas útiles, los cuales no tienen por qué tener más precisión que los análisis de profesionales con experiencia.
- c) La depreciación de los activos es lineal.
Muchas plantas de tratamiento, estaciones de bombeo y otras instalaciones, equipos y redes presentan una curva en términos de tasa de fallos: una frecuencia más alta en los primeros años, debido a defectos de fabricación o instalación, un período estable y un período final donde el activo está bastante deteriorado y la tasa de fallos esperadas aumenta hasta un nivel inaceptable. Este argumento se usa comúnmente para justificar que la depreciación lineal puede no ser adecuada para los activos hídricos urbanos. Sin embargo:
 - (i) una curva de tasa de fallo no necesariamente conduce a una tasa de depreciación de la curva de baño
 - (ii) raramente existen datos suficientes y confiables para justificar el uso de una depreciación no lineal específica del activo
 - (iii) una simplificación clara y transparente es mejor que una sofisticación simplemente aparente, no bien fundamentada. Por estas razones, se recomienda la depreciación lineal, a menos que existan razones específicas y bien justificadas.
- d) La vida útil predeterminada, es decir, antes de cualquier corrección, viene dada por la diferencia entre el año IVI y la fecha de instalación del activo; en el caso de las estructuras rehabilitadas, esto puede requerir suposiciones específicas.
La rehabilitación incluye reemplazo, renovación y refuerzo. En los casos de renovación y refuerzo, el nivel de reinversión puede ser diferente del costo de reposición y la vida residual después de la renovación puede ser diferente de la vida esperada de un nuevo activo. Siempre que sea relevante, el cálculo de IVI puede considerar estas dos situaciones.

3.1.1.2. Formulación básica orientada al servicio

Una vez vista la forma de evaluar el IVI poniendo como objetivo los activos, se procede ahora a describir la formulación básica adoptada para un IVI orientado al servicio.

La principal ventaja que posee este método es que establece que la calidad del servicio es lo que da valor a la infraestructura. Además, considera que las vidas útiles deberían proceder de la adaptación al servicio más que de las inversiones económicas realizadas.

Como inconveniente principal la subjetividad que supone analizar el sistema de esta manera. También como desventaja cabe señalar la inexistente previsión futura del servicio, ya que por ejemplo para dos subsistemas con similar rendimiento, si uno de ellos tiene posibilidad de disminuir su calidad a corto plazo, debería poseer un IVI menor.

Las indicaciones en las que se basa esta formulación son las siguientes:

- i. Dividir todo el sistema en subsistemas con una identidad funcional (por ejemplo, áreas de medición del distrito en sistemas de distribución de agua, cuencas de drenaje secundario en aguas residuales o redes de aguas pluviales).
- ii. Definir/adaptar un sistema de evaluación corporativo existente, con objetivos orientados al servicio, criterios de evaluación y medición; seleccione las medidas relevantes según la eficiencia y efectividad de la infraestructura.
- iii. Estandarizar cada medición para una escala de 0-3 (0 - sin servicio; 1: límite entre inaceptable y aceptable; 2: límite entre aceptable y bueno; 3 - Excelente).
- iv. Todas las mediciones deben ser relevantes y equilibradas entre ellas, pero, si es necesario, proporcione ponderaciones relativas diferentes para algunas mediciones.
- v. Evaluar estas mediciones para cada subsistema y así estandarizar resultados;
- vi. Evaluar el promedio ponderado, es decir, el nivel global de cumplimiento de los objetivos para cada subsistema; esto se toma como el IVI de esa área, para el año al que se refieren los datos.
- vii. Evaluar el IVI global utilizando los costes de reposición de cada subsistema como ponderaciones. Para simplificar, se pueden adoptar variables tales como la longitud total de la red o la población servida.

La ventaja que posee este método es que establece que la calidad servida es lo que da un valor a la infraestructura. Además, considera que las vidas útiles deberían proceder de la adaptación al servicio más que de las inversiones económicas realizadas.

Como inconveniente principal la subjetividad que supone analizar el sistema de esta manera. También como desventaja cabe señalar la inexistente previsión futura del servicio, ya que por ejemplo para dos subsistemas con similar rendimiento, si uno de ellos tiene posibilidad de disminuir su calidad a corto plazo, debería poseer un IVI menor.

3.1.2. Interpretación de los resultados de IVI.

Cuando se trate de infraestructuras con cierta longevidad y que además hayan recibido un adecuado mantenimiento y rehabilitación constante los valores se encontrarán en un intervalo del 40 al 60% (en torno al 50%).

Teniendo en cuenta esto, surgen 2 casos en los que los valores obtenidos de IVI para un activo no supongan resultados favorables, saliéndose del intervalo antes acotado: valores bajos (<40%) y valores elevados (>60%).

Cuando en un activo se desprenda un valor inferior al 40%, este valor se corresponde con un valor monetario reducido en relación al coste de reposición para el año de estudio. En otras palabras, este activo habrá recibido un total de inversiones de reposición o de obra nueva cuya cuantía alcanza un valor muy inferior al coste de reposición del activo en el año de estudio.

Los activos que se engloban este caso suelen ser infraestructuras que no han sido rehabilitadas/reparadas con el paso de los años, devaluando así su valor patrimonial sin ningún tipo de inversión que genere un incremento económico.

Por otra parte, el segundo caso representa valores de IVI por encima del 60%, obteniéndose con inversiones sobre el activo muy altas en relación al coste de reposición. Esto se observa en la realidad cuando en un activo cualquiera, tras su entrada en servicio, se invierte en nueva obra en alguna tipología brevemente posterior a la de inicio de vida útil. Un ejemplo sería un canal que tiene un valor patrimonial inicial generado sobre todo por la tipología *obra civil*, y a los pocos años se invierte en vías de acceso y edificaciones auxiliares para dicho canal (tipologías de *caminos* y *edificación*).

Además de infraestructuras jóvenes, también se dan valores altos cuando se trata de activos con cierta edad que han recibido una serie de intervenciones de reposición recientemente, por lo que el valor del IVI aumenta de forma notable. Desde el punto de vista extremo, puede darse el caso que exista una rehabilitación excesiva de un activo, por lo que se salga de los valores óptimos durante un periodo prolongado.

En cualquier caso cada activo merece especial atención, ya que indagando en la base de datos se puede encontrar la procedencia de valores anómalos o picos de inversión que explican los valores de IVI correspondientes al activo. De esta forma es posible investigar un activo que posee un valor no óptimo de IVI para así proceder a aumentar o disminuir las inversiones sobre dicho activo con el fin de garantizar un adecuado servicio de la forma más óptima posible en términos económicos.

4. PROPUESTA METODOLÓGICA Y CASO DE ESTUDIO

4.1. Propuesta metodológica

El presente Trabajo de Fin de Máster forma parte de una línea de trabajo orientada a la gestión de activos físicos en el ámbito de las infraestructuras hidráulicas dentro del Área de Ingeniería Hidráulica de la Unidad Predepartamental de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica de Cartagena. El desarrollo del mismo se ha producido en paralelo con otras investigaciones y trabajos con los cuales comparte información y metodología básica, con el objetivo de presentar relación entre ellos llegando a la sinergia. De este modo, en la aplicación a un caso de estudio que recoge este capítulo, los apartados 3.1 y 3.2 se ha empleado información del TFG del recién graduado en Ingeniería Civil Bartolomé Collado López titulado “La gestión de activos en la gestión de infraestructuras hidráulicas. Propuestas metodológicas para un organismo de gestión de agua en alta”.

A continuación se van a exponer dichos apartados, ya que son de gran importancia que presentan para la comprensión de este documento.

4.1.1. Metodología de cálculo

En este apartado se va a exponer la forma de trabajo que se lleva a cabo para tratar la información, definiendo las consideraciones necesarias para un análisis adecuado que nos permita obtener los resultados que buscamos.

Anteriormente se ha procesado la información recopilada, mostrando una larga serie de intervenciones económicas en los diferentes activos de estudio.

Lo que se trata de hacer ahora es, con esas series de actuaciones como base, analizar en detalle la procedencia de las mismas, ya que la naturaleza de éstas puede ser desde inversiones de nueva obra, hasta inversiones en operaciones de conservación y mantenimiento, pasando por inversiones de reparación de activos existentes. Todas ellas tendrán una consideración distinta sobre el valor patrimonial del activo.

De esta forma se trata de ajustar el valor de los activos a la realidad, considerando los aumentos de valor provocados por cierto tipo de actuaciones, considerando a su vez una depreciación del activo por el paso de los años desde su inicio de vida útil.

4.1.1.1. Consideraciones adoptadas en el análisis

Respecto a la depreciación de la infraestructura ya comentada, se ha optado por establecer una depreciación con carácter lineal, que progrese de forma constante de un valor inicial a un valor final.

Como valor inicial se ha considerado, siguiendo la lógica, el valor patrimonial inicial del activo, correspondiente a la suma de actuaciones de nueva obra.

Para el valor final del activo, se tiene en cuenta el valor residual de la infraestructura. Este valor residual depende del nivel de depreciación que se alcance, tanto según el tipo de infraestructura del que se trate, como de la tipología que se esté evaluando dentro del activo. De esta forma, un activo que no sufra aumentos de valor patrimonial por intervenciones económicas, alcanza este valor cuando su vida útil llega a su fin.

La depreciación de la tipología o el activo va a producirse a lo largo de toda su vida útil, dirigiéndose del valor inicial al valor residual. Por tanto, la depreciación va a depender de la tanto de la vida útil como del tipo de activo o tipología que se trate.

Una vez llegada la vida útil a su fin, se mantiene el valor residual de forma constante, cambiando sólo cuando se produzcan inversiones de renovación.

En este contexto, se detallan en la *Tabla 1* las vidas útiles para cada tipología en función del tipo de infraestructura del que se trate. Además, se incluyen el porcentaje que supone el valor residual de las mismas en relación al valor inicial. Esta información ha sido confeccionada en base al propio organismo de cuenca, a bibliografía adyacente y a la guía técnica del CEDEX.

Tabla 1. Vida útil de cada tipología según el tipo de activo.

Tipología	VIDA ÚTIL (Años)	VALOR RESIDUAL (%)			
		Presa	Canal	Estación elevadora	Conducto
CAMINOS	50	75	75	75	75
EDIFICACION	80	75	75	75	75
ELECTRICIDAD	15	10	10	10	10
EQUIPOS ELECTROMECHANICOS	25	20	20	20	20
INSTRUMENTACION	15	10	10	10	10
OBRA CIVIL	50	80	50	75	50

Como se ha comentado anteriormente, este valor residual se alcanza tras la vida útil, siempre y cuando no se haya incrementado el valor patrimonial mediante inversiones sobre la tipología o activo, lo que provocaría un reajuste de valor residual y, por lógica, de la depreciación del mismo.

A lo largo la vida útil del activo, incluso antes de ésta para obtener un valor patrimonial inicial, se van produciendo diversas inversiones en las distintas tipologías del activo. Ahora bien, no todas estas actuaciones son de la misma naturaleza, y por tanto no todas van a influir de igual forma en el activo.

Para las distintas inversiones, se va a tener en cuenta por un lado su influencia en el valor patrimonial de la tipología correspondiente o del activo en cuestión, y por otro la condición de dicha inversión de intervenir en el mantenimiento y conservación del activo. En función de estas dos características, los distintos tipos de inversiones que se presentan son:

1. Inversión nueva:

- Incrementa el valor patrimonial.
- No computa como actuación que de mantenimiento y conservación que mejora la gestión del activo. (no se trata de una cantidad de inversión presupuestada).

2. Inversión de reposición:

- Incrementa el valor patrimonial.
- Sí computa como actuación de conservación y mantenimiento que “mejora” la gestión del activo (si se corresponde con una cantidad presupuestada).

3. Inversión de Mantenimiento y Conservación:

- No incrementa el valor patrimonial.
- Si computa como actuación de conservación y mantenimiento que “mejora” la gestión del activo (si se corresponde con una cantidad presupuestada).

4. No aplica:

- No incrementa el valor patrimonial.
- No computa como actuación que “mejora” la gestión del activo (no trata de una cantidad de inversión presupuestada).

Este análisis de los tipos de inversiones es imprescindible para alcanzar el objetivo perseguido, que no es otro que realizar un estudio en profundidad del estado en el que se encuentran los activos en función de su depreciación y del número de inversiones de conservación y mantenimiento que han recibido desde su puesta en servicio hasta la actualidad (año 2015).

De esta forma, a efectos de valor patrimonial de la tipología o activo, se desprecian las inversiones de conservación y mantenimiento propiamente dichas, incluso aquellas actuaciones que supongan una cuantía inferior al 5% del valor patrimonial, ya que se considera una cifra aproximada del mantenimiento anual que se suele dar comúnmente en las infraestructuras.

4.1.1.2. Cálculo de valorizaciones de los activos

En el presente apartado se va a desarrollar el todo proceso de obtención de las gráficas de las valorizaciones tanto a nivel de tipología como a nivel de activo.

Para ello se va a optar por seguir un activo modelo dentro de nuestro trabajo, en el cual se va a explicar el procedimiento para las seis tipologías que lo componen.

Como punto de partida en este procedimiento se tiene la ficha de activos actualizada del subsistema en la cual se ubica el activo en cuestión. Debe estar actualizada a 2015 por medio del IPC, siendo el método escogido para actualizar las inversiones a la actualidad de forma simplificada. En esta ficha aparecen todas las actuaciones que se han llevado a cabo en el activo separadas por años y por tipología.

El valor patrimonial de las tipologías de un activo se ha calculado como la suma de las actuaciones que componen la inversión inicial, siendo el año de puesta en servicio el correspondiente a la última de estas actuaciones contempladas como inversión inicial. A partir de aquí se obtienen tanto el valor residual como la depreciación de cada tipología. El primero no es más que un porcentaje del valor patrimonial inicial, correspondiente a la tipología, según valores indicados por el CEDEX. Respecto a la depreciación anual, se ha calculado dividiendo la diferencia entre valores patrimoniales inicial y residual entre la vida útil que se tiene para la respectiva tipología.

Para las inversiones de nueva obra o de reposición que se producen durante la vida útil del activo, al ser las que aumentan el valor patrimonial del mismo, se han tenido en cuenta y se han agrupado en una única inversión cuando existían varias en un periodo corto de tiempo (4 o 5 años), de forma que la gráfica de las valorizaciones sea más sencilla y no quede repleta de pequeños picos provocados por aumentos de valor patrimonial.

De esta forma, el valor patrimonial sigue una tendencia lineal descendente que se ve afectada por pulsos económicos motivados por las intervenciones producidas sobre las tipologías. La ecuación que representaría el valor patrimonial será entonces:

$$V(t) = V_0 + Dep \cdot (t - t_0) + \sum_{t=t_0}^t Act$$

Donde:

$V(t)$ = valor patrimonial en el año t (€)

V_0 = valor patrimonial inicial o inversión inicial (€)

Dep = depreciación anual de la tipología (€/año)

t_0 = año en el que se produce V_0

$\sum_{t=t_0}^t Act$ = suma de actuaciones desde el año de puesta en servicio hasta el año t (€)

Como se ha expuesto anteriormente, las actuaciones económicas que incrementan el valor patrimonial de la tipología y que se acumulan en un intervalo temporal reducido se han considerado como una única actuación con el valor de la suma de todas ellas y se ha aplicado en el año en el que se encuentra la mayor de las consideradas. De esta forma habría que replantear las variables que forman parte de la ecuación del valor patrimonial.

Ante una actuación que aumente la valorización de la tipología, se tiene un valor que no depende sólo de la depreciación y la inversión inicial, por lo que este valor patrimonial se tomaría como origen, considerándose a efectos de cálculos como un nuevo valor de puesta en servicio.

Seguidamente se van a exponer las nuevas variables que intervienen en la valorización de la tipología, replanteadas por el nuevo valor patrimonial:

-Vida útil: la vida útil tras la nueva inversión va a ser proporcional a la vida útil de la tipología, teniendo en cuenta la relación entre el valor patrimonial con la nueva inversión y el valor patrimonial debido a la inversión inicial. Esta nueva vida útil tiene su origen en el año en que se realiza esta nueva inversión.

$$VU_1 = VU_{tip} * \frac{V_1}{V_0}$$

Donde:

VU_1 = vida útil desde la nueva inversión (años)

VU_{tip} = vida útil de la tipología según el CEDEX (años)

V_1 = valor patrimonial en el año de la nueva inversión (€)

V_0 = valor patrimonial en el año de puesta en servicio (tras inversión inicial) (€)

-Valor patrimonial residual: se calcula con el mismo porcentaje obtenido del CEDEX. En este caso este porcentaje multiplica al valor patrimonial tras la actuación (V_1).

Como es lógico, ante un cambio de vida útil y de valor patrimonial residual, ahora se obtiene una depreciación anual distinta, que va a suponer un cambio de pendiente en la recta que representa el valor patrimonial de la tipología.

La ecuación que va a definir el valor patrimonial es la misma que anteriormente, pero modificando los valores que procede, quedando escrita de la siguiente forma:

$$V(t) = V_1 + Dep_1 \cdot (t - t_1) + \sum_{t=t_1}^t Act$$

Donde:

$V(t)$ = valor patrimonial en el año t (€)

V_1 = valor patrimonial en el año de la nueva inversión (€)

Dep_1 = depreciación anual de la tipología tras la nueva inversión (€/año)

t_1 = año en el que se produce V_1 (años)

$\sum_{t=t_1}^t Act$ = suma de actuaciones desde el año en que se produce la nueva inversión hasta el año t (€)

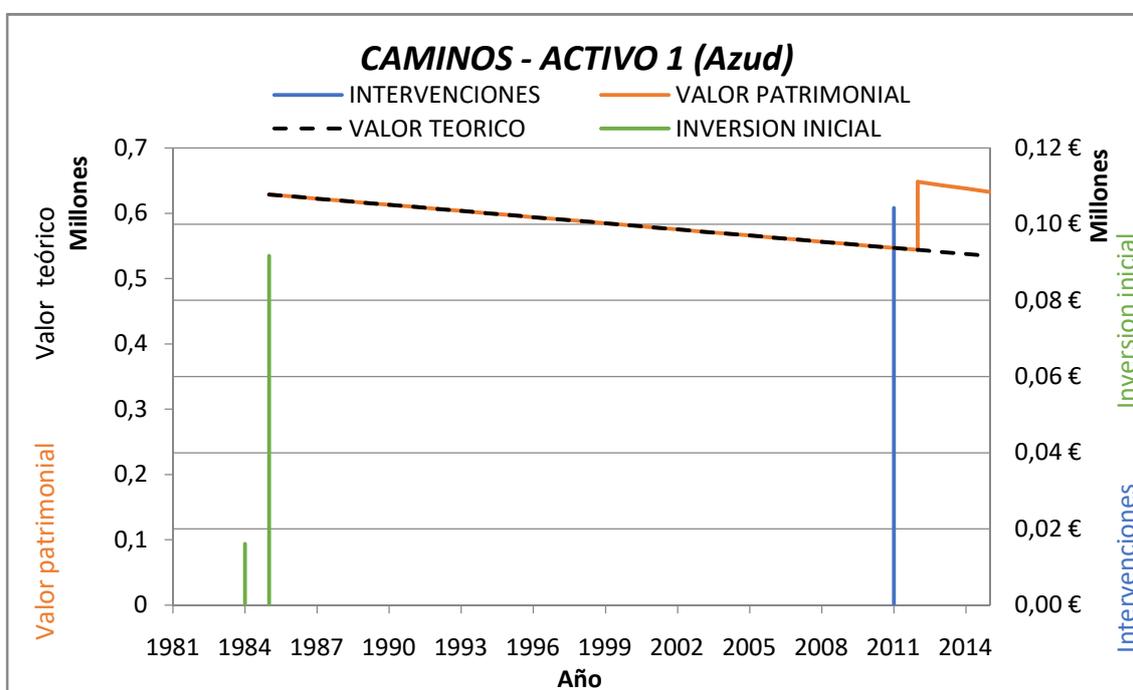


Ilustración 14. Gráfico de valor patrimonial de un activo.

Es muy común que en una misma tipología aparezcan varias actuaciones que supongan picos en la gráfica del valor patrimonial. Ante esta situación, se replantean los valores que tantas veces como sea necesario, ya que tras una intervención que aumente el valor patrimonial, la tipología va a modificar las variables que intervienen en los cálculos.

También cabe decir que cuando una el valor patrimonial alcanza su valor residual, momento en el que acaba su vida útil, que la tipología mantiene ese valor y se considera que “muere” cuando pasan varios años y no se ha intervenido sobre dicha tipología (en el caso de este trabajo se ha considerado 7 años).

Puede darse la situación en la que se produzcan actuaciones sobre la tipología pasado este tiempo. Esta actuación se corresponde por tanto con una inversión de nueva obra, de modo que la cifra económica de esta intervención supone un nuevo valor patrimonial inicial, y tendrá una vida útil proporcional a la considerada en su puesta en servicio.

4.2. Descripción del caso de estudio

4.2.1. Recopilación de información

La Confederación Hidrográfica del Segura ha sido la encargada de facilitar la información básica necesaria para desarrollar este documento, a través del cotutor del trabajo Mario Andrés Urrea Mallebrera. Dado que la fuente de información es un organismo público, no se debe perder la confidencialidad de la información suministrada por el mismo.

Ahora bien, con el fin de dar claridad a la información de forma que se simplifique el manejo de la misma, se va a hacer una clasificación jerárquica de los datos recogidos. La escala de información, de menor a mayor nivel de detalle es la siguiente:

1. Subsistema: el sistema general (cuenca hidrográfica del Segura) ha sido dividido en un total de 5 subsistemas:

Subsistema 1. Aprovechamiento río Segura, Mundo y Quípar

Subsistema 2. Regadíos de Lorca.

Subsistema 3. Embalse río Argos.

Subsistema 4. Embalse de la Cierva

Subsistema 5. Postrasvase Tajo Segura

2. Activo: En cada subsistema hay presentes un determinado número de activos. En el presente documento se va a tratar con 4 tipos de activos: presas, azudes, canales y conducciones cerradas.
3. Tipología: para cada activo además, se van a considerar 6 tipologías distintas: caminos (CA), edificación (ED), electricidad (EL), equipos electromecánicos (EE), instrumentación (IN) y obra civil (OC).

Una vez jerarquizada la cuenca, se presentan en la siguiente lista todos los activos pertenecientes a la CHS, sumando un total de 56 distintos distribuidos por toda la superficie de la cuenca.

Lista de activos:

1. Contraparada.
2. Azud de Lietor.
3. Canal Reguerón-Paretón.
4. Canal Agua Claras-Puentes.
5. Canal Ojos Luchena-Puentes.
6. Conducción manantial de la Paca.
7. Balsa regulación Cabezo Leones.
8. Canal y Presa Abanilla.
9. Canal principal margen izquierda Río Segura.
10. Embalse del Mayés.
11. Canal principal margen derecha Río Segura.
12. Canal principal del campo de Cartagena.
13. Canales-conducciones varias.
14. Recrecimiento de la Presa Valdeinfierno.
15. Embalse de Puentes.
16. Embalse del Talave.

17. Embalse de Alfonso XIII.
18. Embalse de la Cierva.
19. Embalse de la Fuensanta.
20. Embalse del Cenajo.
21. Embalse de Camarillas.
22. Embalse de Santomera.
23. Embalse del Argos.
24. Azud principal de derivación del Río Segura.Ojós.
25. Presa de la rambla del Moro.
26. Embalse de la Pedrera.
27. Presa y vaso del embalse de Pliego.
28. Embalse de Pliego y Doña Ana.
29. Presa de la rambla del Carcabo.
30. Presa de la rambla del Judío.
31. Presa de la rambla de Algeciras.
32. Presa de José Bautista (Romerál).
33. Presa de los Rodeos.
34. Presa de la rambla de Bayco u Ortigosa.
35. Presa rambla boquerón y trasvase Boquerón-Mullidor
36. Presa de la rambla de Charcos.
37. Presa de la Risca.
38. Embalse de Moratalla.
39. Encauzamiento Río Segura. tramo Murcia capital-Beniel.
40. SAIH.
41. SAIH Postrasvase.
42. Embalse de Crevillente.
43. Zona I. Postrasvase.
44. Zona II. Postrasvase.
45. Conducción regadíos Pliego. Postrasvase.
46. Regadío de Águilas.
47. Regadío de Mazarrón.
48. Canal Argos-Quípar.
49. Regadío de Lorca.
50. Conducciones regadío tradicional.
51. Depuración de aguas.
52. Batería estratégica de sondeos. Calasparra.
53. Batería estratégica de sondeos. Vegas tradicionales.
54. Abastecimiento no MCT.
55. Ramblas varias. Defensa de avenidas.
56. Actuaciones cauces Río Segura.

Para poder estudiar el IVI, se han tenido en cuenta todos los datos referidos a inversiones de obra nueva, inversiones de conservación y mantenimiento e inversiones de reconstrucción/repáral. Al analizar dos subsistemas (Sub. 5 y Sub. 1), se han escogido dos intervalos temporales distintos de inversiones, tal y como plantean mis compañeros Bartolomé Collado López y de Javier Carmona Aroca en sus trabajos de fin de grado. Para el Subsistema 5, se han tenido en cuenta las inversiones incluidas en el periodo [1971-2015], mientras que para el Subsistema 1 las inversiones consideradas son las que se encuentran dentro del rango [1916-2015]. Teniendo estos periodos de referencia para cada subsistema se han elaborado gráficas que facilitan el análisis de cada tipología a lo largo de los años y simplifica la visualización de información.

Se requiere esta clasificación de la información para que quede ramificado todo el sistema, pudiendo llevarse a cabo una gestión más simplificada y eficaz de los activos, considerándolos con un alto nivel de detalle y pudiendo analizar la información con mayor facilidad ya que todos los activos tendrán las mismas variables. Además, esta metodología posibilita que se pueda expandir el sistema, teniendo de referencia los datos ya existentes.

4.2.2. Tratamiento de la información

Al tratarse de una recopilación masiva de información, se hace indispensable trabajarla previamente con el fin de simplificar la posterior búsqueda de datos. De este modo, se ha administrado toda la información, realizando una revisión y descomposición de la misma en una gran base de datos que incluye una serie de variables comunes.

Cuando se trabaje de forma correcta con esta base de datos (*Tabla 2*), se podrá observar y analizar información con mucha rapidez y claridad, siendo muy útil para realizar una observación y análisis de los datos de forma idónea. Dicha razón es la que justifica la conveniencia de trabajar con esta base de datos para la evaluación de los índices con los que se trabaja en el presente documento.

Tabla 2. Base de datos para recopilación de intervenciones en activos físicos.

BASE DE DATOS													
FRD	Año	Nº Obra	Nº Activo	Activo	Subsistema	Sistema	Tipología	Clave/Acción	Título	Estado	Total Certificado	IPC	Total Certificado 2015

A continuación se va a proceder a definir cada una de las variables que ensamblan la base de datos, y que tienen en común todas las actuaciones económicas:

- Fecha de Recepción Definitiva: fecha de recepción definitiva de la intervención o actuación en cuestión.
- Año: año en el que se realiza la intervención correspondiente.
- Nº Obra: según la numeración de las distintas actuaciones llevadas a cabo en la CHS.
- Nº Activo: se trata del número que posee la infraestructura en la lista que se mostró anteriormente de todos los activos que constituyen la CHS.
- Activo: proporciona el nombre del activo sobre el que se realiza la intervención, el cual se corresponde como es lógico con el nombre del activo de la lista que posee el número de activo anterior.
- Subsistema: indica el subsistema en el que se ubica el activo.
- Sistema: a nivel más general, muestra el sistema que acoge el activo de estudio. En el presente trabajo es la CHS en todas las actuaciones de los distintos activos, pero se añade esta opción para estandarizar el método a otros sistemas como ya se ha dicho.
- Tipología: se refiere a la tipología a la que va dirigida la inversión.
- Clave/Acción: código interno del organismo de la CHS.
- Título: breve descripción de la intervención, explicando la obra realizada con dicha inversión. Es útil para conocer qué actuaciones son de conservación y cuáles de reposición.
- Estado: especifica en que proceso se encuentra la realización de la actuación.
- Total Certificado: valor monetario correspondiente a la ejecución de la intervención en el año en que se realiza.
- IPC: Índice de Precios de Consumo para el año en el que se percibe la obra con origen de referencia al año 2015.

- Total Certificado 2015: Cuantía total certificada por la correspondiente actuación, siendo el valor actualizado mediante el IPC al año de referencia de este trabajo (2015).

Además de esta clasificación y ordenación de la información realizada en esta base de datos (*Tabla 3*), se ha dividido toda ella en fichas tipo de activos. Estas fichas de activos se corresponden con los diferentes subsistemas establecidos en el sistema de origen (CHS). El objetivo de éstos no es otro que reordenar la información recopilada en la base de datos, de forma que se pueda trabajar por grupos de activos, y dentro de cada uno con sus correspondientes tipologías.

Tabla 3. Ficha tipo de activos.

FICHA TIPO DE ACTIVOS											
Activo	UTMX	UTMY	Tipología	Inversión CEDEX	Inversión inicial	Valor residual	Depreciación anual	Valor patrimonial CHS	Puerta de servicio	Vida útil	% Oper. y Mant.

En este caso se ha trabajado con las fichas tipo de activos del Subsistema 5 y Subsistema 1, evaluando para ambos casos los índices que intervienen en el presente trabajo.

Respecto al subsistema 5, los activos que se incluyen en dicho subsistema son los siguientes:

1. Azud principal de derivación del Río Segura.Ojós.
2. Canal principal del campo de Cartagena.
3. Canal principal margen derecha Río Segura.
4. Canal principal margen izquierda Río Segura.
6. Embalse de Crevillente.
7. Embalse de la Pedrera
8. Embalse del Mayés
9. Presa de la rambla de Algeciras.

El Subsistema 1, por su parte, se compone de los 5 siguientes activos, todos ellos embalses en este caso:

1. Embalse de Alfonso XIII.
2. Embalse de Camarillas.
3. Embalse de la Fuensanta.
4. Embalse del Cenajo.
5. Embalse del Talave.

Se trata de dos subsistemas muy distintos, en el que existe una clara distorsión temporal entre los activos de uno y otro subsistema. En el Subsistema 1 el activo más antiguo (Embalse Alfonso XIII) y el más joven (Embalse de Camarillas) datan de 1916 y 1960 respectivamente. En el caso del Subsistema 5, el activo más antiguo (Azud principal de derivación del Río Segura. Ojós) entro en servicio en el año 1978, mientras que la Presa de la rambla de Algeciras tiene su inicio de vida útil en el año 1995, siendo así el activo menos longevo de este subsistema.

Con esta ficha de activos, se hace posible tener una visión económica del subsistema en función del tiempo, en la que se muestren las distintas actuaciones a lo largo de los años para cada tipología de un activo concreto. Así se desglosan todos los activos de un mismo subsistema con sus tipologías correspondientes.

4.3. Cálculo de indicadores

4.3.1. Cálculo del indicador IVI (Infrastructure Value Index)

Como ya se ha comentado, el objetivo principal de este trabajo es un desarrollar el IVI aplicándolo a 2 subsistemas de la Cuenca Hidrográfica del Segura.

Anteriormente se ha definido el IVI como la relación que existe entre el valor monetario de un activo en un determinado año t y el coste de reposición de dicho activo en ese mismo año. El valor monetario del activo está compuesto por la suma de los distintos valores patrimoniales correspondientes a todas las tipologías que conforman el activo, siempre referido al año de estudio t . En el caso del coste de reposición el cálculo se basa, como se ha explicado ya, en el método que da la *Guía técnica para la caracterización de medidas* que ofrece el CEDEX, en el cual se establecen una serie de consideraciones de forma que se pueda extraer un valor tanto para el activo en sí como para cada una de las tipologías que lo constituyen.

Antes de continuar, se va a reescribir la fórmula que describe el IVI según sus creadores Helena Alegre, Diego Vitorino y Sergio Coelho en su artículo *Infrastructure Value Index: A Powerful Modelling Tool for Combined Long-Term Planning of Linear and Vertical Assets, 2014*:

$$IVI(t) = \frac{\sum_{i=1}^N (rc_{i,t} \cdot \frac{rul_{i,t}}{eul_t})}{\sum_{i=1}^N rc_{i,t}}$$

Ahora bien, dado el nivel de detalle alcanzado en el presente trabajo, se va a desarrollar el cálculo de estos valores, exponiendo la procedencia de los valores que adquieren las variables de la fórmula.

4.3.1.1. Valor monetario del activo

Se corresponde con el numerador de la fórmula, y se puede definir como el valor económico que presenta un activo (o tipología) en el momento de análisis, teniendo en cuenta la devaluación de su valor patrimonial y las posibles intervenciones de rehabilitación o reposición que se hayan podido producir sobre el mismo.

Como se observa, entran en juego tres variables, por un lado el coste de reposición de la tipología y por otro las vidas útiles de la propia tipología: tanto la vida útil residual (producto de las inversiones económicas sobre ella y la devaluación) como la vida útil esperada.

La primera variable a analizar es el coste de reposición de cada tipología, para lo cual hay que emplear la *Guía técnica para la caracterización de medidas* proporcionada por el CEDEX.

El primer paso es calcular el coste de inversión del propio activo, que dependerá del tipo de activo que se trate para una formulación u otra, diferenciándose entre otros activos los incluidos en los subsistemas de estudio: Presa, Azud y Canal.

A continuación se calcularán, sobre el coste de inversión de cada activo, los costes debidos a cada tipología según las recomendaciones del propio documento, a pesar de que en el mismo se asuma la dificultad de tipificar estos valores. El documento presenta un listado con los posibles sobrecostes, el cuál ha sido filtrado y clasificado en el presente trabajo, asignando los sobrecostes de la lista a las tipologías presentes y descartando aquellas que no se contemplen dentro de los activos.

En la *Tabla 4* que vemos a continuación, aparece la lista de sobrecostes del Azud a modo de ejemplo. Se muestran también a su derecha las tipologías a las que se asigna cada sobrecoste. Una vez clasificados los sobrecostes, se obtienen el porcentaje total sobre el coste de inversión de cada tipología, como se muestra más abajo para el Azud (*Tabla 5*).

Tabla 4. Distribución de sobrecostes por tipología.

AZUD		
Descripción sobrecoste	Porcentaje	Asignación
Otras unidades en el cuerpo de la presa	12,00%	OC
Compuertas y válvulas	30,00%	EM
Desvío del río	1,00%	OC
Reposición servicios afectados	10,00%	CA
Instalación eléctrica	1,00%	EL
Auscultación	1,00%	INST
Inyecciones	1,00%	OC
Medidas correctoras impacto ambiental	2,00%	-
Seguridad y salud	2,00%	-
Otras partidas	1,00%	EDIF

Tabla 5. Porcentaje total de sobrecostes por tipología.

Tipología	% Total
CAM	10,00%
EDIF	1,00%
ELEC	1,00%
EE	30,00%
INST	1,00%
OC	14,00%

Con los porcentajes obtenidos, se calculan los sobrecostes teniendo como referencia con el coste de inversión, de forma que se obtengan el coste de reposición para cada una de las distintas tipologías.

Es importante señalar que en el caso de la obra civil, el coste de reposición será el propio sobrecoste que se indica en la tabla más el coste de inversión inicial, ya que esta inversión inicial es la estructura principal del activo, y por tanto se trata de obra civil.

Ahora bien, además del coste de reposición a nivel de tipología, en el valor monetario también entra en juego la vida útil de la tipología.

En primer lugar se encuentra la **vida útil residual**, que viene dada por la suma de todos los incrementos de vida útil que derivan de las inversiones nuevas o de reposición que se aplican a la tipología correspondiente, menos los años consumidos de vida útil en el año de referencia (2015). De esta forma representa la vida que le queda en 2015, tras las intervenciones económicas, a la tipología determinada.

La relación de este incremento de vida útil respecto al valor de la inversión que lo produce mantiene la proporcionalidad existente entre el valor patrimonial inicial (inversión inicial) y la vida útil inicial del activo que se tabuló anteriormente y que tenía como fuente de información la guía técnica del CEDEX y el propio organismo de cuenca.

Para esto es necesario que se imponga una visión realista de la vida útil de la tipología de los activos. Ejemplo de esto es que en la depreciación de los activos, cuando se ha llegado al valor patrimonial residual (vida útil total terminada), se ha considerado que si transcurren 5 años o más sin una inversión de reposición o nueva y, tras este período, aparece una nueva intervención económica de reposición, esta nueva intervención va a suponer un valor patrimonial inicial con una vida útil, respetando la proporcionalidad antes comentada con la vida útil inicial.

Otra caso que ha dado con frecuencia en este estudio es que, para algunas tipologías de un determinado activo, la diferencia entre el año de referencia y el de origen, es mayor que la vida útil de dicha tipología, por lo que en el año de referencia se ha consumido toda la vida útil y, por tanto, el valor del IVI que aporta esta tipología al activo es nulo.

En segundo y último lugar, se encuentra la **vida útil teórica**. Esta posee un valor igual o superior a la vida útil residual, ya que se trata de la vida útil total de la tipología (vida útil inicial más los incrementos por inversiones económicas) del activo sin descontar los años transcurridos desde su origen hasta el 2015.

Así pues, la fracción que aparece en el numerador de la ecuación del IVI, y que representa la relación entre la vida útil residual y la vida útil teórica, se puede resumir de la siguiente manera:

“Relación entre los años que le quedan (en 2015) a la tipología para alcanzar su valor residual y la vida útil total desde su origen, teniendo en cuenta los incrementos de vida útil causados por inversiones de reposición”

4.3.1.2. Coste de reposición del activo

En el apartado anterior se ha hablado de los sobrecostes de cada tipología basados en un coste de inversión inicial de la infraestructura. Pues bien cuando se haga referencia al coste de reposición a nivel de activo, habrá que sumar todos estos sobrecostes al coste de inversión del activo en sí.

Con objeto de llegar a unos resultados con alto nivel de precisión, se han llevado a cabo distintos cálculos para los activos 2, 3 y 4 del subsistema 5, debido a que la infraestructura que identifica a estos activos es un canal. Para ello, se ha tenido que buscar información sobre el caudal de diseño de estos canales (y de los distintos tramos que los componen) así como la longitud de los mismos, haciendo posible el cálculo de los costes de inversión de los citados activos.

De esta forma se ha procedido a seguir la formulación específica para valoración de canales de la guía del CEDEX ya citada, incluyendo en aquellos canales en los que aparecían nuevas infraestructuras complementarias la valoración económica de éstas.

Esto se puede observar en el “Canal Principal de la Margen Izquierda del Río Segura”, en el cual aparecen numerosos viaductos como el de la Matanza (*Ilustración 15*) que se han valorado como canales, aplicándoles un coeficiente entre 2 y 3 para, siguiendo la lógica, incrementar el valor resultante de la ecuación del canal únicamente sin viaducto. Así, los viaductos con coeficientes 2 y 3 son los que presentan una mínima y máxima longitud respectivamente, situándose el resto con valores intermedios que se ponderan en función de la longitud que presenten.



Ilustración 15. Acueducto de la Matanza.

En el resto de activos del Subsistema 5, así como todos los del Subsistema 1, las infraestructuras existentes son presas y azudes, por lo que los cálculos apenas difieren en cuando a metodología.

De esta forma queda definida la forma de trabajo para calcular las variables que intervienen en la ecuación que determina el valor del IVI de un activo determinado.

Llegados a este punto, se tiene un valor determinado del IVI para cada activo, función de los distintos IVI de las tipologías que lo componen. Ahora bien, desde el punto de vista de cuenca, parece interesante tener un valor de IVI para cada subsistema de en los que hemos dividido la cuenca hidrográfica. Por ello, se va a calcular un valor de IVI proveniente de los IVI de cada activo.

En un subsistema se presentan diferentes activos, los cuales cuentan con diferentes costes de reposición. Es por esto que parece razonable ponderar los valores de IVI de cada activo con su coste relativo de reposición, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$IVI_{SUBSIST.} = \sum_{i=1}^N \frac{CA_i \times IVI_i}{CS}$$

donde:

- N = Número total de activos

- CA_i = Coste de reposición del activo i .

- CS = Coste total del subsistema, que se obtiene de la suma del coste de reposición de todos los activos.

