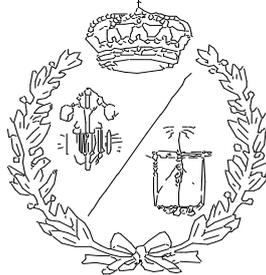


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Grado

**LA IMPORTANCIA DEL DISEÑO EN LA
CORROSIÓN DE LOS MATERIALES: CASO
PARTICULAR DE LA PASARELA DE LA
ETSIIT, UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
(THE IMPORTANCE OF DESIGN ON MATERIAL
CORROSION: PARTICULAR CASE OF THE
ETSIIT FOOTBRIDGE, UNIVERSITY OF
CANTABRIA)**

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: Diego Agudo Saiz

Julio - 2017

TÍTULO	LA IMPORTANCIA DEL DISEÑO EN LA CORROSIÓN DE LOS MATERIALES: CASO PARTICULAR DE LA PASARELA DE LA ETSIIT, UNIVERSIDAD DE CANTABRIA		
AUTOR	DIEGO AGUDO SAIZ		
DIRECTOR / PONENTE	MARÍA VICTORIA BIEZMA MORALEDA		
TITULACIÓN	<i>GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES</i>	FECHA	Julio de 2017

PALABRAS CLAVE

Corrosión, diseño, recubrimiento, inspección, mantenimiento

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La corrosión es un fenómeno que provoca grandes pérdidas económicas y, en ocasiones, catástrofes. Se considera necesario cambiar el actual enfoque reactivo frente a la corrosión, en el que no se realizan actuaciones, hasta que el estado de deterioro es avanzado, por un enfoque proactivo, en el que se busca prevenir la aparición de la corrosión. La forma más efectiva de conseguir esto es actuar desde el diseño, etapa con la que la corrosión tiene una estrecha relación, y en la que el ingeniero tiene el mayor impacto sobre el proyecto.

Para ilustrar este problema, y establecer un ejemplo de aplicación de dicho enfoque proactivo, se estudia en este Trabajo Fin de Grado la pasarela que une la E.T.S. de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación (ETSIIT), con la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria, una gran estructura de menos de 25 años de antigüedad, que presenta en la actualidad un estado de corrosión notable en sus elementos estructurales.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Mediante inspección visual se realiza un diagnóstico de la problemática que presenta la estructura de la pasarela, focalizando la atención en los errores de diseño, definiendo su problemática y sus consecuencias, y proponiendo soluciones.

Se ensayan comparativamente dos maquetas, de geometría y material similar a los elementos estructurales más afectados de la pasarela, con dos diseños diferentes en cuanto a su montaje y sistema de protección, mediante ensayos de corrosión acelerados por semi-inmersión, con el objetivo de estudiar el alcance de la sinergia entre diseño y corrosión en la estructura.

Se valora el impacto estructural de la corrosión en los elementos más afectados de la pasarela, identificados por inspección visual, mediante análisis por elementos finitos, valorando una gran variedad de hipótesis (41 hipótesis diferentes).

Se propone un diseño alternativo de la pasarela más resistente frente a la corrosión, solucionando los errores de diseño y de acuerdo al estado del arte, el cual se modela mediante software de diseño asistido por ordenador (CAD).

Se plantea una vía de actuación frente al estado actual de deterioro de la pasarela, consistente en un proyecto de restauración que, además, permite actualizar el diseño de la estructura al estado del arte, cuyas tareas se definen con precisión, y se valoran económica y temporalmente.

Se diseña un plan de inspección y mantenimiento para asegurar la durabilidad de las actuaciones proyectadas en la restauración y, por tanto, de la estructura, en el cual se han proyectado labores de inspección y acciones preventivas y correctivas. Estas tareas se definen claramente, indicando sus responsables y su frecuencia de realización

CONCLUSIONES / PRESUPUESTO

- El ensayo comparativo muestra el gran impacto que la fase de diseño posee en el comportamiento frente a la corrosión ya que, en la duración del ensayo, se observa una gran diferencia entre los dos diseños estudiados, así como el efecto negativo que tienen los errores de diseño.
- El análisis por elementos finitos permite determinar que, la pérdida de sección por corrosión que presentan en la actualidad en el ala superior los perfiles más numerosos de la pasarela, tiene gran impacto estructural. En las hipótesis valoradas, la pérdida de sección por corrosión causa un incremento de las tensiones máximas de Von Mises y del desplazamiento máximo.
- El proyecto de restauración planteado supone un presupuesto de ejecución por contrata de 31.603,03€ (Treinta y un mil seiscientos tres euros con tres céntimos) y una estimación temporal de 38 (Treinta y ocho) días laborables, por lo que se considera perfectamente abordable en ambos aspectos
- El plan de inspección y mantenimiento propuesto es innovador ya que, en la actualidad, en los proyectos que contienen estructuras metálicas, no se contemplan estas actuaciones de una forma tan exhaustiva y precisa.

BIBLIOGRAFÍA

- AENOR. 1999. UNE-EN ISO 12944: *Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores*. Madrid: AENOR
- LANDRUM, R. J. 1992. *Fundamentals of designing for corrosion control: a corrosion aid for the designer*. Houston: NACE
- PLUDEK, V. R. 1977. *Design and corrosion control*. London: Macmillan Press

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1. OBJETO, OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN.....	5
1.1 OBJETO	6
1.2 OBJETIVOS.....	6
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	7
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE	9
2.1 DETERIORO MATERIAL: CORROSIÓN	10
2.1.1 Consecuencias de la corrosión	11
2.1.2 Tipos de corrosión.....	14
2.1.3 Corrosión electroquímica o húmeda	15
2.1.4 Corrosión atmosférica	16
2.1.5 Corrosión uniforme o generalizada	18
2.1.6 Corrosión por picadura.....	19
2.1.7 Corrosión en resquicio	22
2.2 RELACIÓN ENTRE CORROSIÓN Y DISEÑO	24
2.3 CONTROL DE LA CORROSIÓN.....	27
2.3.1 Métodos de prevención y protección.....	28
2.4 RECUBRIMIENTOS ORGÁNICOS: PINTURAS	30
2.4.1 Factores que influyen en la selección de la pintura.....	31
2.4.2 Preparación superficial.....	34
2.4.3 Tipos de pintura	40
2.4.4 Sistemas de pintura	41
2.4.5 Métodos de aplicación	43
2.4.6 Parámetros característicos.....	44
2.4.7 Degradación del recubrimiento	46
2.5 ENSAYOS DE CORROSIÓN	48
2.5.1 Tipos de ensayo.....	49

2.5.2 Procedimiento de los ensayos	50
2.6 TÉCNICAS DE INSPECCIÓN	51
2.6.1 Ensayos no destructivos	52
2.7 ESTUDIOS ESPECIALIZADOS.....	54
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	61
3.1 DEFINICIÓN DEL CASO PARTICULAR: PASARELA ETSIIT, UC	63
3.1.1 Descripción	63
3.1.2 Ubicación	63
3.1.3 Dimensiones	66
3.1.4 Vista exterior e interior de la estructura.....	67
3.2 OBTENCIÓN DEL PROYECTO DEL CASO PARTICULAR.....	71
3.3 DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	73
3.4 IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS DE CORROSIÓN	76
3.5 ERRORES DE DISEÑO EN LA PASARELA	78
3.5.1 Selección de materiales	78
3.5.2 Estudio de la compatibilidad de los materiales.....	79
3.5.3 Diseño geométrico	79
3.5.4 Diseño en aspectos mecánicos.....	84
3.5.5 Diseño de las superficies	84
3.5.6 Diseño del sistema de protección	90
3.5.7 Diseño del sistema de inspección y mantenimiento.....	91
3.5.8 Valoración económica.....	92
3.6 ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.....	92
3.6.1 Efecto de las picaduras	95
3.6.2 Efecto de la corrosión generalizada	96
3.6.3 Combinación de corrosión generalizada y picaduras.....	97
3.6.4 Condiciones de contorno y mallado	99

3.7 ENSAYOS	101
3.7.1 Definición del objetivo	102
3.7.2 Elección del procedimiento	102
3.7.3 Elaboración de las piezas	105
3.7.4 Preparación de las piezas	110
3.7.5 Planificación y realización	116
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	121
4.1 ENSAYOS	122
4.1.1 Maqueta 0	123
4.1.2 Maqueta 1	129
4.1.3 Discusión de los resultados.....	136
4.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON ELEMENTOS FINITOS	137
4.2.1 Efecto de las picaduras	138
4.2.2 Efecto de la corrosión generalizada	143
4.2.3 Combinación de corrosión generalizada y picaduras	146
4.2.4 Discusión de los resultados.....	150
4.3 DISEÑO MODIFICADO	150
4.4 PROYECTO DE RESTAURACIÓN	154
4.5 ESTIMACIÓN TEMPORAL.....	158
4.5.1 Planificación proyecto restauración.....	159
4.6 PLAN DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO.....	160
4.6.1 Plan de inspección	161
4.6.2 Plan de mantenimiento	162
CAPÍTULO 5. PRESUPUESTO	164
5.1 Mediciones	166
5.2 Cuadro de precios N°1.....	174
5.3 Cuadro de precios N°2.....	179

5.4 Presupuestos parciales	186
5.5 Presupuesto de ejecución material.....	190
5.6 Presupuesto de ejecución por contrata	191
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	192
CAPÍTULO 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	196
ANEXOS	204
ANEXO 1. PROYECTO ORIGINAL.....	205
ANEXO 2. FICHAS TÉCNICAS	226
ANEXO 3. ÍNDICE DE FIGURAS.....	238
ANEXO 4. ÍNDICE DE TABLAS	243
ANEXO 5. ÍNDICE DE FÓRMULAS Y ECUACIONES	245

CAPÍTULO 1. OBJETO, OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

1.1 OBJETO

El presente Trabajo Fin de Grado (TFG) hace un estudio muy pormenorizado de la corrosión existente en la pasarela que une la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria, España.

Este estudio profundiza en la importancia que tiene la fase de diseño en el proyecto técnico a la hora de prevenir la corrosión y, para ello, se ha utilizado ilustrativamente esta estructura, la cual presenta un estado de deterioro llamativo.

Se ha realizado un diagnóstico de la problemática que presenta la estructura y, tras estudiar las causas, se han corregido los puntos débiles del diseño actual, elaborando un diseño alternativo más resistente frente a la corrosión. Se ha valorado el impacto estructural de la corrosión en la pasarela mediante análisis por elementos finitos. Paralelamente, se han ensayado maquetas con el objetivo de estudiar la sinergia entre diseño y corrosión. Se ha propuesto una vía de actuación frente al estado actual de deterioro de la pasarela, la cual se ha definido y valorado económica y temporalmente. Finalmente, se ha proyectado un plan de inspección y mantenimiento para asegurar la longevidad de la estructura.

