

# **1. Introducción y objetivos**

## **1.1. Antecedentes**

---

La idea de esta tesina surgió en colaboración entre el área de estructuras metálicas y el área de estructuras de hormigón como continuación de un proyecto previo realizado por un estudiante de obras públicas [Sadurní, D.; 2004]. Dicho proyecto versaba sobre el corrugado de acero inoxidable en el cálculo seccional del hormigón armado y estuvo tutorizado por la profesora de estructuras metálicas, gran conocedora del comportamiento del acero inoxidable. Este trabajo dejaba clara la viabilidad técnica del uso de acero inoxidable como armadura. Faltaba estudiar la viabilidad económica y ambiental de esta aplicación.

Así fue como surgió la idea de cuantificar las diferencias económicas totales entre el uso de armadura de acero al carbono y armadura de acero inoxidable en estructuras de hormigón. Conscientes de la posición reacia que presenta el gremio de constructores ante la innovación y la dificultad de introducir nuevos procedimientos, nos propusimos redactar un documento donde claramente se valorase tal posibilidad.

La sostenibilidad en la construcción y la afección de esta actividad sobre el medio ambiente es un tema tratado muy superficialmente a lo largo de la carrera. Paradójicamente, los efectos medioambientales del sector de la construcción son muy importantes. Esta tesina se presentaba como una oportunidad para profundizar en ello y ganar en sensibilidad al respecto, no en forma de disertación teórica sino a través de una metodología científica para el estudio del impacto ambiental, el análisis de ciclo de vida.

## **1.2. Introducción**

---

La conciencia de que la durabilidad y la vida útil de las estructuras de hormigón armado con armaduras convencionales de acero al carbono son aspectos críticos han llevado a los redactores de las normativas hoy vigentes a exigir unos recubrimientos y unos anchos de fisura muy restrictivos cuando las clases generales de exposición son especialmente agresivas como por ejemplo en ambientes marinos o en aguas residuales. En algunos elementos resistentes, las restricciones en el ancho de fisura pueden llevar a la necesidad de utilizar cuantías de acero en la armadura principal de tracción significativamente más elevadas que las necesarias para la resistencia. Por otro lado también hay que tener en cuenta la cantidad extra de hormigón que se debe colocar en el recubrimiento. Por esta razón se quiere analizar en detalle la viabilidad económica y ambiental de la utilización de acero inoxidable en elementos de hormigón armado sometidos a clases de exposición agresivas como por ejemplo las aguas residuales.

Recientemente, ha aumentado la preocupación por cómo las actividades humanas afectan al medio ambiente a través de la pérdida de biodiversidad, del adelgazamiento de la capa de ozono, de los cambios climáticos o del consumo de los recursos naturales. En este contexto surge el principio del “desarrollo sostenible” entendido como un desarrollo que responde a las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para cubrir sus propias necesidades.

El sector de la construcción provoca importantes impactos ambientales. Dicho sector emplea alrededor del 15% del consumo mundial de agua [Romano D.; 1996] y origina el 50% de las emisiones que provocan el efecto invernadero, teniendo en cuenta todo el ciclo vital de las estructuras, como por ejemplo las derivadas del mantenimiento de los edificios [Vilanova S.; 1996]. Basándonos en peso, volumen y dinero, la industria de la construcción es el mayor consumidor de materiales en nuestra sociedad. Alrededor de un 40% de todos los materiales utilizados en la producción industrial están relacionados con la industria de la construcción [Romano D.; 1996] [Ho, D.W.S. et al; 2000]. La producción de gran parte de los materiales de construcción provoca un gran impacto en el medioambiente, tanto local como globalmente.

Esto se cumple particularmente en el caso del cemento, uno de los materiales de construcción más abundante. Concretamente en el 2004 se produjeron 2,1 billones de toneladas de cemento en el mundo [Cembureau; 2005]. Por ello, una mayor consciencia medioambiental en forma de una mejor utilización del cemento representa un reto para la industria de la construcción del siglo XXI.

Además de un gran gasto de recursos naturales, la producción del cemento supone un proceso industrial muy contaminante que consume gran cantidad de energía. Cada tonelada de cemento Pórtland producida libera a la atmósfera, al menos, una tonelada de dióxido de carbono además de otros elementos contaminantes [Gjorv, O.E.; 2003]. La producción de cemento Pórtland mundial representa aproximadamente el 5% del total de la emisión global de CO<sub>2</sub> [Gjorv, O.E.; 2003].

Según el Protocolo de Kyoto, los países industrializados deben reducir, de media, un 5,2% por debajo de los niveles de 1990 las emisiones de seis gases de efecto invernadero: CO<sub>2</sub>, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarburos, perfluorocarburos y hexafluoro de azufre. Esta reducción se debería haber logrado durante el primer período de compromiso, del 2008 al 2012.

Por todo ello, un diseño adecuado de las estructuras de hormigón en términos de durabilidad y de larga vida útil es muy importante

Es comúnmente aceptado que uno de los factores limitantes de la durabilidad en estructuras de hormigón es la corrosión de la armadura de acero convencional. Las causas de esta corrosión son primordialmente dos:

- La carbonatación del recubrimiento
- El ataque por cloruros (que atraviesan el recubrimiento y llegan a las armaduras)

El problema de la carbonatación puede ser solventado usando hormigón de buena calidad y con un recubrimiento adecuado del acero. Por el contrario, el ataque por cloruros en zonas de exposición a la corrosión es más difícil de combatir. Los métodos tradicionalmente usados para ello son:

- Aumentar el recubrimiento de hormigón y ó la calidad de dicho hormigón.
- Añadir aditivos inhibidores de la corrosión
- Aplicar protección catódica u otros métodos electroquímicos.