- IVI_i = IVI correspondiente al activo i .

5. RESULTADOS OBTENIDOS

En el presente apartado se van a presentar los resultados obtenidos de IVI según las ecuaciones y metodología del apartado 4.

Cuando se trata de presas o azudes, es necesario únicamente conocer la longitud de coronación y la altura del cuerpo de presa, ya que con la guía del CEDEX se puede así obtener el coste de inversión inicial.

Para el caso de canales, como ya se comentó anteriormente, se requieren cálculos algo más complejos.

Comenzando por el Subsistema 5, se tiene que para los 9 activos que lo componen, el valor del IVI de cada una de sus tipologías se tabula a continuación:

Tabla 6. Valor de IVI parcial de cada tipología y activo del Subsistema 5.

Tipología	Número y tipo de Activo							
	1	2	3	4	6	7	8	9
	Azud	Canal	Canal	Canal	Presa	Presa	Presa	Presa
Caminos	0,485	0,560	0,686	0,726	0,451	0,762	0,387	0,380
Edificación	0,634	0,440	0,480	0,860	0,500	0,806	0,300	0
Electricidad	0	0,034	0	0,124	0	0	0	0
Equip. Electrom.	0,286	0	0	0	0	0,119	0	0,696
Instrumentación	0	0	0	0	0,511	0	0,314	0,600
Obra Civil	0,453	0,591	0,500	0,523	0,440	0,566	0,407	0,735

Con el fin de un análisis rápido a simple vista, se ha dado color a los valores según el intervalo en el que se encuentren. Los intervalos establecidos para la clasificación gráfica de estos ha sido la siguiente:

- $IVI < 40\%$: valor desfavorable por falta de inversión.
- $40\% < IVI < 60\%$: valor óptimo.
- $IVI > 60\%$: valor desfavorable por sobreinversión (salvo que se trate de infraestructuras jóvenes).

A simple vista, se observa el intervalo que predomina en la tabla es el de escasa inversión, siendo las tipologías más penalizadas las de *Electricidad*, *Equipos electromecánicos* e *Instrumentación*, ya que en su mayoría desprenden valores nulos que se traducen en una falta total de inversión.

Por el contrario, se tiene que para casi todos los activos del subsistema, la tipología de *Obra Civil* presenta valores óptimos de IVI.

En lo que respecta a Caminos y Edificación existe variedad de valores según el activo que se trate, siendo las tipologías en las que hay mayor número de activos con sobreinversión.

Una vez obtenidos los valores por tipología, se procede a calcular el IVI de cada activo y seguidamente el valor a nivel de subsistema, calculado como una media ponderada de los IVI de los distintos activos mediante un coeficiente calculado como la relación del valor del activo en relación al valor total del subsistema.

Tabla 7. Valor de IVI de cada activo del Subsistema 5.

Nº Activo	Nombre	IVI
1	AZUD PPAL DERIV RIO SEGURA. OJOS	0,418
2	CANAL PPAL CAMPO DE CARTAGENA	0,563
3	CANAL PPAL MARGEN DRA RIO SEGURA	0,483
4	CANAL PPAL MARGEN IZQ RIO SEGURA	0,517
6	EMBALSE DE CREVILLENTE	0,388
7	EMBALSE DE LA PEDRERA	0,511
8	EMBALSE DEL MAYES	0,355
9	PRESA DE LA RAMBLA DE ALGECIRAS	0,702
TOTAL	SUBSISTEMA 5	0,540

Tras analizar los resultados obtenidos en el subsistema 5, se va a exponer de igual forma los valores obtenidos para el Subsistema 1.

Como se observa, se siguen clasificando los valores en función de los 3 intervalos vistos anteriormente. Para los 5 activos integrados en el Subsistema 1, se desprende la siguiente tabla de valores de IVI por tipologías:

Tabla 8. Valor de IVI parcial de cada tipología y activo del Subsistema 1.

Tipología	Número y tipo de Activo				
	1	2	3	4	5
	Presa	Presa	Presa	Presa	Presa
Caminos	0	0,020	0,680	0	0,685
Edificación	0	0,937	0,248	0,045	0,258
Electricidad	0	0,260	0,604	0	0
Equip. Electrom.	0	0,171	0	0	0
Instrumentación	0	0	0	0	0,388
Obra Civil	0	0	0,415	0	0

En vista de los resultados, se puede afirmar que se tiene un subsistema pobre en intervenciones económicas si se observa el IVI por tipología de cada activo. Solamente el activo 3 presenta unos valores equilibrados de IVI, el resto de activos tiene en su mayoría una falta de inversiones considerable en general. A continuación se tabula también el valor obtenido para cada activo de este subsistema:

Tabla 9. Valor de IVI de cada activo del Subsistema 1.

Nº Activo	Nombre	IVI
1	EMBALSE DE ALFONSO XIII	0,000
2	EMBALSE DE CAMARILLAS	0,017
3	EMBALSE DE FUENSANTA	0,170
4	EMBALSE DEL CENAJO	0,000
5	EMBALSE DEL TALAVE	0,055
TOTAL	SUBSISTEMA 1	0,078

El resultado obtenido es absolutamente desfavorable para este Subsistema 1, con valores muy reducidos de IVI. Ante esta situación, se ha procedido a realizar un análisis con mayor rigurosidad, ya que los resultados obtenidos no dan toda la información que se querría sobre este subsistema, ya que muestra una carencia de inversión pero no se tiene un baremo para ver cuán desfavorables son los resultados.

6. ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Como se ha visto en el apartado anterior, en el Subsistema 5 no ha habido mayor problema con los cálculos del IVI, ya que se han obtenido valores que a priori parecen razonables, mientras que en el Subsistema 1 han aparecido incongruencias en los resultados.

Para este último, se observa que los valores son prácticamente nulos a nivel de activo, teniendo aportaciones nulas por parte de algunas de las distintas tipologías que componen los activos. Esto es en gran parte debido a que la antigüedad de los activos del Subsistema 1 (en su totalidad presas) es muy notable, teniendo 4 de 5 activos su origen en la primera mitad del siglo XX. Por ello, se ha hecho un análisis de sensibilidad mediante el reajuste de la vida útil de las tipologías más duraderas (Caminos, Obra Civil y Edificación).

Esto se ha conseguido dando distintos valores a la vida útil inicial de las tipologías citadas, elevando los valores de 50 años que tenía al principio a 75, 100 y 125 años de vida útil inicial, distinguiéndose así 3 nuevos casos en los que el IVI adopta diferentes resultados para cada activo. A partir de aquí, para cada caso se ha procedido de la misma forma, teniendo en cuenta todos los aspectos y matices que presenta este complejo sistema de cálculo del IVI.

Resulta conveniente aclarar que este análisis de sensibilidad es un ejercicio puramente teórico, que busca de alguna forma ver cómo responde el sistema ante variaciones en la información. En la realidad esto no es posible, ya que aunque la obra civil si pueda soportar vidas útiles mayores a 75 años, la edificación y los caminos tienen unas vidas útiles que muy rara vez alcanzan esta cifra.

A continuación se muestran las tablas de resultados por tipología para cada uno de los 3 nuevos escenarios de estudio, en los que solamente cambian respecto a la tabla inicial (con vida útil de 50 años) las tipologías ya citadas, que se dispondrán subrayadas:

Tabla 10. Valor de IVI por tipología y activo del Subsistema 1 (Vida útil de 75 años).

Tipología	Número y tipo de Activo				
	1	2	3	4	5
	Presa	Presa	Presa	Presa	Presa
Caminos	0	0,141	0,453	0,305	0,790
Edificación	0	0,958	0,171	0,364	0,101
Electricidad	0	0,260	0,604	0	0
Equip. Electrom.	0	0,171	0	0	0
Instrumentación	0	0	0	0	0,388
Obra Civil	0	0	0,610	0,267	0

Tabla 11. Valor de IVI por tipología y activo del Subsistema 1 (Vida útil de 100 años).

Tipología	Número y tipo de Activo				
	1	2	3	4	5
	Presa	Presa	Presa	Presa	Presa
Caminos	0,010	0,156	0,531	0,479	0,088
Edificación	0,010	0,574	0,378	0,523	0,326
Electricidad	0	0,260	0,604	0	0

Equip. Electrom.	0	0,171	0	0	0
Instrumentación	0	0	0	0	0,388
Obra Civil	0,010	0,170	0,338	0,450	0,030

Tabla 12. Valor de IVI por tipología y activo del Subsistema 1 (Vida útil de 125 años).

VU = 125 años	Número y tipo de Activo				
Tipología	1	2	3	4	5
	Presa	Presa	Presa	Presa	Presa
Caminos	0,208	0,280	0,672	0,583	0,270
Edificación	0,208	0,659	0,503	0,618	0,460
Electricidad	0	0,260	0,604	0	0
Equip. Electrom.	0	0,171	0	0	0
Instrumentación	0	0	0	0	0,388
Obra Civil	0,208	0,336	0,471	0,560	0,224

Echando un vistazo a las tablas anteriores, se comprueba que este subsistema reúne infraestructuras que claramente requieren más inversión de la que reciben, ya que todos la mayoría de valores de IVI es inferior al 40%, siendo totalmente nulo en muchos casos.

El activo 3 es sin duda el activo más equilibrado de los 5 que componen este subsistema. Este activo presenta un IVI óptimo en las tipologías con mayor peso (las que tienen una vida útil mayor) en los distintos casos del análisis, teniendo incluso tipologías con sobreinversión como en el caso de Electricidad.

En general, de este análisis se extrae que para este subsistema pobre en inversiones, cuanto mayor vida útil se le otorgue a las tipologías más relevantes (Caminos, Obra Civil y Edificación), mayores equilibrio existirá en los valores de IVI para una misma inversión, ya que el incremento de vida útil de una intervención económica se ha considerado con relación directa con la vida útil inicial.

Sin embargo, no siempre es así, ya que existen en las tablas ciertos casos en los que se produce una reducción de IVI al aumentar la vida útil. Estos picos de IVI se han producido en el Activo 2 (en *Edificación* con vida útil de 100 años), en el Activo 3 (en *Caminos* y *Edificación* con vida útil de 75 años y en *Obra Civil* con vida útil de 100 años) y en el Activo 5 (en *Caminos* con vida útil de 100 años y en *Edificación* con vida útil de 75 años).

Llegados a este punto, resulta lógico preguntarse cual es la razón de que se corrompa la tendencia ascendente del IVI con el aumento de vida útil. Pues bien, a continuación se van a exponer dos ejemplos numéricos de los casos anteriores con el fin de entender mejor el por qué de estos resultados. Para ello, se van a desarrollar los cálculos del numerador del IVI que es donde se encuentra realmente la razón de esta caída de IVI.

En primer lugar se expone la ecuación que ha servido para el cálculo del numerador del IVI:

$$\begin{aligned} \text{Numerador} &= \\ &= \text{Coste reposición} * \frac{VU + VU \text{ extra para } VU=5 * \left(\frac{VU}{VU \text{ referencia}}\right) - (\text{Año estudio} - \text{Año origen})}{VU + VU \text{ extra para } VU= * \left(\frac{VU}{VU \text{ referencia}}\right)} \end{aligned}$$

Donde:

-Coste reposición : coste de reposición de la tipología en el activo.

-VU : vida útil del activo desde la inversión inicial. En principio 50, 75, 100 o 125 años.

-VU extra para VU=50 : vida útil extra aportada por las inversiones aplicadas a la tipología para una VU de 50 años.

- $\left(\frac{VU}{VU_{referencia}}\right)$: proporción entre la VU escogida en el análisis de sensibilidad y la VU de referencia que en este caso es 50 años. Sirve para ponderar la VU extra.

-Año estudio : año para el que se calcula el IVI. En el presente trabajo 2015.

-Año origen : año en el que entra el activo en servicio, correspondiente al año en que se produce la inversión de capital inicial.

➤ Numerador del IVI para Edificación del Activo 2

- **Numerador 75 años** = $13.738,12 \text{ €} * \frac{47,37 * \left(\frac{75}{50}\right) + 0 - (2015 - 2012)}{75 - 47,37 * \left(\frac{75}{50}\right)} = 13.158,08 \text{ €}$
- **Numerador 100 años** = $13.738,12 \text{ €} * \frac{100 + 47,37 * \left(\frac{100}{50}\right) - (2015 - 1932)}{100 + 47,37 * \left(\frac{100}{50}\right)} = 7.882,80 \text{ €}$

Como se observa, el numerador de es mayor para 75 años que para 100 años. Esto se debe principalmente al año de origen.

Para una VU de 75 años, el activo llega a su valor residual en el año 2008 (1932 + 75), por lo que la inversión de reposición que se produce en 2012 se convierte en una inversión inicial y el año de origen pasa a ser este 2012, lo cual supone además que la VU extra de esta intervención pasa a ser la nueva VU.

Por su parte, cuando se tiene una VU de 100 años, la llegada al valor residual del activo se produce en el año 2032, por lo que esta inversión de 2012 afecta al activo como una vida útil extra que se suma a la vida útil de 100 años. Además, al no llegar al valor residual, el año de origen considerado es el 1932.

En este caso se comprueba que una inversión cercana al año de estudio produce un valor mayor del IVI cuando ejerce de inversión inicial (una vez haya muerto el activo) frente a cuando esa misma inversión ejerce de inversión de reposición suponiendo una vida útil extra.

En resumen, se obtiene un mayor IVI para VU de 75 años porque el activo es más joven al tener un origen en 2012 y no en 1932, pese a tener menor vida útil.

➤ Numerador del IVI para Edificación del Activo 3

- **Numerador 50 años** = $427.962,25 \text{ €} * \frac{15,96 * \left(\frac{50}{50}\right) + 0 - (2015 - 2003)}{15,96 * \left(\frac{50}{50}\right) + 0} = 106.186,12 \text{ €}$
- **Numerador 75 años** = $427.962,25 \text{ €} * \frac{75 - 15,96 * \left(\frac{75}{50}\right) - (2015 - 1933)}{75 + 15,96 * \left(\frac{75}{50}\right)} = 73.273,50 \text{ €}$

Como se puede observar, ocurre lo mismo que en el ejemplo anterior. En este caso para VU de 50 años se tiene como año de origen el 2003, ya que en ese momento el activo se encontraba en valor residual desde el año 1983 (suma del año de origen del activo y de la VU, es decir, 1933 + 50). A partir de aquí la inversión realizada en 2003 pasa a ser inversión inicial, dotando al activo de una nueva vida útil de 15,96 años.

Por el contrario, cuando se aplica una VU de 75 años, el activo en 2003 no ha

alcanzado aun su valor residual, por lo que la inversión de este año es de reposición y aumenta la vida VU de 75 años con una VU extra. Se toma por tanto como año de origen el año 1933.

Así quedan explicadas y ejemplificadas las situaciones “anómalas” del análisis de sensibilidad que se dan en el sistema, producto de la metodología de cálculo asumida.

Una vez se han analizado los resultados por tipología, se opera de la misma forma que en el apartado anterior y se calculan los valores de IVI por activo, los cuales se exponen a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 13. Resumen de análisis de sensibilidad del Subsistema 1.

Nº Activo	Nombre	IVI (VU=50)	IVI (VU=75)	IVI (VU=100)	IVI (VU=125)
1	EMBALSE DE ALFONSO XIII	0,000	0,000	0,009	0,080
2	EMBALSE DE CAMARILLAS	0,017	0,026	0,171	0,325
3	EMBALSE DE FUENSANTA	0,170	0,305	0,340	0,466
4	EMBALSE DEL CENAJO	0,000	0,256	0,429	0,533
5	EMBALSE DEL TALAVE	0,055	0,062	0,038	0,220
TOTAL	SUBSISTEMA 1	0,078	0,244	0,332	0,451

Pese a las incongruencias encontradas en la relación directa entre vida útil e IVI, se confirma que el valor global de IVI a nivel de subsistema va creciendo de un valor casi nulo a un valor óptimo, a pesar de que a rasgos generales la tabla arroja cifras inferiores al 40 %.

7. CONCLUSIONES

Para finalizar este trabajo de fin de máster, se van a plasmar las conclusiones que se extraen de la metodología empleada y de los resultados finales obtenidos.

Antes de comenzar a extraer ideas de los datos obtenidos, resulta conveniente aclarar que el presente trabajo no da unos valores completamente exactos, sino que trata de acercarse lo máximo a la realidad. La razón es la inevitable subjetividad que aparece en el tratamiento de la información (p.e. a la hora de clasificar ciertas inversiones sobre un activo) o al seguir la Guía técnica del CEDEX ya citada para establecer valores económicos de los activos.

En lo que respecta a los resultados obtenidos para el IVI en los subsistemas 1 y 5, y teniendo en cuenta que en la metodología adoptada existen una serie de consideraciones adoptadas, se extraen las siguientes conclusiones:

1. Respecto al IVI, los resultados muestran un evidente reparto inicuo de inversiones entre las diferentes tipologías que componen el activo. Como prueba de ello, no hay más que observar el mantenimiento y conservación de las tipologías: el IVI presenta valores óptimos para Obra Civil, valores que denotan sobrecostes en Edificación y Caminos y una gran falta de inversiones en Equipos Electromecánicos, Electricidad e Instrumentación. A pesar de esta disparidad de valores, a nivel de activo se han obtenido valores de IVI buenos debido a 2 razones:
 - a. La obra civil supone la mayoría del valor económico del activo, por lo que los valores de IVI de esta tipología tendrán una gran influencia en el IVI global del activo.
 - b. En la suma ponderada de IVIs para obtener el valor del activo, los valores de IVI que indican sobrecostes de mantenimiento en algunas tipologías se contrarrestan con los valores de tipologías que reciben una cantidad de inversiones reducida.
2. Se ha conseguido mayor precisión en el cálculo de valores del IVI, ya que todos los activos presentan valores comprendidos entre el 0 y el 1. En este sentido, se comprueba la mejora en los cálculos teniendo como referencia el trabajo de fin de grado de Bartolomé Collado López *“La Gestión de activos en la gestión de Infraestructuras hidráulicas. Propuestas metodológicas para un organismo de gestión de agua en alta.”*, en el cual existían valores anómalos en el caso de algunos activos. Por tanto, se confirma que la metodología conseguida en el presente trabajo desemboca en un mayor nivel de detalle en los resultados del Infrastructure Value Index.
3. Tras el análisis establecido en el Subsistema 1 para el cálculo del IVI, se observa como la longevidad del subsistema hace inadecuado establecer una vida útil inicial de 50 años. Tal es el grado de antigüedad de los activos que únicamente se obtienen valores razonables con una vida útil de 125 años. De aquí se desprende la idea de una necesaria gestión equilibrada, que establezca un plan de inversiones en el activo para no dar lugar a un período tan largo sin intervenciones y que desarrolle un mantenimiento de los activos que posibiliten un adecuado servicio del mismo.
4. También cabe resaltar las conclusiones derivadas de las hipótesis asumidas en el desarrollo de los cálculos en lo que a la vida útil se refiere:

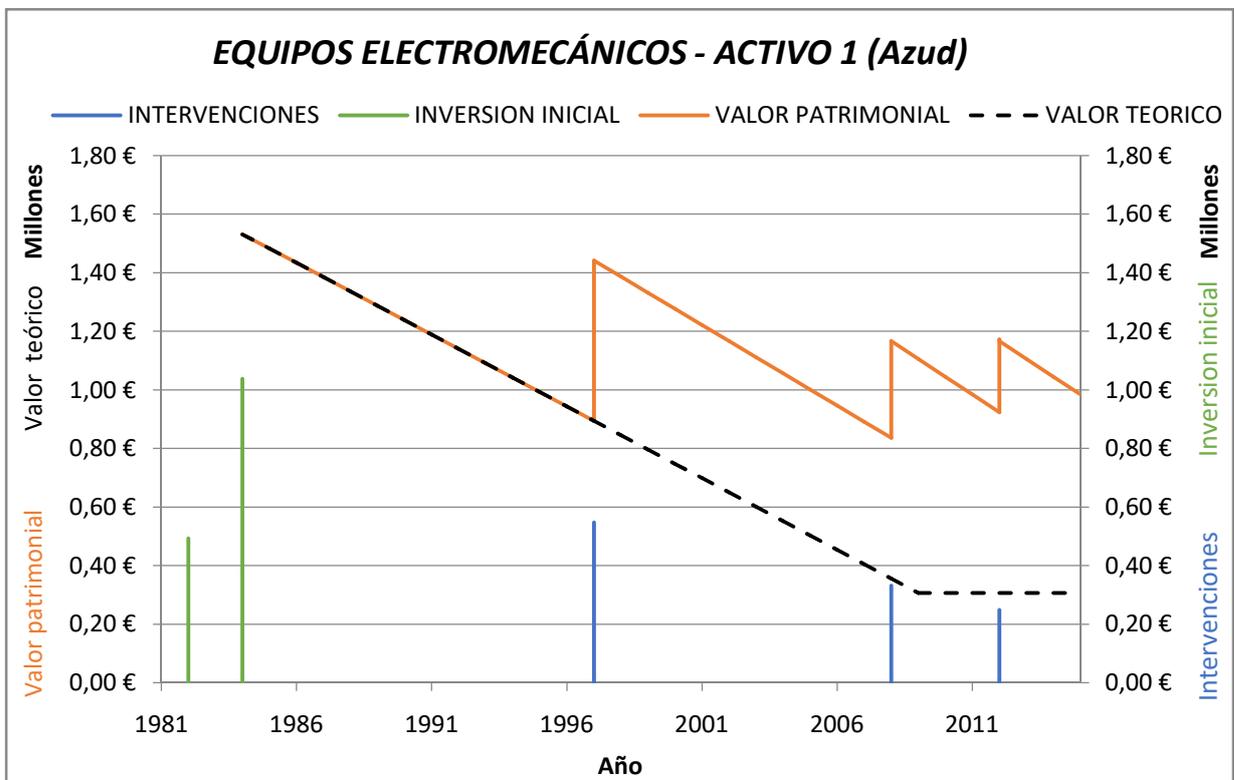
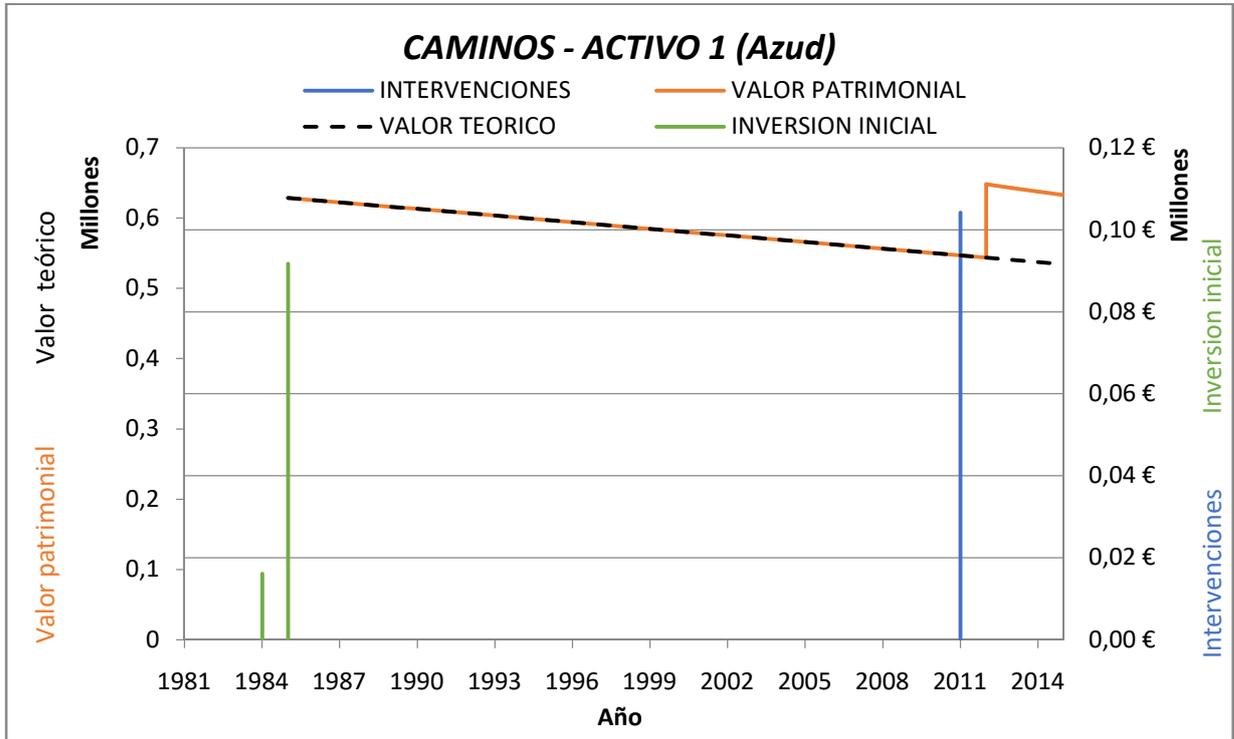
- a. Se ha considerado una proporcionalidad directa entre la vida útil de los activos y el valor patrimonial que este posee en el año en que se produce una inversión de reposición o de obra nueva. Se ha actuado de tal forma porque, a pesar de no ser exactamente así, parece más sencillo entender el incremento de vida útil teniendo como base un incremento de valor económico.
- b. Relacionado también con la vida útil, se ha llevado a cabo un “reinicio” de ésta cuando han transcurrido 5 años seguidos con el valor residual correspondiente. Esto quiere decir que, cuando un activo “muere” llegando a tener el valor residual y permanece sin actividad económica durante 5 o más años, se entiende que la próxima intervención económica de reposición u obra nueva va a introducir un nuevo inicio de vida útil que va a tener la relación comentada en el apartado a.

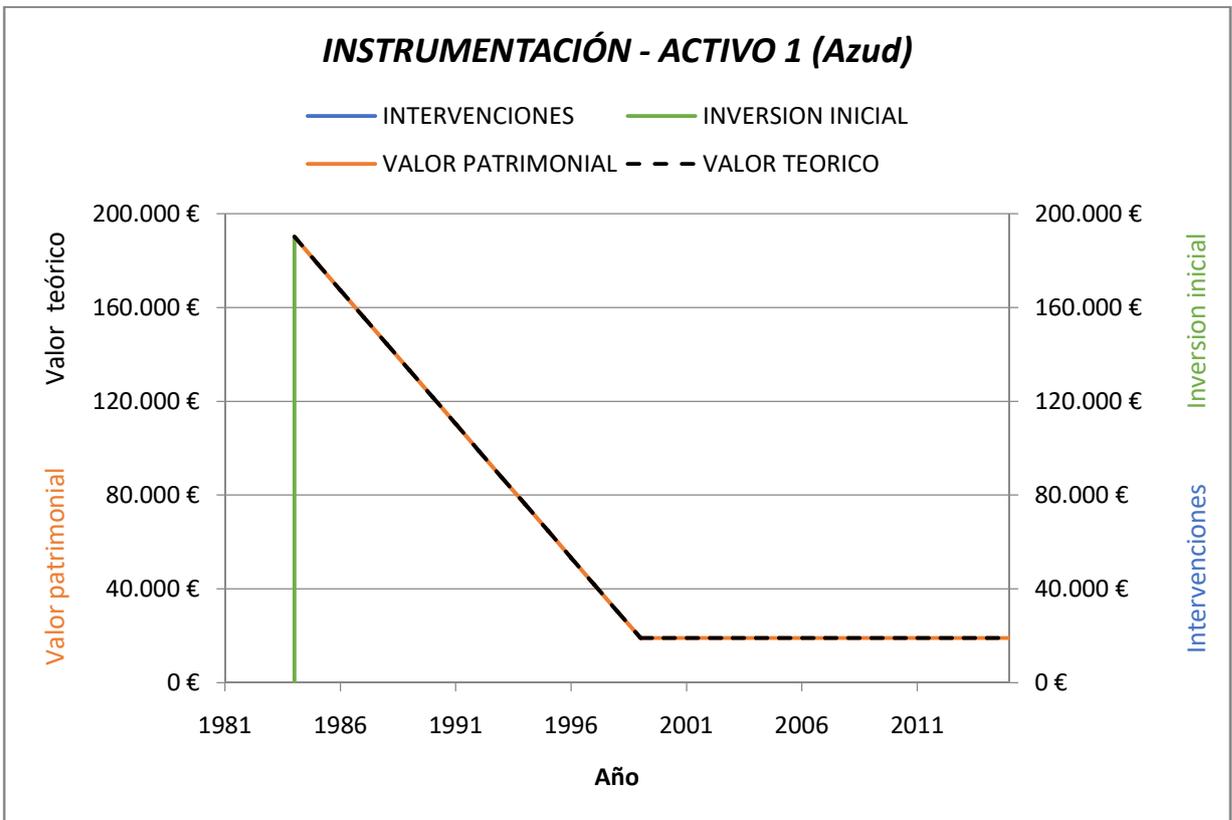
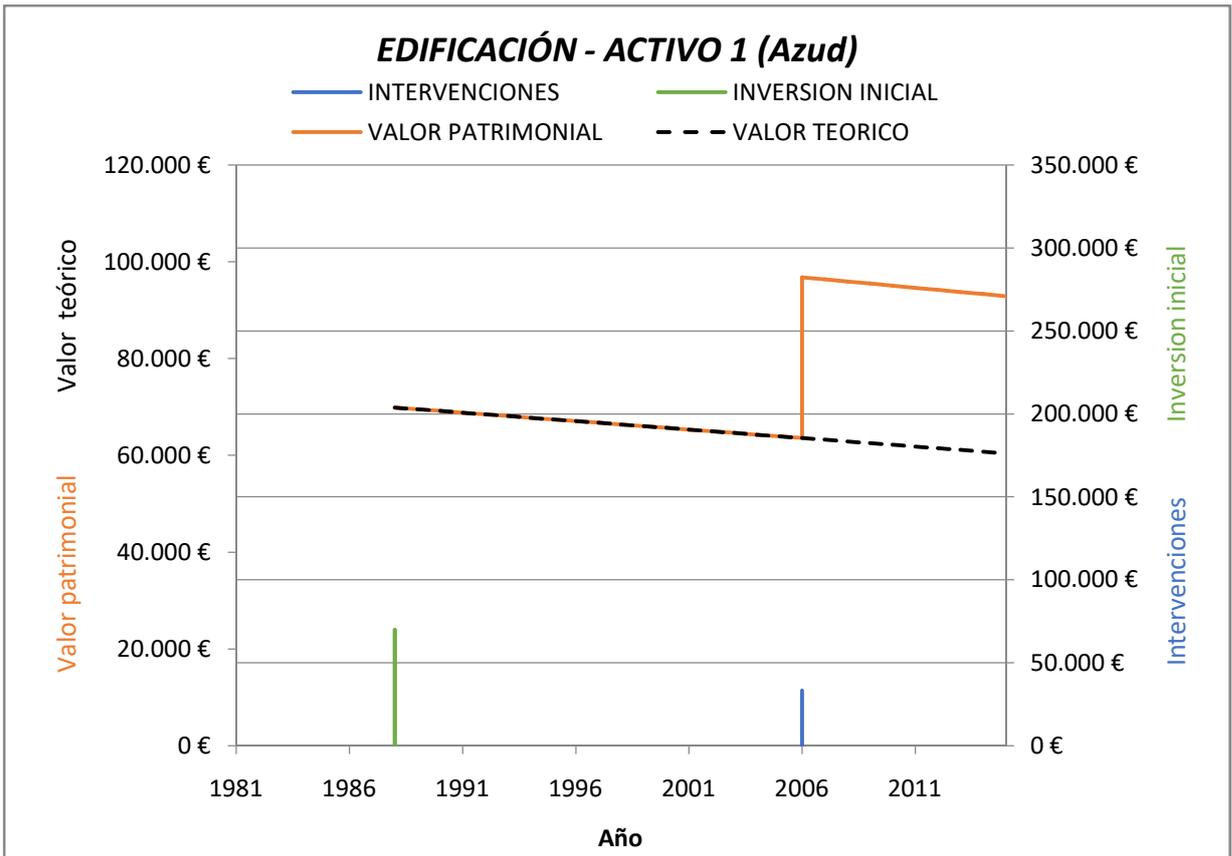
En estas conclusiones expuestas tras observar los resultados, se refuerza la idea de apostar por una adecuada gestión de activos que siga las buenas prácticas, de forma que un sistema que preste un servicio cumpla las exigencias establecidas durante el tiempo requerido. Para es necesario que se analicen indicadores como los que se han visto, de forma que se tenga conocimiento de qué parte del sistema es la más susceptible de fallar en un momento determinado o hacia que activos hay que orientar más inversiones en un momento dado.

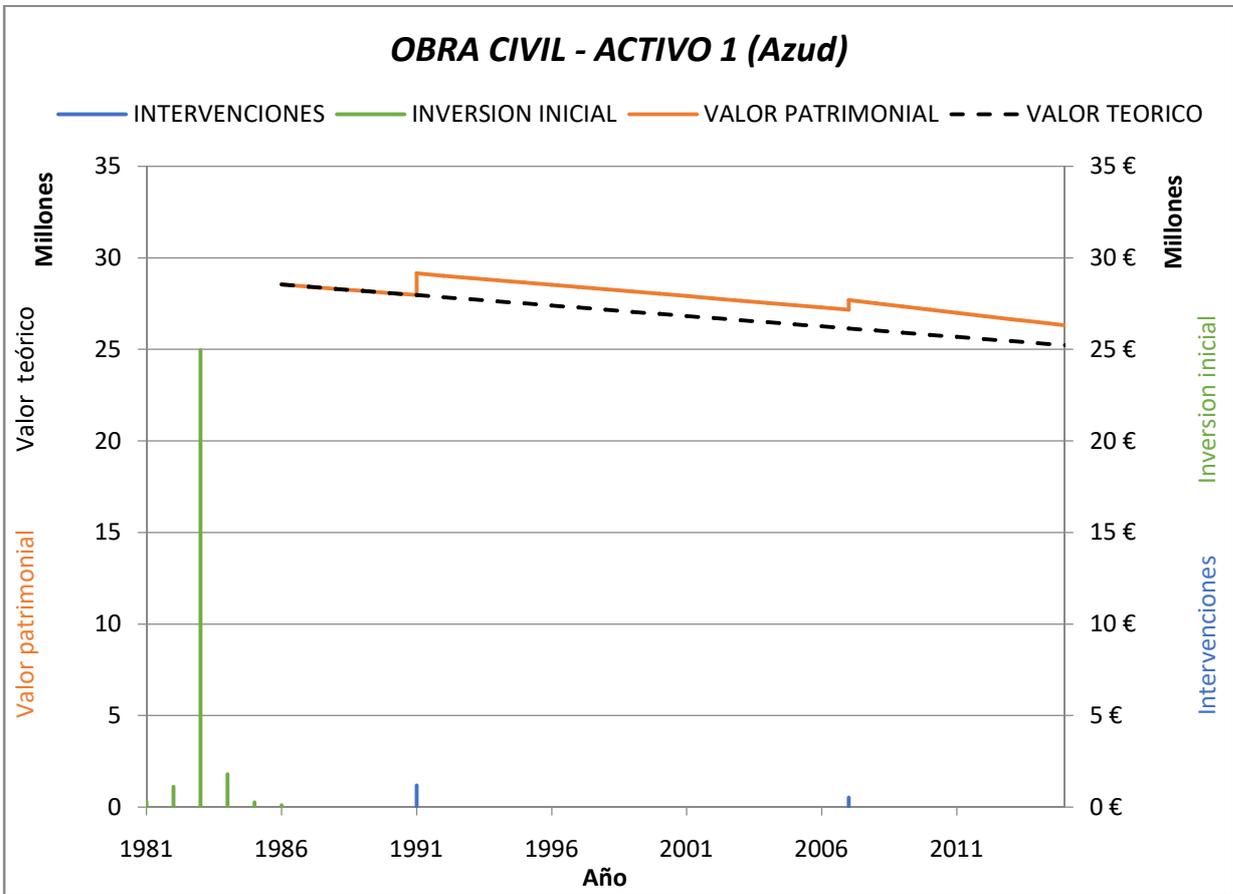
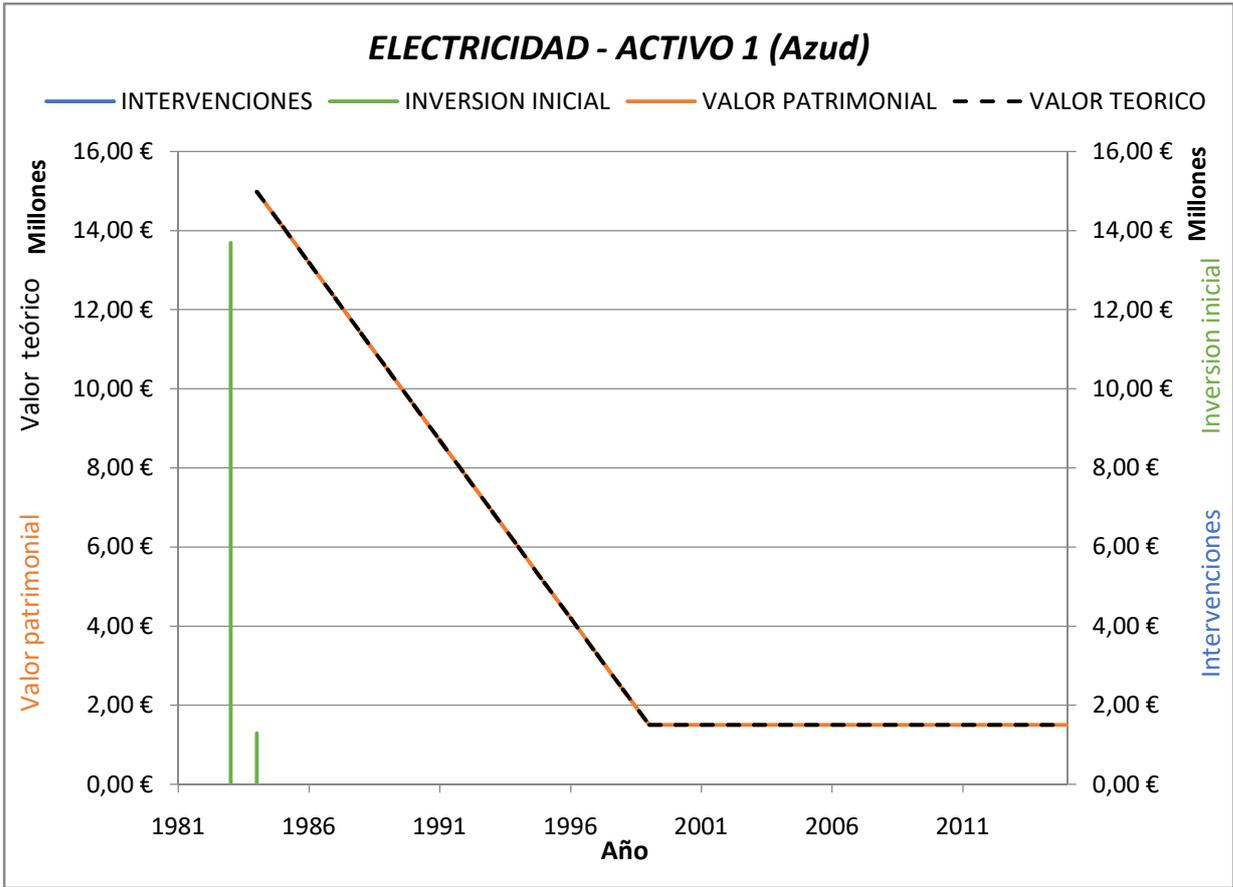
ANEJO 1. GRÁFICAS DE VALORES ECONÓMICOS