1.2 OBJETIVOS

A continuación se enumeran los objetivos principales de este TFG:

- Estudiar la sinergia diseño-corrosión
- Identificar los problemas de corrosión en la pasarela y estudiar sus causas
- Definir los errores de diseño que tiene la pasarela y proponer soluciones
- Elaborar un diseño modificado de la pasarela más resistente frente a la corrosión
- Efectuar ensayos comparativos, que sirvan como herramienta de estudio y como base objetiva para la selección entre diseños diferentes
- Determinar la importancia estructural que posee la corrosión en la pasarela
- Proponer un plan de acción para solucionar la situación actual de deterioro en la pasarela, valorándolo económica y temporalmente
- Establecer un plan de inspección y mantenimiento para que la situación actual de deterioro no vuelva a producirse

1.3 JUSTIFICACIÓN

La corrosión es un fenómeno que puede apreciarse a diario, si bien no suele prestársele la debida atención. Un buen ejemplo de los efectos provocados por la corrosión se encuentra en la estructura metálica de la pasarela que une la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria.

En la Figura 1 se observa uno de los perfiles metálicos más afectados de la pasarela, donde pueden apreciarse productos de corrosión voluminosos y de diversas tonalidades, y el daño en el recubrimiento protector que estos han causado. Dicho perfil se sitúa en la zona de la pasarela próxima a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.



Figura 1. Deterioro en la pasarela de la ETSIIT, Universidad de Cantabria

Este trabajo investiga las causas que han llevado al estado actual de deterioro, proponiendo soluciones desde la etapa de diseño, en la cual el ingeniero tiene el mayor impacto sobre la realización de un proyecto.

Actuando desde el diseño, se sustituye el actual enfoque reactivo frente a la corrosión, en el que no se realizan actuaciones, hasta que el estado de deterioro es avanzado, por un enfoque proactivo, en el que se busca prevenir la aparición de la corrosión y de todas las consecuencias negativas que este fenómeno conlleva.

Puede parecer, en principio, que el estudio de una pasarela peatonal que no se encuentra ubicada en suelo industrial no es competencia del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales. Sin embargo, es posible justificar este estudio como competencia de dicho grado desde dos perspectivas:

- Aunque la pasarela estudiada se encuentra en suelo urbano, está construida con perfiles metálicos que habitualmente son utilizados en las estructuras de las naves industriales y otros ámbitos de la industria. Por tanto, las conclusiones extraídas del estudio del comportamiento frente a la corrosión de los perfiles de la pasarela, son extrapolables al ámbito industrial, siempre que se tengan en cuenta las particularidades de cada caso, presentando la pasarela, el beneficio de la posibilidad de acceso para realizar el estudio
- Por otra parte, existe una rama de la industria dedicada exclusivamente a la protección frente a la corrosión, en la cual el ingeniero es el encargado de realizar estudios, como el tratado en este TFG, bien para diseñar completamente una estructura/producto integrando las medidas de protección anticorrosiva o bien, realizando labores de asesoría para implantar acciones correctivas o preventivas de la corrosión en prácticamente todas las ramas de la industria, en las cuales, de una forma u otra, siempre acaban enfrentándose a problemas de corrosión

Finalmente, y desde un enfoque más personal, siempre me ha atraído la Ciencia de Materiales, dentro de la cual se encuentra el estudio de su deterioro. Además, este trabajo presenta el aliciente de situarse en un ámbito (relación entre diseño y corrosión), que, si bien, se encuentra relativamente documentado, no ha sido estudiado en profundidad ni le ha sido conferida la importancia que ostenta, lo cual supone una motivación adicional.

De todas las razones expuestas surge este Trabajo Fin de Grado, el cual significa el final de una etapa y, en el que espero, se vean reflejados los valores adquiridos durante estos años de estudio.

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

2.1 DETERIORO MATERIAL: CORROSIÓN

El deterioro está presente en el ciclo de vida de todos los materiales, sean metálicos o no. Existen varias definiciones de deterioro material, entre las que se encuentran:

- *“Fenómeno natural mediante el cual los materiales expresan su tendencia y evolución hacia un estado de equilibrio estable, condicionado por el medio ambiente”* [26].
- *“Transformación de una sustancia compleja en otra de estructura más sencilla, produciendo pérdidas en sus propiedades mecánicas de resistencia, lo que da lugar a cambios de geometría de las estructuras y componentes, haciéndoles perder la función para la cual estaban determinadas”* [56].

El fenómeno de deterioro en los materiales metálicos tiene nombre propio: corrosión. Al igual que el deterioro, la corrosión tiene múltiples definiciones, algunas de ellas son:

- *“Reacción química o electroquímica de un metal o aleación con su medio circundante con el consiguiente deterioro de sus propiedades”* [54].
- *“Destrucción de un cuerpo sólido causada por un ataque no provocado, de naturaleza química o electroquímica que se inicia en la superficie”* [56].
- *“Desgaste paulatino de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos, persista o no su forma”* [58].

Los materiales, por naturaleza, buscan la estabilidad, propiedad que tienen los metales oxidados. A menos de que se protejan de una forma adecuada, la mayor parte de los metales se corroen con facilidad. Al proceso corrosivo contribuyen una serie de factores, los cuales se presentan en la Figura 2. Varios de estos factores pueden actuar conjuntamente, y en general, con sinergias negativas, es decir, agravando el proceso corrosivo.

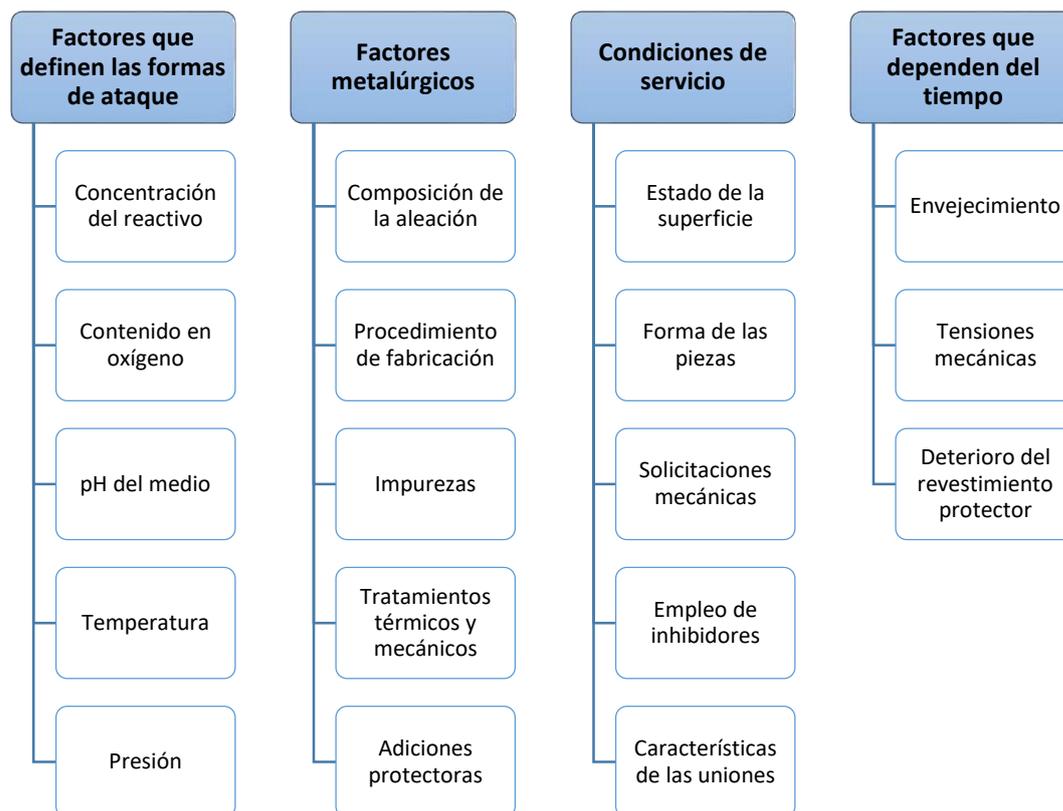


Figura 2. Factores que intervienen en la corrosión ^[56]

2.1.1 Consecuencias de la corrosión

Seguridad

El deterioro de las propiedades de un material causado por la corrosión, puede llegar a provocar su fallo. Se dice que se ha producido un fallo cuando, las circunstancias en las que se encuentra un componente, hacen que no satisfaga las condiciones para funcionar adecuadamente. La importancia de este punto recae en que el fallo por corrosión puede llegar a provocar daños en la salud de las personas, lo cual, justifica la relevancia de cualquier estudio relativo a la corrosión. A continuación se muestran las consecuencias de dos fallos por corrosión en EE.UU. ^[50]:

- Pasarela del Lowe's Motor Speedway (actualmente Charlotte Motor Speedway). Carolina del Norte. 20 de Mayo del 2000.

El fallo se produjo por la ruptura a causa de la corrosión de los cordones de acero utilizados en el pretensado, provocando que la pasarela se partiera por la mitad y los espectadores cayeran una altura de 5 metros, causando 107 heridos (Figura 3 a, b). La investigación posterior concluyó que el daño

estructural podría haber sido detectado visualmente por una inspección periódica. Dichas inspecciones no se llevaron a cabo ya que, al ser una estructura privada, no eran obligatorias.



Figura 3. (a, b) Fallo por corrosión - pasarela en Lowe's Motor Speedway ^[50]

- Leo Frigo Memorial Bridge. Wisconsin. 24 de Septiembre del 2013.

El fallo por corrosión provocó el hundimiento de uno de los pilares del puente, al ceder los soportes de acero enterrados en el lecho del río, debilitados por corrosión. El puente se hundió unos 60 cm en la zona del fallo (Figura 4 a, b). La reparación supuso un coste de 20 millones de dólares y mantuvo el puente cerrado durante más de tres meses.



Figura 4. (a, b) Fallo por corrosión - Leo Frigo Memorial Bridge ^[50]

Economía

La corrosión implica un gran impacto económico. El informe Hoar (Gran Bretaña, 1970), es el principal referente a la hora de estimar los costes provocados por la corrosión ^[54]. En dicho estudio, se estima que el 3,5% del producto interior bruto (PIB) de cualquier país, corresponde a los costes directos provocados por la corrosión. Además afirma que, si se aplicaran las técnicas de prevención conocidas, existe un

ahorro potencial de entre el 20 y el 25% de estos costes. El informe Hoar sólo tiene en cuenta los costes directos, ya que es muy difícil estimar los costes indirectos.

Los costes directos de la corrosión son los asumidos por el propietario/gestor del recurso, asociados al diseño, construcción, montaje, mantenimiento y gestión, mientras que los costes indirectos de la corrosión son aquellos que asumen los usuarios, como por ejemplo, los costes asociados a la pérdida de productividad causada por el cierre de un puente por reparaciones [27].