Aun así, ninguna de estas aproximaciones representa una solución al problema, simplemente se limitan a retrasar la corrosión hasta el final de la vida útil de la estructura y en algunos casos el propietario se verá obligado a costear operaciones adicionales de mantenimiento.

El uso de armadura de acero inoxidable representa una solución que nos evade del mantenimiento frente al ataque por cloruros. Aun así el interés hacia este material no era excesivamente elevado hasta hace poco tiempo.

El principal motivo de esta falta de interés era el alto coste del material en comparación con el coste de la armadura de acero convencional. Aún así, la creciente conciencia de los costes de interrupción del uso y mantenimiento y de los costes ambientales está provocando un cambio de actitud, la armadura de acero inoxidable empieza a recibir una mayor consideración.

El uso de materiales resistentes a la corrosión como el acero inoxidable conlleva un coste superior al uso de acero al carbón básicamente por la mayor aleación que contiene. Aún así, en estos últimos años el coste del armado de acero inoxidable ha disminuido significativamente aunque continua siendo varias veces mayor al del acero al carbono. Para usar el acero inoxidable de forma “económica” hay que tener en cuenta:

- El grado de acero inoxidable más adecuado para cada caso.
- El acero inoxidable se usa allí donde se necesita prevenir la corrosión.
- Los costes estimados se basan en el coste total de la construcción y no sólo en el coste adicional del acero inoxidable. En este contexto los costes introducidos por el uso de acero inoxidable se pueden ver contrarrestados con la relajación de las exigencias relacionadas con la durabilidad.

La armadura de acero inoxidable podría suponer un paso adelante en el compromiso con el medio ambiente. Su mayor resistencia a la corrosión nos permite trabajar con recubrimientos menores y con mayores anchos de fisura. Esto supone un ahorro en hormigón además de en la cantidad de armadura necesaria. La pregunta es, ¿contrarrestará este ahorro al coste introducido por el uso de acero inoxidable?

### **1.3. Objetivos**

---

Los objetivos generales planteados para desarrollar esta tesina son los que se recogen a continuación:

- Estudiar las propiedades del acero inoxidable como armadura,
- Distinguir las diferencias que introduce el hormigón armado con acero inoxidable en el proyecto de estructuras en comparación con el armado de acero al carbono
- Investigar sobre la normativa existente.
- Conocer experiencias de este uso.
- Hallar una metodología que permita comparar diferentes productos en términos de sostenibilidad.
- Estudiar si existen costes económicos derivados del impacto ambiental.

Estos objetivos generales permitirán dibujar un marco de situación, a partir del cual sea posible alcanzar un objetivo más específico como el que supone resolver sobre la viabilidad ambiental y económica del uso de corrugado de acero inoxidable en el armado de estructuras de hormigón expuestas a ambientes agresivos. Es decir, determinar si el sobrecoste económico introducido por el uso de acero inoxidable se ve contrarrestado por el ahorro en materiales y consecuentemente en costes ambientales. Para ello se estudia como caso concreto un depósito contenedor de agua residual ya que en este ambiente agresivo al que se ve expuesto el hormigón puede resultar ventajoso el uso de corrugado de acero inoxidable.

Este análisis pretende ser un paso más para que proyectistas y constructores contemplen la posibilidad de utilizar el acero inoxidable como armadura en las estructuras en que pueda resultar ventajoso.

#### **1.4. Contenido del documento**

---

Para el desarrollo de esta tesina y el alcance de los objetivos propuestos es necesario, en primer lugar, realizar una recopilación de toda la información disponible en la literatura científica. Por esta razón la tesina empieza con un capítulo sobre el estado de conocimiento del acero inoxidable dónde se contemplan todas las características de este material, sus puntos fuertes y sus puntos débiles.

A continuación se presenta el estado de conocimiento del armado de acero inoxidable, capítulo en que se recogen los pros y los contras, la normativa existente y la experiencia en este campo.

Una vez establecidas las bases y las condiciones del uso de las armaduras de acero inoxidable se procede a analizar su viabilidad ambiental y económica. Este estudio se desarrolla mediante una comparación con el armado de acero al carbono por ser el de uso convencional. Para el análisis comparativo es necesario determinar una unidad funcional en la que sea justificable un posible uso de armadura de acero inoxidable. Tras el estudio de las virtudes e inconvenientes del armado de acero inoxidable se elige como unidad funcional más adecuada un depósito contenedor de aguas residuales.

El análisis ambiental se plantea con la intención de hacerlo lo más objetivo y contrastable posible. Para ello se escoge el análisis de ciclo de vida (ACV), un procedimiento regulado por las normas ISO 14040 a 14043 de reconocimiento internacional. En primer lugar se define la metodología del ACV y seguidamente se realiza un ACV comparativo entre un depósito armado con acero al carbono y otro armado con acero inoxidable.

El análisis económico se divide en dos partes, en primer lugar el coste directo de los materiales y la puesta en obra y en segundo lugar el coste que supone en el mercado europeo de CO<sub>2</sub> las emisiones generadas durante todo el ciclo de vida del depósito.

Para finalizar se recogen en un capítulo todas las conclusiones extraídas de esta tesina.