A. Subsistema 5

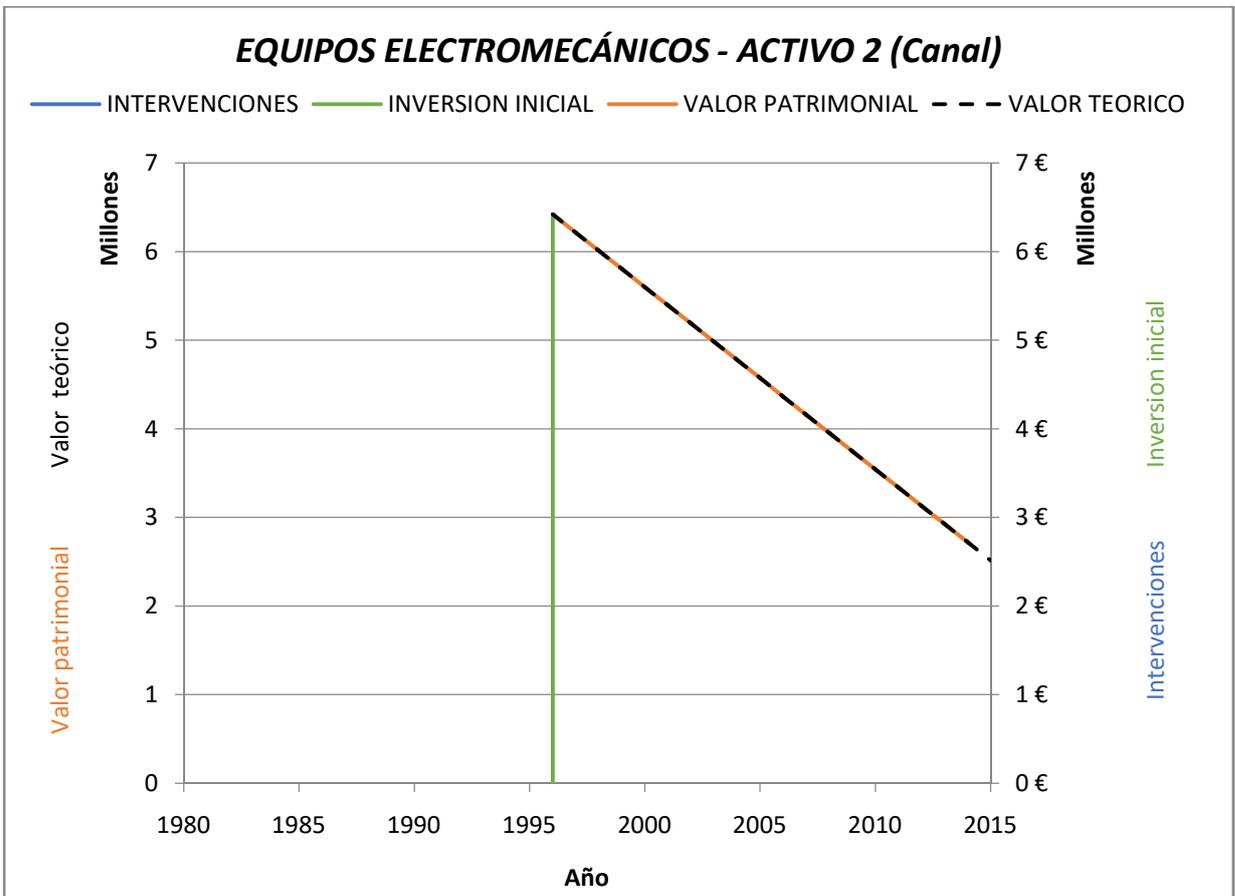
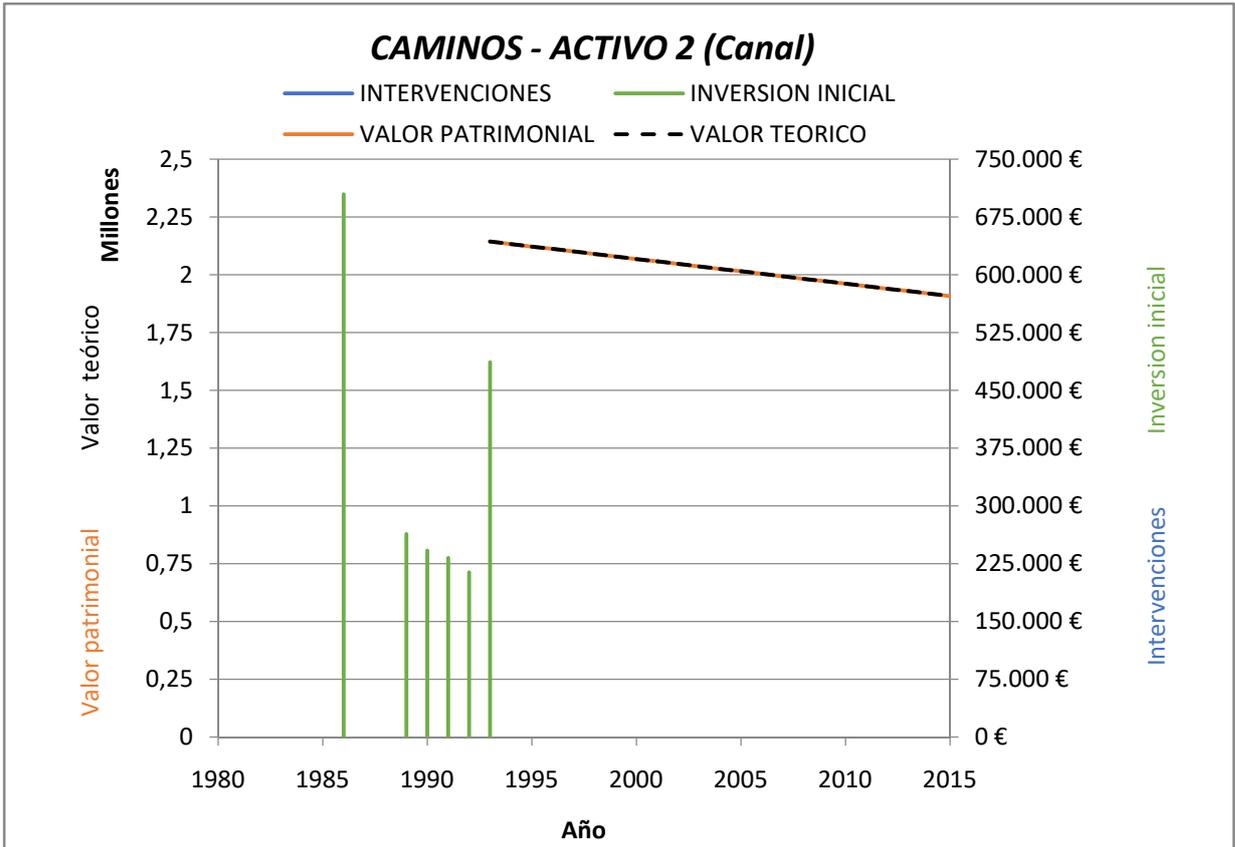
1. Activo 1

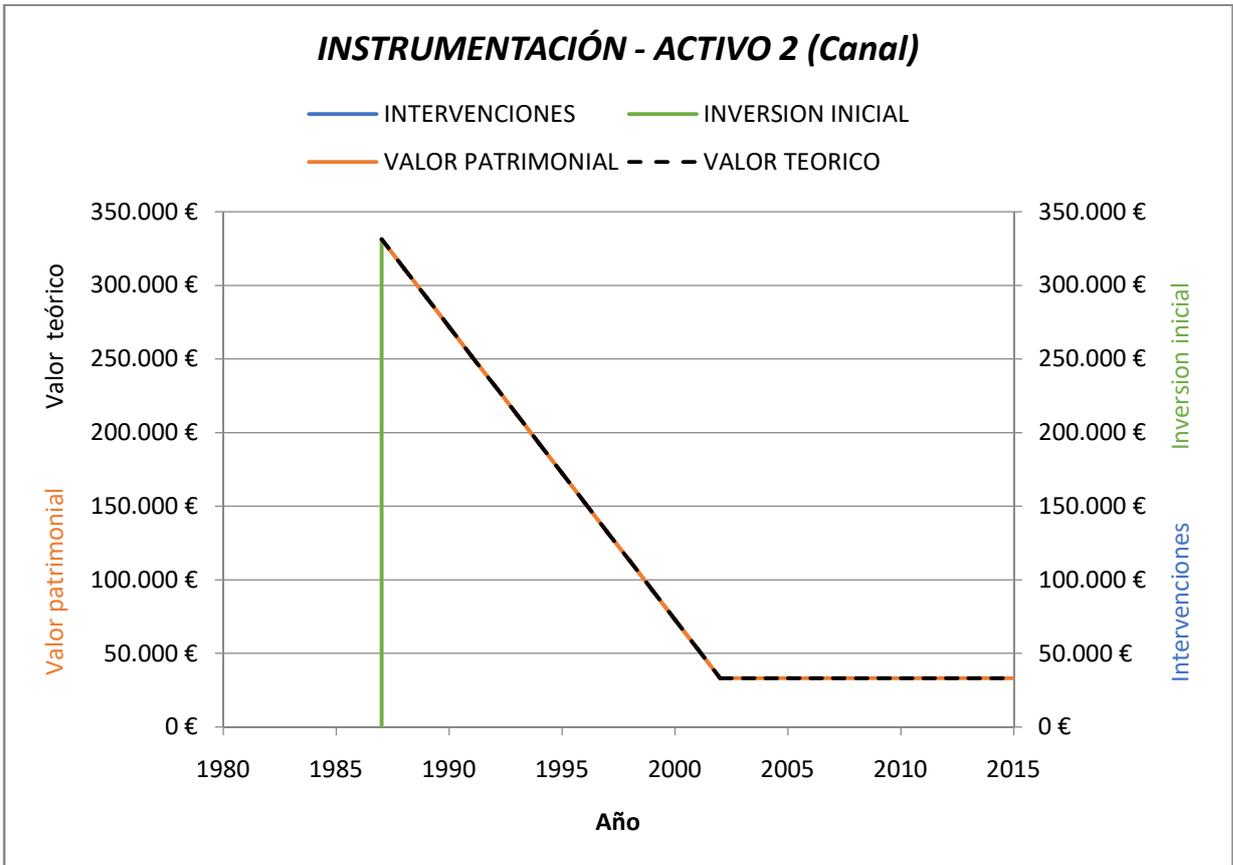
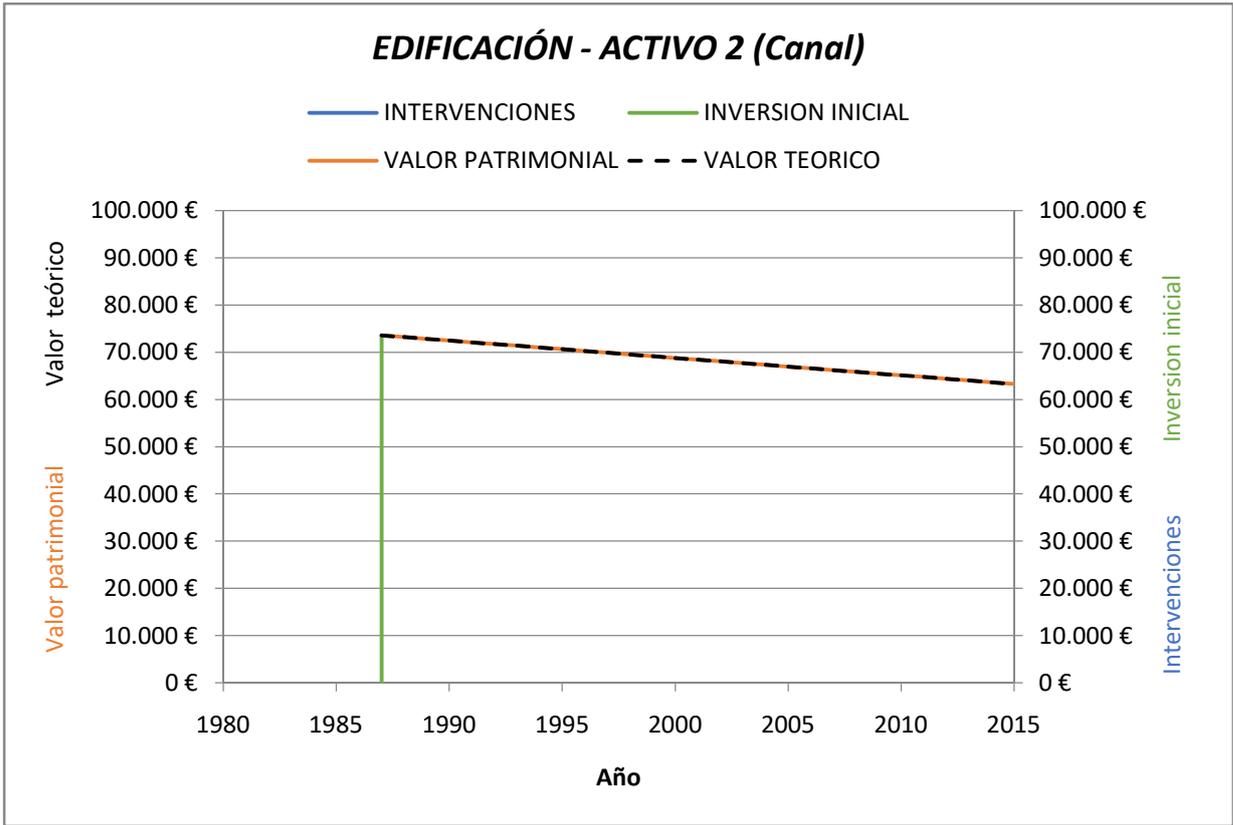


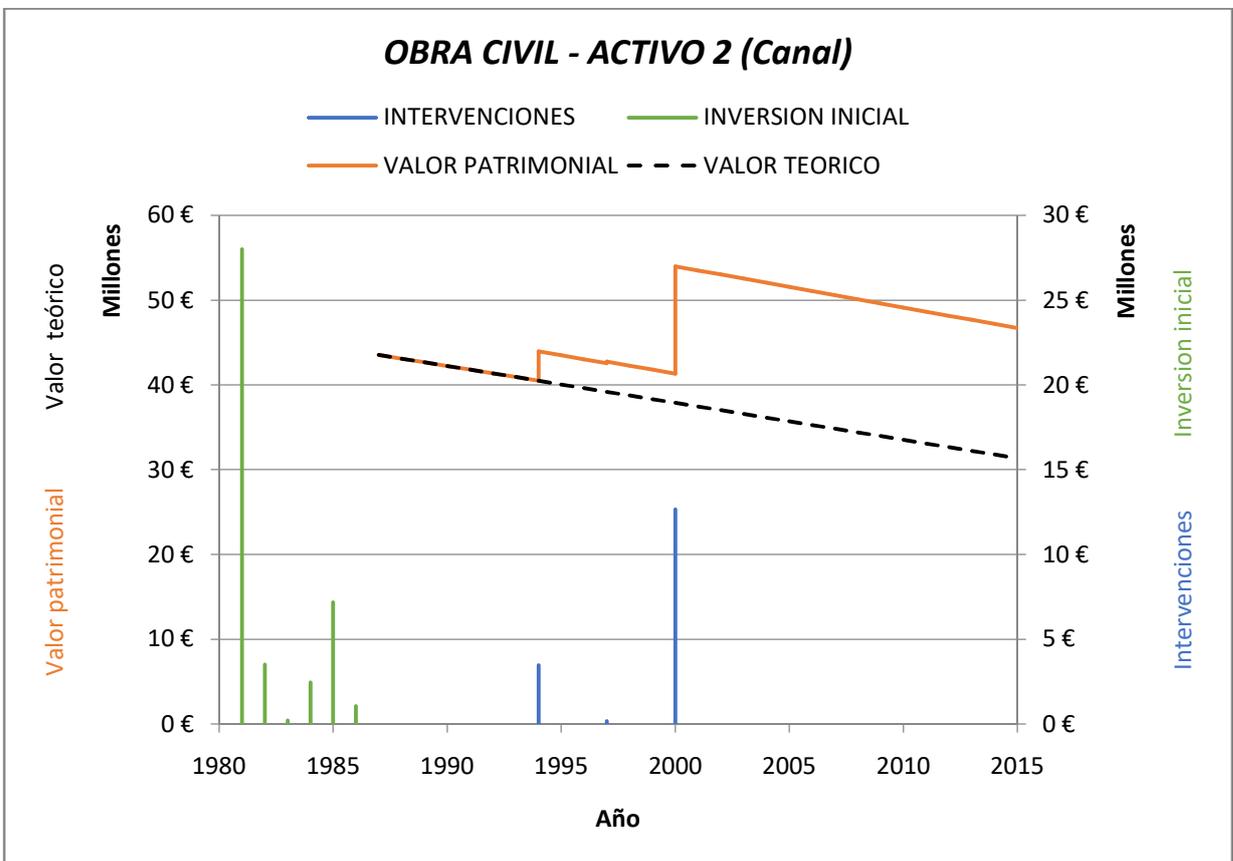
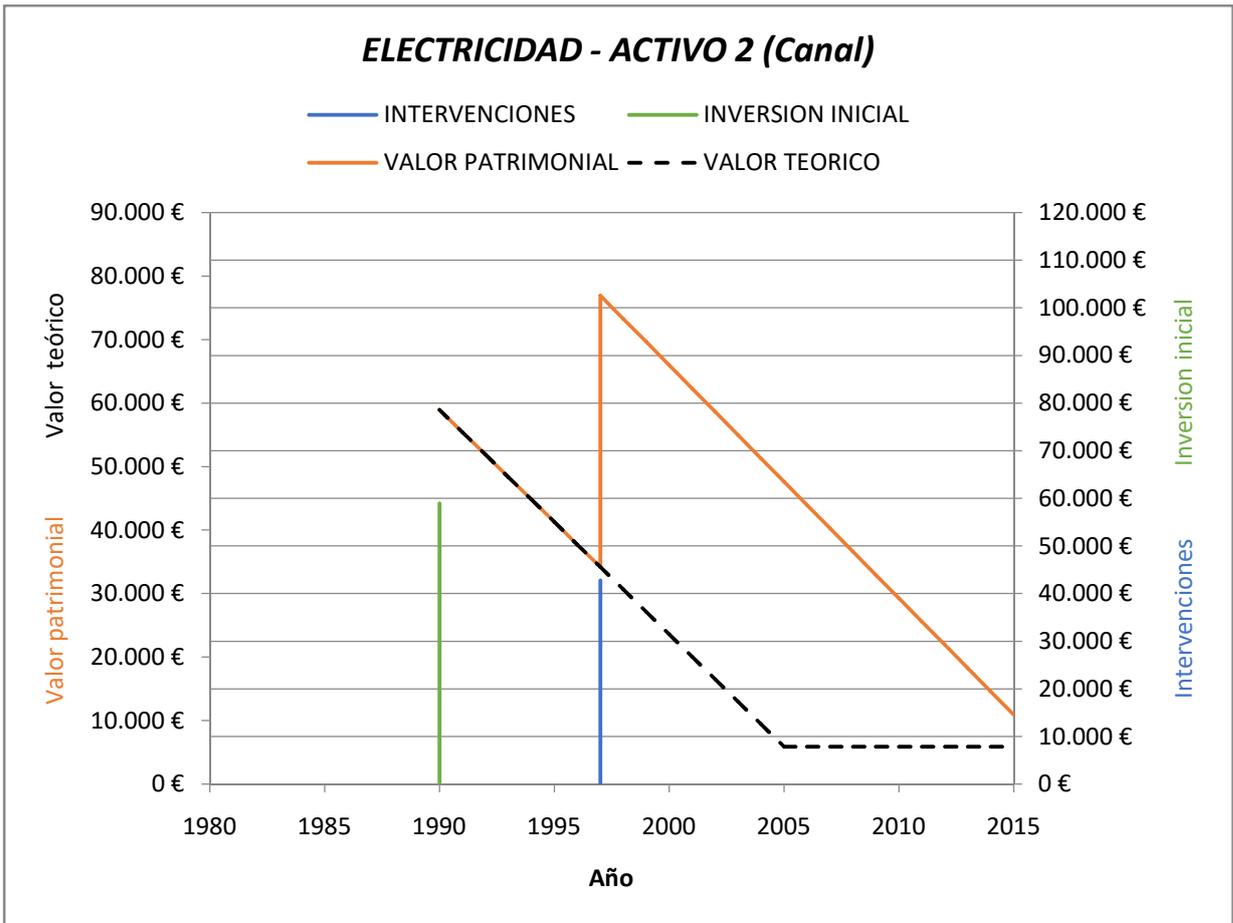




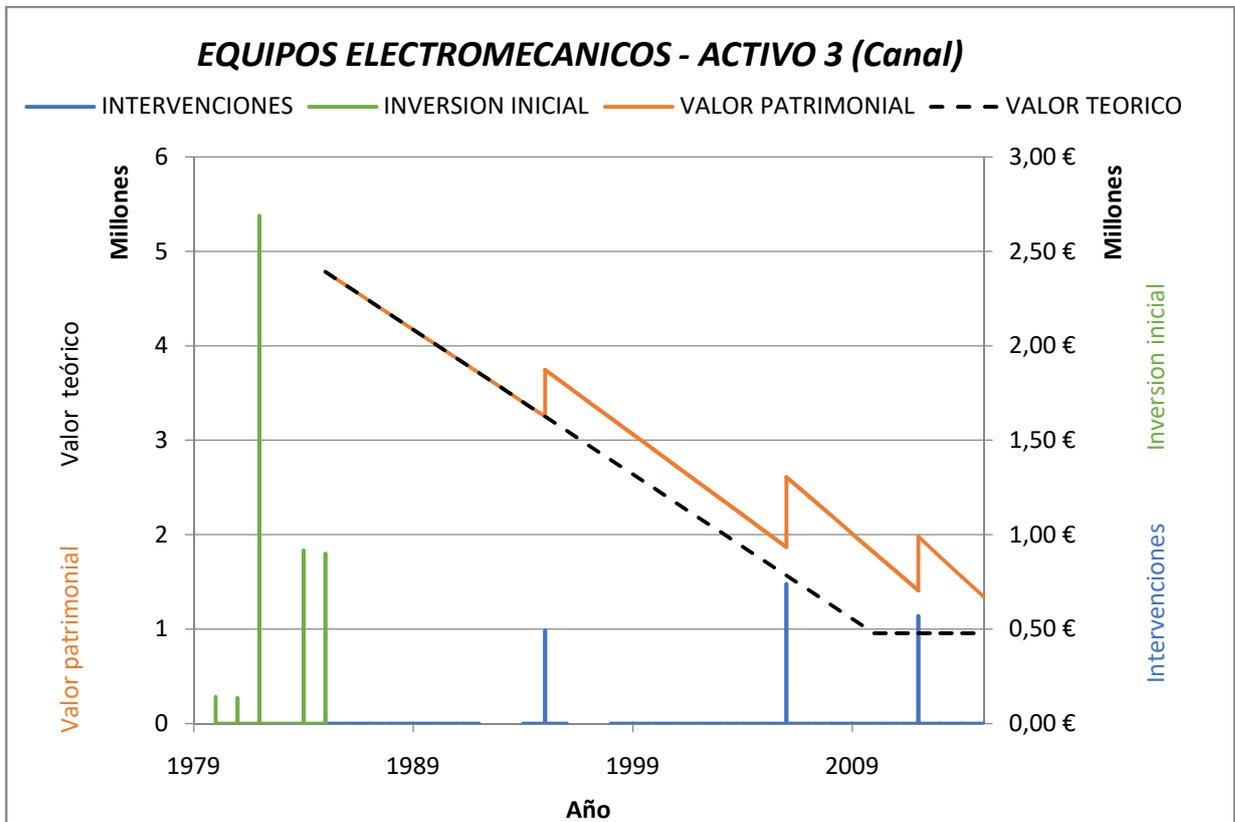
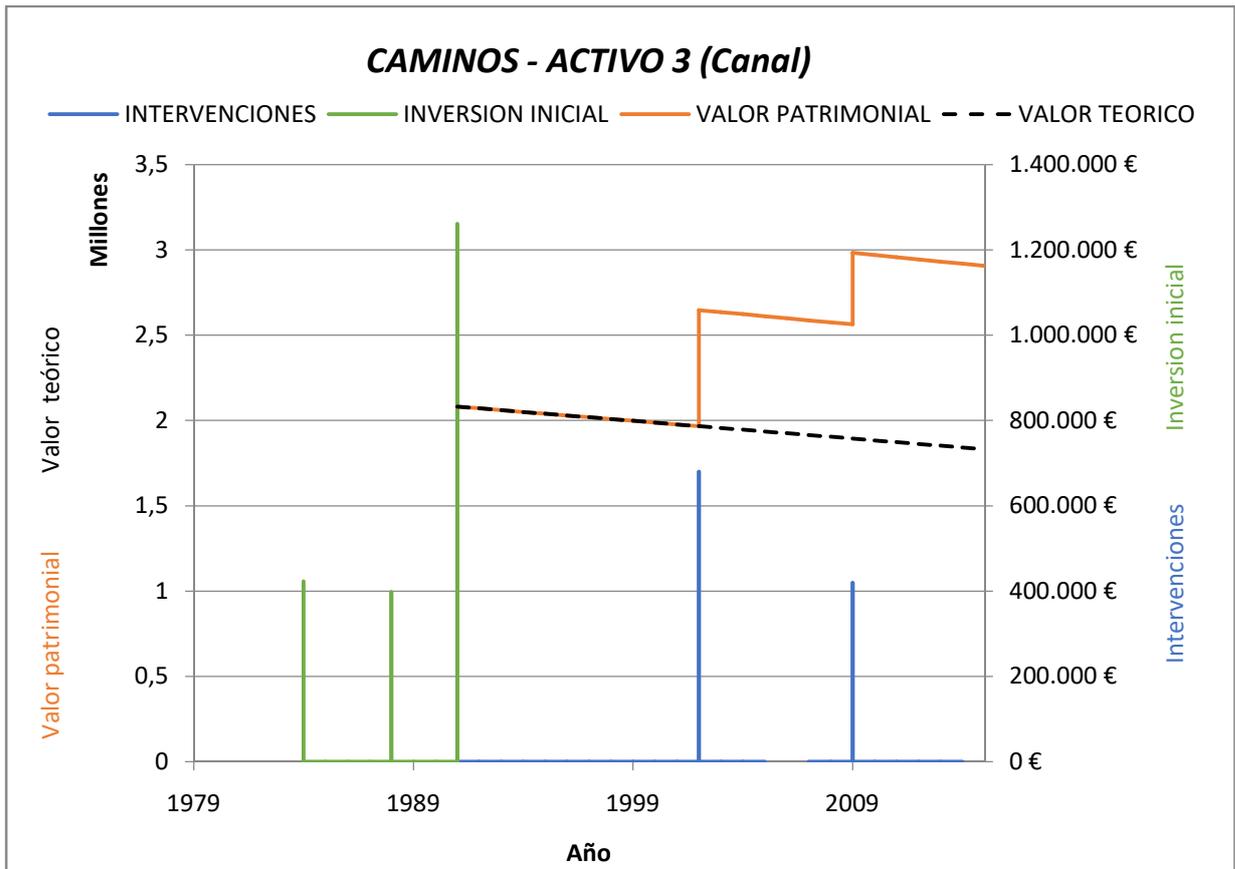
2. Activo 2



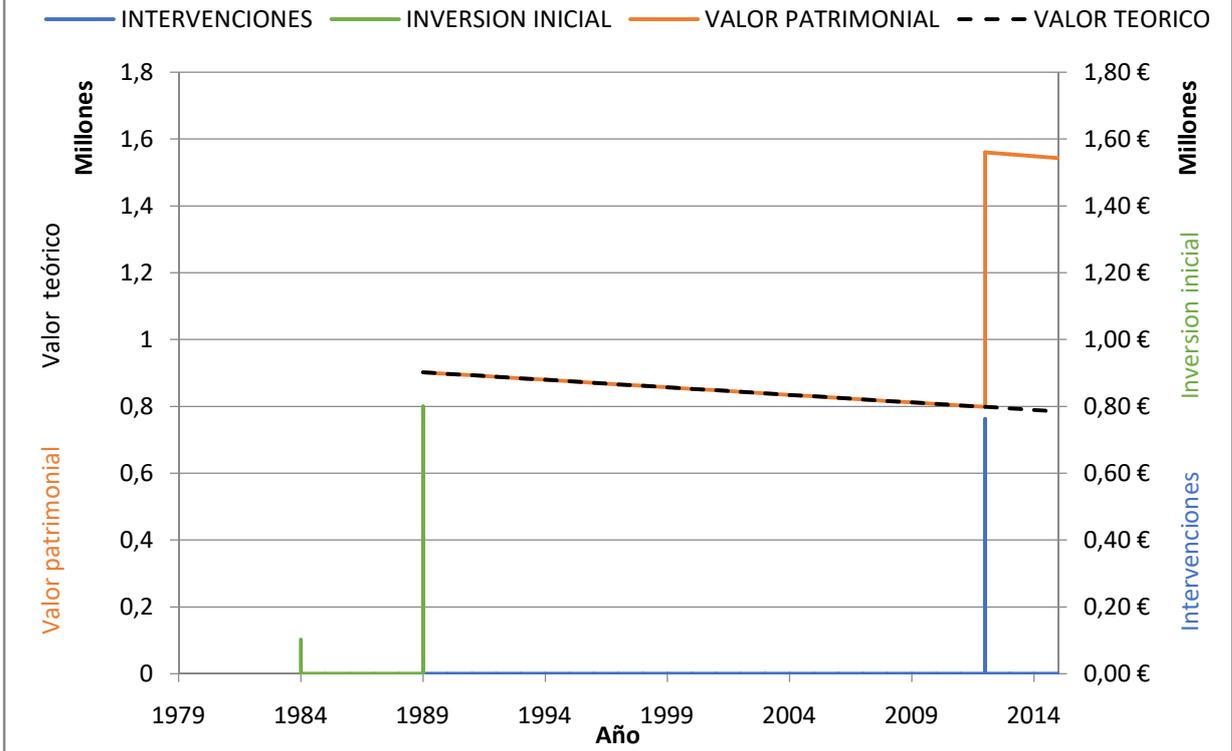




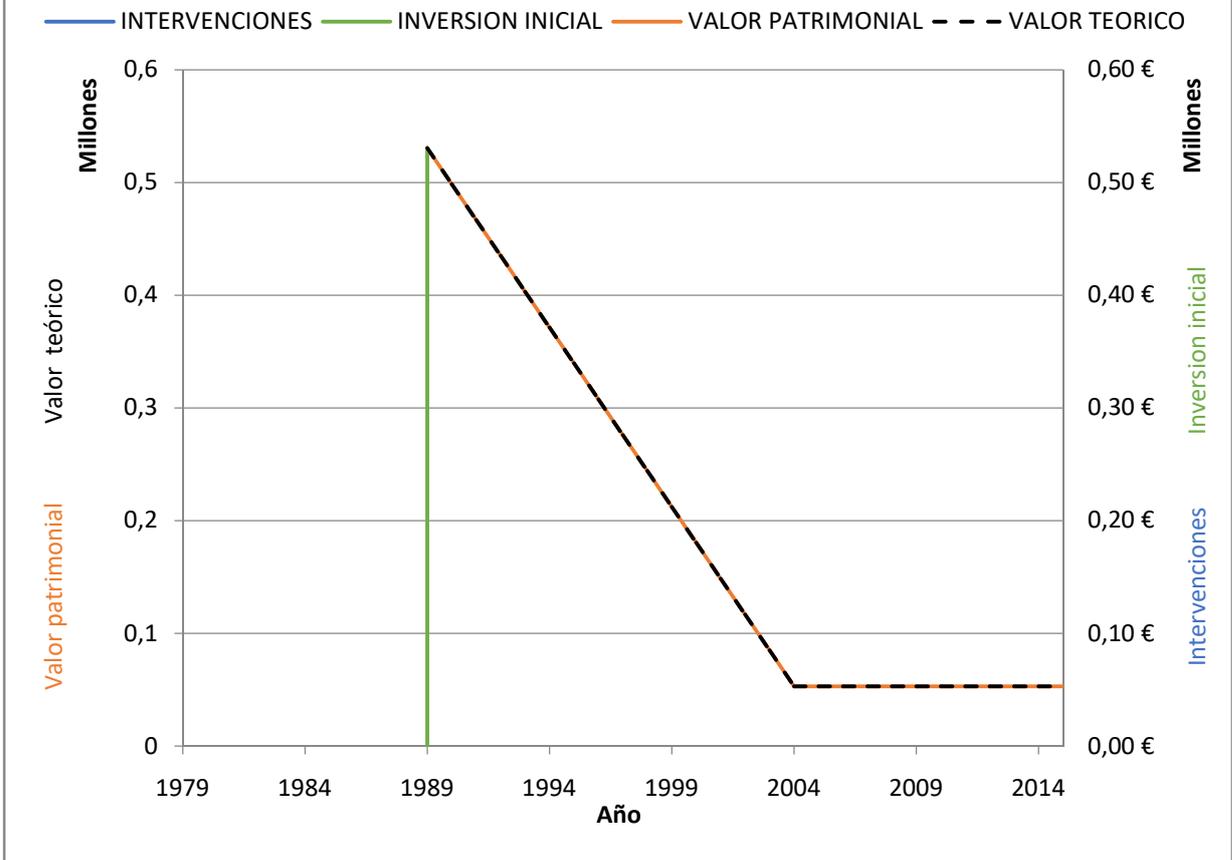
3. Activo 3

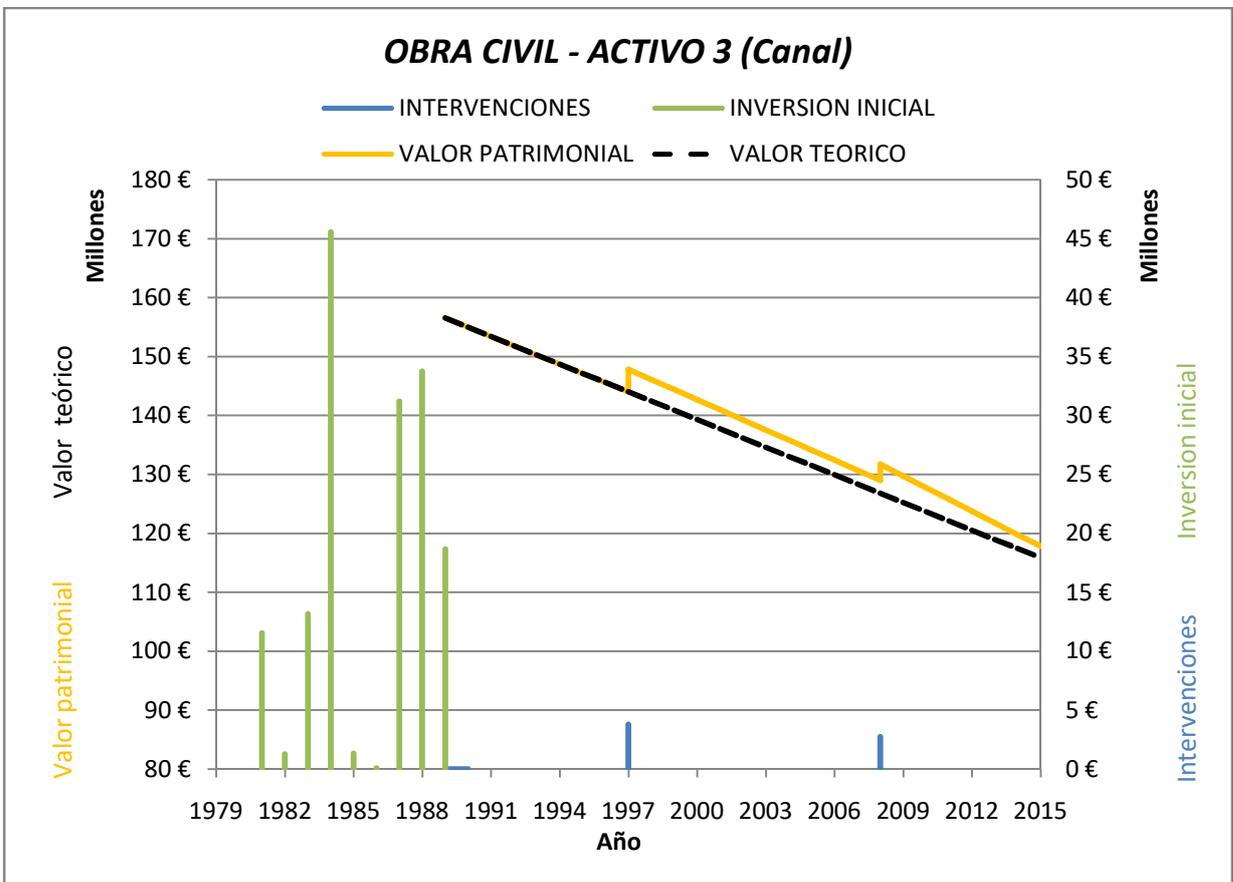
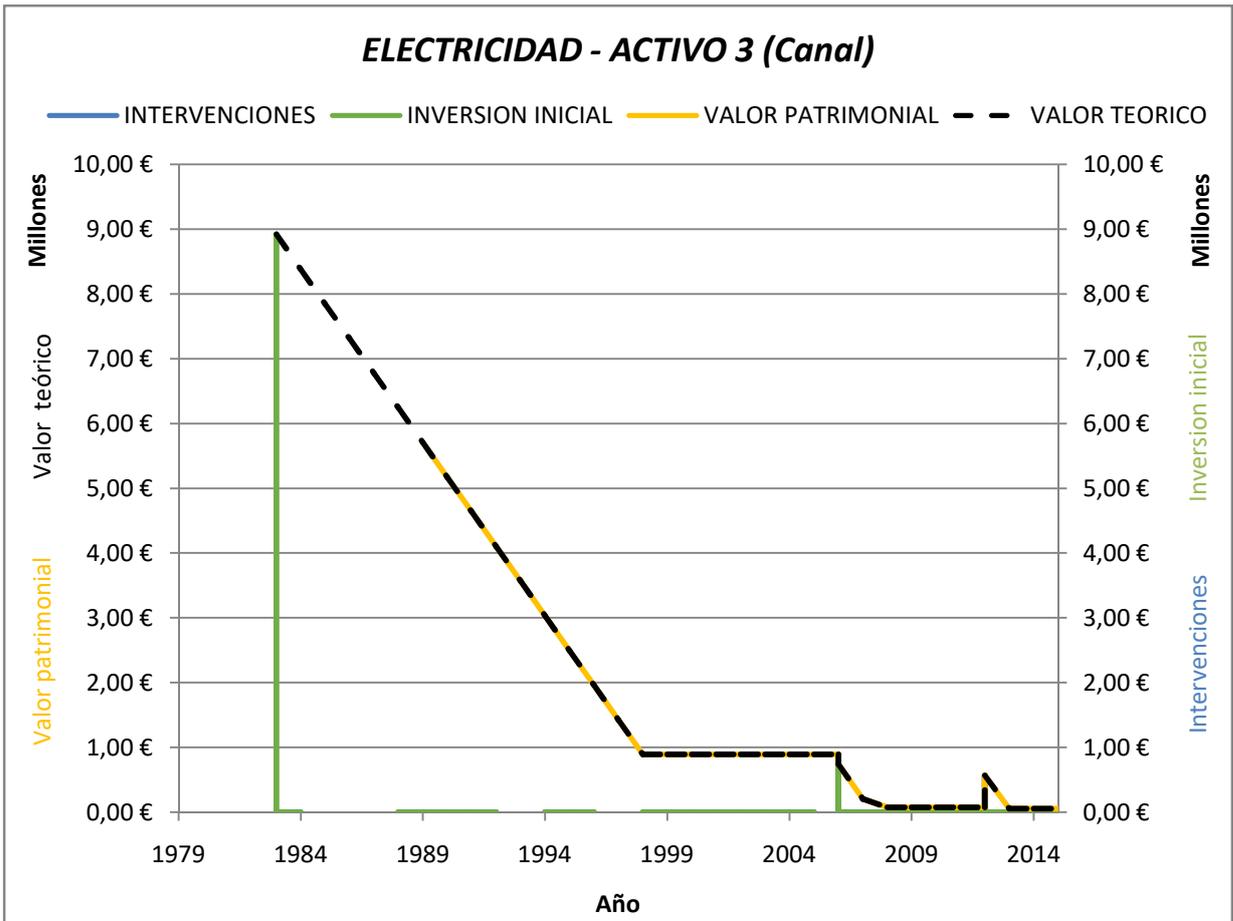


EDIFICACIÓN - ACTIVO 3 (Canal)