El informe Hoar se sigue utilizando en la actualidad para estimar los costes que provoca la corrosión. Se puede justificar la relevancia de un estudio tan antiguo con la siguiente afirmación: *“las técnicas de protección mejoran con el desarrollo industrial, pero las pérdidas no disminuyen, porque, simultáneamente, aumenta la agresividad de las atmósferas y los progresos tecnológicos imponen condiciones cada vez más severas”* [54]. Aproximadamente el 10-12% de la producción global de acero se pierde a causa de la corrosión [54].

Además del informe Hoar, diversos países/autores han cuantificado los costes causados por la corrosión como un porcentaje del PNB o del PIB (Tabla 1).

Tabla 1. Estimaciones de los costes de la corrosión desde el año 1949 [27]

Autor	Año	País	% PNB
Uhlig	1949	Estados Unidos	2,1
Behrens	1967	Alemania Occidental	3
Hoar	1970	Reino Unido	3,5
Schwabe	1970	Alemania Oriental	1
Potter	1972	Australia	3,5
Heitz; Loss	1972	Alemania Occidental	3,5
Revie; Uhlig	1973	Australia	1,5
Japón	1975	Japón	1,8
Batelle	1975	Estados Unidos	4,2
Cherry; Skerry	1982	Australia	1,5
Al-Kharafi, et al.	1987	Kuwait	*5,2
Corrosion-Club.com	1996	Suiza	3-5
Corrosion-Club.com	1997	Japón (Método Uhlig)	0,77
JSCE	1997	Japón (Método Hoar)	1,02
Payer; Koch	1998	Estados Unidos	*3,1
Corrosion-Club.com	2001	Australia	*2

* % PIB

2.1.2 Tipos de corrosión

Existen multitud de formas de clasificar los tipos de corrosión. En la Figura 5 se presenta la clasificación hecha por Biezma, M. V. [26]:

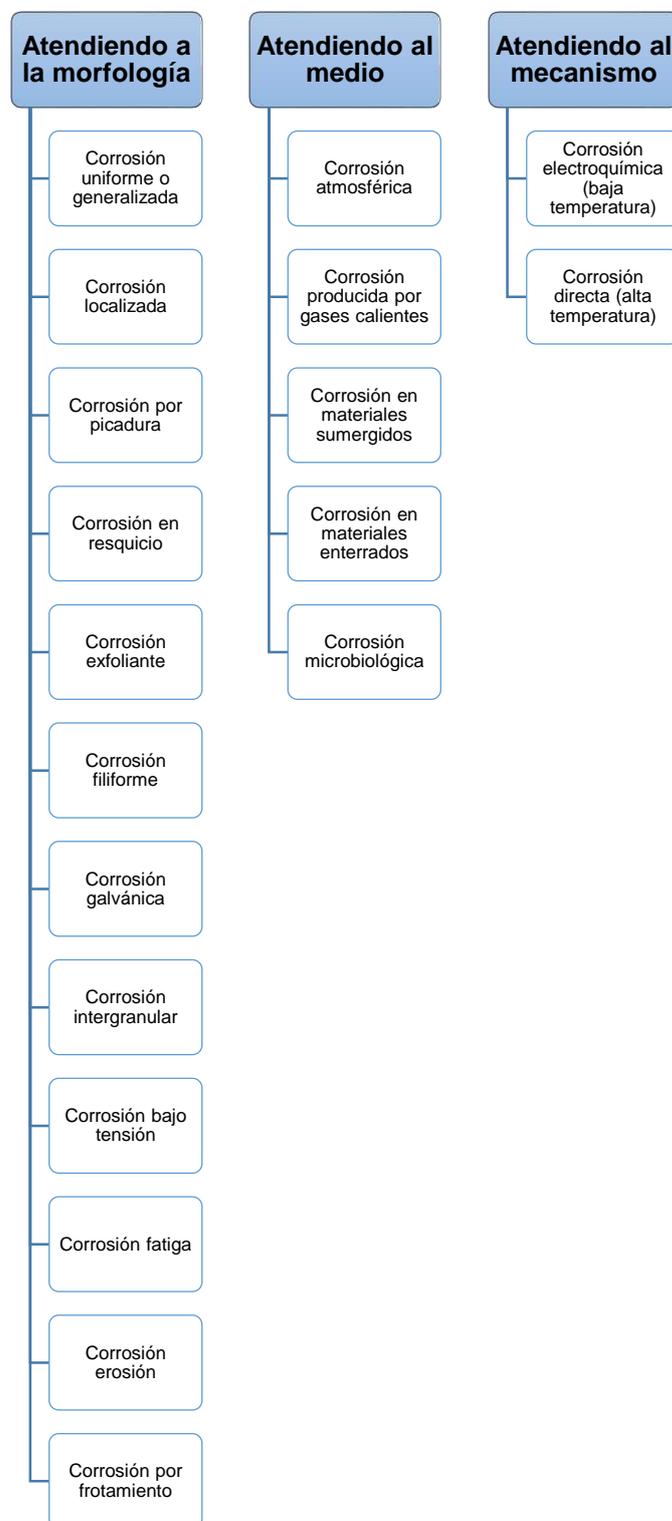


Figura 5. Tipos de corrosión [26]

La clasificación atendiendo a la morfología, como su propio nombre indica, es identificable visualmente por la forma del ataque (Figura 6).

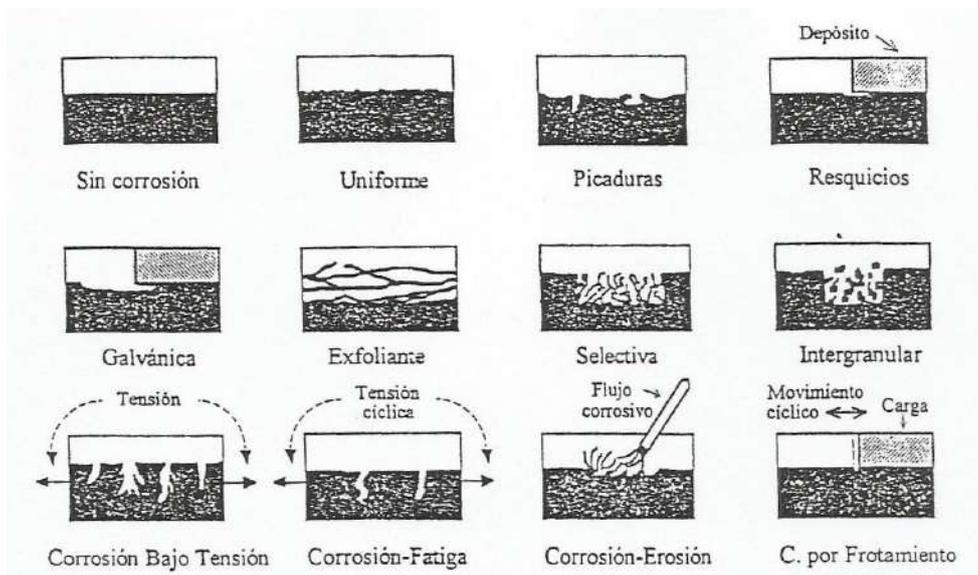


Figura 6. Tipos de corrosión atendiendo a la morfología [26]

A continuación se exponen los tipos de corrosión que tienen mayor influencia en la pasarela objeto de este estudio.

2.1.3 Corrosión electroquímica o húmeda

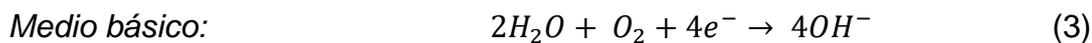
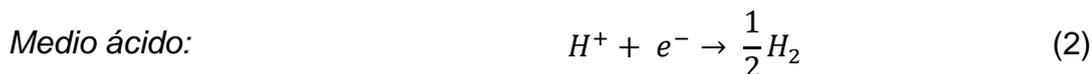
Atendiendo al mecanismo, la corrosión en la pasarela es del tipo electroquímica o húmeda.

Se denomina corrosión electroquímica o húmeda a aquella que se produce en presencia de un electrolito y, generalmente, a baja temperatura. En este grupo se pueden incluir la corrosión atmosférica, la corrosión en materiales sumergidos y la corrosión en materiales enterrados. Este tipo de corrosión sucede siempre y cuando se cumplan los requisitos mencionados a continuación [35]:

- Presencia de zonas con distinta actividad electroquímica, donde una de ellas constituirá el ánodo de la reacción y será la que sufra corrosión, al ceder electrones, con una reacción del tipo [26]:



La otra zona constituye el cátodo y absorberá los electrones cedidos por el ánodo. La reacción dependerá de la naturaleza del medio [26]:



- Presencia de un electrolito que contenga los elementos del medio corrosivo
- Existencia de una conexión eléctrica entre el ánodo y el cátodo que permita el tránsito de los electrones
- El fenómeno sucede a baja temperatura (inferior a 100-150°C)

En la Figura 7 se puede observar un esquema simplificado del proceso para el caso de la corrosión de materiales férricos.

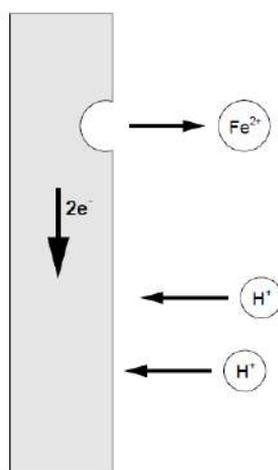


Figura 7. Esquema - Corrosión electroquímica (aleación base Fe) ^[59]

2.1.4 Corrosión atmosférica

Atendiendo al medio, la corrosión en la pasarela es atmosférica.

La corrosión atmosférica se define como el deterioro que sufren los materiales metálicos cuando se encuentran expuestos al aire, y a temperatura ambiente, y es un tipo de corrosión electroquímica o húmeda. Se estima que aproximadamente el 80% de los componentes metálicos se encuentran en condiciones atmosféricas y que, más del 50% de las pérdidas económicas totales debidas a la corrosión, se atribuyen a este fenómeno ^[56].

Esta forma de corrosión es del tipo electroquímico y se caracteriza por la formación de una película de humedad sobre la superficie metálica, que hace las funciones de electrolito. La película húmeda está presente a no ser que la humedad relativa sea

inferior al 30% y no se produzcan precipitaciones ^[54]. Dicha película suele ser del orden de los micrómetros, por lo que comúnmente no se aprecia a simple vista.

Los parámetros que influyen sobre la corrosión atmosférica son: el tiempo que la película húmeda está presente sobre la superficie afectada, y la presencia en ella de contaminantes como Cl⁻, SO₂, u óxidos de nitrógeno, los cuales aceleran el proceso corrosivo. A continuación se muestran algunos ejemplos de corrosión atmosférica en Cantabria (Figuras 8 a 10).



Figura 8. Tubería en Astillero



Figura 9. Valla en polígono de Raos



Figura 10. Señal en polígono de La Cerrada

En los Apartados 2.1.5 a 2.1.7 se presentan los tipos de corrosión atendiendo a la morfología que se observan en la pasarela.

2.1.5 Corrosión uniforme o generalizada

Es la morfología más habitual de corrosión. Se caracteriza por un ataque uniforme en toda la superficie metálica. Consecuentemente, el componente que la sufre experimenta una reducción de espesor y una penetración media prácticamente constante en todos los puntos de su superficie, las cuales continúan hasta provocar el fallo o, en algunos casos, la película formada por los productos de corrosión protege al material, entorpeciendo el proceso de deterioro como ocurre, por ejemplo, en el acero corten.

Permite una estimación sencilla de las pérdidas producidas y de la vida útil del material, al existir una relación directa entre pérdida de material, reducción de espesor y gravedad del fenómeno. *“La velocidad del ataque se ve afectada por varios factores. El medio corrosivo es el más importante, influyendo la acidez, temperatura, concentración y la presencia o ausencia de inhibidores o catalizadores”* [66]. Las formas de control más habituales para este tipo de corrosión son la protección catódica y el uso de recubrimientos protectores.

En la Figura 11 puede observarse un elemento que sufre corrosión generalizada y en la Figura 12 una zona de la pasarela objeto de este estudio en la cual se puede apreciar el fenómeno.



Figura 11. Corrosión generalizada - Buzón en Polígono de Raos



Figura 12. Corrosión generalizada en la pasarela

2.1.6 Corrosión por picadura

Se trata de una forma de corrosión localizada que aparece en zonas concretas de la superficie metálica expuesta. Se detecta debido a la presencia de picaduras o

perforaciones que se encuentran aisladas entre sí. Los fenómenos que la propician son dos: aireación diferencial y presencia de micro-pares galvánicos.

- Aireación diferencial: presencia de zonas con diferente concentración de oxígeno en la superficie expuesta, las cuales forman pilas de corrosión. Es generalmente provocada por acumulaciones de agua o humedad en ambientes secos, y concentraciones de aire en ambientes húmedos, aunque también puede deberse a acumulaciones de residuos alcalinos o partículas heterogéneas.
- Micro-pares galvánicos (pilas de corrosión): pares ánodo-cátodo, es decir, zonas con diferente potencial electroquímico que propician un flujo de electrones.

La corrosión por picadura provoca una pérdida de material reducida, pero un gran deterioro, debido a la profundidad que pueden alcanzar las cavidades, con la consecuente merma de las propiedades del material. Las picaduras se pueden clasificar en función de la forma que presentan cuando se practica un corte transversal. Sus formas más comunes se muestran en la Figura 13.

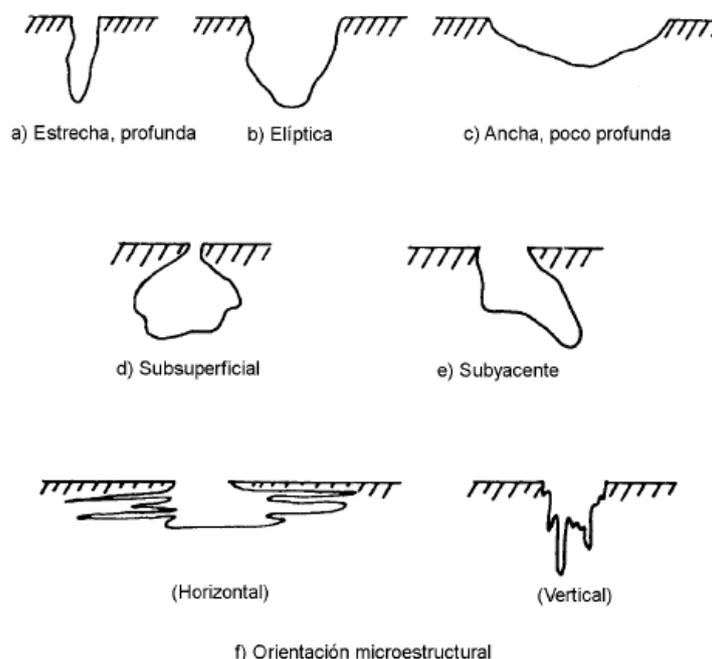


Figura 13. Formas de picaduras (corte transversal) ^[13]

En algunas ocasiones los ataques localizados en la superficie son tan numerosos que pueden llegar a unirse y formar zonas granulosas. En la Figura 14 se muestra un

elemento que sufre corrosión por picadura y, en la Figura 15, una zona de la pasarela objeto de este estudio en la cual se puede apreciar el fenómeno.



Figura 14. Corrosión por picadura - Cubierta del Palacio de Deportes de Santander

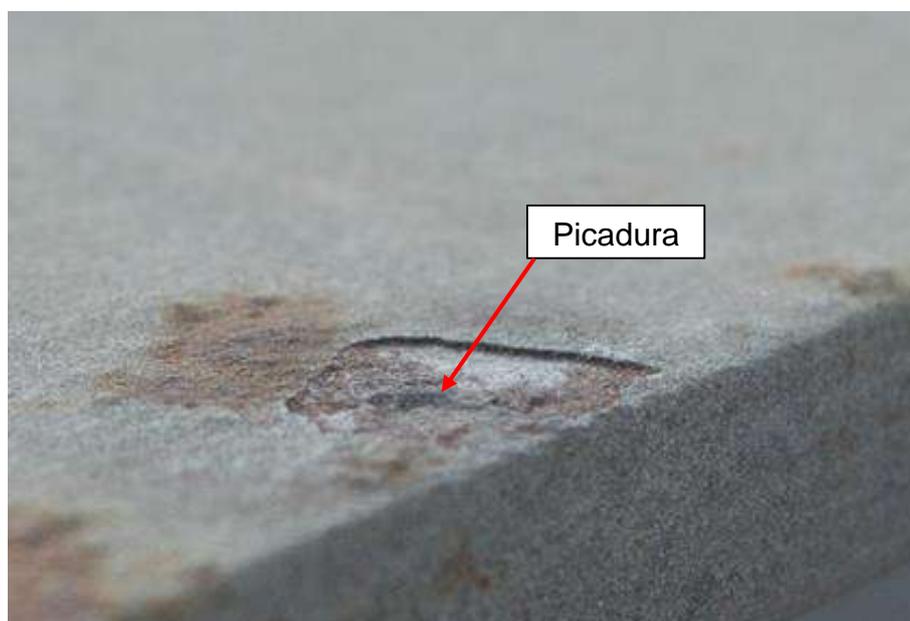


Figura 15. Corrosión por picadura en la pasarela

Cuando existe un recubrimiento protector, las picaduras no se observan directamente, sino que se manifiestan en forma de pequeñas ampollas en la superficie del recubrimiento. Esto sucede porque las picaduras se llenan con los productos de corrosión, produciendo la formación de una ampolla sobre la cavidad.

Este fenómeno se denomina ampollamiento, el cual se define según la norma ^[16] como: “Proceso que se manifiesta por defecto en forma de cúpula visible en la superficie de un objeto y que proviene de una pérdida de cohesión localizada debajo de la superficie.” Cuando los productos de corrosión alcanzan un volumen elevado se produce la rotura de la película protectora (Figura 16).

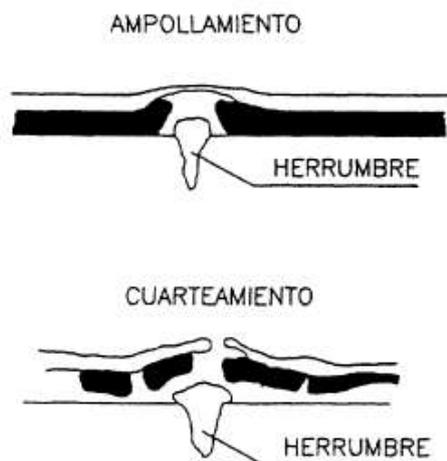


Figura 16. Efecto de los productos de corrosión en el recubrimiento ^[36]

Mediante inspección visual es difícil determinar la gravedad de un ataque por picadura ya que, bajo un pequeño orificio o ampolla, puede haber una cavidad importante. La corrosión por picadura puede llegar a ser muy grave porque, al crearse la cavidad, las condiciones en el interior de esta son distintas a las de la superficie expuesta, facilitando el progreso del ataque hacia el interior.

Se crea de esta forma un proceso autocatalítico, que “*cuanto más se produce, más se facilitan las condiciones para que se siga produciendo*” ^[54]. Los factores que gobiernan el proceso de corrosión por picadura son: el tipo y concentración del anión agresivo, la composición del material metálico, el pH del medio, la temperatura y la geometría de la superficie.

2.1.7 Corrosión en resquicio

Es un tipo de corrosión localizada que se presenta en zonas mal aireadas, zonas de solapamiento o en depósitos superficiales, las cuales provocan retenciones locales del electrolito. Estas retenciones también pueden ser debidas a depósitos de suciedad, arena o acumulación de productos de corrosión.

Los resquicios en los que se produce este tipo de corrosión pueden ser espacios entre partes metálicas, o entre una parte metálica y una no metálica (madera, plástico, hormigón, etc.). En la zona afectada se producen las siguientes reacciones ^[24] ^[26]:



En la Figura 17 puede observarse un elemento que sufre corrosión en resquicio y, en la Figura 18, una zona de la pasarela objeto de este estudio en la cual se puede apreciar el fenómeno.



Figura 17. Corrosión en resquicio - Cargadero de Orconera en Astillero



Figura 18. Corrosión en resquicio en la pasarela

2.2 RELACIÓN ENTRE CORROSIÓN Y DISEÑO

Según la norma UNE-EN ISO 12944-3 ^[5] el diseño es una etapa crucial, especialmente en las estructuras de acero. Es necesario proteger las estructuras de acero, y la forma más habitual de hacerlo es mediante recubrimientos. Se deben considerar las restricciones que el diseño puede imponer a la hora de aplicar, inspeccionar y mantener los sistemas de pintura ya que, de no hacerlo, la estructura se corroerá prematuramente, deteriorándose el recubrimiento protector y la propia estructura.

El diseño debe satisfacer una serie de requisitos, entre los que se encuentran la funcionalidad, la seguridad, la integridad estructural, la resistencia y la durabilidad, sin comprometer el coste ni la estética. La forma en que se diseña una estructura puede impactar directamente en su comportamiento frente a la corrosión, ya que, si no se tiene en cuenta la sinergia diseño-corrosión, se generarán zonas inapropiadas en la estructura, las cuales facilitarán el comienzo del proceso corrosivo y su posterior extensión.

La norma afirma que es *“especialmente recomendable que el diseñador consulte a un experto en protección frente a la corrosión en un estadio temprano durante el proceso de diseño”*.