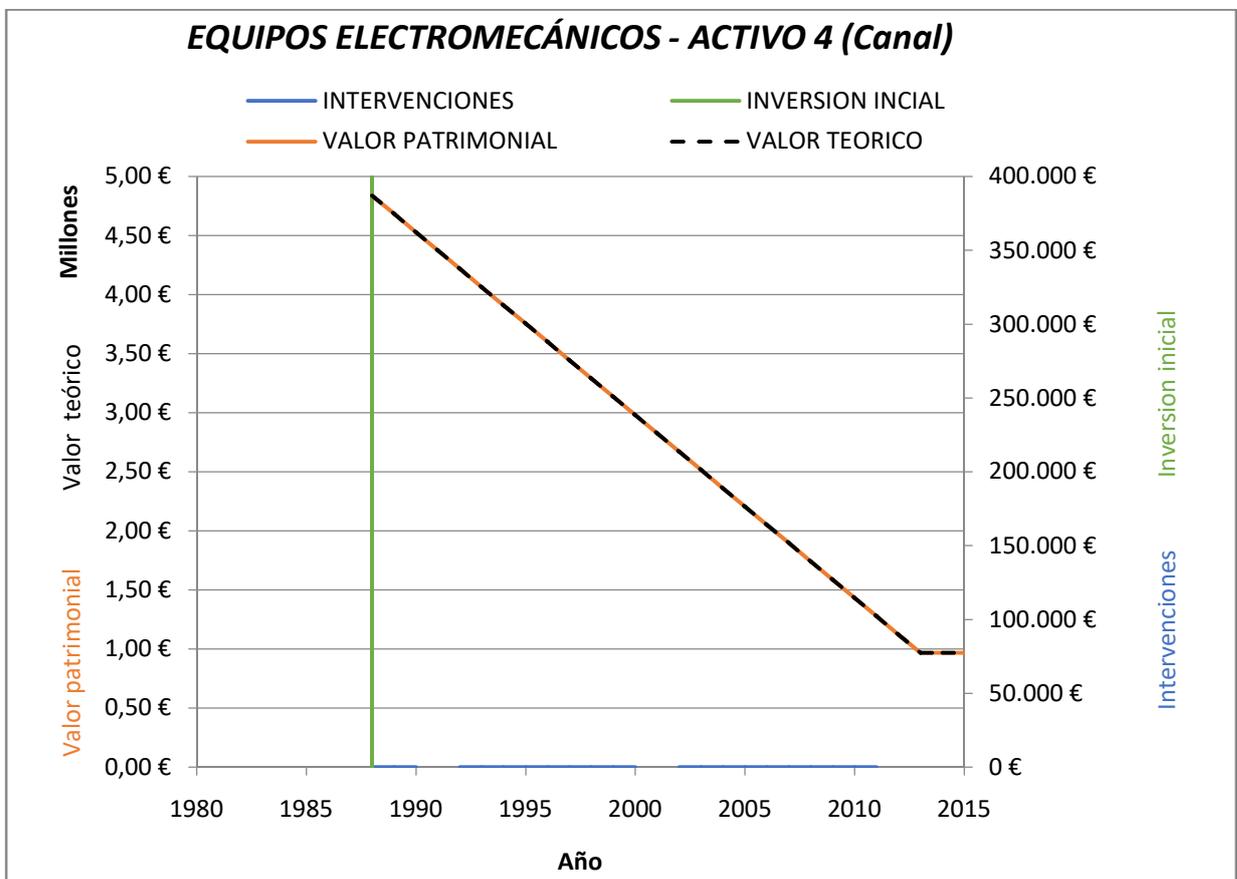
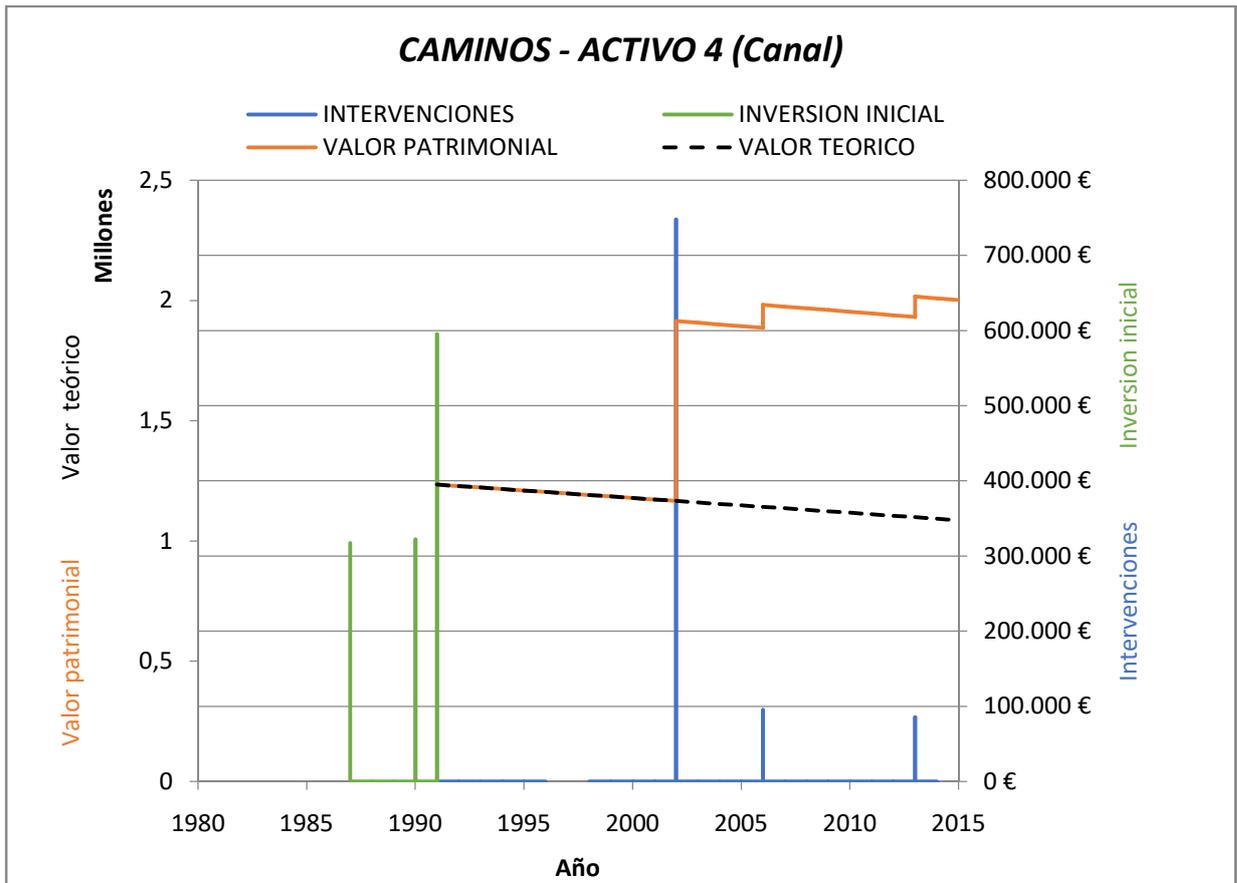


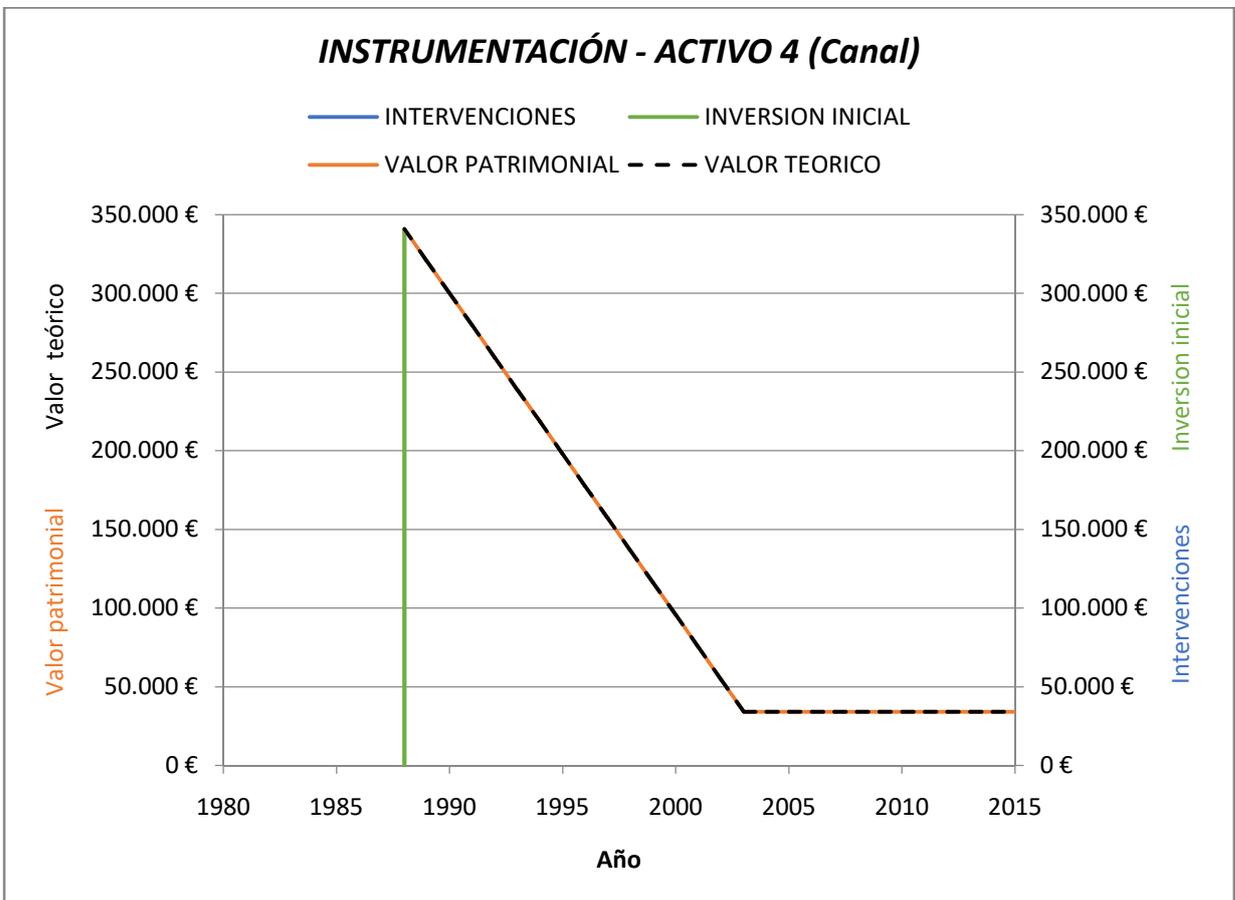
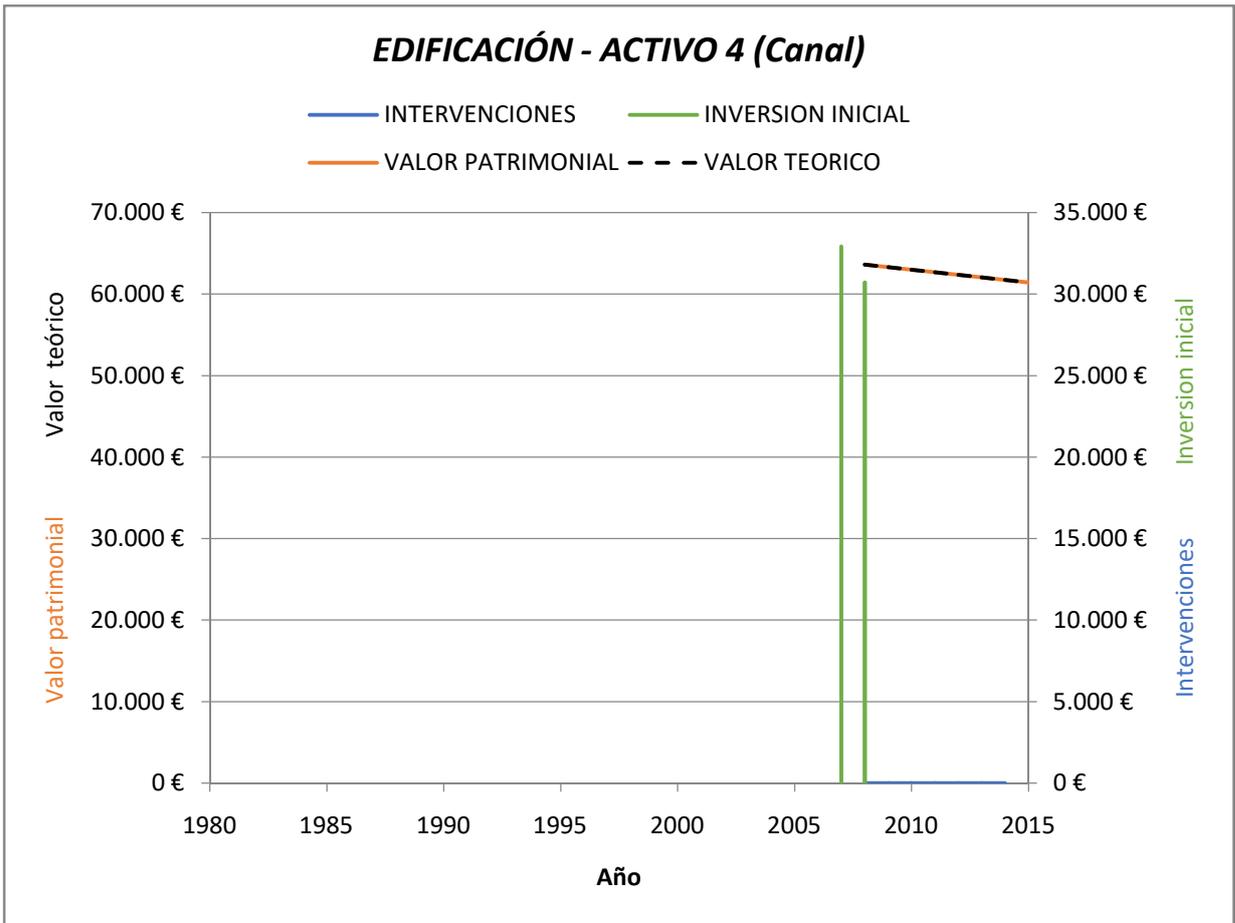
INSTRUMENTACIÓN - ACTIVO 3 (Canal)

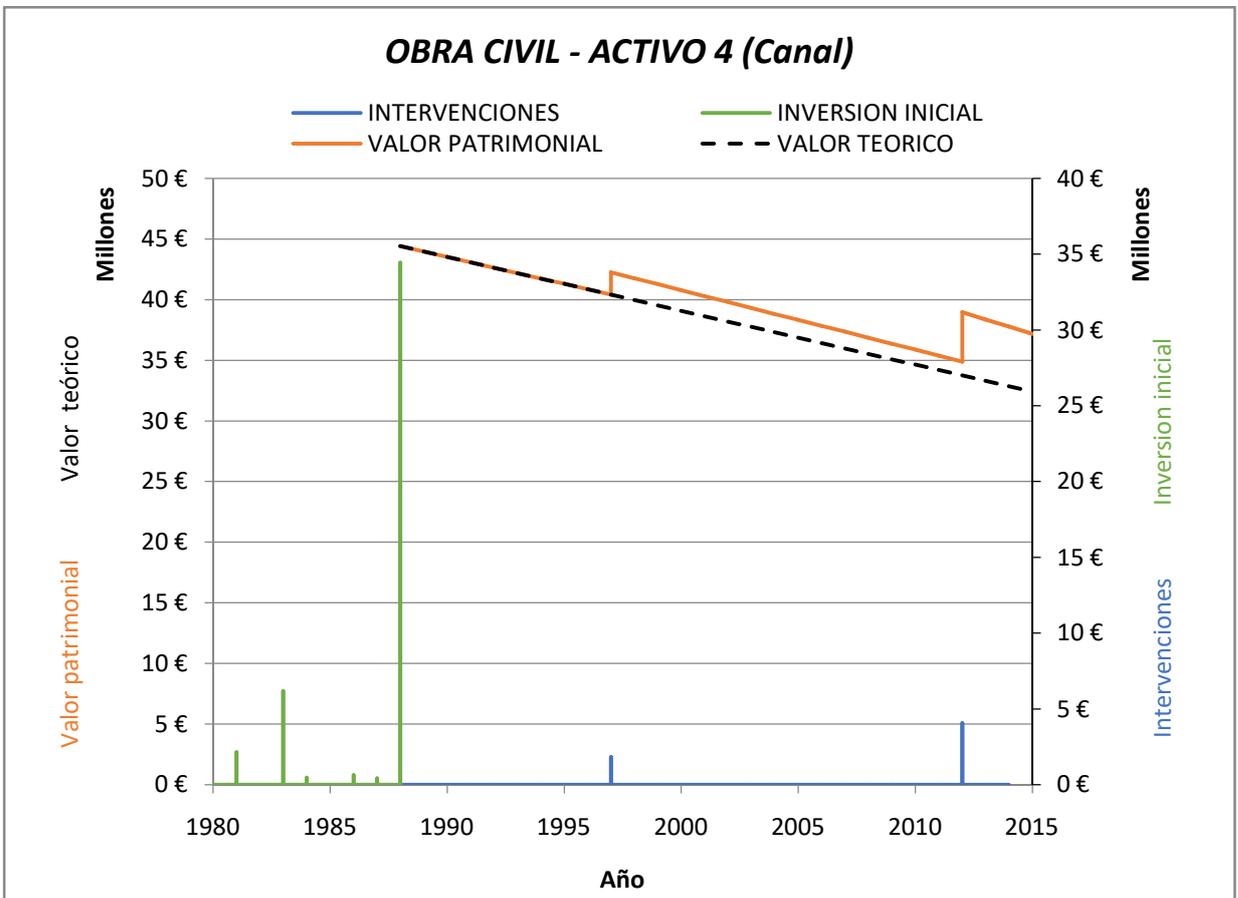
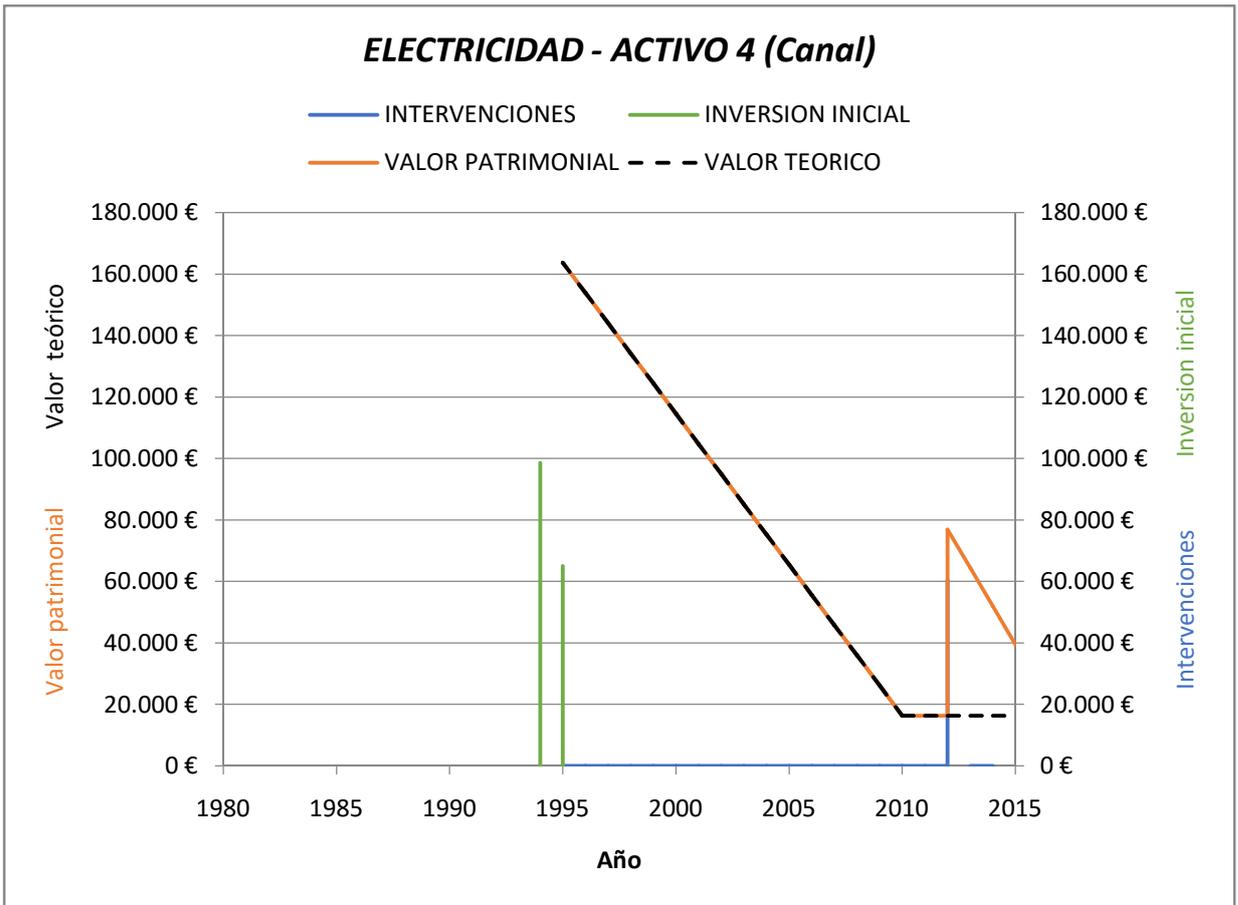




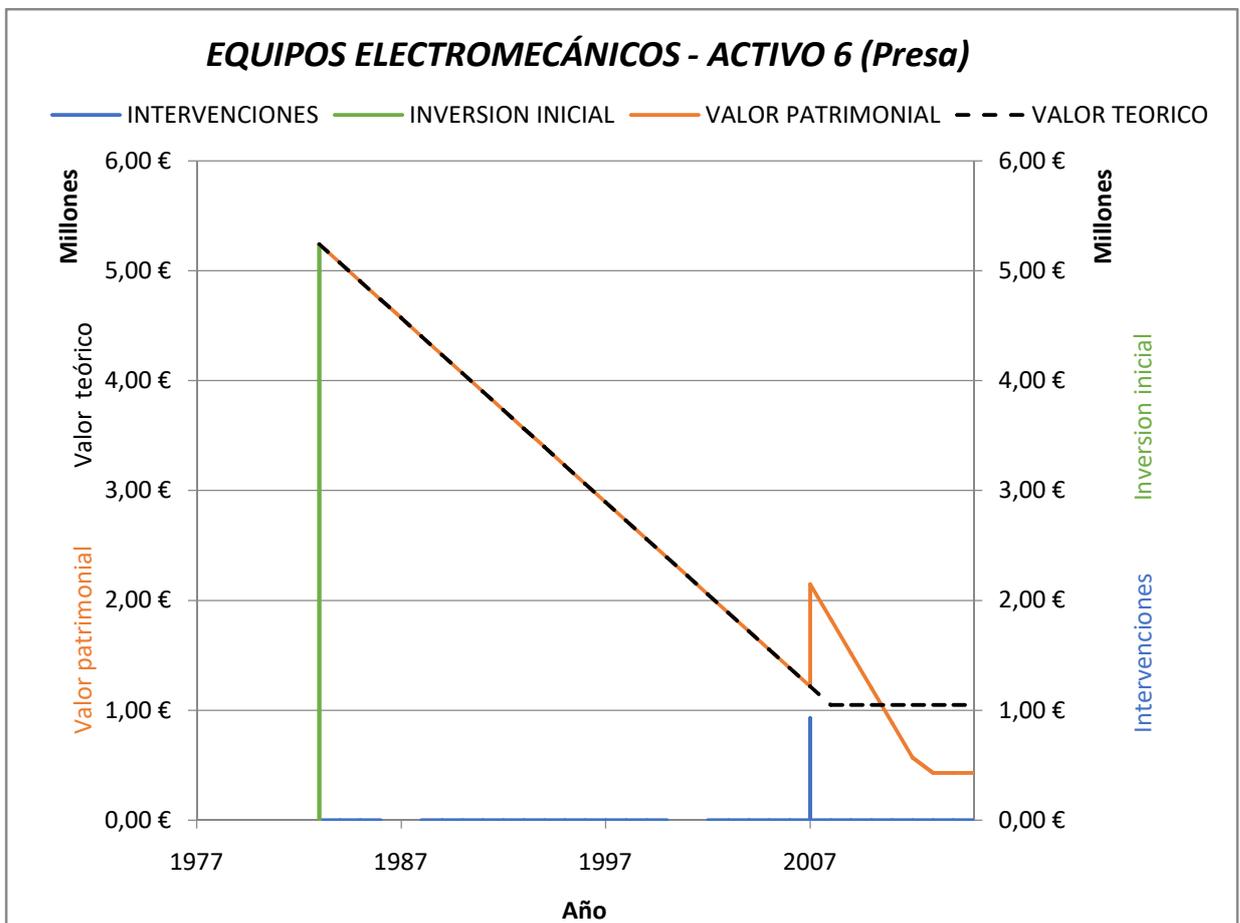
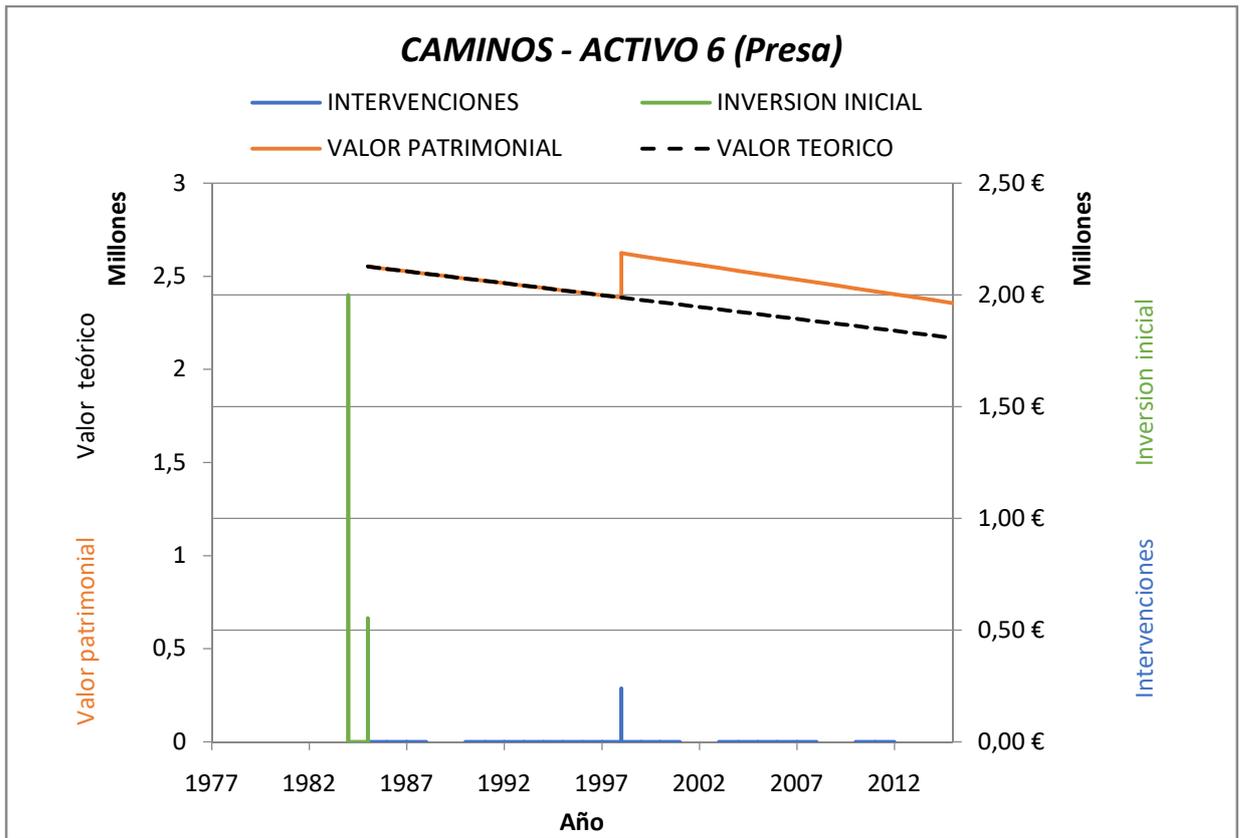
4. Activo 4

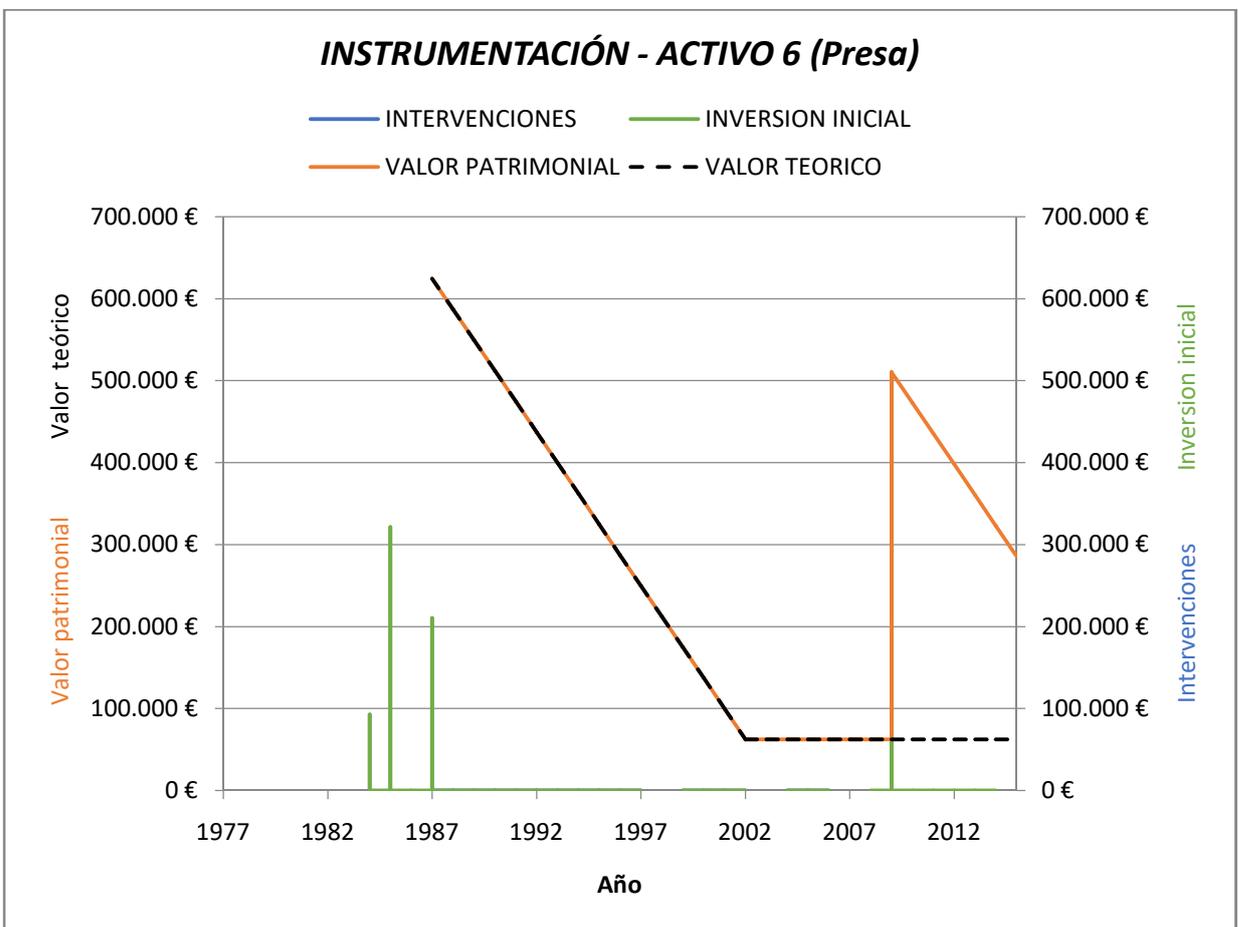
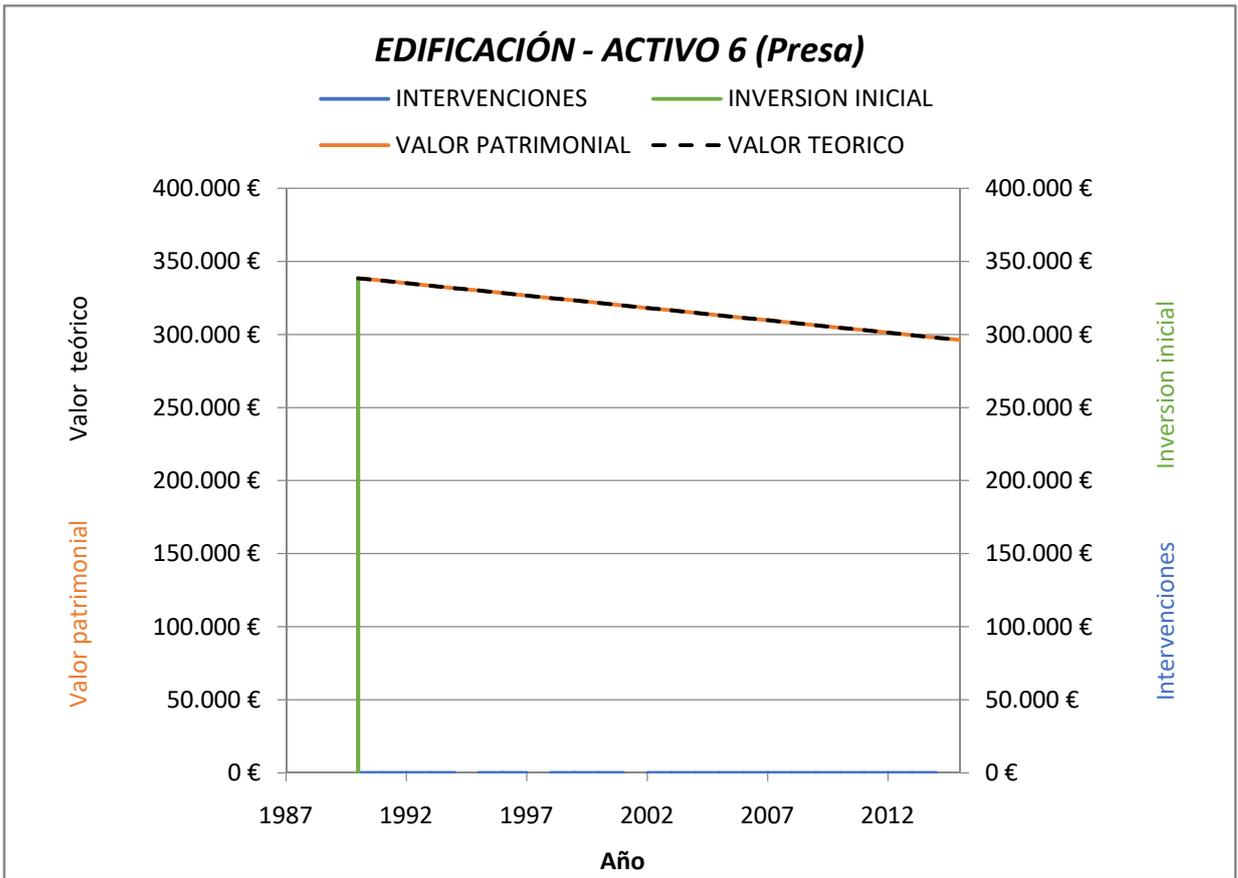


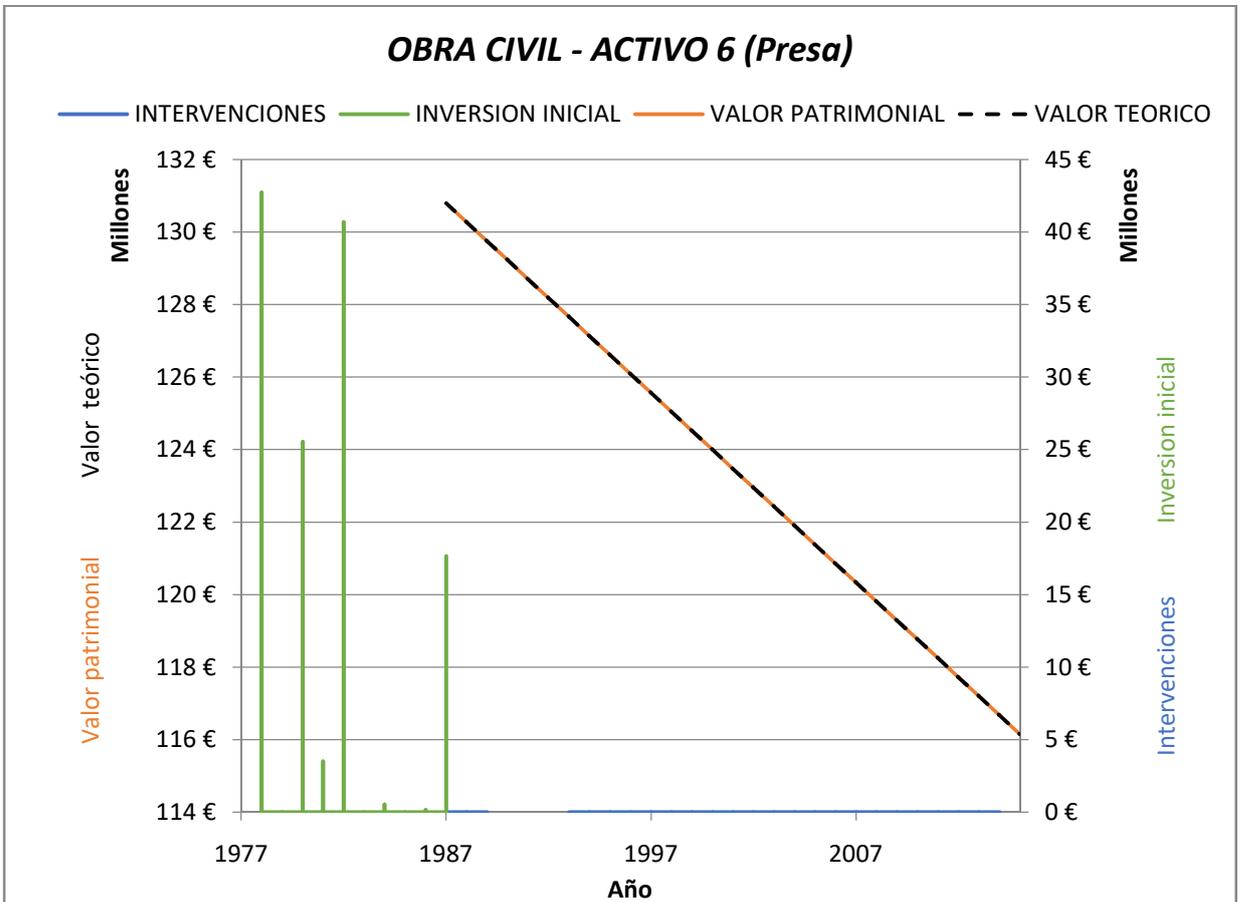
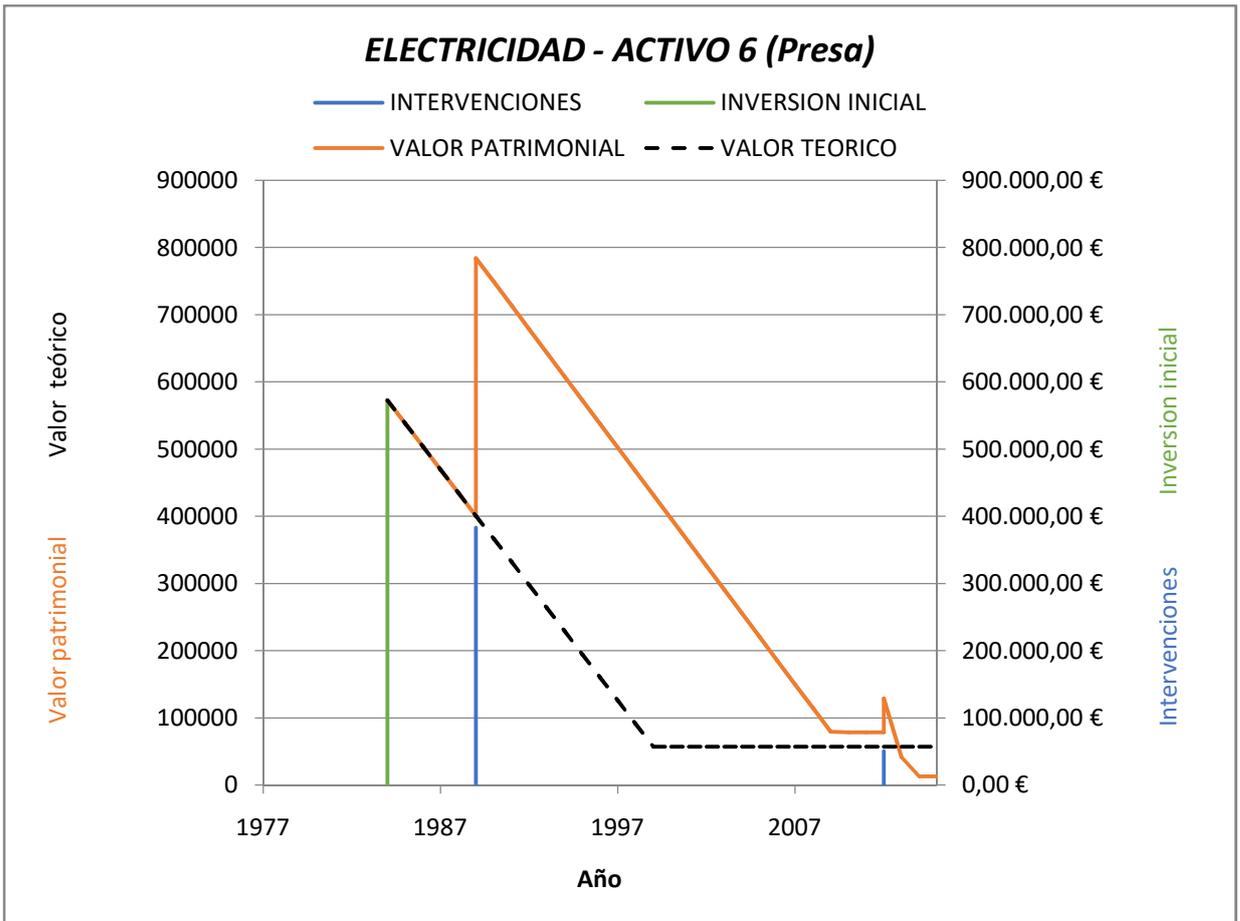