Existen una serie de consideraciones generales que deben tenerse en cuenta en todo diseño para prevenir la corrosión ^[5]:

- Diseño sencillo evitando la complejidad
- Reducir al máximo las irregularidades (bordes, esquinas, superposiciones, etc.)
- Las uniones entre piezas metálicas deben ser efectuadas mediante soldadura continua, evitando en todo lo posible el uso de tornillos, remaches y soldaduras discontinuas o por puntos
- Las soldaduras discontinuas o por puntos solo son viables si el riesgo de corrosión es totalmente insignificante

En la norma se especifican además las siguientes categorías a considerar en el diseño, recopiladas en la Tabla 2.

Tabla 2. Aspectos a considerar en el diseño ^[5]

Aspecto a considerar	Descripción
Accesibilidad	Debe garantizarse la accesibilidad a la hora de aplicar, inspeccionar y mantener el sistema de pintura protector. Si no es posible, deben utilizarse materiales resistentes a la corrosión o especificar un sistema de pintura de elevada durabilidad.
Tratamiento de orificios	Orificios estrechos, hendiduras ciegas o uniones solapadas. La corrosión de los resquicios debe evitarse generalmente mediante el sellado. La soldadura continua es el método más eficaz para prevenir el atrapamiento de abrasivos y la entrada de humedad.
Previsión de retenciones de depósitos y agua	Deben evitarse configuraciones que propicien la retención de sólidos y/o líquidos, asegurando un correcto drenado.
Bordes	Los bordes redondeados son deseables para posibilitar la aplicación de la capa protectora de modo uniforme y para lograr un espesor de película adecuado en los bordes agudos. Las capas protectoras en los bordes agudos son además más susceptibles al deterioro.
Imperfecciones en soldaduras	Las soldaduras deben estar exentas de asperezas, fracturas, cráteres, orificios y proyecciones, ya que son difíciles de cubrir eficientemente con un sistema protector.
Conexiones con pernos	Los pernos, tuercas y arandelas deben protegerse frente a la corrosión de la misma forma que la estructura para obtener la misma durabilidad.
Áreas cerradas y componentes huecos	Las áreas cerradas y componentes huecos en general proporcionan una buena protección frente a la corrosión, a condición de que sean totalmente impermeables al aire y la humedad.
Entallas	Las entallas deben tener un radio mínimo de 50 mm para permitir la preparación de la superficie y la aplicación del sistema de pintura protector.
Refuerzos	Cuando se requieran, por ejemplo, entre un alma y una pestaña, la intersección debe estar soldada a todo alrededor para prevenir la formación de huecos. El diseño de los refuerzos no debe permitir además retenciones de depósitos ni agua.
Previsión corrosión galvánica	Debe evitarse en todo momento la utilización de metales con potenciales electroquímicos diferentes cuando estos vayan a estar en contacto. En caso de que no sea posible evitarlo, las superficies deberán estar aisladas eléctricamente, por ejemplo, pintando las superficies de ambos metales.
Manipulación, transporte y montaje	Durante la etapa de diseño debe considerarse la manipulación, el transporte y el montaje de la estructura, a fin de prevenir daños que puedan afectar al sistema de pintura protector o a la geometría diseñada.

De la Figura 19 a 21 se ilustran varios diseños concretos, apropiados e inapropiados en cuanto a su resistencia frente a la corrosión.

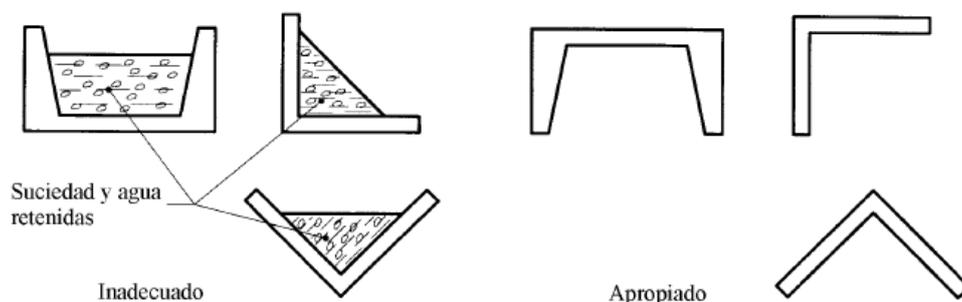


Figura 19. Diseño para evitar retenciones [5]

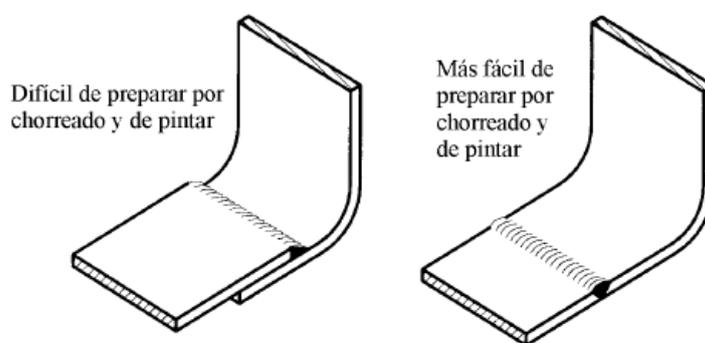


Figura 20. Diseño para evitar solapamientos [5]

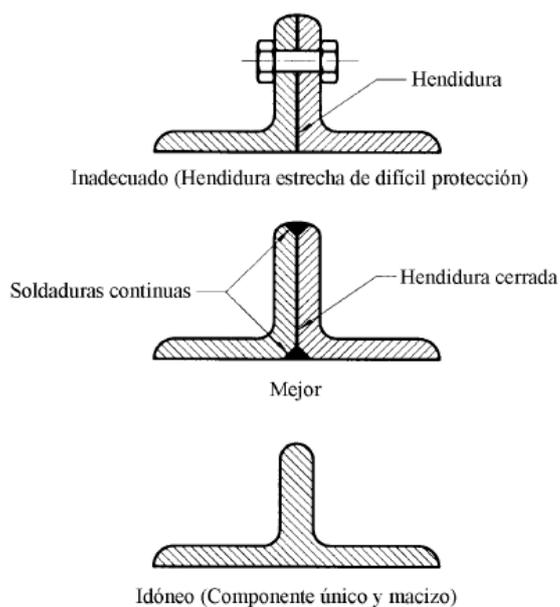


Figura 21. Diseño para evitar resquicios y formas de conexión inadecuadas [5]

Además de estos aspectos básicos considerados en la norma, Pludek, V. R. ^[57] efectúa una descripción más exhaustiva de los errores de diseño en que se pueden incurrir, sus consecuencias y las formas de evitarlos. Afirma que el control preventivo es la mejor respuesta a los problemas de corrosión y que un gran porcentaje de los fallos por corrosión podrían haberse evitado si se hubiera tenido en cuenta el impacto que el diseño posee sobre el deterioro. Considera que, en el proceso de diseño de una estructura o producto, deben seguirse las siguientes etapas:

1. Selección de materiales
2. Estudio de la compatibilidad de los materiales
3. Diseño geométrico
4. Diseño frente al daño mecánico
5. Diseño de las superficies
6. Diseño del sistema de protección
7. Diseño del sistema de inspección y mantenimiento
8. Valoración económica

Por otra parte, Landrum, R. J. ^[46], realiza también un estudio exhaustivo del binomio diseño-corrosión. Presenta soluciones de diseño en función del tipo de corrosión según la morfología del ataque y a los problemas causados por las técnicas de fabricación, fundamentalmente por los procesos de soldadura.

2.3 CONTROL DE LA CORROSIÓN

El control de la corrosión consiste en la búsqueda de estrategias que retarden el proceso corrosivo, actuando contra la termodinámica del sistema metálico. Es por tanto importante utilizar las técnicas de control disponibles, incrementando las medidas preventivas para reducir la necesidad de actuaciones correctivas a lo largo del ciclo de vida. Se pueden identificar tres fases determinantes en el ciclo de vida de un elemento ^[36]:

- Fase de diseño
- Fase de construcción
- Fase de explotación o uso

Con el fin de controlar el proceso corrosivo es necesario implementar una serie de medidas, las cuales dependen de varios factores que variarán en función del caso

particular. En la Figura 22 se expone una relación de factores que pueden ser considerados generales a todas las aplicaciones.

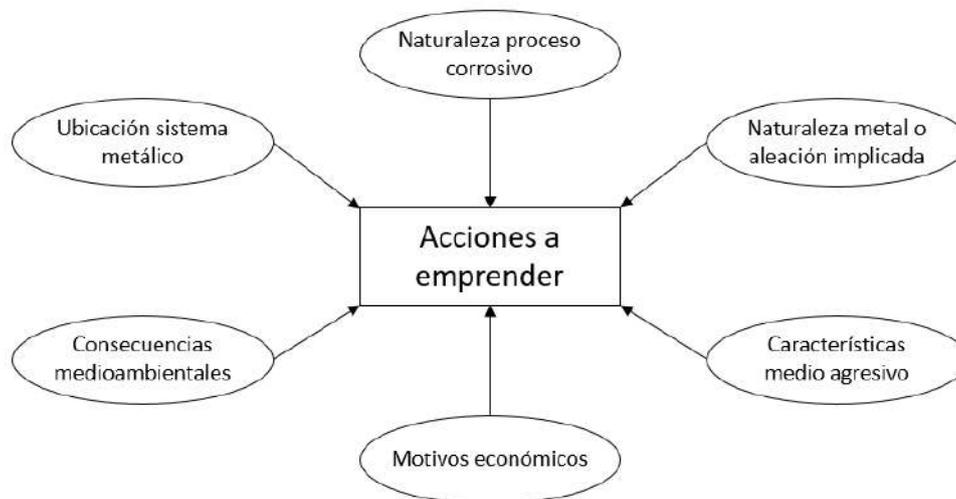


Figura 22. Factores que influyen en las medidas frente a la corrosión [26]

2.3.1 Métodos de prevención y protección

A continuación se enumeran y describen brevemente los métodos de prevención y protección empleados más habitualmente [26]:

1. Adecuación del material o desarrollo de nuevos materiales

1.1. Cambio de la composición del material:

Añadir aleantes con propiedades pasivantes, catódicas, neutralizantes, inhibidores o resistentes a la oxidación.

1.2. Cambio en la microestructura:

Mediante la aplicación de tensiones tangenciales adecuadas.

1.3. Cambio del estado tensional:

A través de aplicación de tensiones tangenciales o mediante deformación en frío.

1.4. Cambio de la condición superficial:

Limpieza de la superficie, pulido, entallado, etc.

1.5. Sustitución por otro material:

El cual puede ser metálico o no.

2. Modificación del diseño (ver Apartado 2.2)

3. Modificación del medio corrosivo

3.1. Disminución de la temperatura del medio:

Aunque en algunos casos particulares es contraproducente.

3.2. Disminuyendo la velocidad del fluido:

En la mayoría de los casos el fluido estacionario es menos agresivo.

3.3. Disminución de oxígeno en el agua:

Generalmente, cuanto mayor es la concentración de oxígeno más rápido es el proceso corrosivo.

3.4. Reducción de la concentración de iones agresivos:

Se traduce en reducción de la corrosión.

3.5. Reducción de la humedad relativa del agua o del aire:

Evitando así la existencia de la película húmeda.

3.6. Empleo de inhibidores:

Es el método más importante de reducción de corrosión a través de la modificación del medio. Consiste en la adición de sustancias retardadoras de la corrosión. Se pueden clasificar en función de distintos criterios. En función de su mecanismo de actuación se clasifican en inhibidores anódicos, inhibidores catódicos, inhibidores mixtos e inhibidores de adsorción.

4. Modificación de la diferencia de potencial entre el metal y el medio corrosivo

4.1. Protección catódica:

Es el método más efectivo de protección contra la corrosión, dotando al metal protegido de inmunidad frente a dicho fenómeno. En este grupo se incluyen la protección catódica por ánodos de sacrificio (unir eléctricamente el metal a proteger a otro metal con potencial de reducción más negativo) y la protección catódica por corriente impresa (suministro de corriente continua externa de forma que el metal a proteger presente una superficie equipotencial).

4.2. Protección anódica:

Consiste en someter al metal a un potencial eléctrico más positivo que el de corrosión, llevándolo así a un estado de pasivación y ralentizando el proceso corrosivo. Se consigue aleando metales que incrementen la capacidad de pasivación y metales que incrementen la superficie catódica.

5. Recubrimientos superficiales

5.1. Recubrimientos metálicos:

Gran variedad de procedimientos, destacan: electrodeposición (cromado y estañado), galvanizado electrolítico, inmersión en caliente, metalización por proyección, difusión (cementación, nitruración), descomposición gaseosa y depósito en vacío. Los metales más usados frecuentemente en estos procedimientos son: níquel, plomo, zinc, estaño y aluminio.

5.2. Recubrimientos inorgánicos:

Destacan el esmaltado vítreo, los recubrimientos de cemento y el recubrimiento mediante óxidos del metal a proteger (por ejemplo, el aluminio anodizado).

5.3. Recubrimientos orgánicos: pinturas.

Forma más versátil de protección (excepto a altas temperaturas) y de uso más generalizado. Por su especial relevancia en este trabajo se exponen en el siguiente Apartado (2.4).

2.4 RECUBRIMIENTOS ORGÁNICOS: PINTURAS

La protección mediante pinturas es probablemente el método más extendido y versátil en lo relativo al control de la corrosión ^[33]. Este tipo de protección es temporal, ya que en la actualidad no se ha desarrollado ninguna pintura que ofrezca protección infinita. Sin embargo, sí que es posible alargar considerablemente el tiempo de protección que ofrece una pintura mediante un adecuado plan de inspección y mantenimiento. De la misma forma, si no se lleva a cabo el plan mencionado, la vida del recubrimiento protector se ve reducida.

Las pinturas son mezclas líquidas que, al ser aplicadas sobre una superficie, forman una capa de protección continua y solidifican pasado un tiempo de su aplicación. Las pinturas están compuestas fundamentalmente por los siguientes componentes ^[33]:

- Pigmentos: proporcionan la opacidad, el color y propiedades anticorrosivas
- Vehículo fijo o ligante: es el agente que proporciona adherencia al sustrato y mantiene unidas las partículas del pigmento
- Vehículo volátil o disolvente: es el componente que permite la aplicación de la pintura, al disolver el vehículo fijo

- Aditivos: su objetivo es proporcionar características complementarias a la pintura, por ejemplo: aditivos anticongelantes

La normativa sobre protección mediante pinturas se encuentra en las normas UNE-EN ISO 12944 "Pintura y barnices - Protección contra la corrosión de estructuras de acero con sistemas protectores de pintura". Para conseguir una buena protección por este método es de vital importancia la especificación de un procedimiento de pintado adecuado, la preparación de la superficie y la correcta aplicación del recubrimiento. Todo esto debe hacerse buscando la mejor solución desde todos los aspectos, incluido el económico. La elección de una pintura u otra dependerá de las condiciones a la que estará expuesto el material en servicio y las cuales se exponen en el siguiente Sub-apartado (2.4.1).

2.4.1 Factores que influyen en la selección de la pintura

Condiciones ambientales

Uno de los factores más influyentes son las condiciones ambientales a las que va a estar expuesto el material en servicio, ya que unas atmósferas son más corrosivas que otras o, incluso, puede que el material vaya a estar enterrado o sumergido.

En condiciones atmosféricas los parámetros determinantes son: la humedad, la temperatura, la radiación UV, la presencia de sustancias químicas y la probabilidad de daño mecánico. En cuanto a los materiales enterrados, intervienen fundamentalmente en el proceso: la humedad, el pH del suelo, el contenido en minerales y la presencia de microorganismos en el terreno. Finalmente, en los materiales sumergidos, se debe tener en cuenta: el tipo de agua (dulce o salada), su composición química y su temperatura. La norma UNE-EN ISO 12944, en su parte segunda ^[4], establece unas categorías generales de corrosión en función del ambiente, recogidas en las Tablas 3 y 4.

Tabla 3. Categorías generales de corrosión atmosférica [4]

Categoría de Corrosividad	Ejemplos de ambientes típicos	
	Exterior	Interior
C1 (Muy baja)	-	Edificios con calefacción y con atmósferas limpias, por ejemplo: oficinas, tiendas, colegios, hoteles.
C2 (Baja)	Atmósferas con bajos niveles de contaminación. Áreas rurales en su mayor parte.	Edificios sin calefacción donde pueden ocurrir condensaciones, por ejemplo: almacenes, polideportivos.
C3 (Media)	Atmósferas urbanas e industriales, con moderada contaminación de dióxido de azufre. Áreas costeras con baja salinidad.	Naves de fabricación con elevada humedad y con algo de contaminación en el aire, por ejemplo: plantas de procesado de alimentos, lavanderías, plantas cerveceras, plantas lácteas.
C4 (Alta)	Áreas industriales y áreas costeras con moderada salinidad.	Plantas químicas, piscinas y astilleros.
C5-I (Muy alta-Industrial)	Áreas industriales con elevada humedad y con atmósfera agresiva.	Edificios o áreas con condensaciones casi permanentes y con contaminación elevada.
C5-M (Muy alta-Marina)	Áreas costeras y marítimas con elevada salinidad.	Edificios o áreas con condensaciones casi permanentes y con contaminación elevada.

Tabla 4. Categorías para el agua y el suelo [4]

Categoría	Ambiente	Ejemplos de ambientes y estructuras
Im1	Agua dulce	Instalaciones ribereñas, plantas hidroeléctricas.
Im2	Agua de mar o salada	Áreas portuarias con estructuras como puertas de contención, esclusas, muelles, estructuras de ultramar.
Im3	Suelo	Tanques enterrados, pilotes de acero, tuberías de acero

Por su interés para la pasarela objeto de este estudio es necesario comentar que la norma ^[4] menciona en su Anexo B (Casos especiales), en el *Apartado B.1.1 Corrosión en el interior de edificios*, lo siguiente:

“Los agentes corrosivos en las estructuras de acero localizadas en el interior de edificios aislados del ambiente exterior son generalmente insignificantes. Si el interior del edificio se encuentra sólo parcialmente aislado del ambiente exterior, se puede asumir que los agentes corrosivos serán los mismos que los asociados al tipo de atmósfera que rodea al edificio.”

Del párrafo anterior se puede asumir que la pasarela, al estar parcialmente aislada del exterior, experimentará corrosión atmosférica del mismo tipo que el provocado por la atmósfera que rodea al edificio.

Tipo de superficie a proteger

El sistema de pintado dependerá del material que se vaya a proteger, ya que no será igual si se trata, por ejemplo, de acero o de acero inoxidable. El tipo de superficie determinará parámetros del sistema de pintado como: el tipo de preparación superficial requerida, la pintura a utilizar, los medios de aplicación y el espesor de película seca objetivo.

Durabilidad requerida

La durabilidad se refiere al periodo de tiempo que pasa hasta que es necesario realizar el primer mantenimiento del sistema tras la aplicación. La norma UNE-EN ISO 12944-1 ^[3] especifica tres intervalos temporales para clasificar la durabilidad (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de la durabilidad de los sistemas de pintura ^[3]

BAJA - L	2 a 5 años
MEDIA - M	5 a 15 años
ALTA - H	Más de 15 años

Planificación del proceso de pintado

Se debe planificar el trabajo completamente, indicando con precisión las condiciones de aplicación del sistema de pintura en el calendario del proyecto. Es necesario valorar si el sistema de pintura será aplicado *in situ* o en taller, ya que las dos opciones

presentan ventajas e inconvenientes. Deberá además controlarse la temperatura, la humedad y el tiempo de secado/curado durante la aplicación del sistema de pintura protector.

2.4.2 Preparación superficial

Condición inicial

Es el estado que presenta el material previamente a la preparación. La condición inicial de la superficie queda definida en la norma UNE-EN ISO 8501-1 ^[10], donde se establecen cuatro grados (Tabla 6).

Tabla 6. Condición de la superficie antes de la preparación superficial ^[10]

Grado	Imagen ejemplo	Descripción
A		Superficie de acero completamente recubierta con cascarilla de laminación o calamina y con trazas de óxido. El grado A es normalmente el que presenta el acero poco tiempo después de su laminación en caliente.
B		Superficie de acero que ha iniciado su corrosión y de la que ha empezado a desprenderse la cascarilla de laminación. El grado B es normalmente el estado de una superficie de acero laminado en caliente después de haber permanecido expuesta a la intemperie, sin protección, en una atmósfera medianamente corrosiva, durante 2 o 3 meses.
C		Superficie de acero donde la corrosión ha hecho saltar la totalidad de la cascarilla de laminación, pero que todavía no presenta picaduras detectables a simple vista. El grado C es normalmente el estado de una superficie de acero que ha sido expuesta a la intemperie, sin protección, en una atmósfera medianamente corrosiva, durante 1 año, aproximadamente.
D		Superficie de acero de la que se ha desprendido la totalidad de la cascarilla de laminación y en la que se observan picaduras a simple vista. El grado D corresponde al estado de una superficie de acero después de su exposición a la intemperie, sin protección, en una atmósfera medianamente corrosiva durante unos 3 años.

A continuación se muestran los tipos de preparación más habituales. Todas las imágenes que se muestran de la Tabla 7 a la 11 corresponden a la condición inicial grado B, ya que el aspecto tras la preparación depende de la condición inicial [6].

Respecto a la terminología recogida en las normas que se va a mencionar posteriormente, es necesario mencionar las siguientes particularidades [10]:

- El término “materias extrañas” puede incluir sales solubles y residuos de soldadura. Estas contaminantes no siempre pueden ser completamente eliminados de la superficie por chorreado abrasivo, limpieza mecánica o limpieza a mano o a llama: chorreado abrasivo mojado puede ser necesario.
- La cascarilla de laminación, la pintura o el óxido se consideran que están mal adheridos si se pueden quitar levantándolos con una espátula.