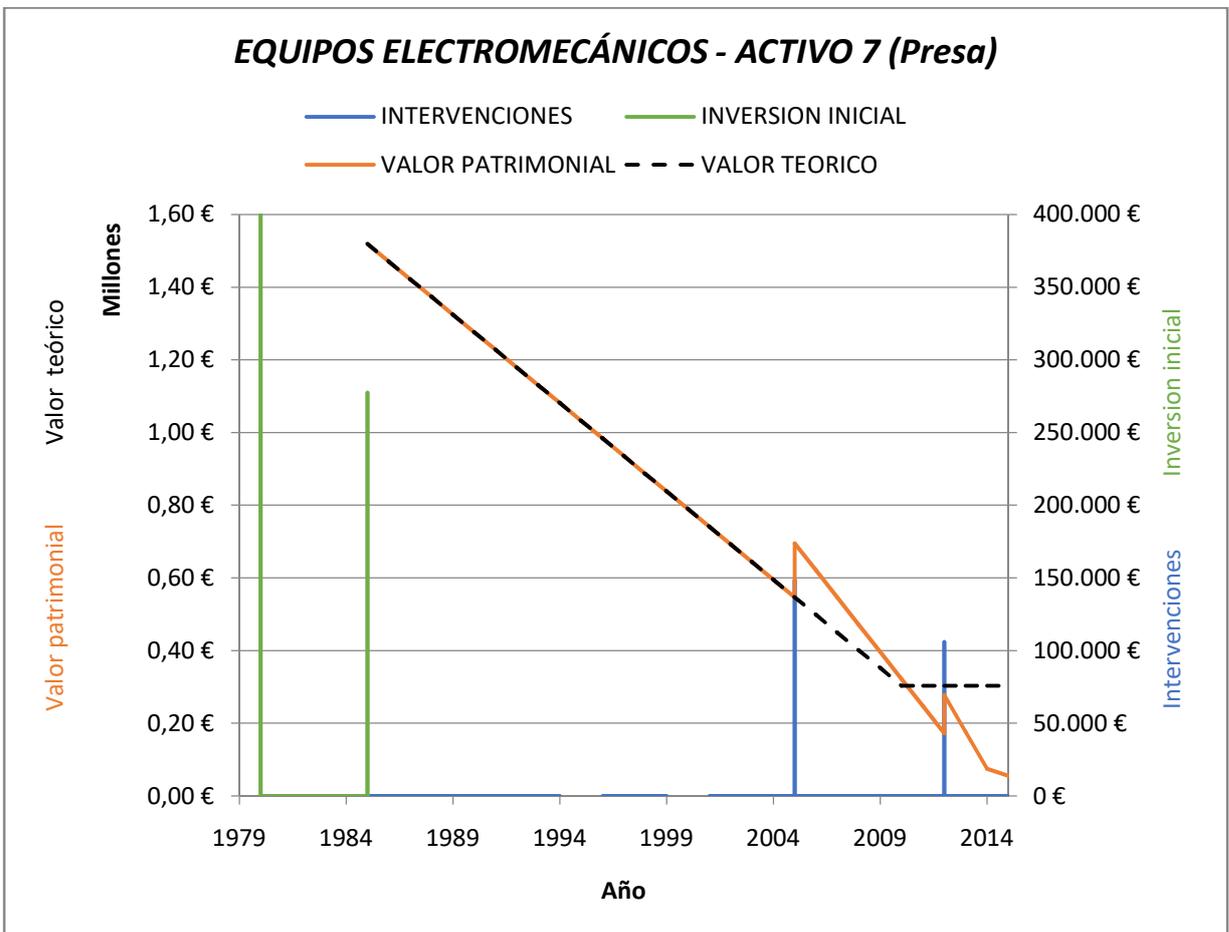
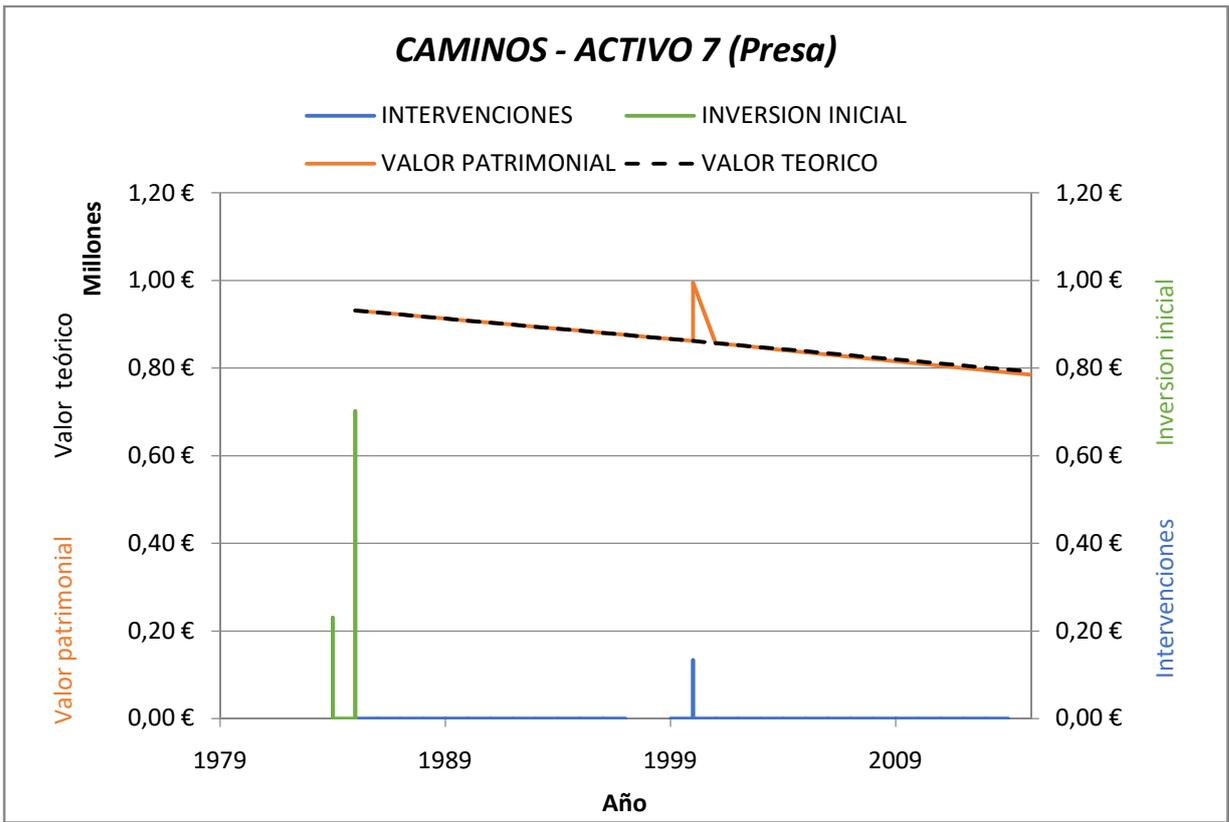
5. Activo 6

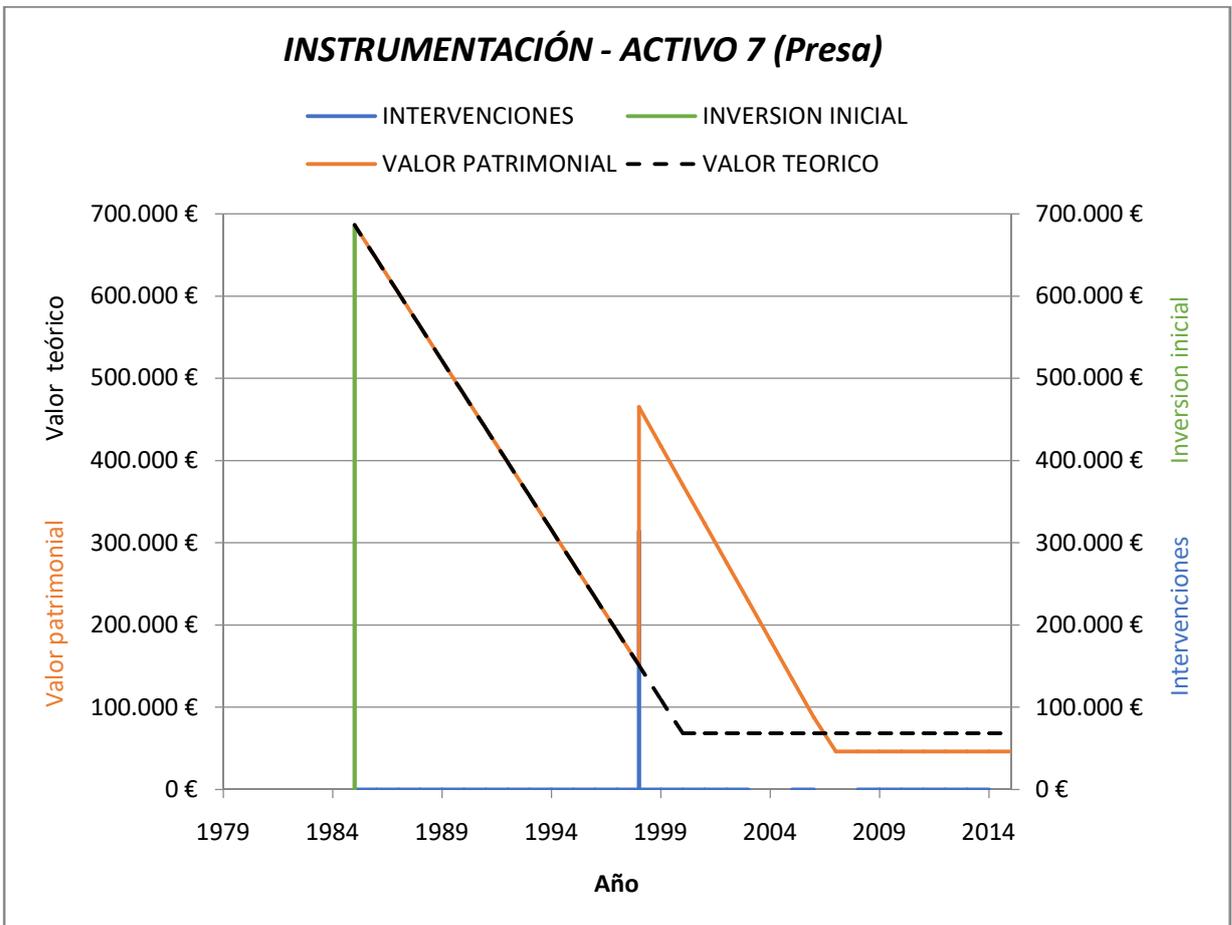
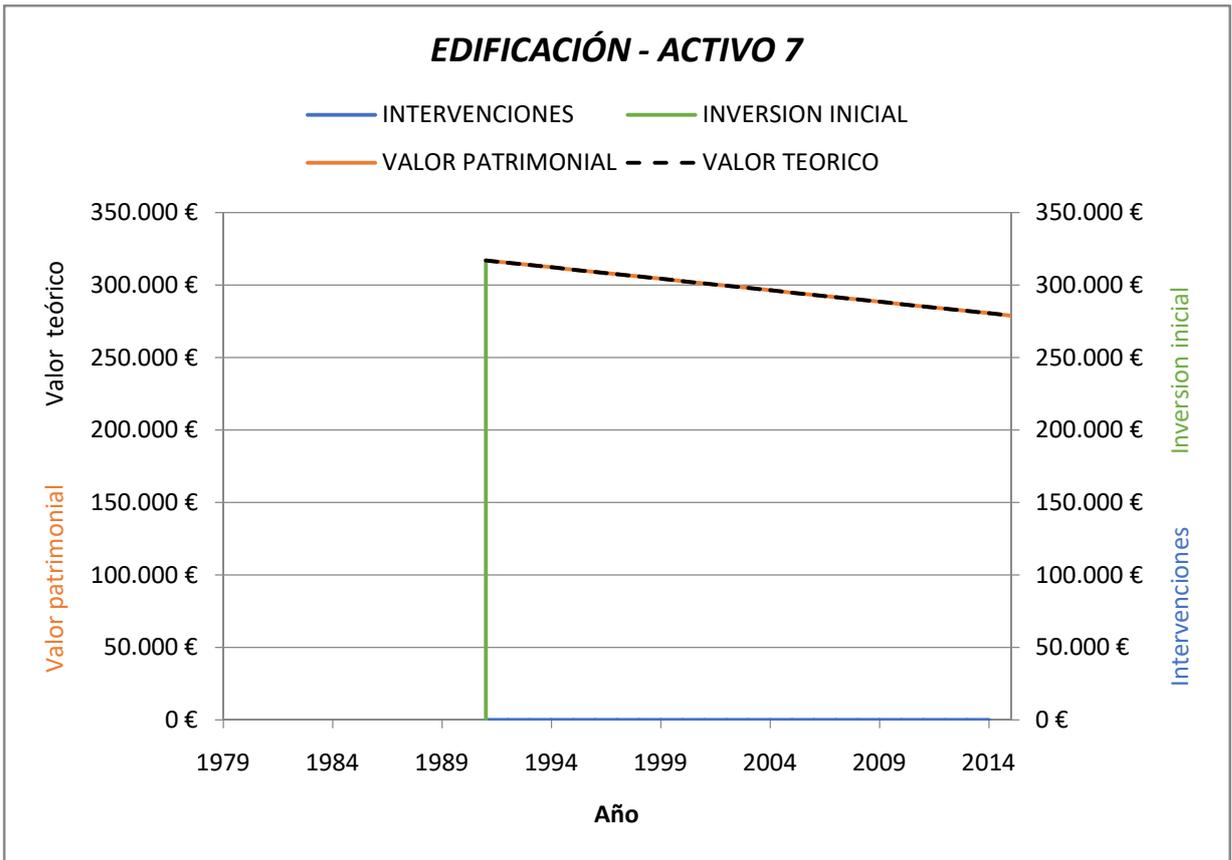


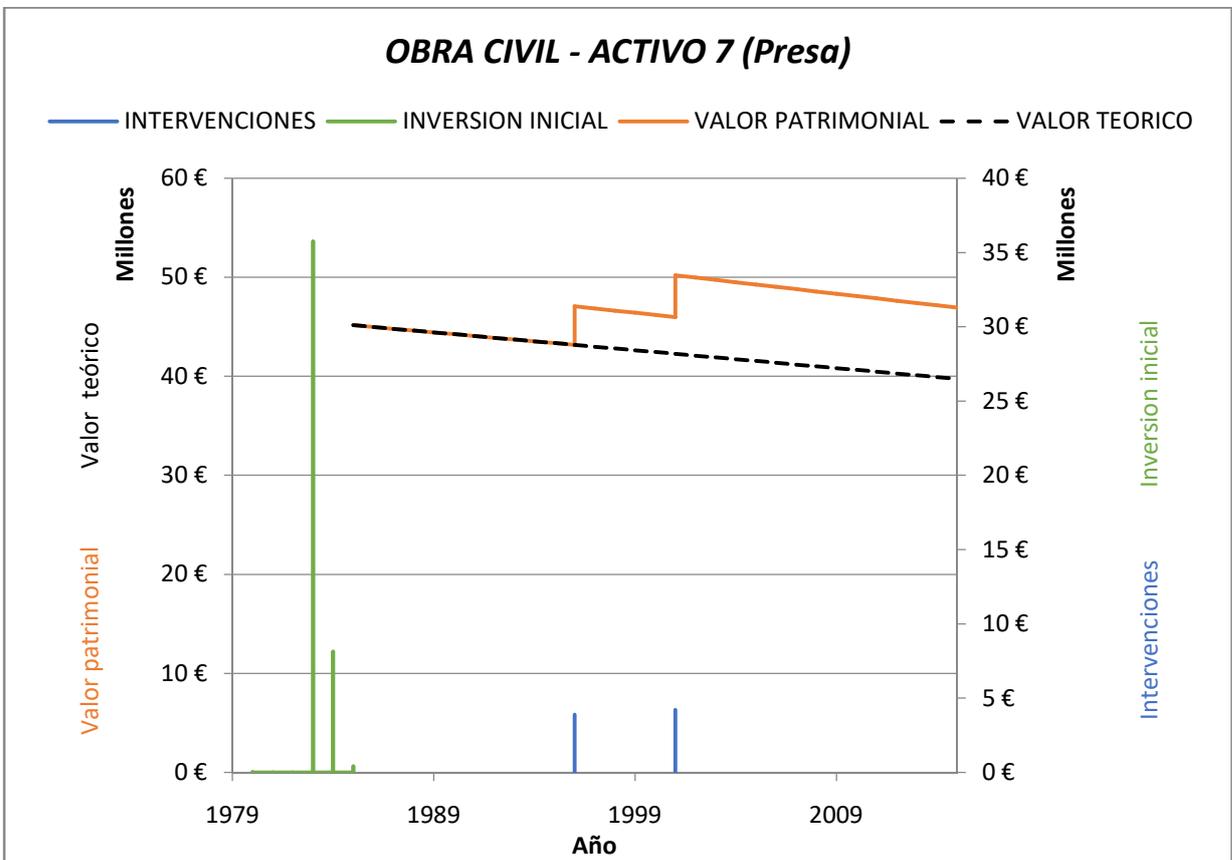
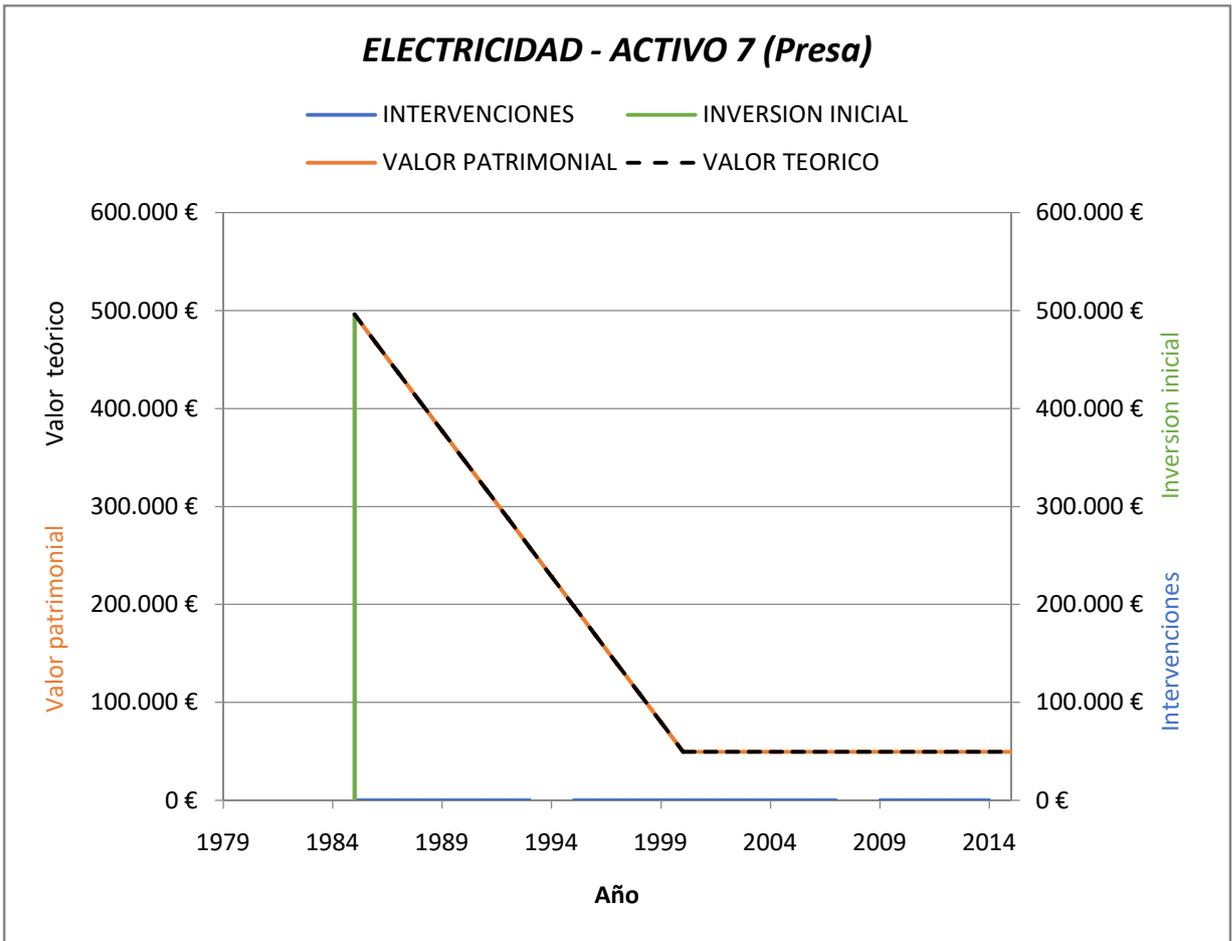




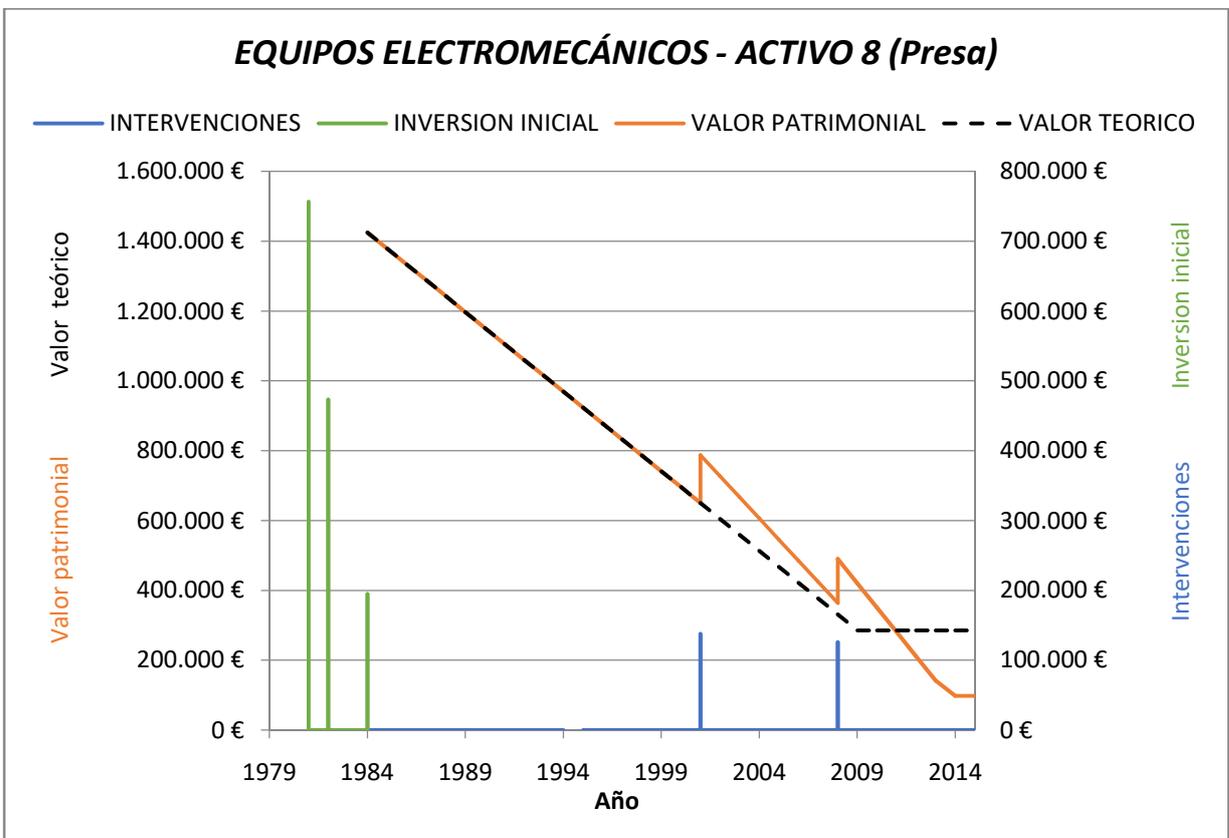
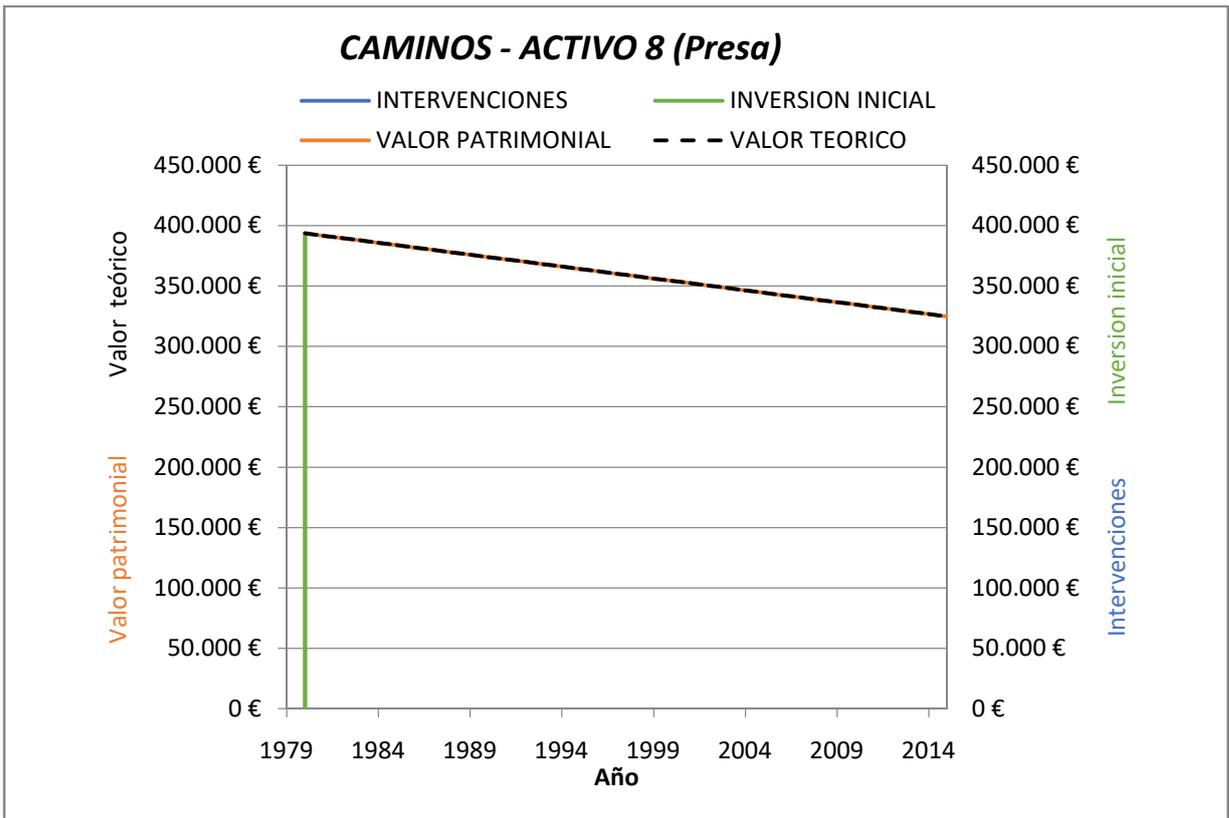
6. Activo 7



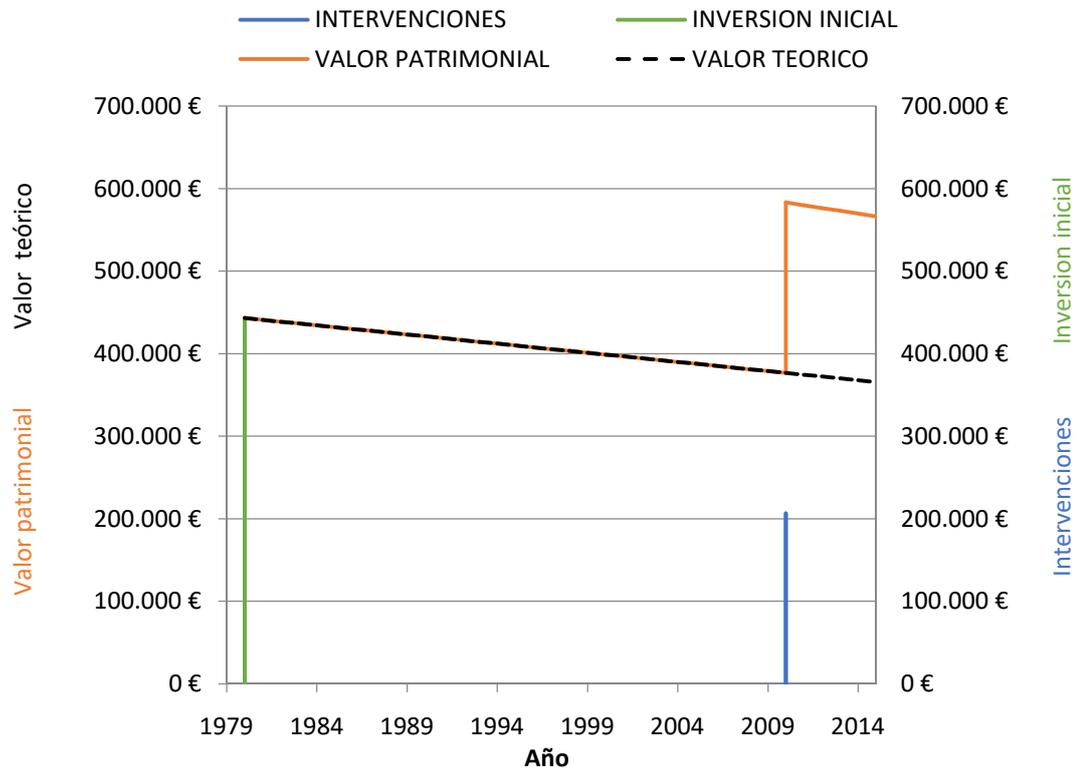




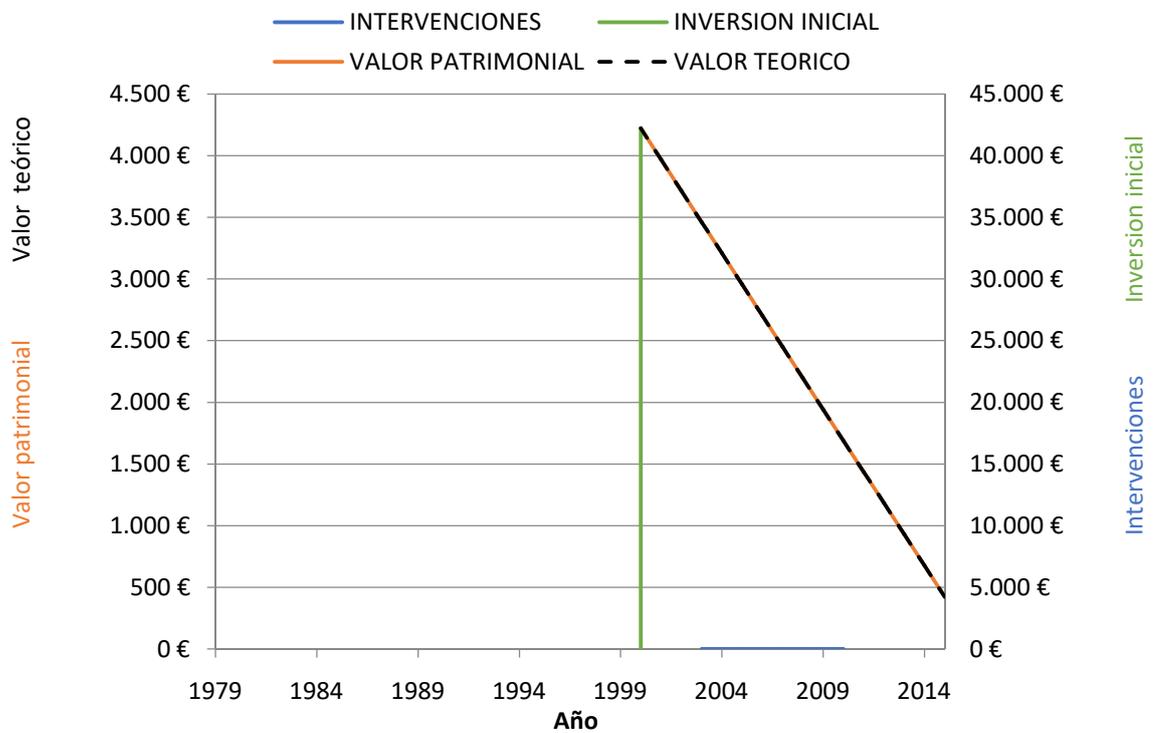
7. Activo 8



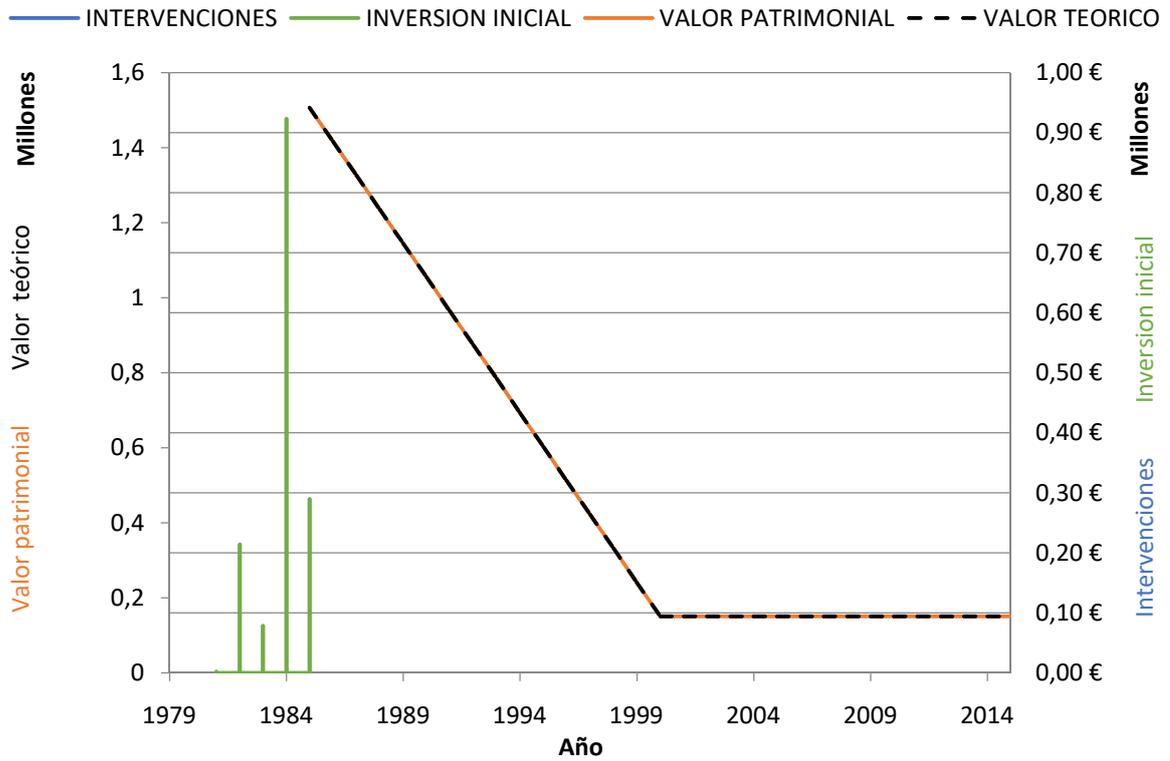
EDIFICACIÓN - ACTIVO 8 (Presa)



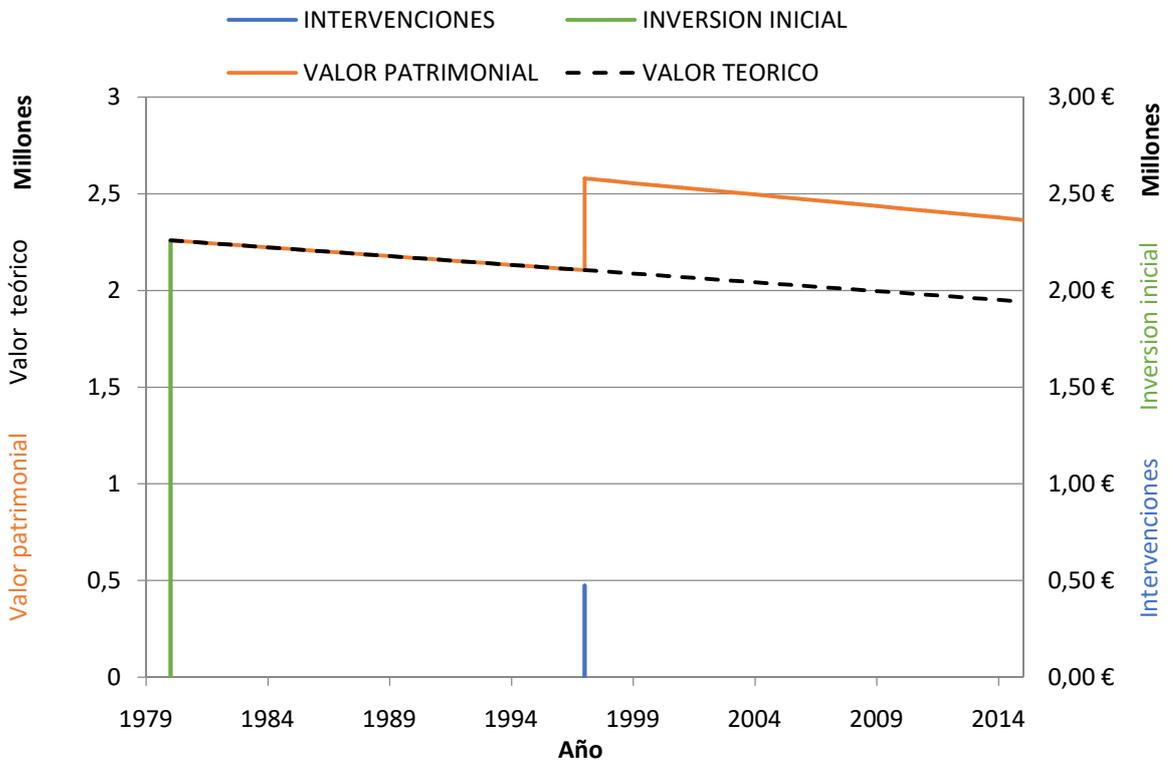
INSTRUMENTACIÓN - ACTIVO 8 (Presa)