Chorreado abrasivo

Se proyecta un abrasivo a gran velocidad sobre la superficie a preparar. El abrasivo puede ser metálico (granalla o perdigón) o no metálico (arenas, corindón o microesferas de vidrio) [33]. El método se encuentra definido en la norma UNE-EN ISO 8504-2 [7]. La norma UNE-EN ISO 8501-1 [10] refleja los distintos grados de preparación superficial cuando este se realiza por chorreado abrasivo o por limpieza manual, los cuales se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Grados de preparación - Chorreado abrasivo [10]

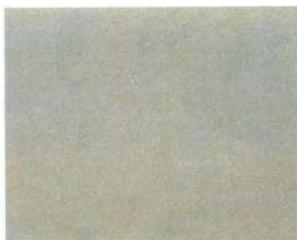
Grado	Imagen ejemplo	Descripción
Sa 3		Eliminar la totalidad del óxido visible, cascarilla de laminación, pintura vieja y cualquier materia extraña. Limpieza por chorreado hasta metal blanco. El chorro se pasa sobre la superficie durante el tiempo necesario para eliminar la totalidad de la cascarilla de laminación, herrumbre y materias extrañas. Finalmente, la superficie se limpia con un aspirador, aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio, para eliminar los residuos de polvo. Debe entonces quedar con un color metálico uniforme.

Tabla 7 bis. Grados de preparación - Chorreado abrasivo ^[10]

Sa 2 ½		Chorreado abrasivo hasta metal casi blanco, a fin de conseguir que por lo menos el 95% de cada porción de la superficie total quede libre de cualquier residuo visible. Chorreado muy cuidadoso. El chorro se mantiene sobre la superficie el tiempo necesario para asegurar que la cascarilla de laminación, herrumbre y materias extrañas son eliminados de tal forma que cualquier residuo aparezca sólo como ligeras sombras o manchas en la superficie. Finalmente, se elimina el polvo con un aspirador, con aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio.
Sa 2		Chorreado hasta que al menos los 2/3 de cualquier porción de la superficie total estén libres de todo residuo visible. Chorreado cuidadoso. El chorro se pasa sobre la superficie durante el tiempo suficiente para eliminar la casi totalidad de cascarilla de laminación, herrumbre y materias extrañas. Finalmente, se elimina el polvo de abrasivo con un aspirador, con aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio. La superficie debe quedar de color grisáceo.
Sa 1		Chorreado ligero. Se elimina la capa suelta de laminación, el óxido suelto y las partículas extrañas sueltas.

Limpieza manual o por medios mecánicos

Método de limpieza en el que se emplean herramientas manuales (martillos percutores, raspadores, cepillos de púas metálicas y papeles de lija) o herramientas motorizadas (cepillos metálicos rotativos, lijadoras y martillos percutores eléctricos y neumáticos) ^[8]. En la Tabla 8 se presentan los grados de preparación superficial que pueden obtenerse mediante este método.

Tabla 8. Grados de preparación - Limpieza manual o mecánica ^[10]

Grado	Imagen ejemplo	Descripción
St 3		Rascado con rasquetas de metal duro y cepillado con cepillo de alambre, muy cuidadoso. El rascado y cepillado deben realizarse en primer lugar en una dirección y después en sentido perpendicular. Una vez eliminado el polvo, la superficie debe mostrar un pronunciado aspecto metálico.
St 2		Rascado cuidadoso con rasqueta de metal duro y cepillado con cepillo de alambre. El rascado y cepillado deben realizarse en primer lugar en una dirección y después en sentido perpendicular. Una vez eliminado el polvo, la superficie debe mostrar aspecto metálico.

Limpieza por llama o flameado

Sirve para preparar superficies no pintadas. Se proyecta una llama oxiacetilénica sobre la superficie a tratar para posteriormente cepillarla (Tabla 9).

Tabla 9. Grados de preparación - Limpieza por llama ^[10]

Grado	Imagen ejemplo	Descripción
FI		Examinada sin aumentos, la superficie deberá estar exenta de cascarilla, óxido, capas de pintura y materias extrañas. Antes del flameado deberán eliminarse posibles capas gruesas de óxido picándolas. Después del flameado deberá limpiarse la superficie mediante cepillo de acero de accionamiento mecánico para eliminar los productos del proceso. Los cepillos manuales de púas de acero no proporcionan una superficie satisfactoria para la pintura.

Limpieza con agua a presión

Proyección de un chorro de agua a alta presión sobre la superficie a tratar. Esta forma de preparación de superficie se encuentra reflejada en la norma UNE-EN ISO 8501-4 ^[12] (Tabla 10).

Tabla 10. Grados de preparación - Agua a presión ^[12]

Grado	Imagen ejemplo	Descripción
Wa 2 ½		<p>Chorroado muy completo con agua a alta presión.</p> <p>Cuando la superficie se observa sin ampliación, ésta deberá estar exenta de todo el óxido visible, grasa, suciedad, recubrimientos de pintura anterior y, a excepción de ligeras huellas, todas las otras materias extrañas. La decoloración de la superficie puede estar presente donde la capa original no estuviera intacta. La decoloración gris o marrón/negra observada en el acero picado y corroído no puede ser eliminada mediante chorroado de agua.</p>
Wa 2		<p>Chorroado completo con agua a alta presión.</p> <p>Cuando la superficie se observa sin ampliación, ésta deberá estar libre de aceite visible, grasa y suciedad, la mayoría de óxido, recubrimiento de pintura anterior y otras materias extrañas. Cualquier contaminación residual tendrá que estar dispersa aleatoriamente y puede consistir de recubrimientos firmemente adheridos, materias extrañas firmemente adheridas y manchas de óxido previamente existentes.</p>
Wa 1		<p>Chorroado ligero con agua a alta presión.</p> <p>Cuando la superficie se observa sin ampliación, ésta deberá estar libre de aceite y grasa visible, pintura suelta o defectuosa, óxido suelto y otras materias extrañas. Cualquier contaminación residual tendrá que estar dispersa aleatoriamente y firmemente adherida.</p>

Al tratarse de una limpieza con agua es probable que se produzca una oxidación durante el secado. Por ese motivo, la norma también establece tres grados de oxidación superficial (Tabla 11).

Tabla 11. Grados de oxidación superficial - Agua a presión ^[12]

Grado	Imagen ejemplo	Descripción
H		Oxidación superficial fuerte Una superficie que, cuando se observe sin ampliación, presenta una capa de óxido amarillo/marrón que oscurece la superficie original de acero y es poco adherente. La capa de óxido puede ser distribuida de manera uniforme o presente en forma de parches, y va a marcar fácilmente un trapo suavemente pasado por la superficie.
M		Oxidación superficial media Una superficie que, cuando se observa sin ampliación, presenta una capa de óxido amarillo/marrón que oculta/oscurece la superficie original de acero. El óxido puede estar distribuido de manera uniforme o presente en forma de parches, pero estará razonablemente bien adherido y va a marcar ligeramente un trapo suavemente pasado por la superficie.
L		Oxidación superficial ligera Una superficie que, cuando se observa sin ampliación, presenta pequeñas cantidades de una capa de óxido amarillo/marrón en la que el sustrato de acero puede ser visto. El óxido (visto como decoloración) puede estar distribuido de manera uniforme o presente en forma de parches, pero estará firmemente adherido y no se elimina fácilmente por una suave limpieza con un trapo.

Decapado químico

El grado de preparación superficial alcanzado por este método se denomina Be. Se eliminan la cascarilla de laminación, herrumbre, recubrimientos de pintura y materias extrañas, mediante pastas con disolventes o pastas alcalinas. Se encuentra normalmente restringido a áreas pequeñas y es necesaria una limpieza posterior ^[6].

2.4.3 Tipos de pintura

La clasificación más habitual de los diferentes tipos de pintura se realiza en función del vehículo fijo, tal y como recoge la Tabla 12, si bien el listado no es exhaustivo, al existir multitud de tipos de pintura.

Tabla 12. Tipos de pintura ^[33]

Al aceite	Alquídicas
Acrílicas	Alquídicas/clorocaucho
Alquitrán	Epoxi
Brea	Poliuretano
Vinílicas	Silicatos inorgánicos
Nitrocelulosa	Resinas de silicona

En la Figura 23, extraída de la norma UNE-EN ISO 12944-5 ^[9], se representa el comportamiento de algunos de los tipos de pintura mencionados anteriormente frente a circunstancias que puedan presentarse en servicio.

Idoneidad ■ Buena ▲ Limitada ● Pobre — No relevante	Polidoruro de vinilo (PVC)	Clorocaucho (CR)	Acrílico (AY)	Alquídico (AK)	Poliuretano, aromático (PUR, aromático)	Poliuretano, alifático (PUR, alifático)	Etil silicato de zinc (ESI)	Epoixídico (EP)	Combina epoxi (EPC)
Retención del brillo	▲	▲	▲	▲	●	■	—	●	●
Retención del color	▲	▲	■	▲	●	■	—	●	●
Resistencia a los productos químicos:									
Inmersión en agua	▲	■	▲	●	▲	●	▲	■	■
Lluvia/condensación	■	■	■	▲	■	▲	■	■	■
Disolventes	●	●	●	▲	■	▲	■	■	▲
Disolventes (salpicaduras)	●	●	●	■	■	■	■	■	■
Ácidos	▲	■	▲	▲	■	▲	●	▲	■
Ácidos (salpicaduras)	■	■	▲	▲	■	■	●	■	■
Álcalis	▲	▲	▲	▲	▲	▲	●	■	■
Álcalis (salpicaduras)	■	■	▲	▲	■	■	●	■	■
Resistencia al calor seco:									
Hasta 70 °C	●	●	▲	■	■	■	■	■	■
De 70 °C a 120 °C	—	—	▲	■	■	■	■	■	▲
De 120 °C a 150 °C	—	—	▲	●	▲	●	■	▲	▲
> 150 °C pero ≤ 400 °C	—	—	—	—	—	—	■	—	—
Propiedades físicas:									
Resistencia a la abrasión	●	●	●	▲	■	▲	■	■	▲
Resistencia al impacto	▲	▲	▲	▲	■	▲	▲	■	▲
Flexibilidad	■	■	■	▲	▲	■	●	▲	▲
Dureza	▲	▲	▲	■	■	▲	■	■	■

Figura 23. Propiedades generales de algunos tipos de pintura ^[9]

Otra forma de clasificar las pinturas es según su tipo de secado, identificando cuatro grupos principales ^[33]:

- Secado por evaporación de disolventes: secan cuando el disolvente evapora por completo (acrílicas, clorocauchos, vinílicas, nitrocelulósicas, etc.)
- Secado por reacción con el oxígeno del aire: la película seca al oxidarse con el oxígeno del aire (aceites, alquídicas, alquídicas/clorocaucho, etc.)
- Secado por acción de la temperatura: secan en hornos industriales a una temperatura y en un tiempo determinados (fenólicas, ureas, etc.)
- Secado por reacción química: pinturas de dos componentes (pintura y catalizador) que se mezclan previamente a la aplicación (epoxi, silicato de zinc, poliuretano, etc.)