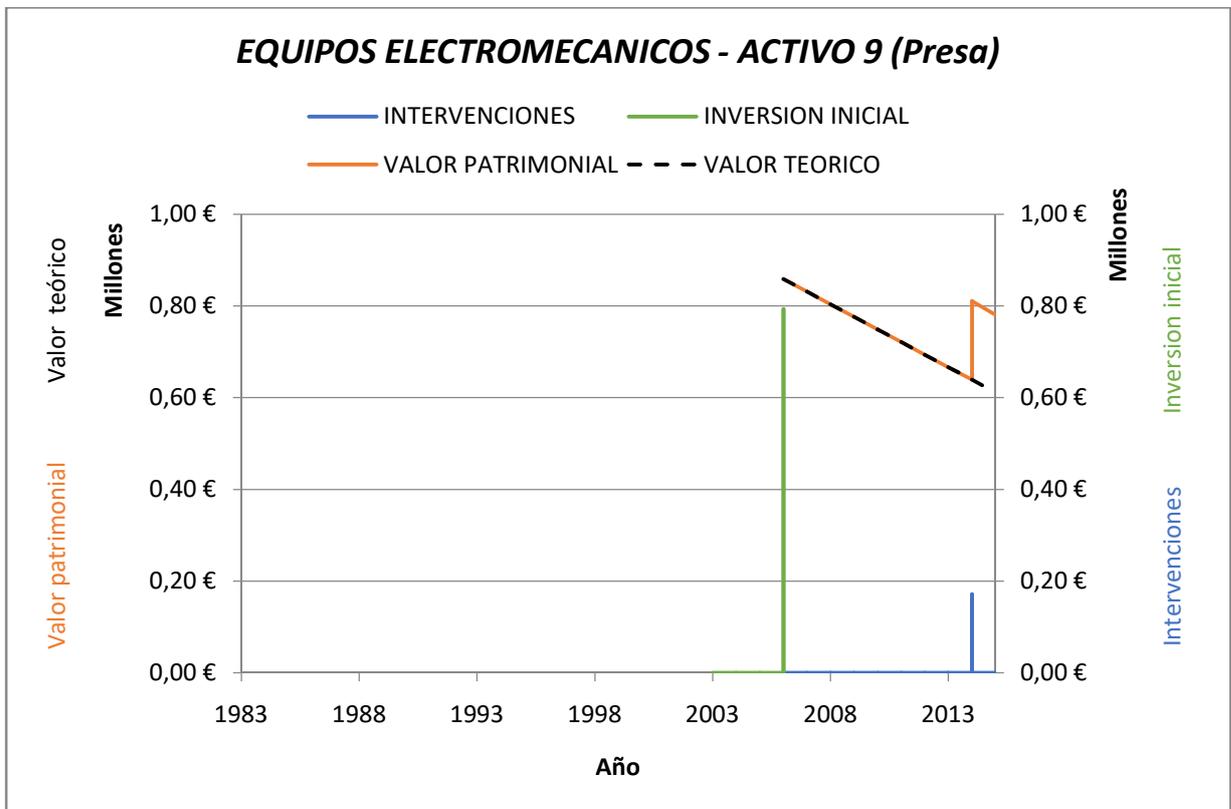
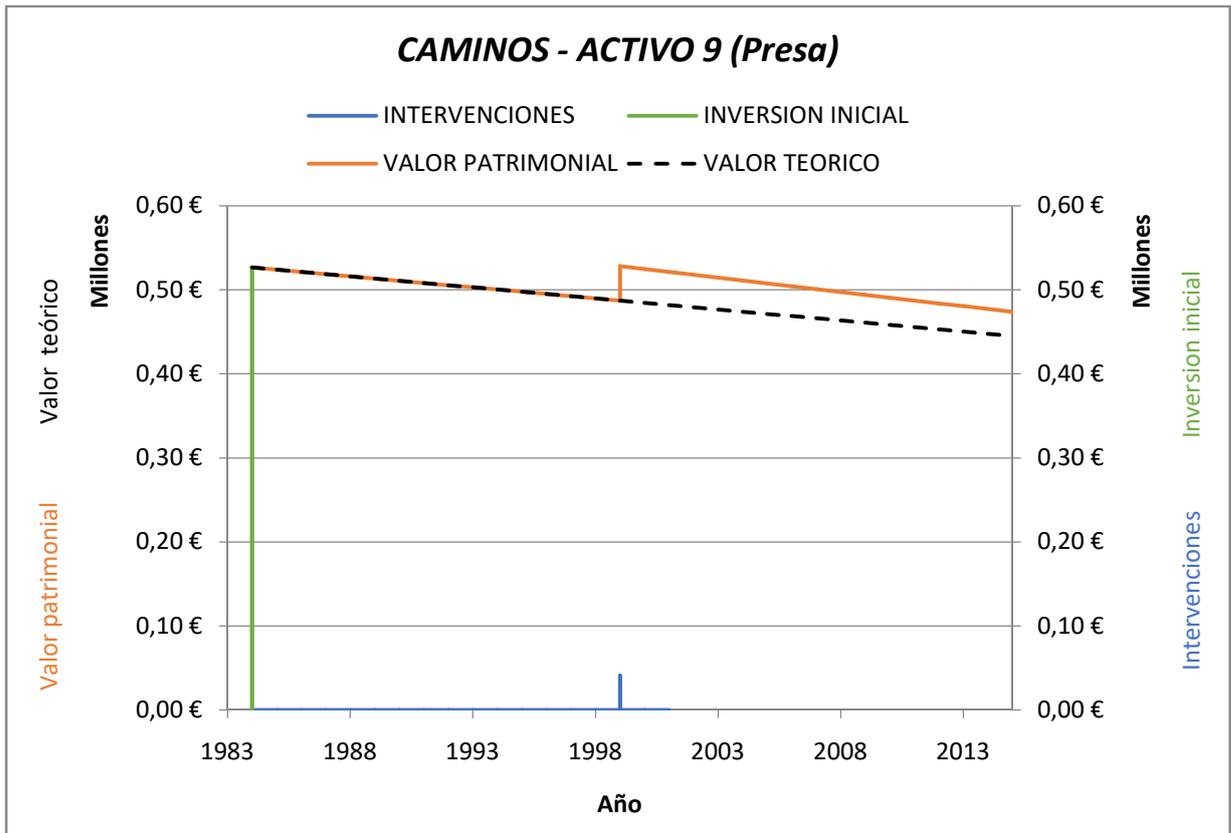
ELECTRICIDAD - ACTIVO 8 (Presa)

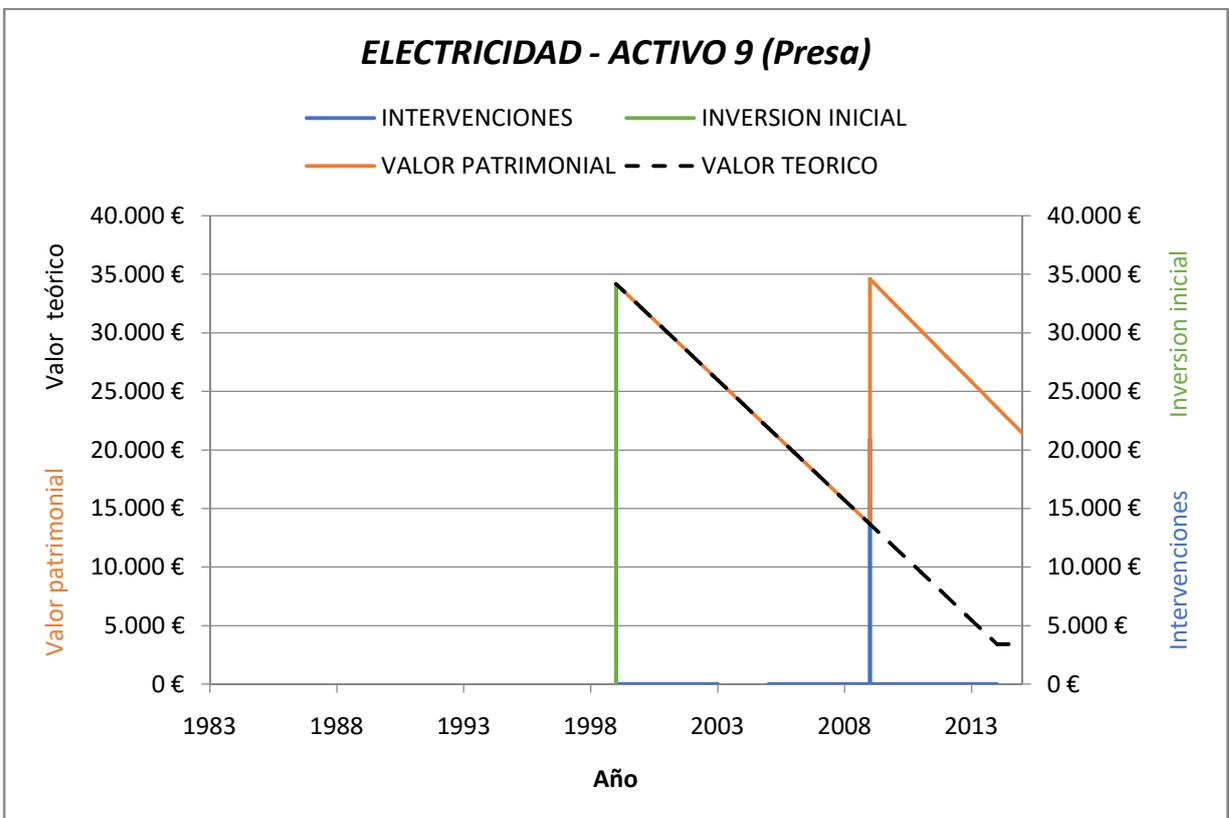
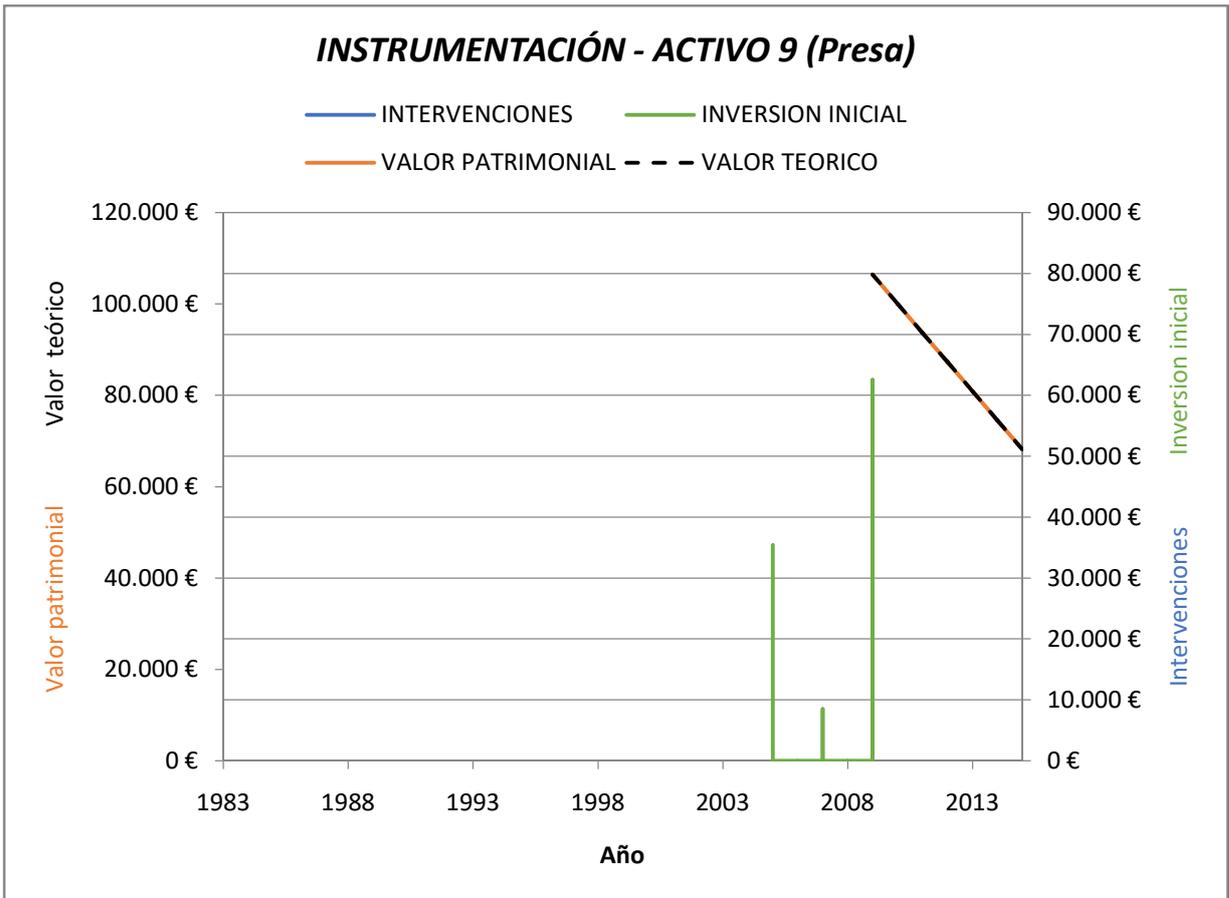


OBRA CIVIL - ACTIVO 8 (Presa)

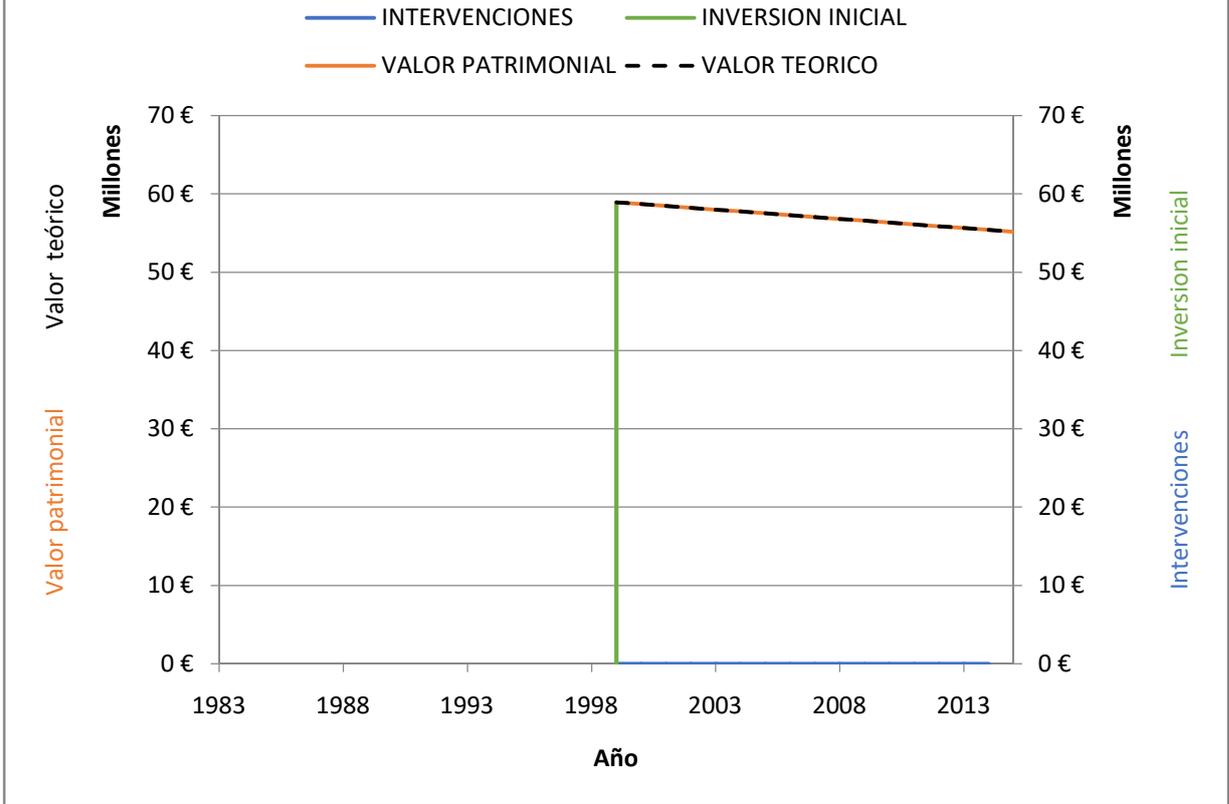


8. Activo 9



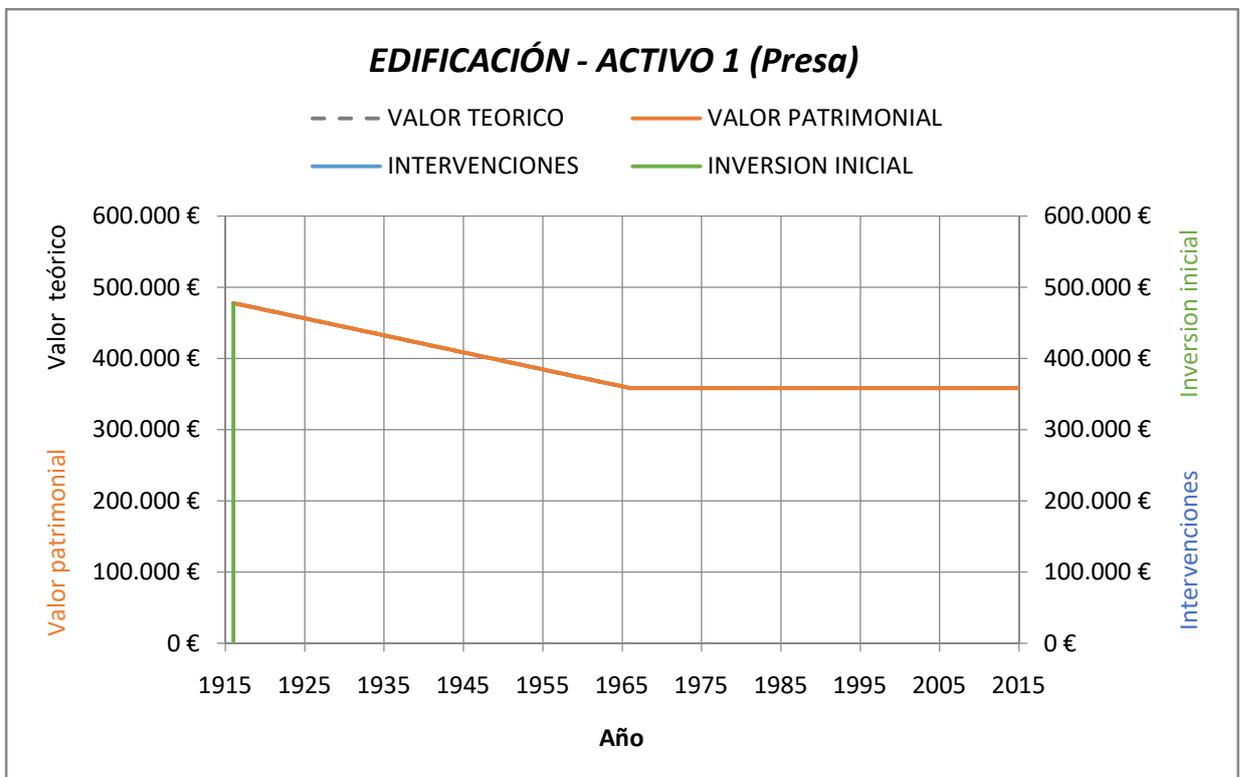
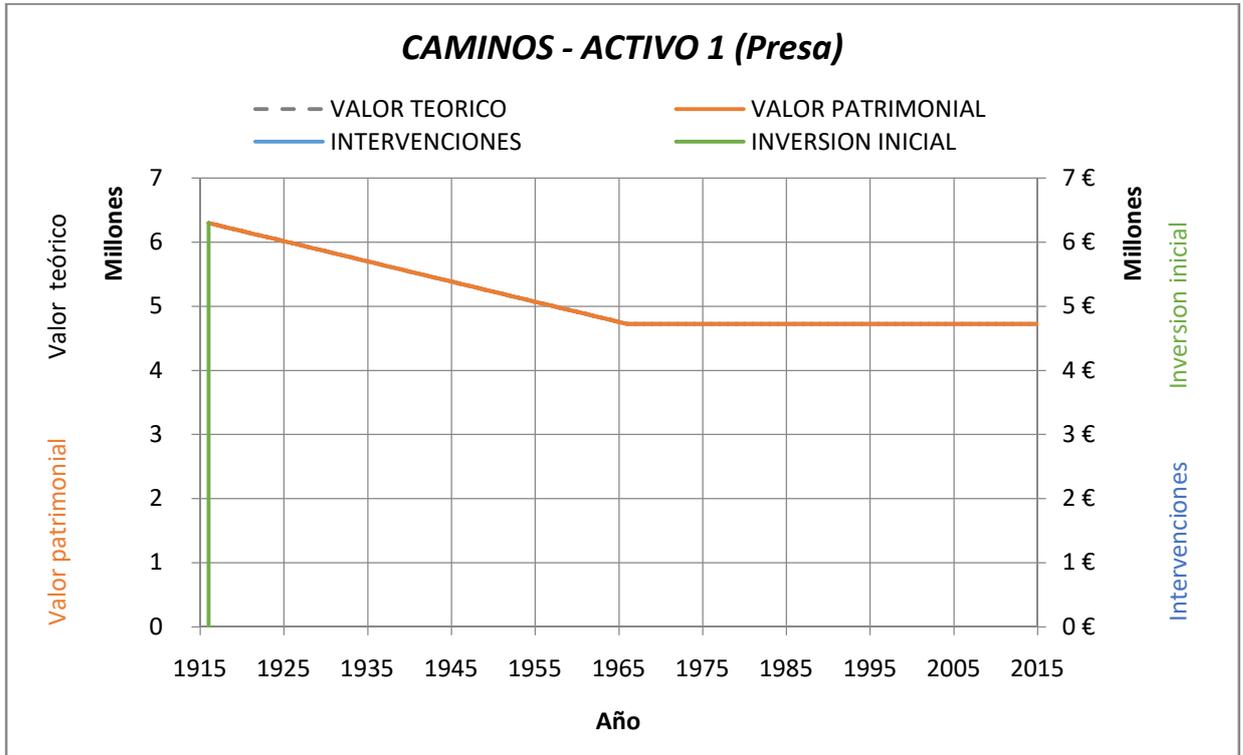


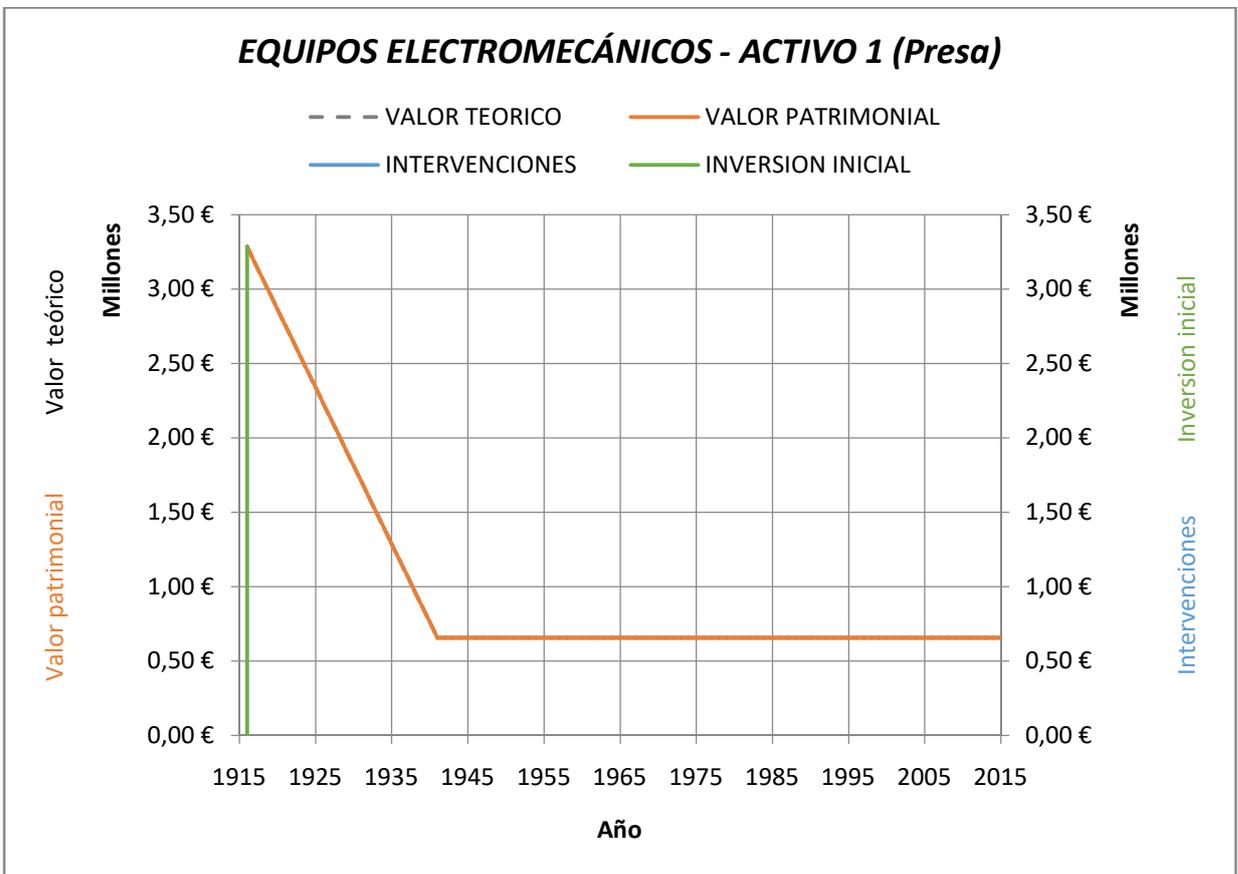
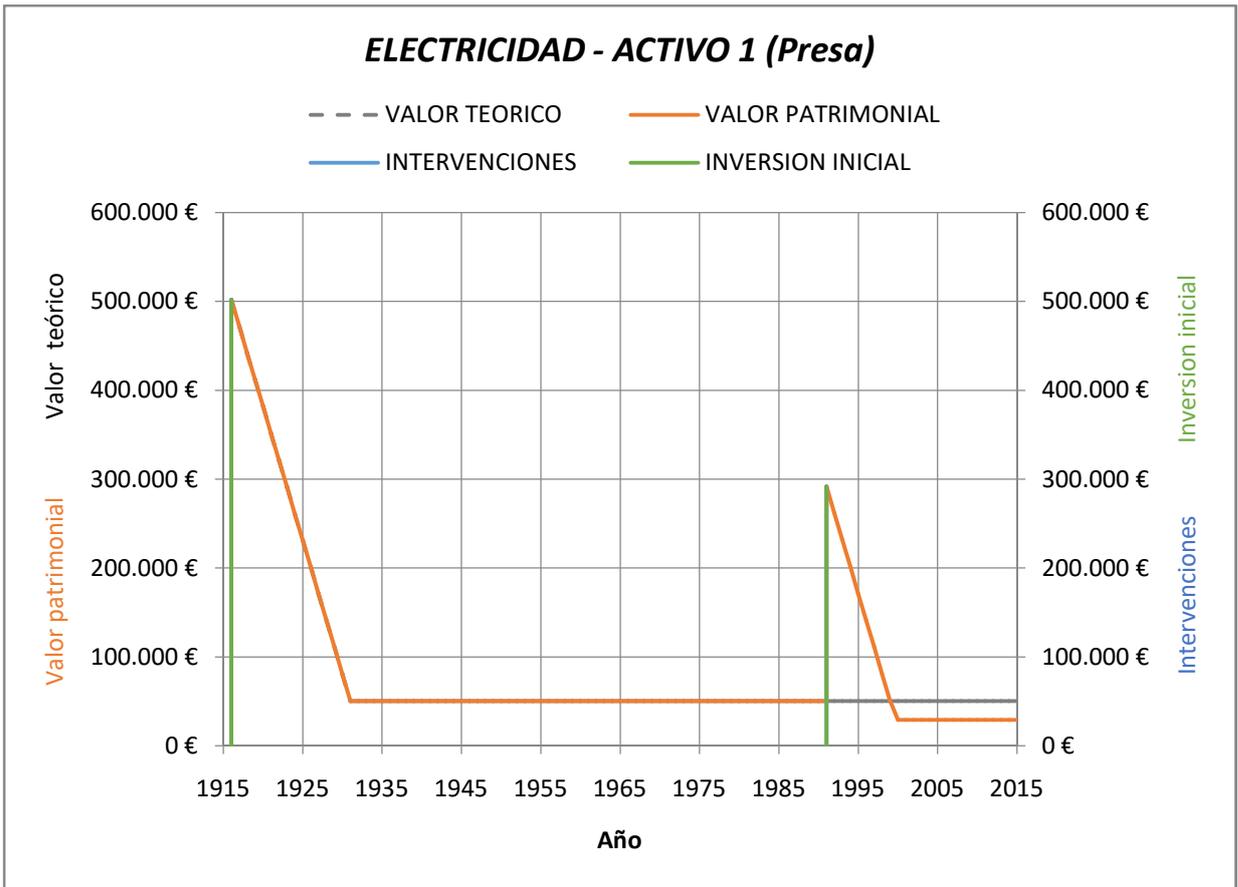
OBRA CIVIL - ACTIVO 9 (Presa)



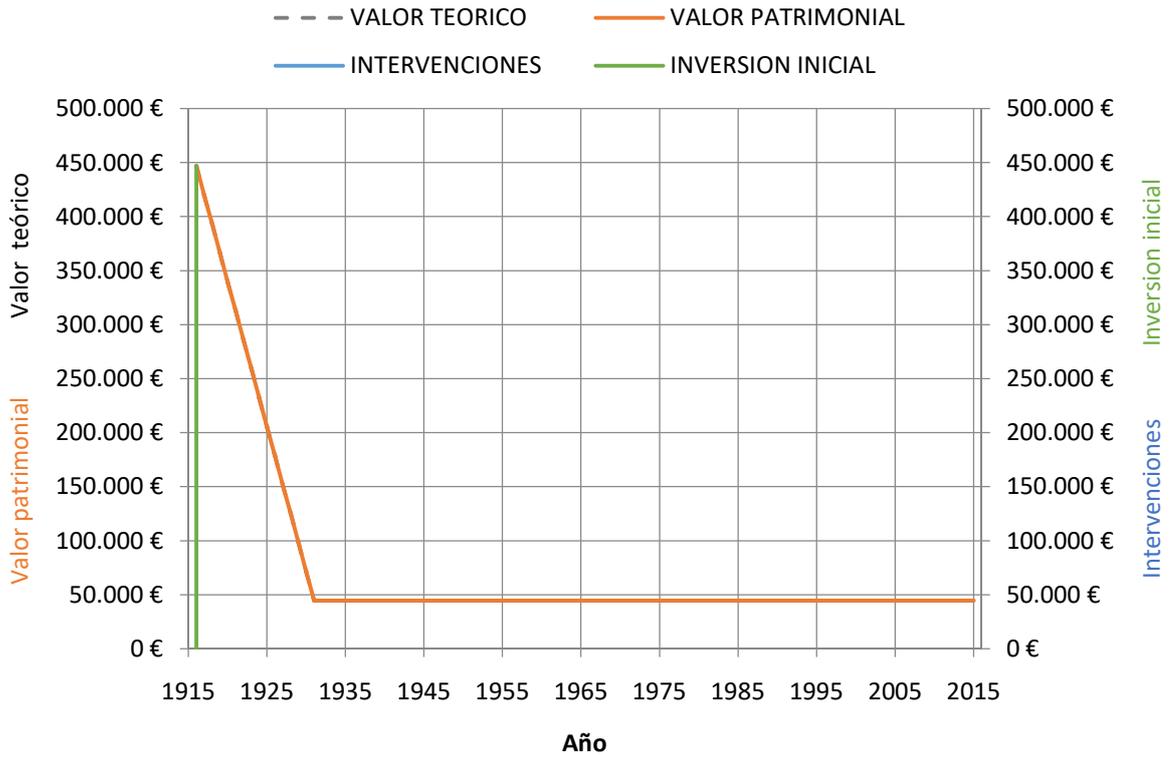
B. Subsistema 1

1. Activo 1

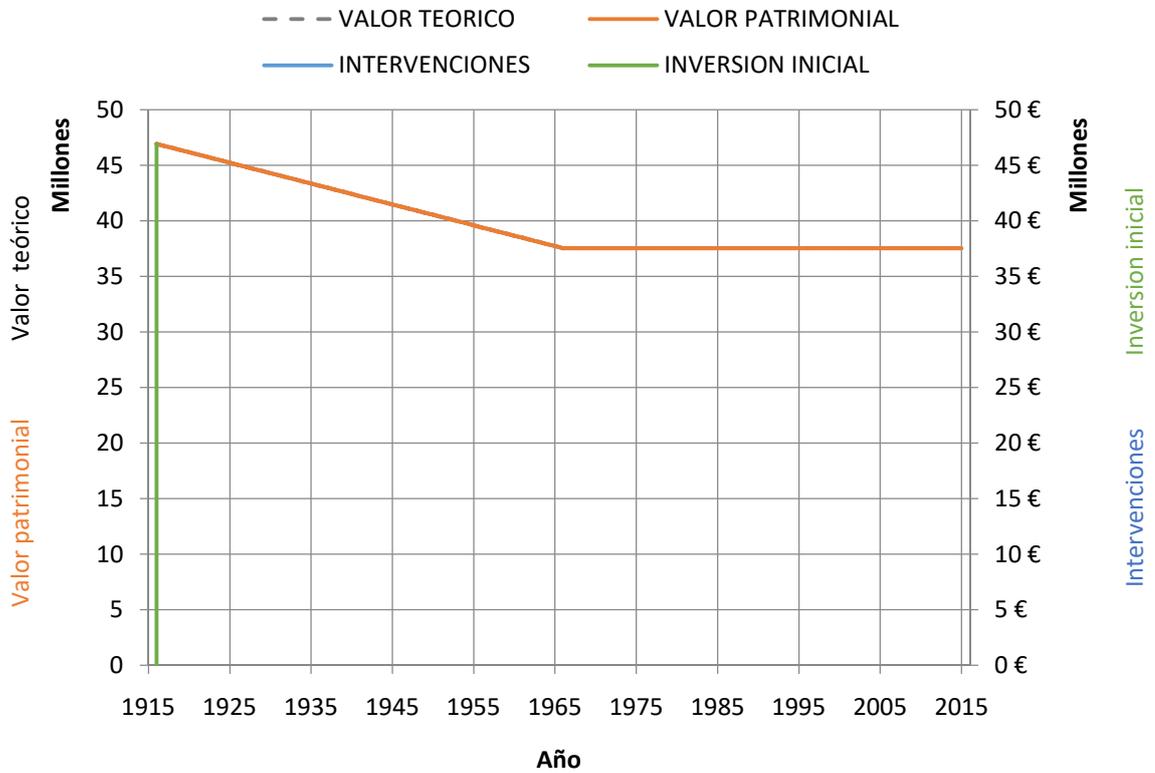




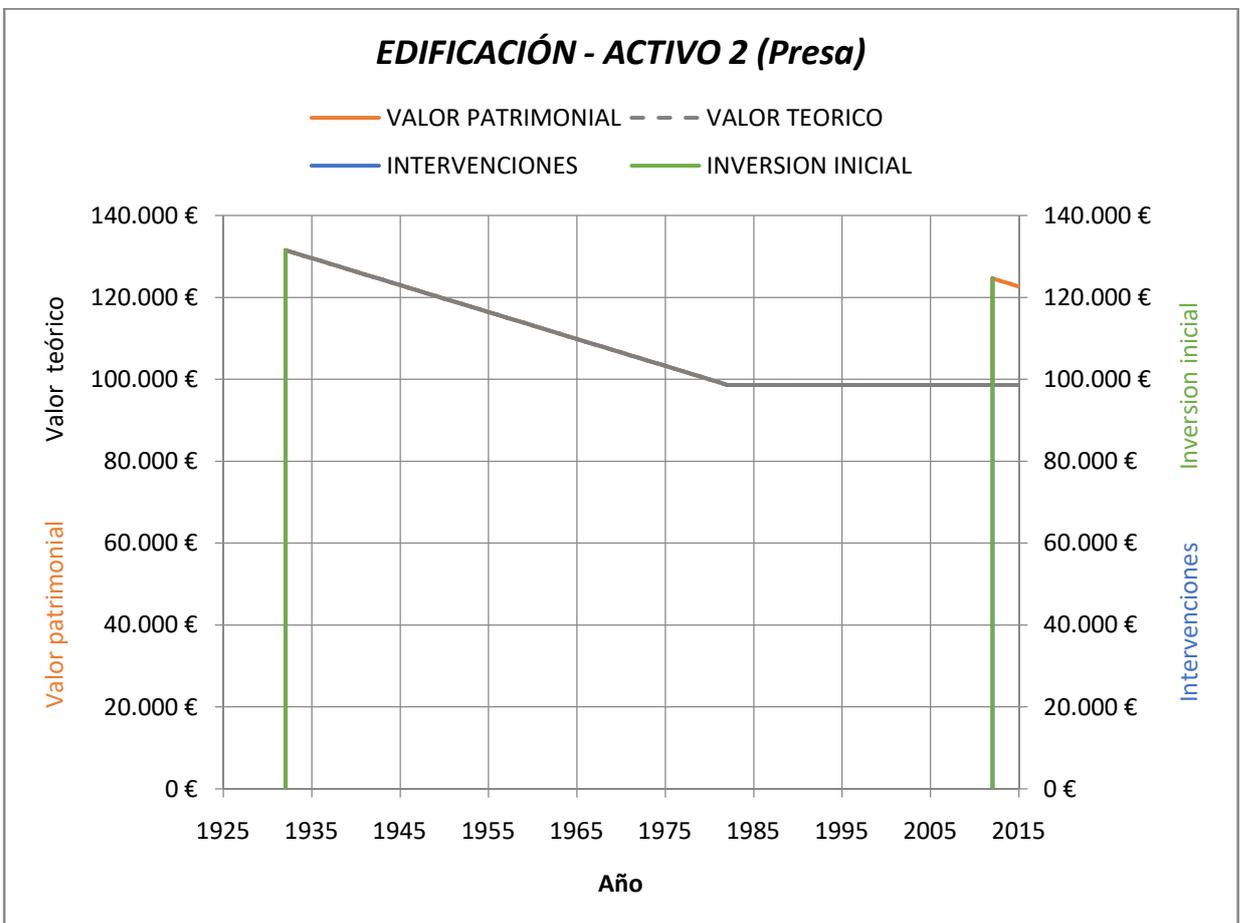
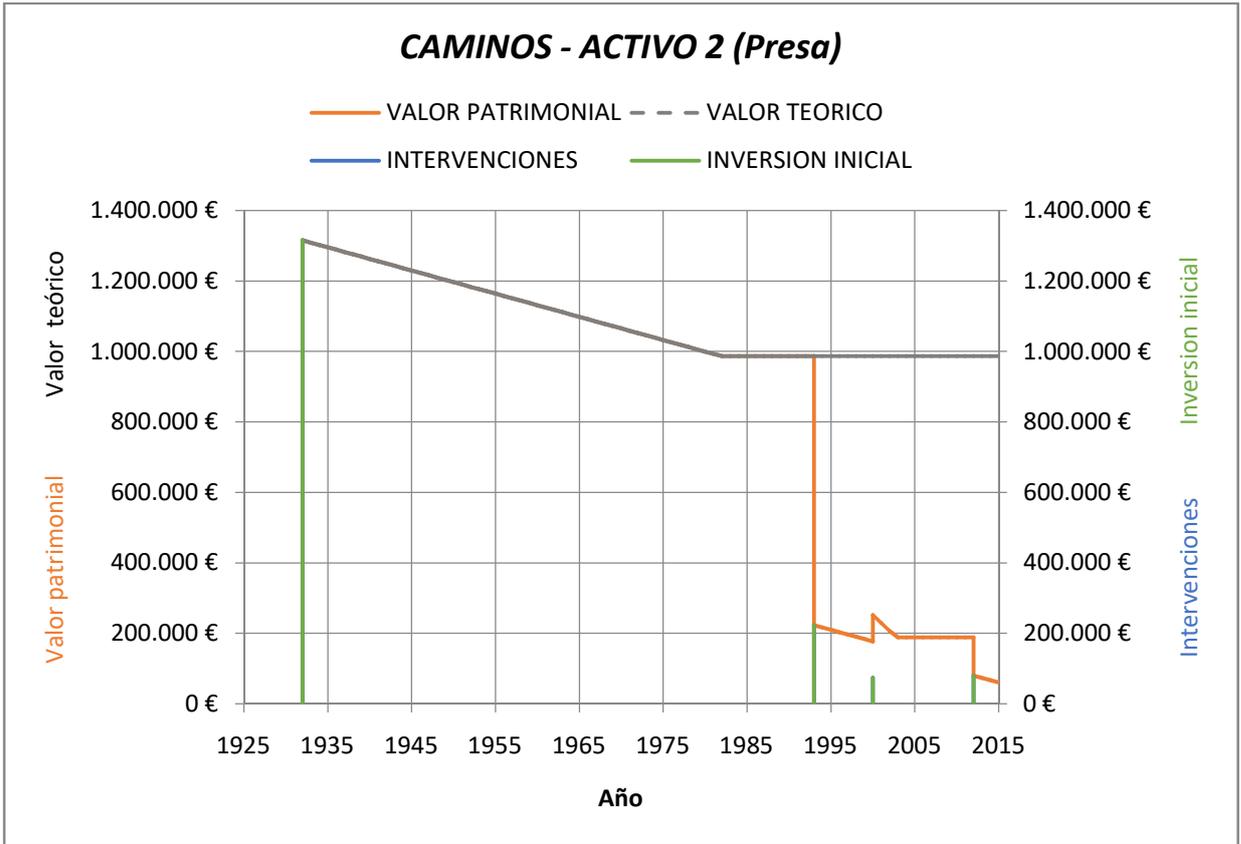
INSTRUMENTACIÓN - ACTIVO 1 (Presa)

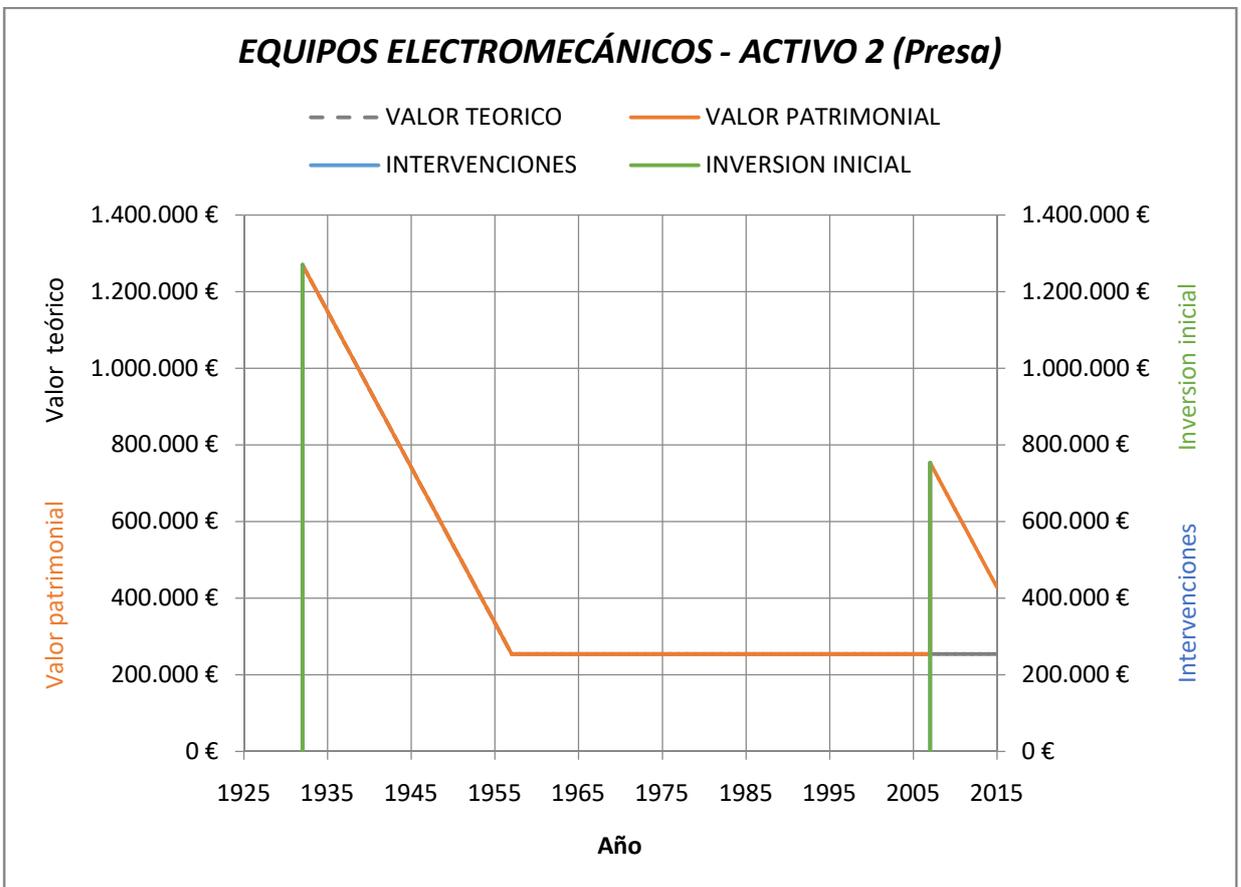
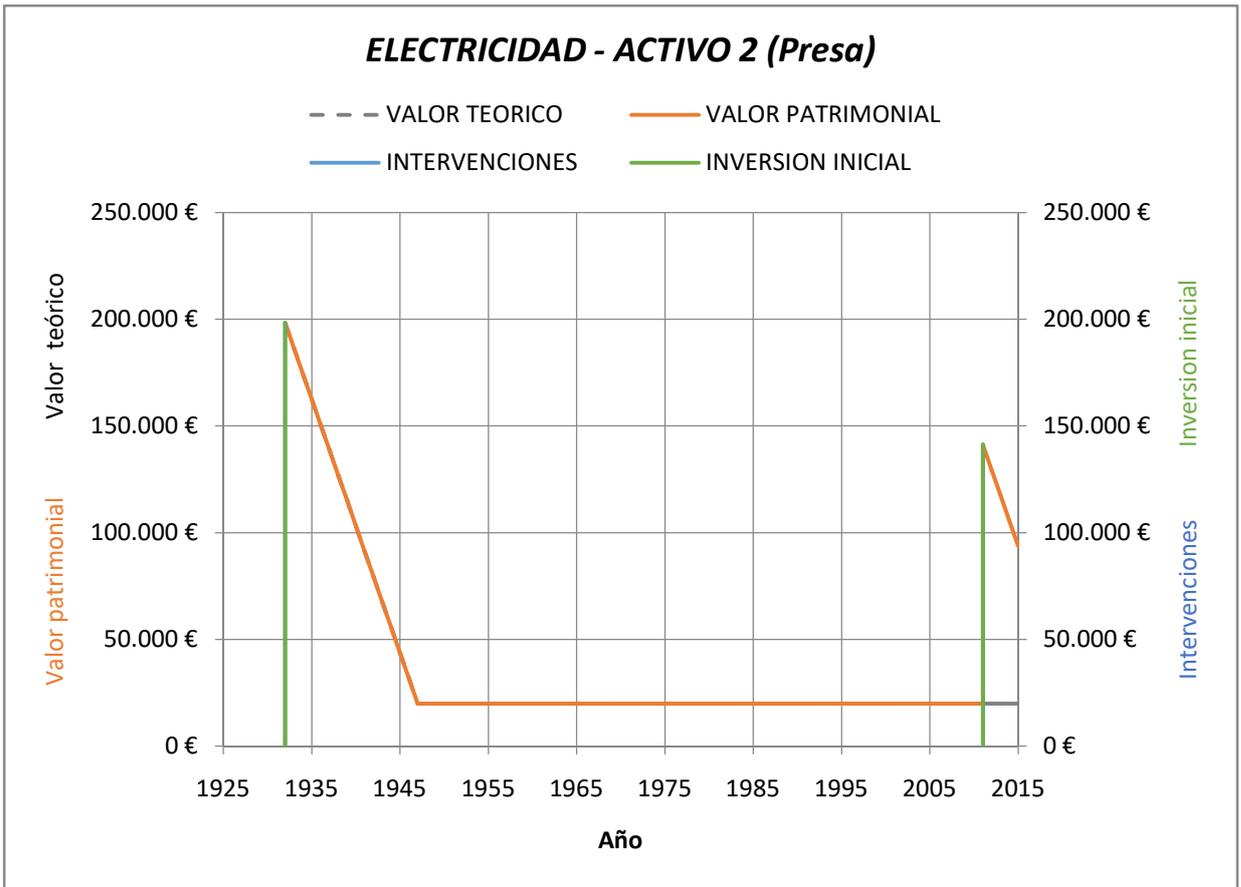


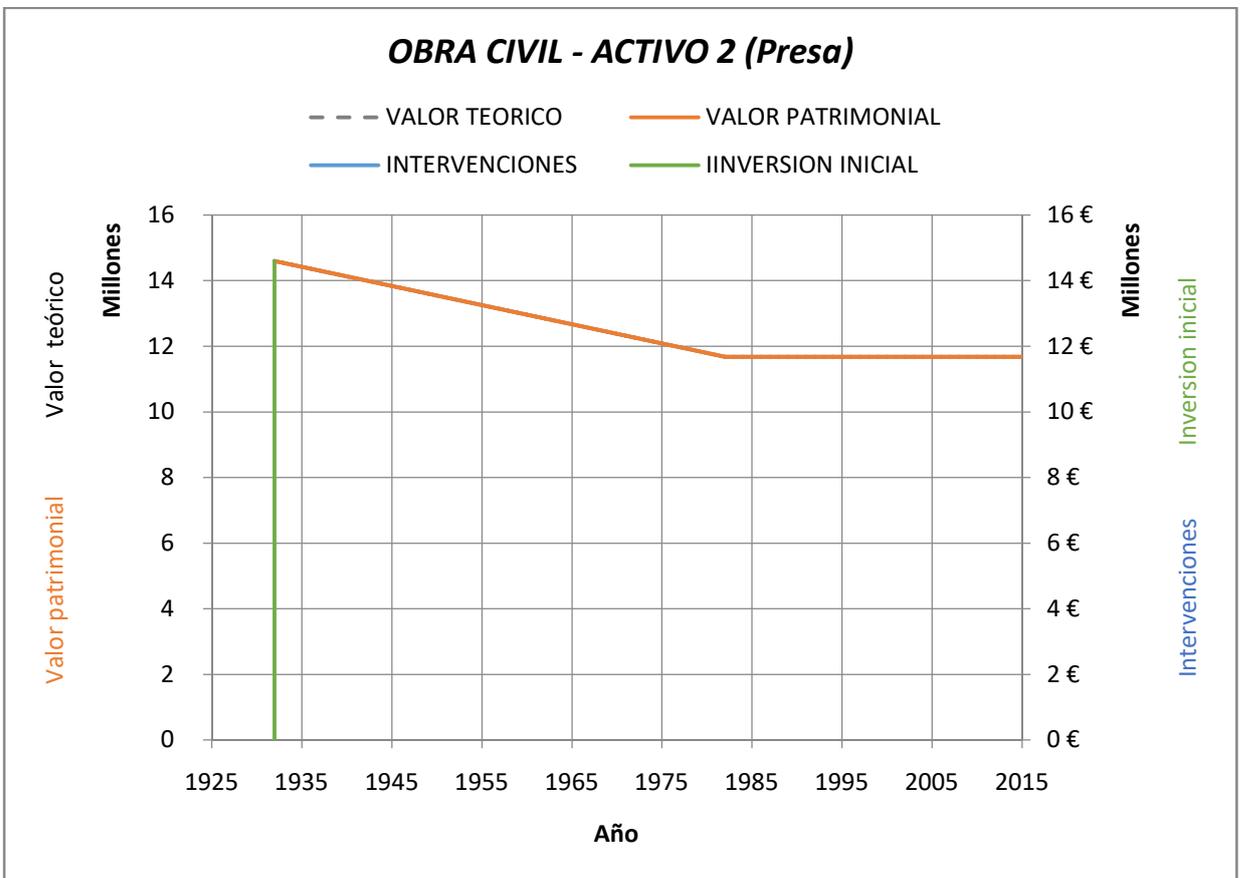
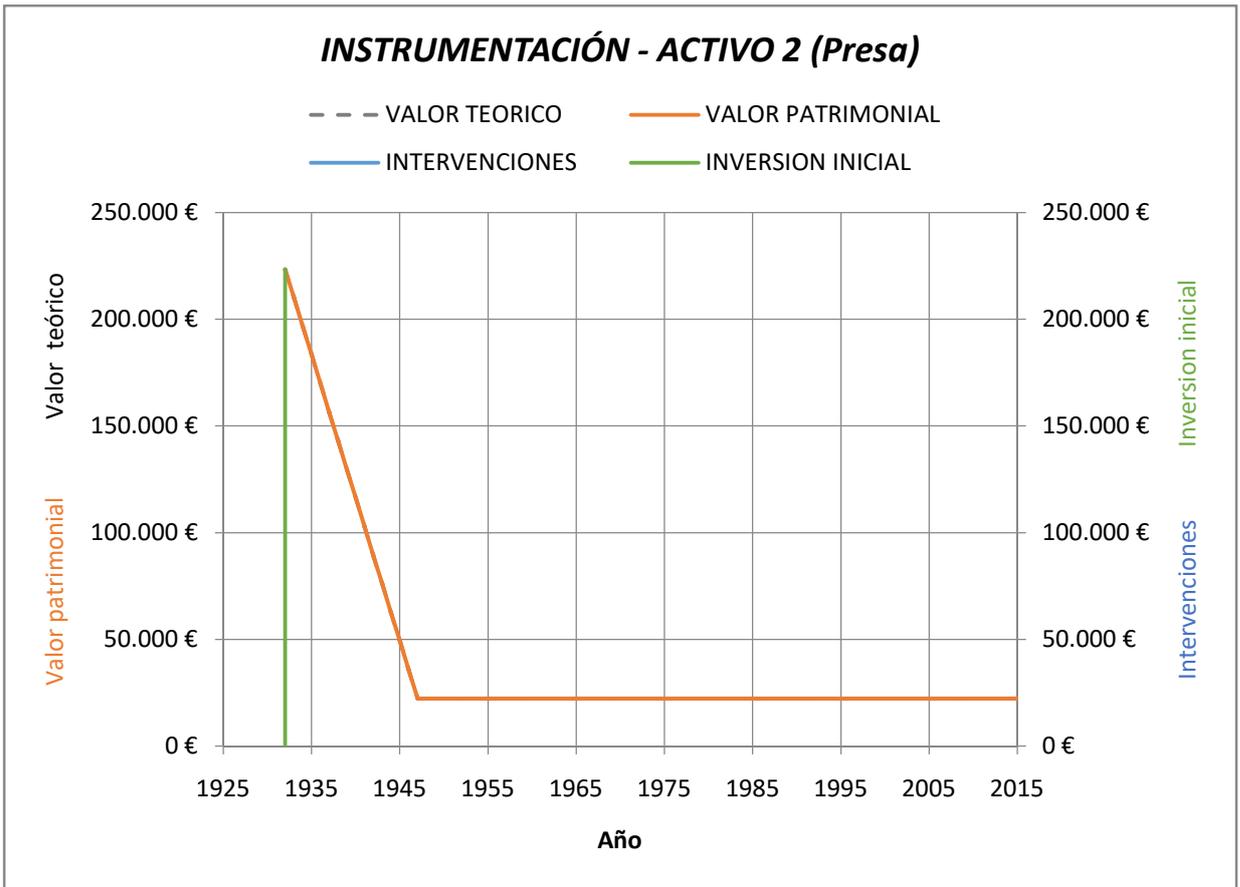
OBRA CIVIL - ACTIVO 1 (Presa)



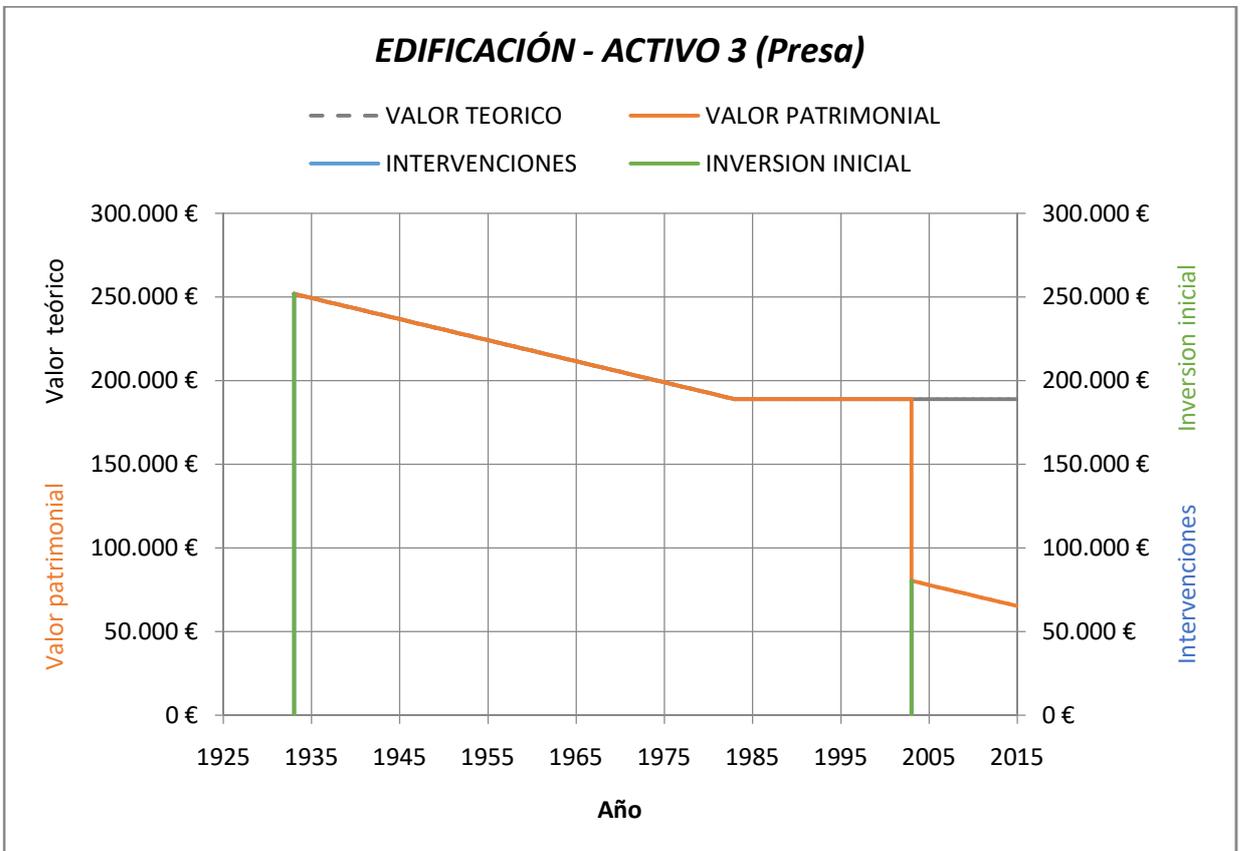
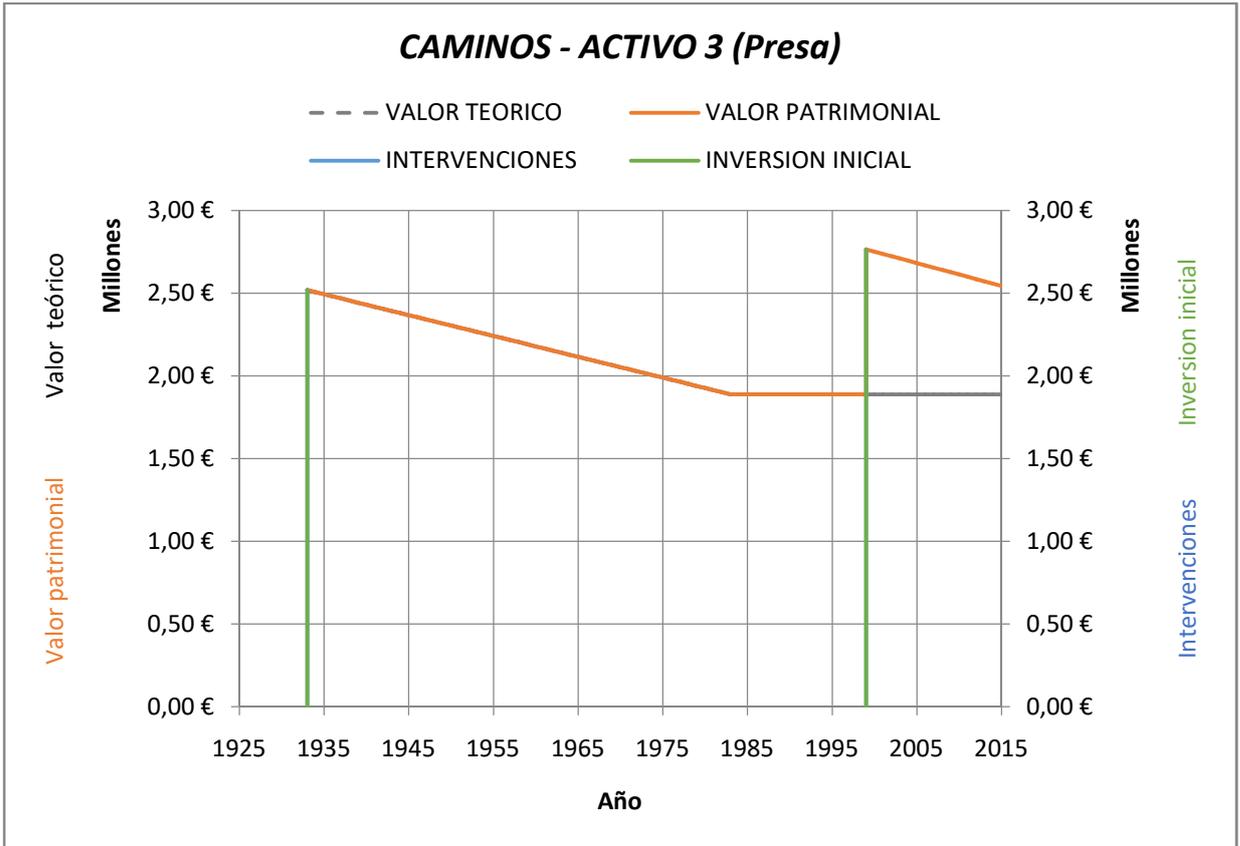
2. Activo 2

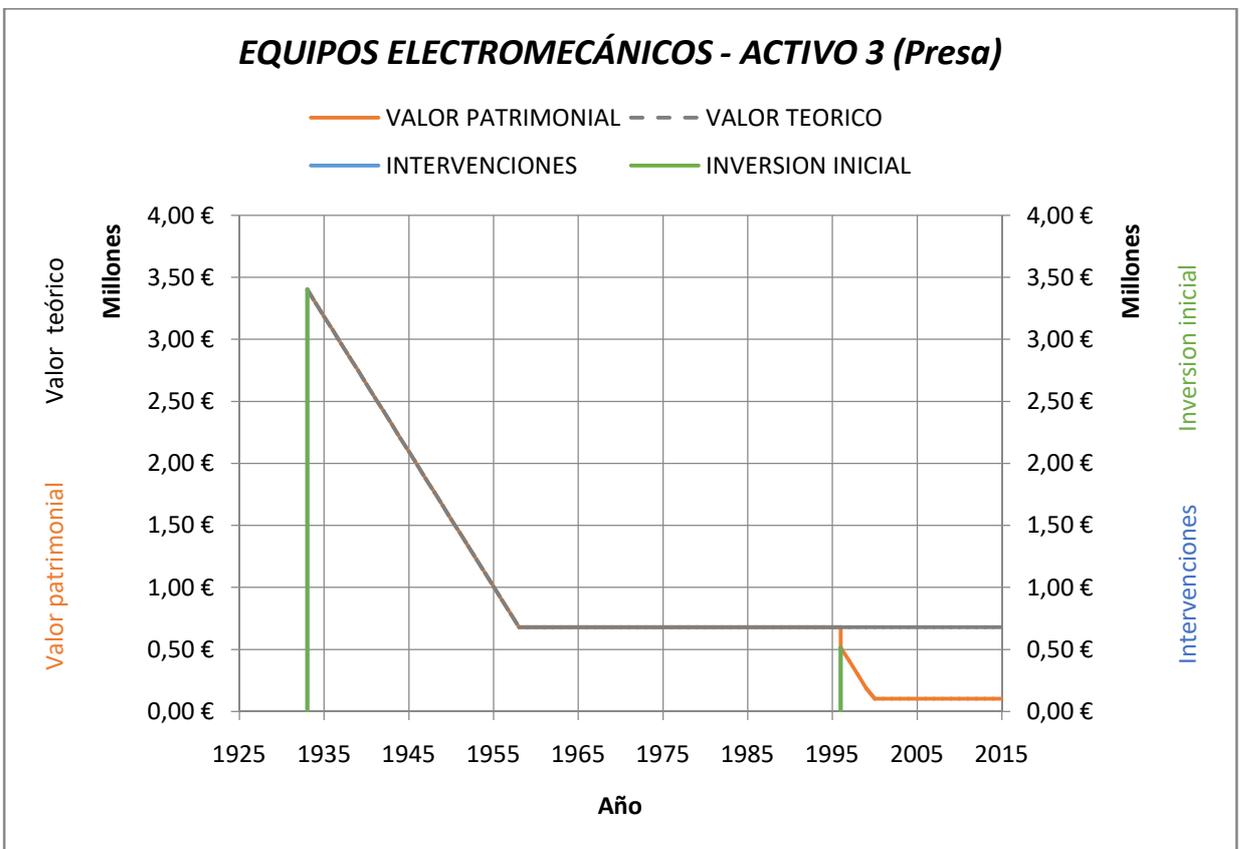
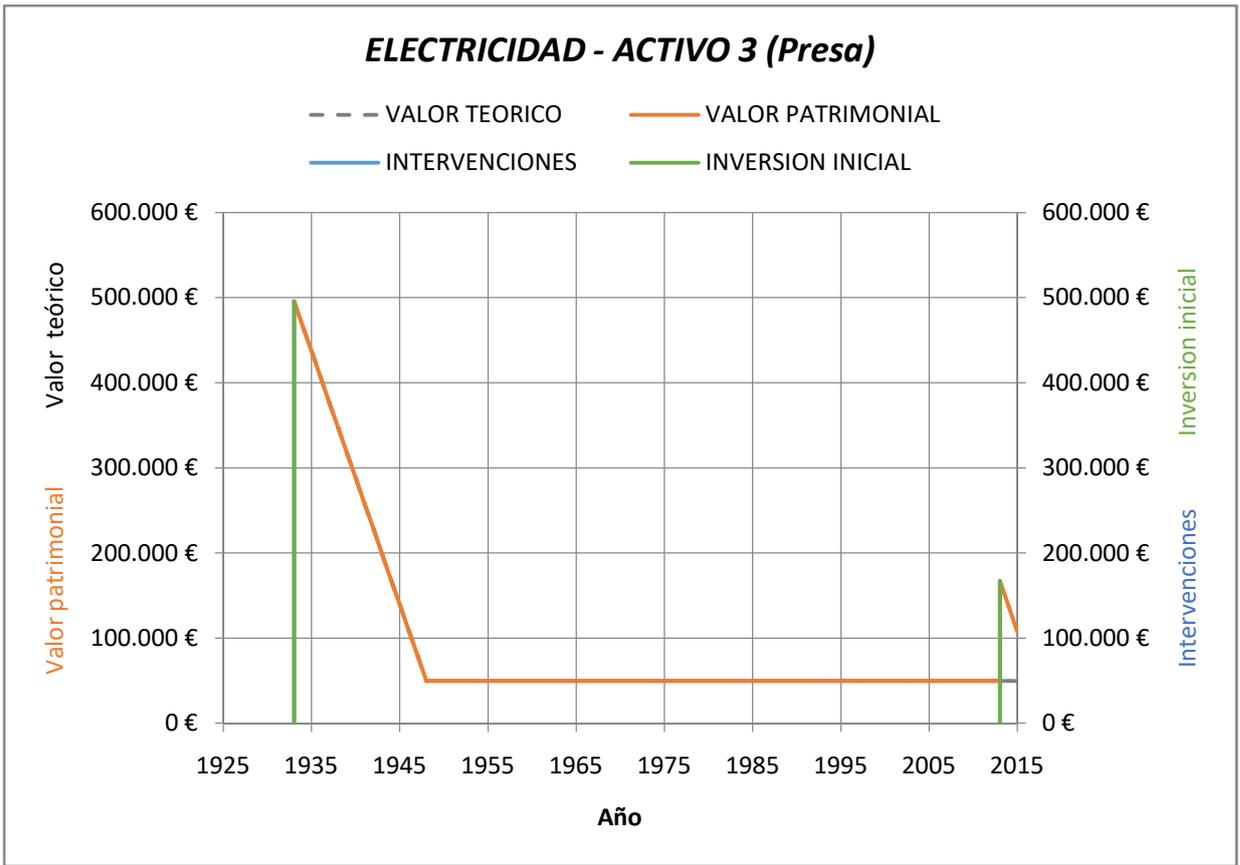


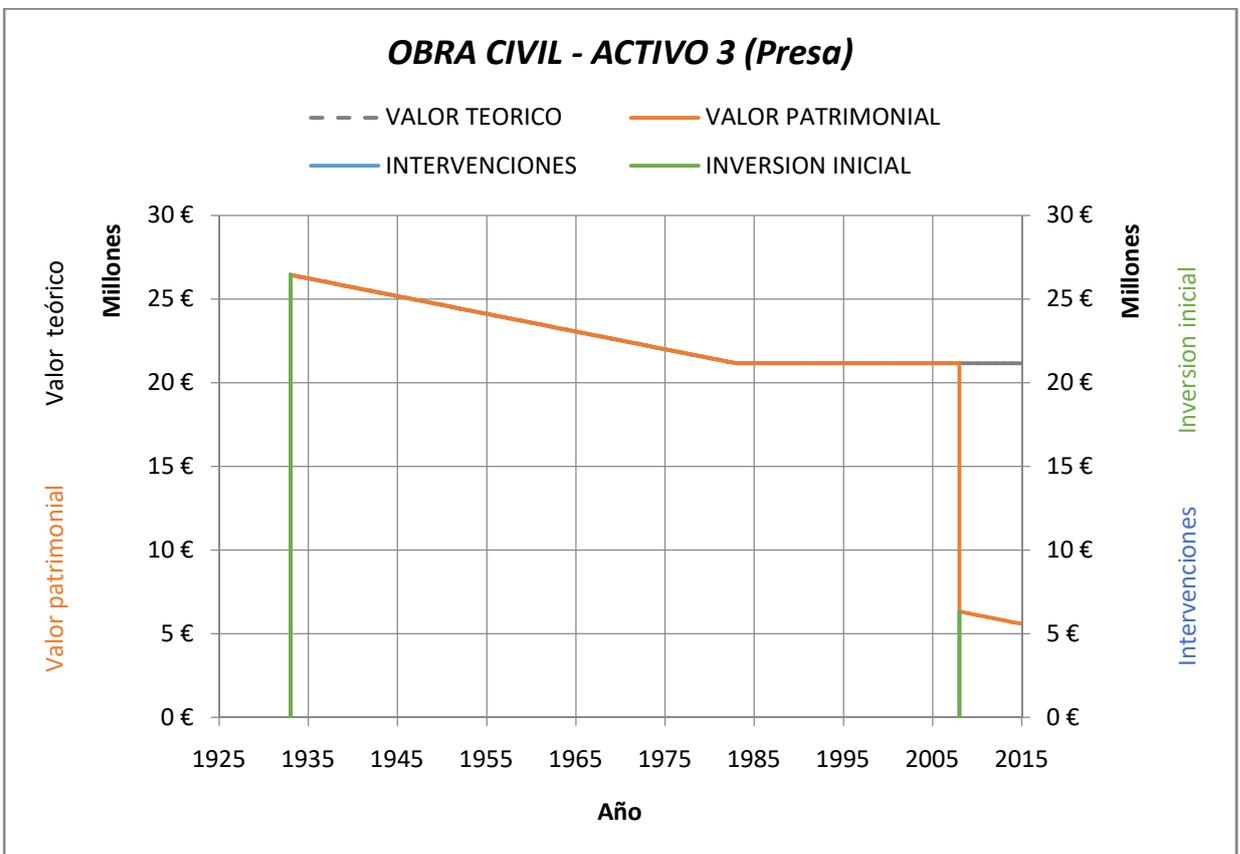
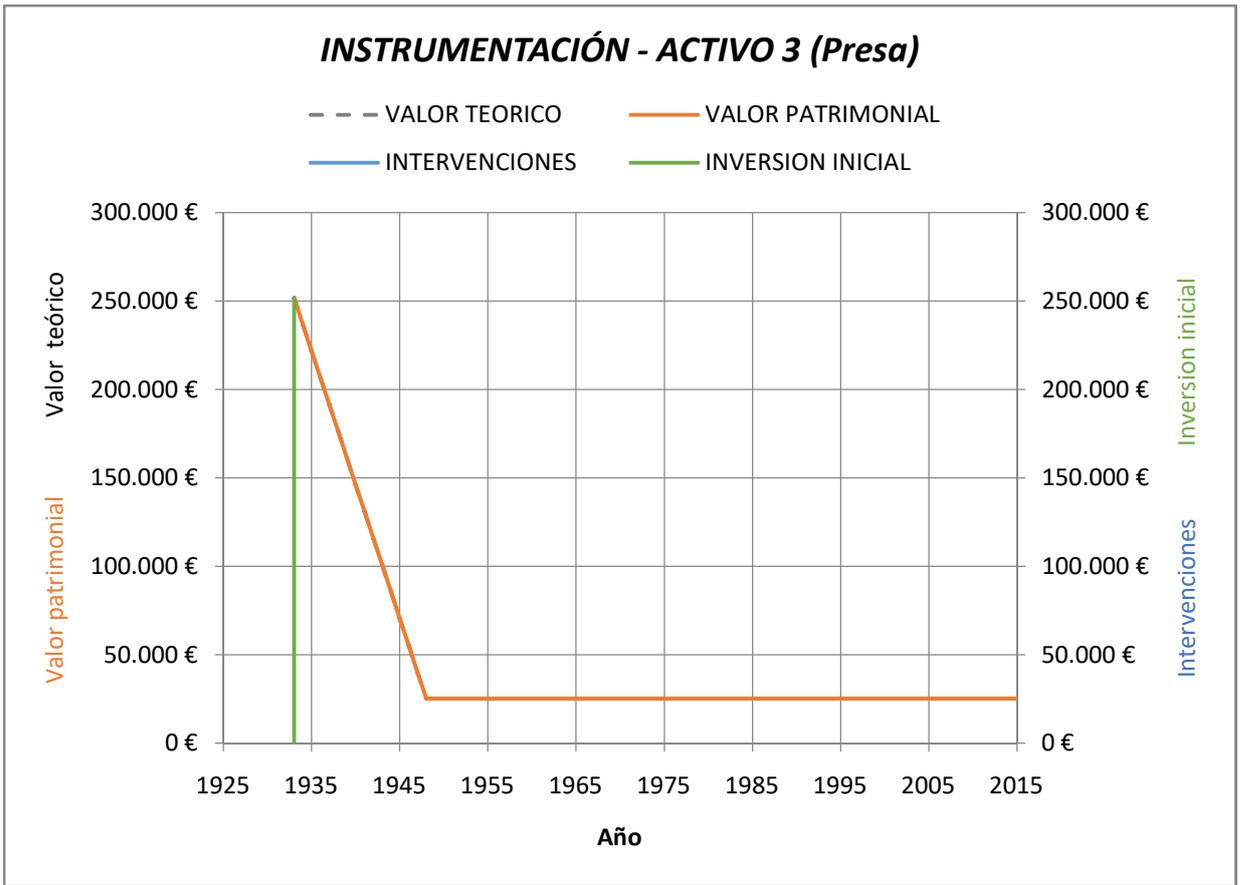




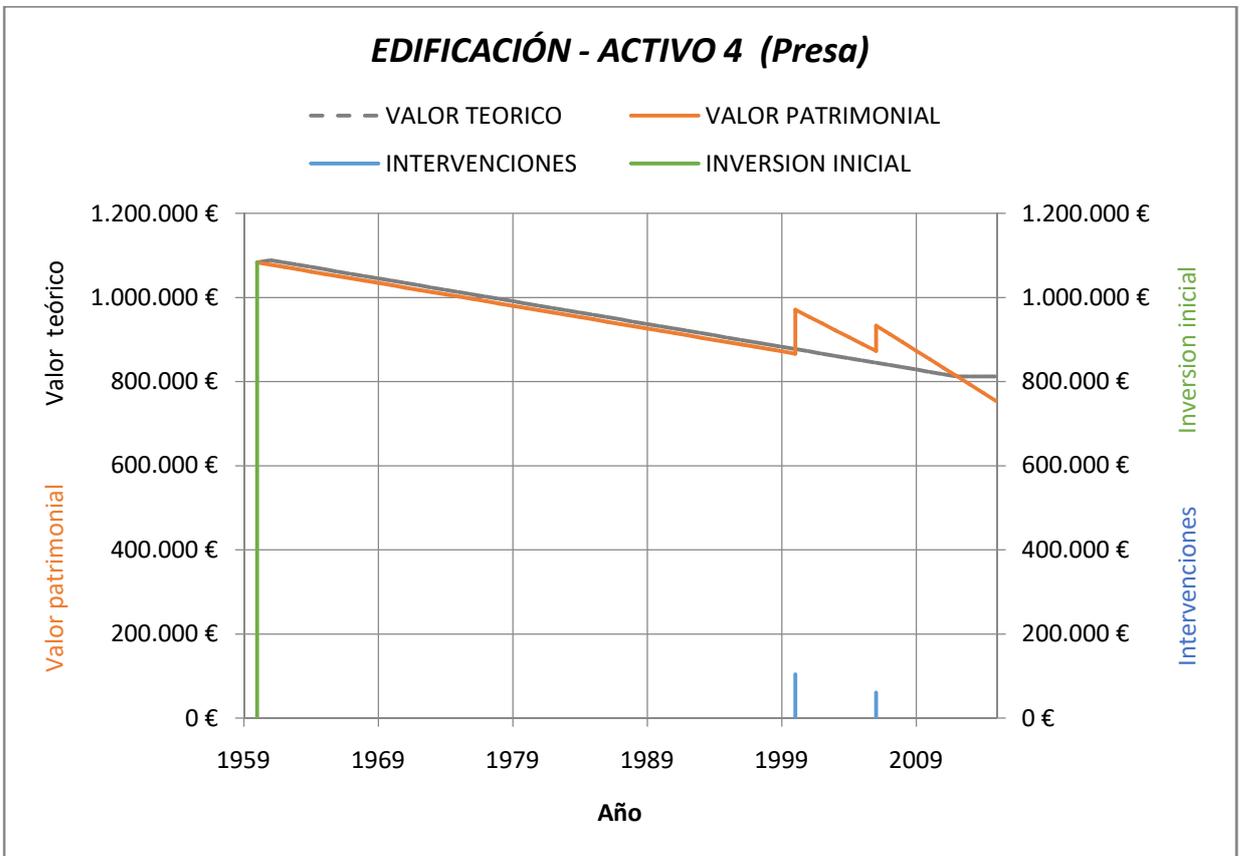
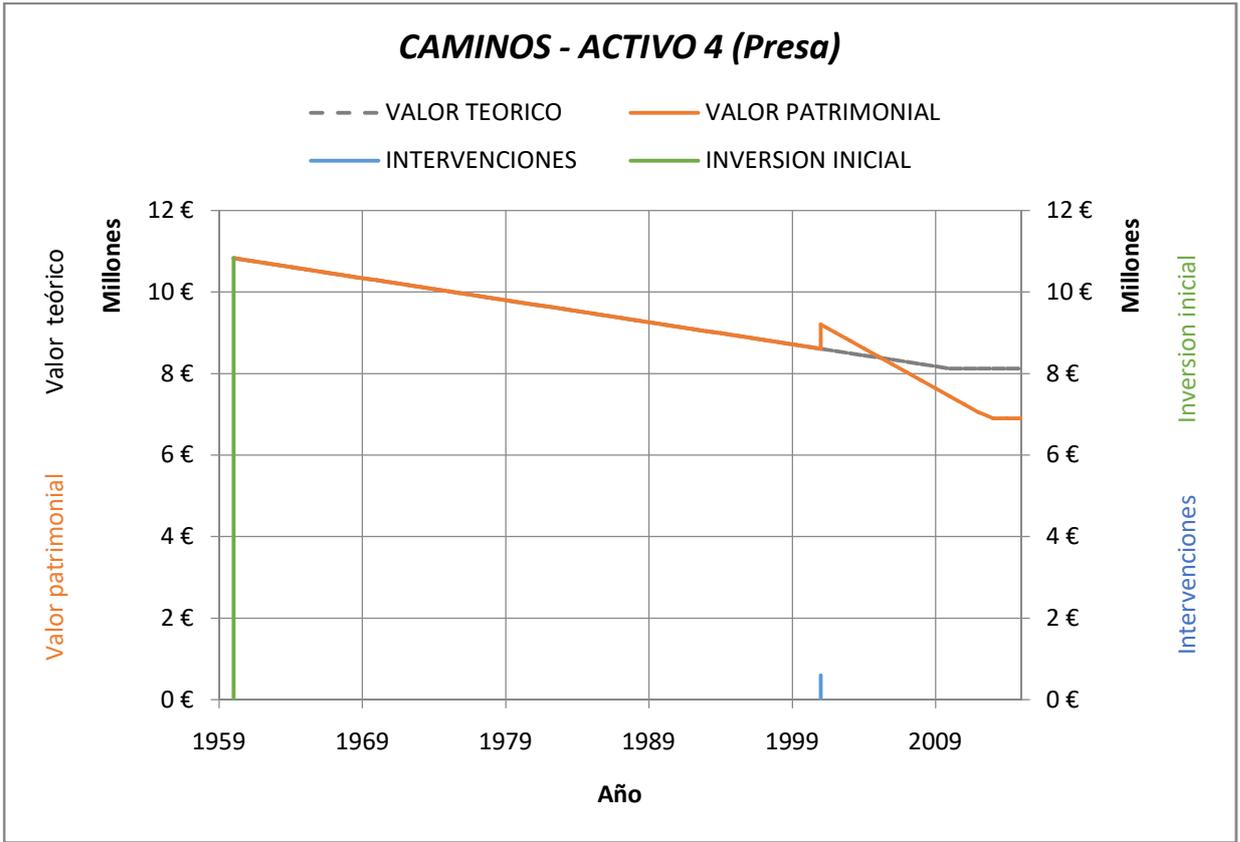
3. Activo 3

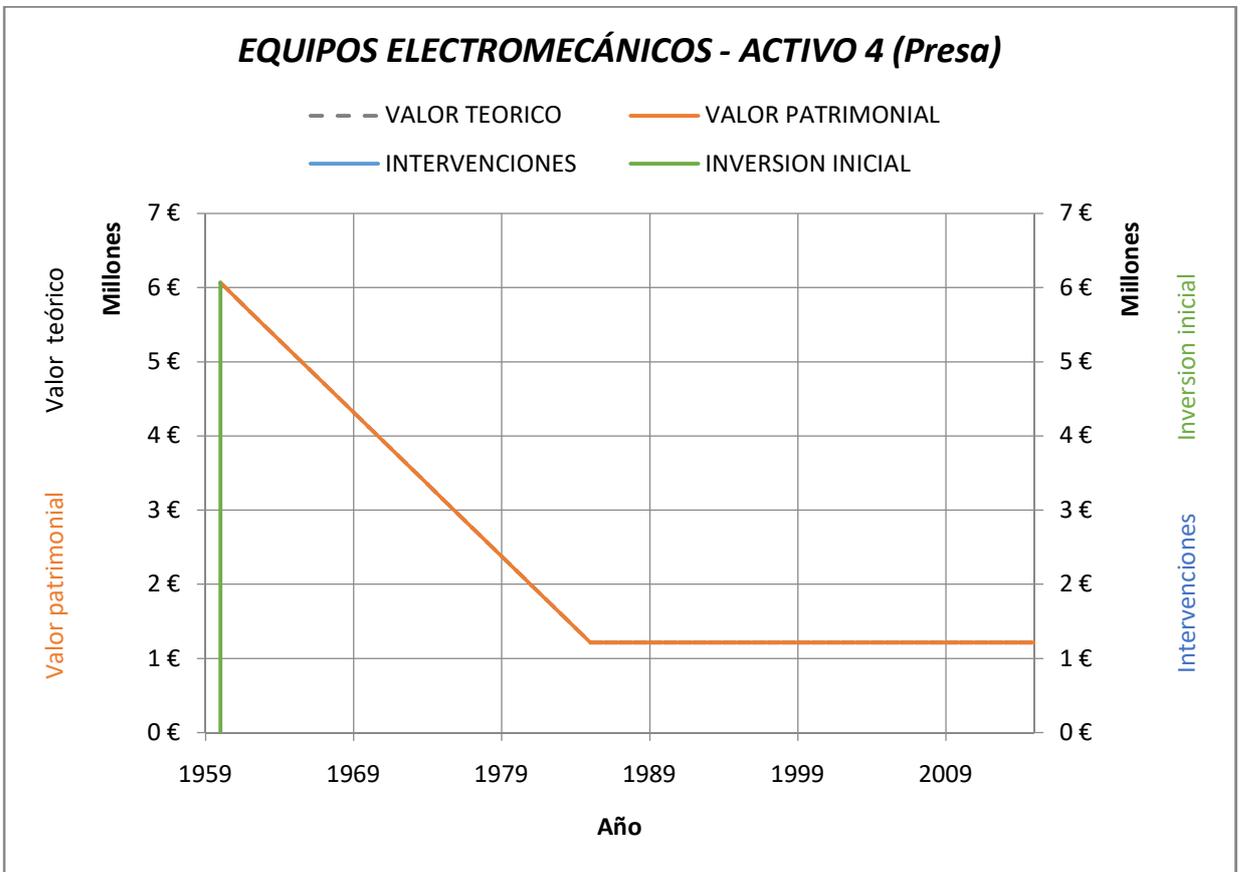
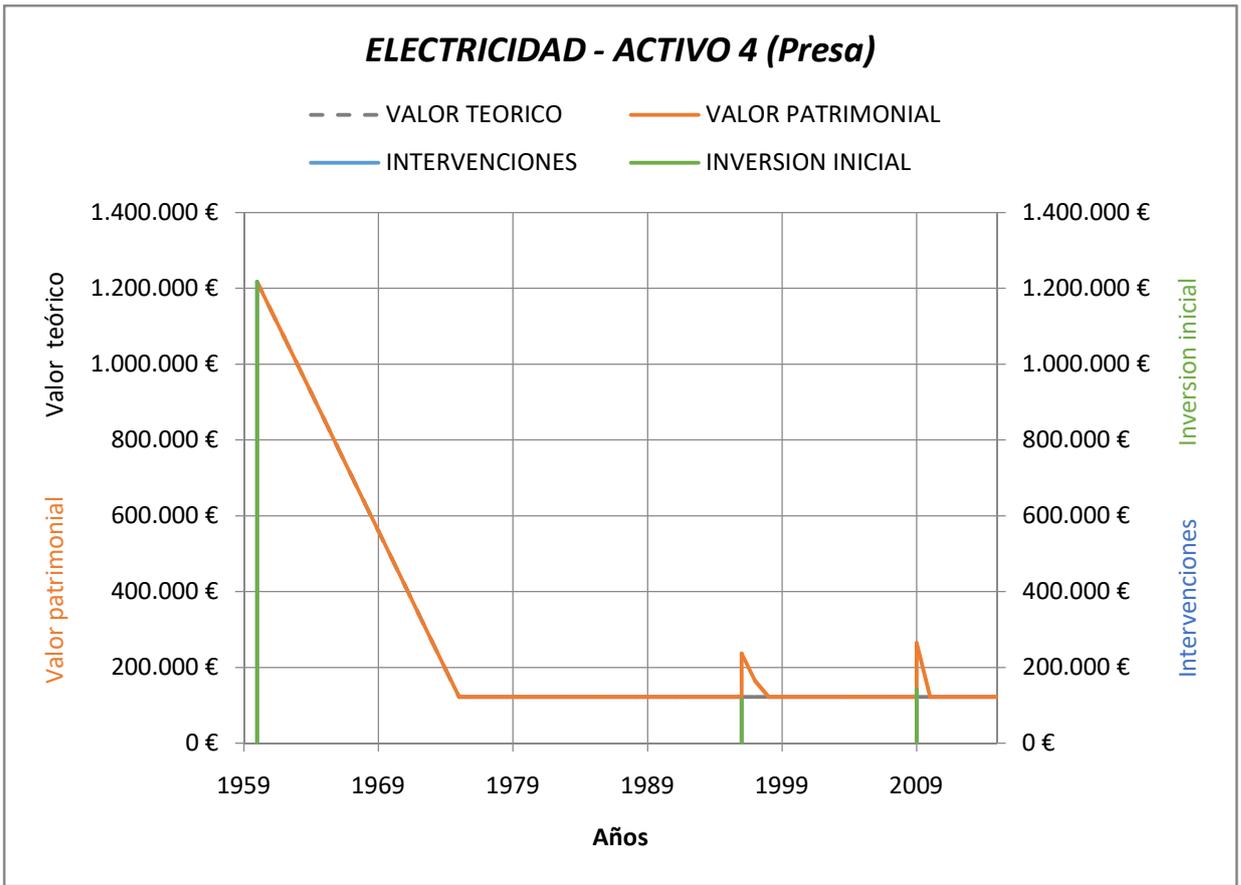


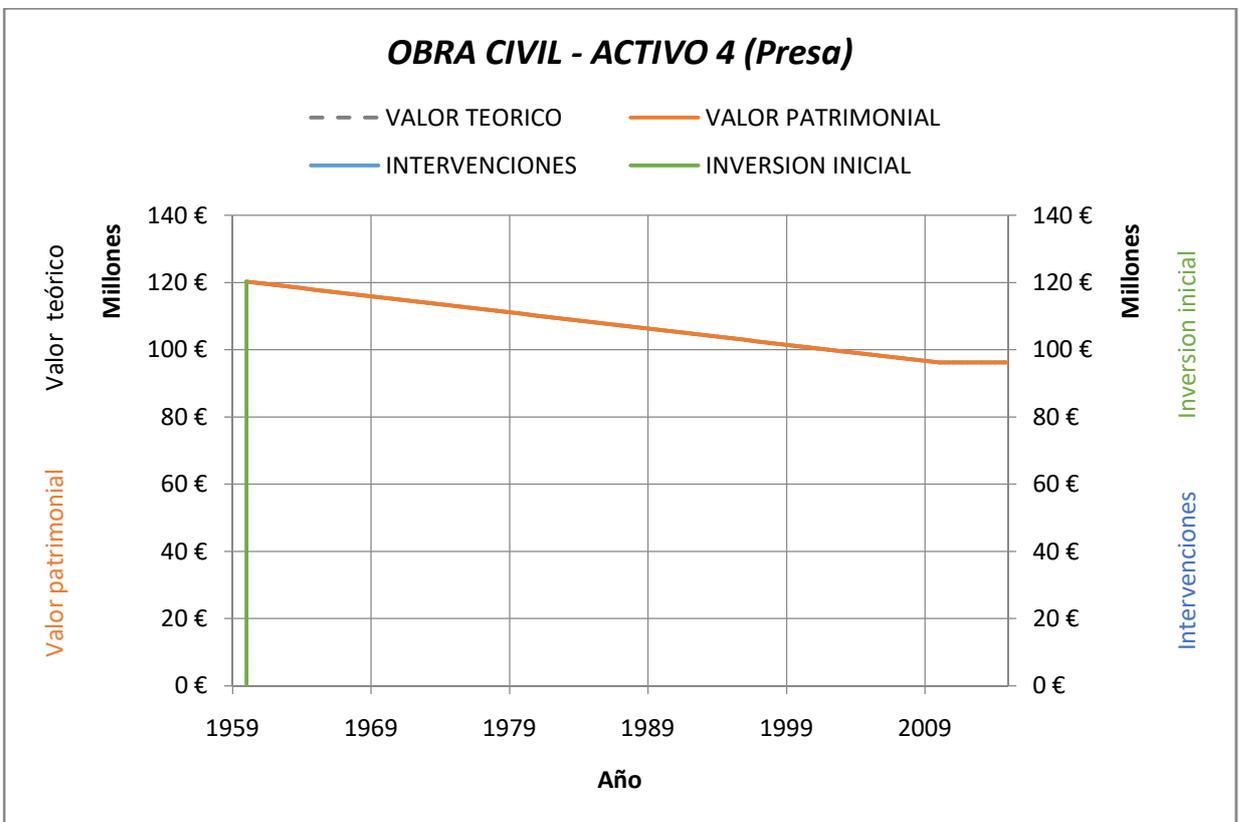
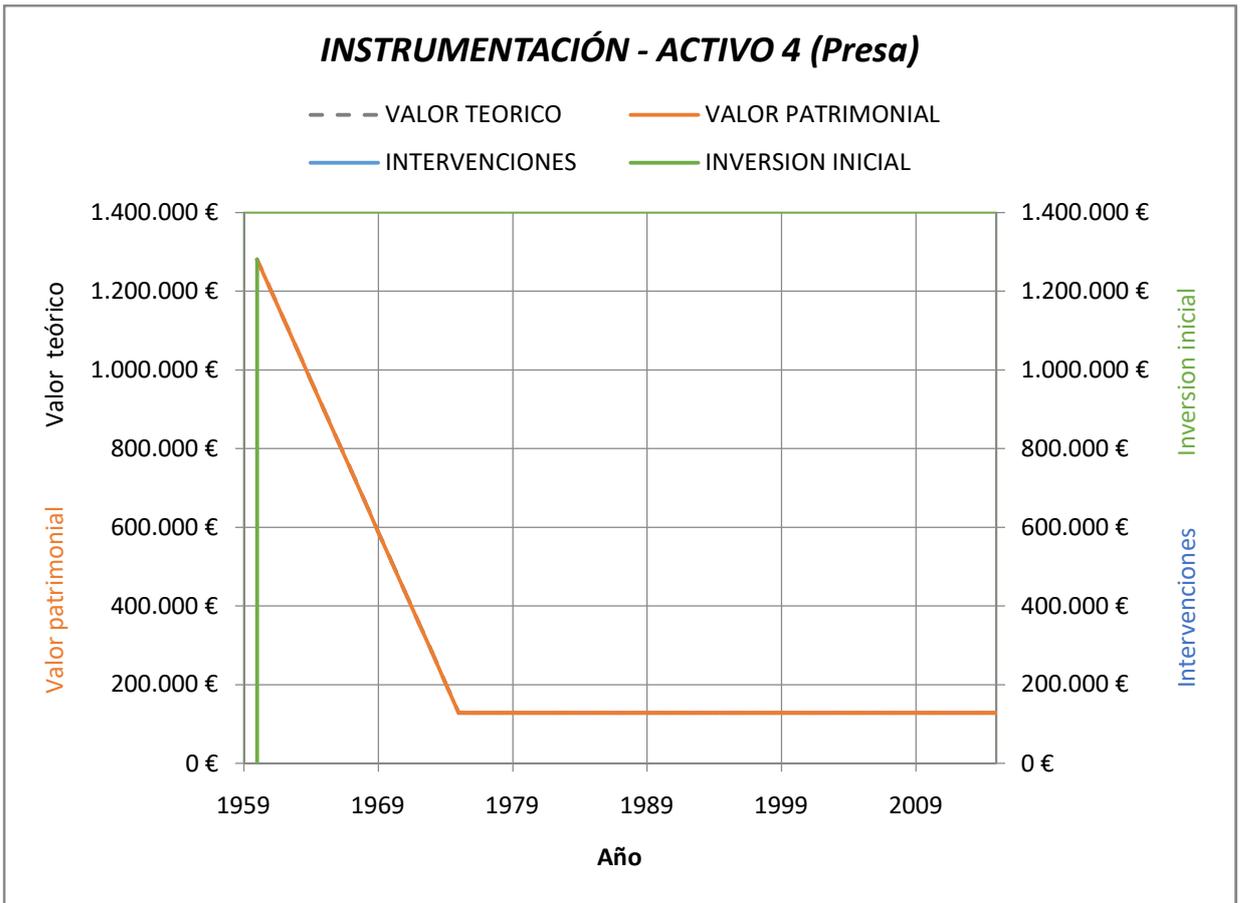




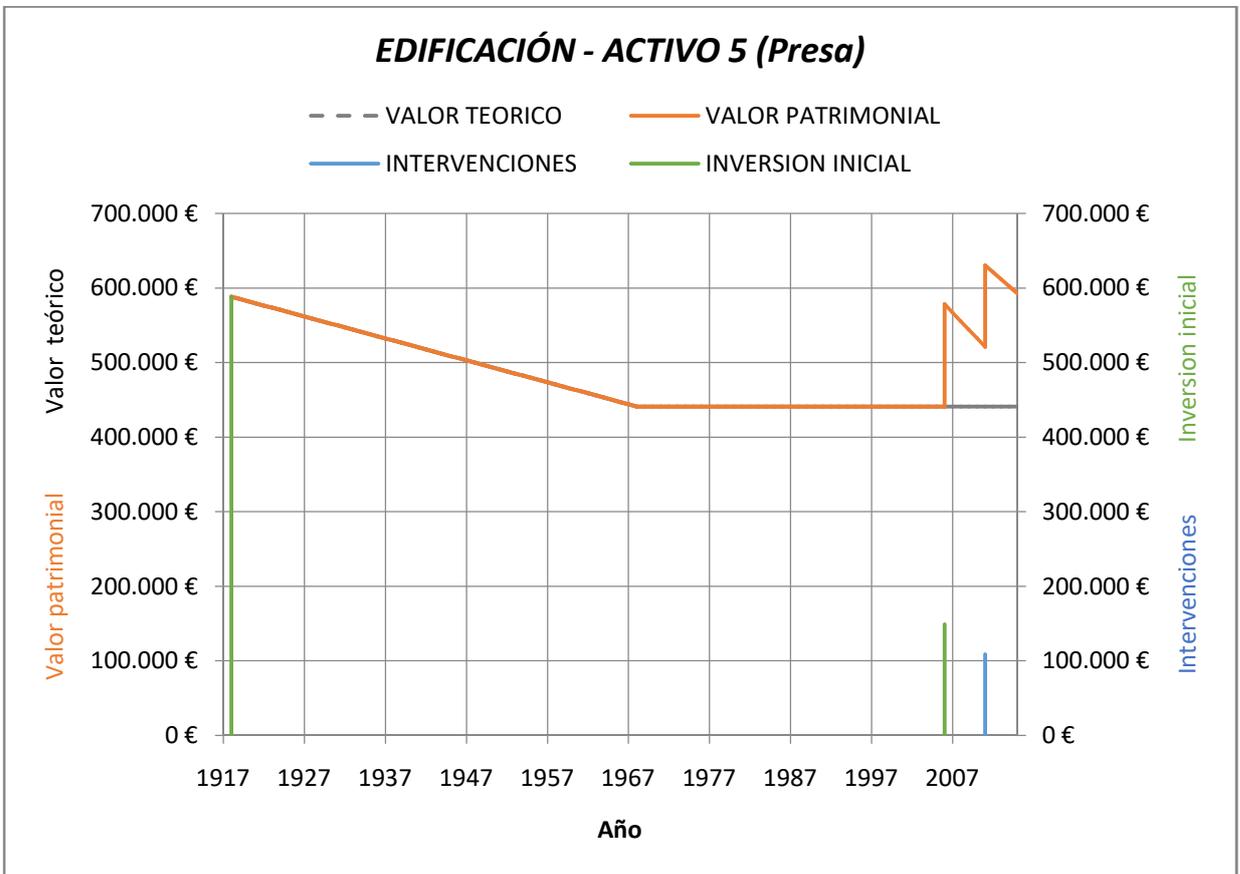
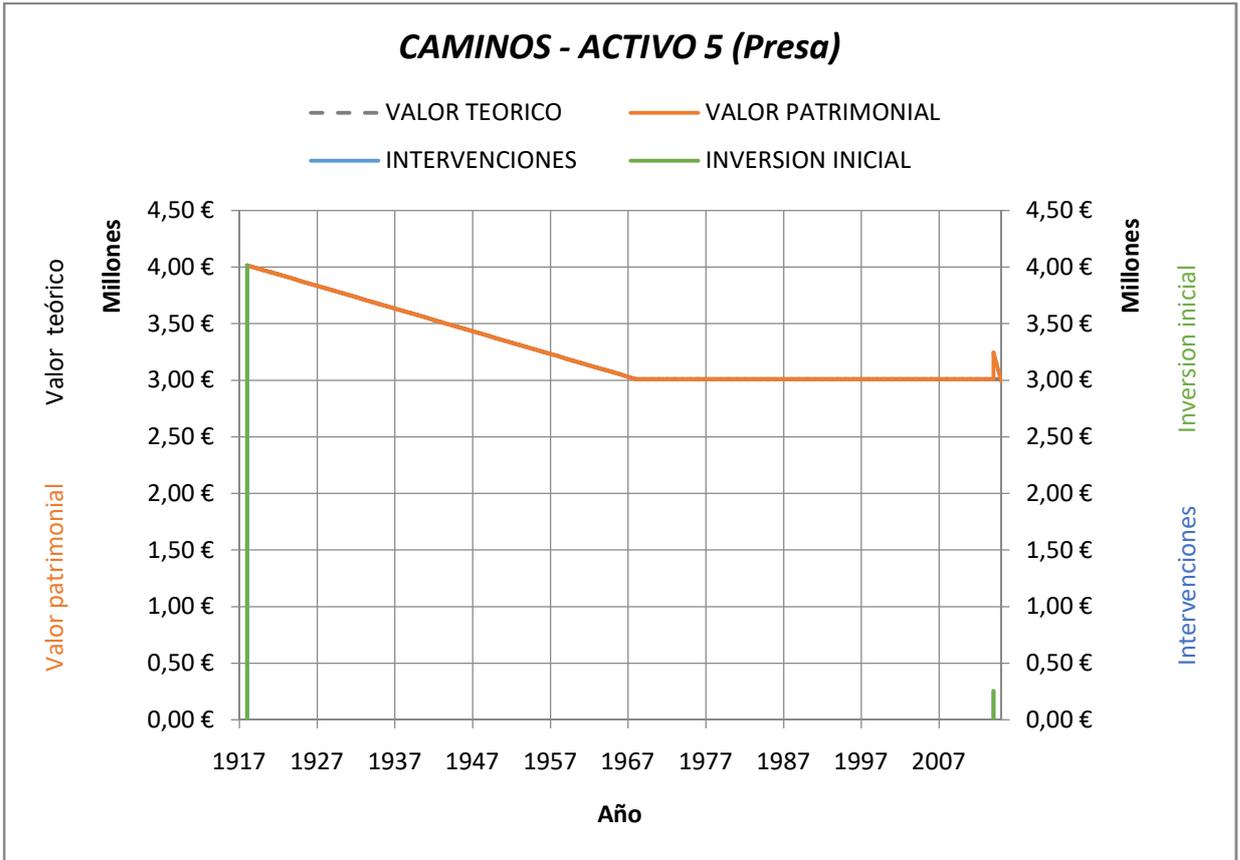
4. Activo 4

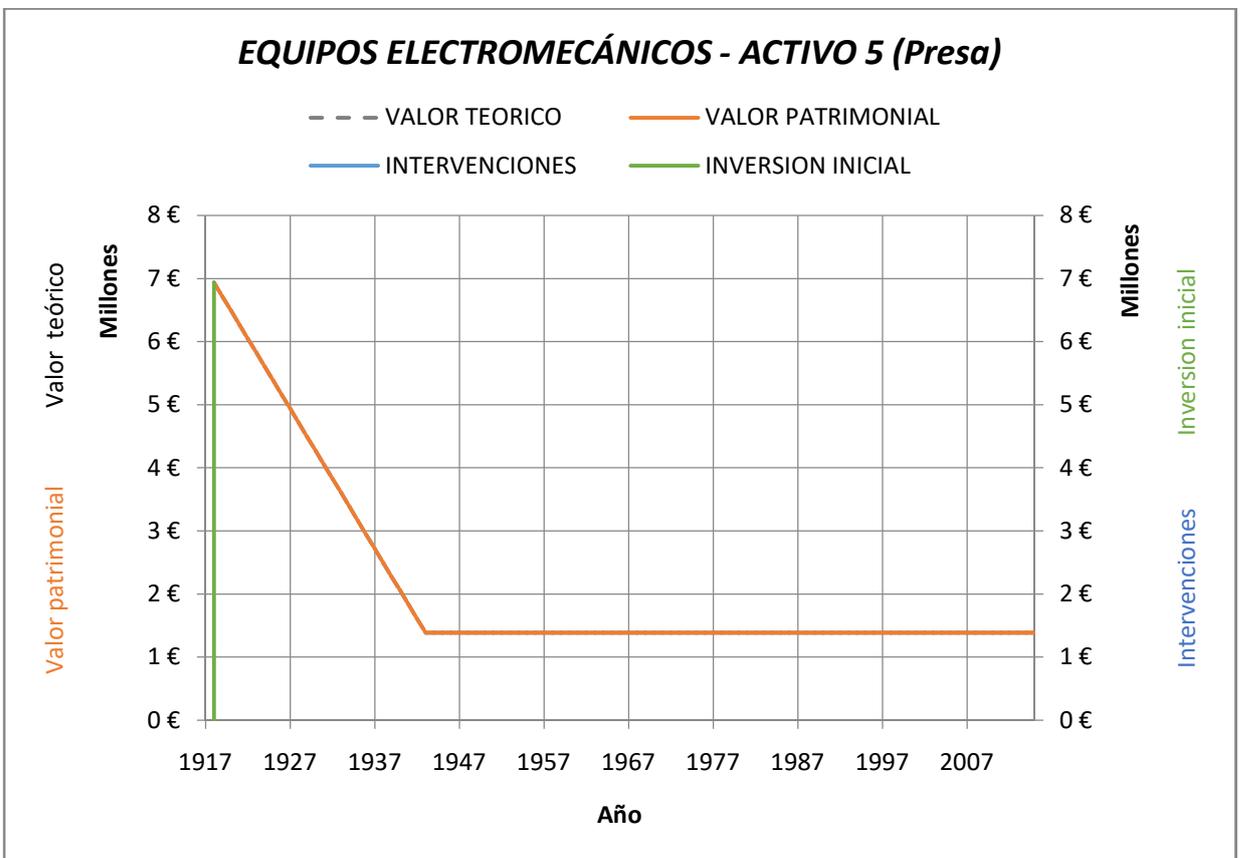
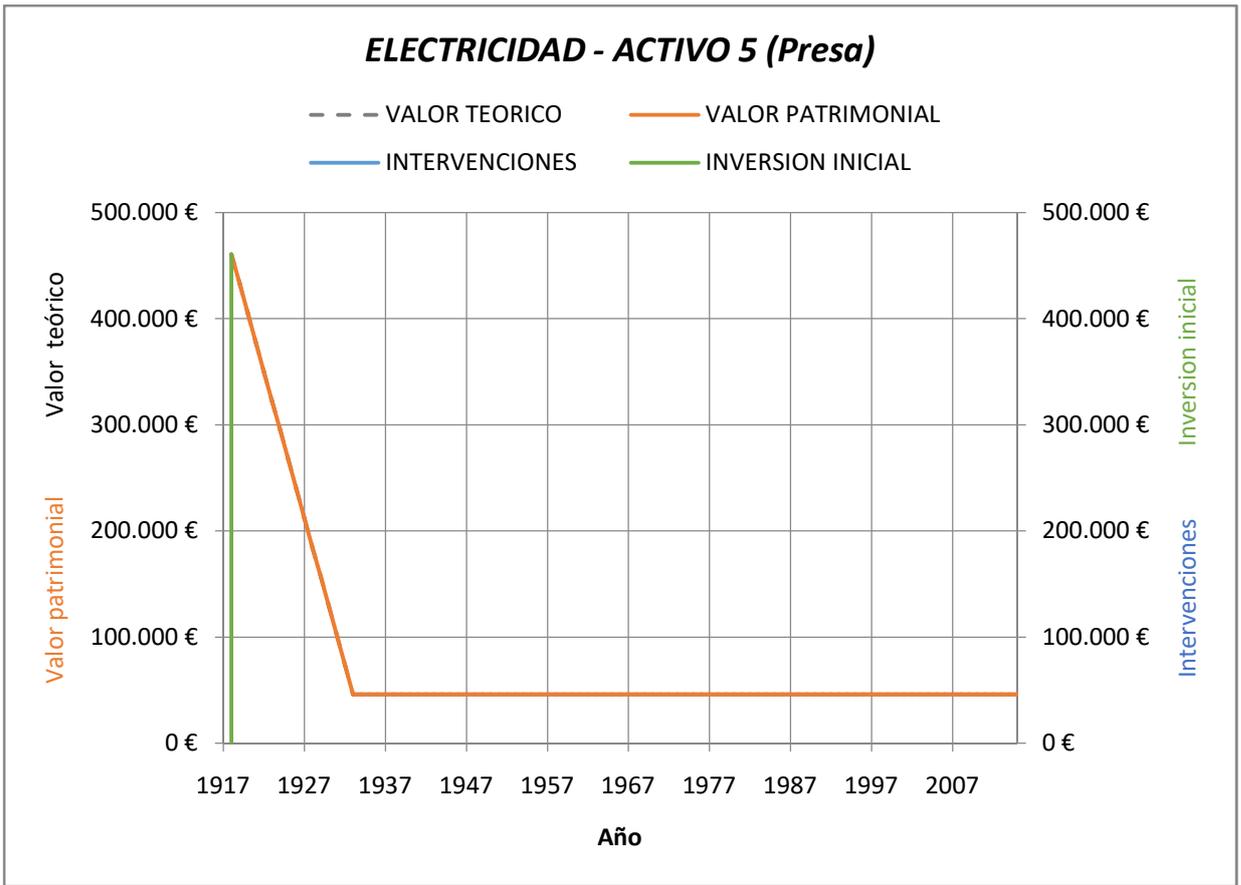


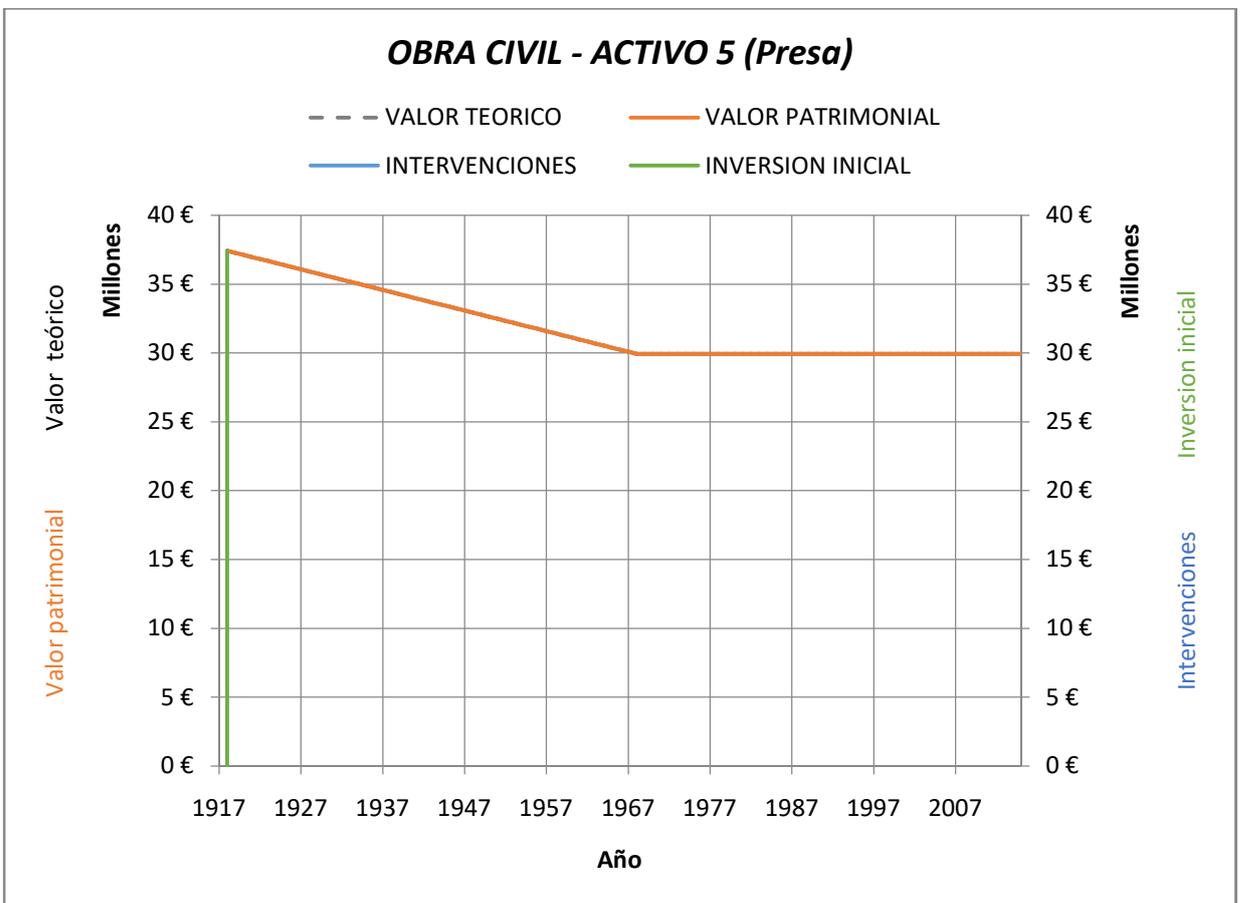
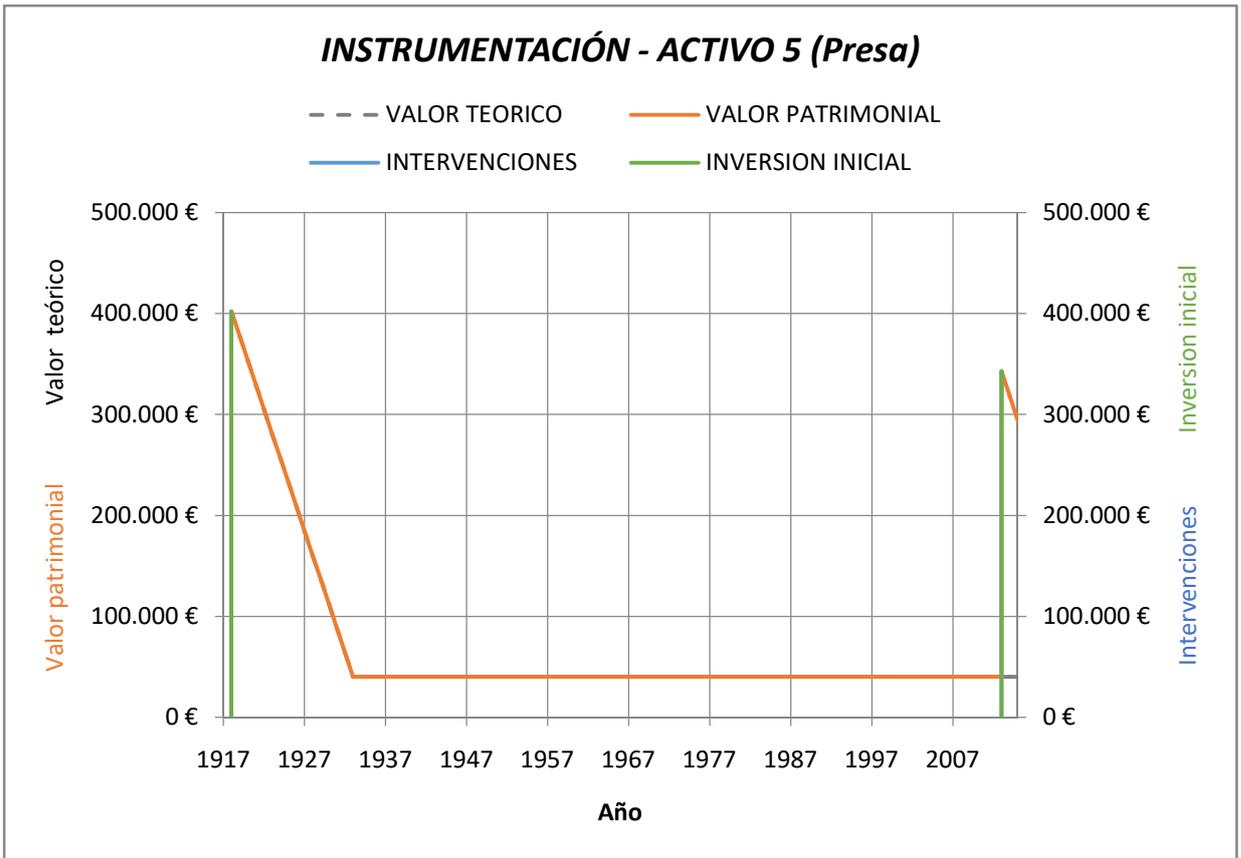




5. Activo 5







Bibliografía

Referencias

Améndola. L. (8 de Marzo 2011). ¿What is Asset Management? PAS 55. Global Asset Management Iberoamérica. Recuperado de www.globalassetmanagement-amp.com

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (octubre 2013) *Best Practices in Asset Management*. Institute of Water Resources (IWR). (página 19)

PMM Institute for Learning (2014). PMM Institute for Learning certifica a ESBI Facility Management España S.l. en PAS 55 Gestión de Activos Físicos. Recuperado de <http://www.pmmlearning.com> (Página 19)

PMM Institute for Learning (Enero 2012). FORD ESPAÑA, PLANTA DE ALMUSSAFES. Recuperado de <http://www.pmmlearning.com> (Página 19)

Infrastructure Value Index: A Powerful Modelling Tool for Combined Long-Term Planning of Linear and Vertical Assets H. Alegre,*, D. Vitorino, S. Coelho.

Bibliografía

Watercare Services Limited.(2011). *Asset Management Plan*.US Army

Alegre, H., Vitorino, D. Y Coelho, S. (2014). Infrastructure Value Index: A powerful Modelling Tool for Combined Long-Term Planning of Linear and Vertical Assets. *Procedia Engineering*, 89(2014), 1428-1436.

Alegre, H. (2013). European experience in asset management and invest planning.

IWA Publishing. (2015). Water asset management international, vol 11, issue 4, p. 3-7.

US Army Corps of Engineers. (2013). *Best Practices in Asset Management*.

Collado, B. Trabajo de fin de grado – La Gestión de Activos de infraestructuras hidráulicas. Propuestas metodológicas para un organismo de gestión de agua en alta.

Carmona, J. Trabajo de fin de grado – La gestión de las infraestructuras del agua: revisión de indicadores clave de desempeño en el marco de la gestión de activos.

Institute of Asset Management. (2008). *PAS 55*.

Organización Internacional de Normalización (ISO). (2014). *ISO 55001, 55002, 55003: Sistemas de gestión*.

CEDEX (2010) – Guía técnica para caracterización de medidas.