2.4.4 Sistemas de pintura

Los sistemas de pintura generalmente están formados por varias capas, cada una con unos objetivos particulares. El número y el espesor de las capas pueden variar en función del caso particular. Normalmente el espesor de cada capa se encuentra entre 40 y 200 μm ^[39], aunque pueden alcanzarse espesores mayores en condiciones especiales. Las capas que componen habitualmente los sistemas de pintura pueden clasificarse en los siguientes grupos ^[41]:

- Capa de imprimación: capa en contacto con el metal o sustrato. Su misión es proveer adhesión con el metal y con la capa intermedia o acabado. Contiene los inhibidores de la corrosión y debe ser resistente al ataque químico e impermeabilizante.
- Capas intermedias: capas entre la imprimación y el acabado. Su misión es aumentar el espesor del recubrimiento, aportando un incremento en la resistencia al impacto y la erosión. Consecuentemente incrementa la resistencia a la corrosión e incrementa la impermeabilidad. Gracias al constante desarrollo de las pinturas, la necesidad de esta capa se ha visto reducida, disminuyendo así el coste del recubrimiento sin comprometer, o incluso, incrementando las propiedades protectoras.
- Capa de acabado: capa superficial del recubrimiento. Se encuentra por tanto en contacto con el electrolito y sus misiones son proveer durabilidad, color,

brillo y textura. Suele aplicarse en menor espesor que las capas intermedias y/o acabado al tener mayor densidad que estas capas.

La Figura 24 ilustra un detalle ampliado de un sistema de pintado de varias capas, donde se puede apreciar la complejidad que pueden alcanzar estos sistemas y la superficie rugosa que debe tener el acero para proporcionar una buena adherencia.

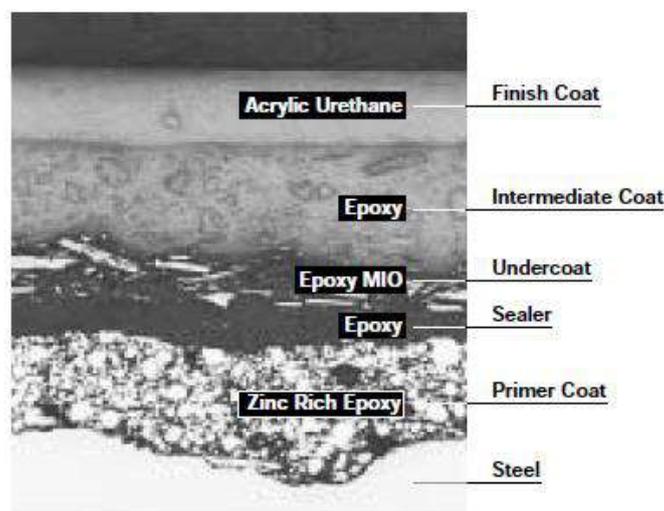


Figura 24. Detalle de un sistema de pintado ^[51]

El sistema de pintura de la Figura 24 es mucho más complejo que los utilizados generalmente en la actualidad, ya que la evolución de las pinturas, como hemos comentado previamente, ha permitido reducir el número y espesor de capas considerablemente. En la actualidad, es posible alcanzar buenas propiedades anticorrosivas en la mayoría de condiciones con tres, dos, o incluso con una única capa ^[39], siempre que se respeten los planes de inspección y mantenimiento y el procedimiento de preparación y aplicación sea el correcto.

Por otra parte se encuentran las imprimaciones temporales o *shop-primers* ^[39]. Este tipo de recubrimiento es utilizado en las etapas de prefabricación o almacenamiento antes que el sistema de pintura sea aplicado. Estas capas suelen tener un pequeño espesor de 20 a 25 μm ya que su objetivo es proveer protección durante un máximo de 6 meses. Además, las superficies recubiertas con *shop-primers* pueden generalmente soldarse.

Deberá valorarse el grado de preparación previamente a la aplicación del sistema de pintura definitivo, ya que la elección del procedimiento a llevar a cabo dependerá de factores como la compatibilidad entre el *shop-primer* y el recubrimiento y la rugosidad

que ofrece la superficie del *shop-primer*. Es posible que en algunos casos no sea necesario eliminar completamente el *shop-primer* antes de la aplicación del sistema definitivo.

2.4.5 Métodos de aplicación

En todos los casos se debe controlar la temperatura y la humedad durante la aplicación. La temperatura debe encontrarse entre 10-30°C y la humedad relativa debe ser inferior al 85%. Los métodos de aplicación utilizados más habitualmente son [42]:

- Pistola sin aire o *airless*: la pintura, presurizada previamente, se pulveriza gracias a la rápida pérdida de presión que sufre al ser proyectada a través de una boquilla de pequeñas dimensiones, sin mezcla previa con el aire. Es un método rápido que puede proporcionar grandes espesores con una eficiencia relativamente buena. Se produce poca niebla de pulverización.
- Pistola con aire o aerográfica: la pintura se mezcla con aire en el interior de la boquilla y es proyectada por efecto Venturi. Necesita presiones menores que la pistola sin aire y proporciona acabados de muy alta calidad. Su eficiencia es baja y produce niebla de pulverización.
- Pistola *air-mix*: híbrido entre los dos métodos explicados anteriormente. La calidad del acabado y el rendimiento también se sitúan entre los de dichos métodos.
- Pistola electrostática: son equipos *air-mix* o aerográficos con efecto electrostático, el cual se consigue cargando la pintura eléctricamente con una corriente continua de alta tensión lo que provoca que la pintura se vea atraída por la superficie a pintar, la cual se conecta a tierra. El acabado es bueno y reduce considerablemente las pérdidas de pintura.
- Aplicación a brocha: buena eficiencia pero presenta los inconvenientes de que la aplicación es lenta (y por tanto cara) y el acabado es intermedio.
- Aplicación a rodillo: intermedio entre la aplicación a brocha y las aplicaciones a pistola. Mejora el rendimiento y la velocidad de aplicación respecto a la brocha pero a cambio de un peor acabado.

En la Tabla 13 se presentan las eficiencias aproximadas de los métodos de aplicación mencionados anteriormente. Los datos de la pistola aerográfica, *airless* y brocha/rodillo han sido tomados de [33]. Las eficiencias de las pistolas *air-mix* y electrostática han sido estimados según los datos teóricos.

Tabla 13. Eficiencia de los métodos de aplicación

Método de aplicación	Eficiencia
Pistola con aire o aerográfica	50-70 %
Pistola sin aire o <i>airless</i>	60-80 %
Pistola <i>air-mix</i>	55-75 %
Pistola electrostática	60-90 %
Brocha/Rodillo	5-15 %

Además de las pérdidas derivadas del método de aplicación se deben tener en cuenta otros factores, por ejemplo: si la superficie es preparada mediante chorreado hará falta más pintura para cubrir la superficie rugosa creada que si esta se aplicara sobre una superficie perfectamente lisa. Por estos motivos es difícil calcular con exactitud la cantidad de pintura necesaria para efectuar un trabajo determinado.

2.4.6 Parámetros característicos

Existen una serie de parámetros relativos a las pinturas que las caracterizan especialmente (suelen aparecer en sus fichas técnicas) y que es necesario conocer [33] [39]:

- Volumen de sólidos (VS): es el volumen de sólidos o materia fija presente en 100 volúmenes de pintura medido en condiciones de laboratorio

$$VS(\%) = \frac{\text{Espesor película seca}}{\text{Espesor película húmeda}} \cdot 100 \quad (8)$$

- Rendimiento teórico: sirve para determinar la superficie totalmente lisa que cubre un litro de pintura si no existen pérdidas

$$\text{Rendimiento teórico (m}^2/\text{l)} = \frac{VS(\%) \cdot 10}{\text{Espesor película seca}(\mu\text{m})} \quad (9)$$

- Viscosidad: se determina en laboratorio, usualmente utilizando un viscosímetro Krebs Stormer que proporciona datos en las denominadas unidades Krebs (K.U.)

- Finura de molienda: se corresponde con la granulometría de los pigmentos de la pintura
- Peso específico: valor del peso de una unidad de volumen
- Adherencia: tendencia del recubrimiento a aferrarse a la superficie
- Estabilidad: tendencia de la pintura a mantener sus propiedades
- Tiempos de secado
- Resistencia al impacto
- Brillo y color

La lista de parámetros característicos de las pinturas es mucho más extensa que la mencionada anteriormente, en la que únicamente se exponen los más habituales. En las Figuras 25 y 26 se muestran dos boletines de control de calidad reales de las pinturas que se han utilizado en las maquetas que se han elaborado para este TFG, cedidos por la empresa que proporciona las maquetas, que representan la importancia que tienen los parámetros mencionados en el trabajo con pinturas, ya que las empresas especializadas ^[40] incluso envían los resultados de los ensayos de los lotes a sus clientes.

Propiedades	Norma	Requerido	Oblenido	Unidades
PINTURA HUMEDA				
VISCOSIDAD 20°C	UNE 48-076-92	80 / 90	83	K.U.
FINURA DE MOLIENDA	UNE 21524	35 / 40	40	micras
PESO ESPECIFICO A 20°C	UNE 48-098-92	1,35 / 1,41	1,4	Kg./l.
SOLIDOS EN PESO	UNE 48-087-92		67,06	%
SOLIDOS EN VOLUMEN	UNE 48-090-82		45,64	%
SECADO AL TACTO	UNE 48 086		4 h.	horas
SECADO TOTAL	UNE 48 086		16 h.	horas
ESTABILIDAD	INTA 160241		Cumple	
CONSERVACION EN ENVASE	UNE 48-083-92		Cumple	
PINTURA SECA				
COLOR(comparación visual/D65)	UNE 48-260-94	RAL 7001	RAL 7001	
ADHERENCIA	UNE-EN ISO 2409	100	100	%
IMPACTO	UNE-EN 13523-5	h = 300 / i = 12.5	Cumple	mm.

Figura 25. Boletín de control de calidad - Imprimación epoxi

 COMPañIA HISPANOAMERICANA DE PINTURAS S.A. Avda Menendez Pelayo s/n 39100 SANTA CRUZ DE BEZANA (CANTABRIA) Tfno: 942 580 028 Fax:942 581 229 e-mail:hispanamer@hispanamer.com				
BOLETIN DE CONTROL DE CALIDAD de fecha: fecha de envasado: lote nº : Cliente : Referencia:MH7001 HISPAPID RAL 7001 Color:RAL 7001				
Propiedades	Norma	Requerido	Obtenido	Unidades
PINTURA HUMEDA				
Viscosidad a 20 °	UNE 48076-92	70-80	Cumple	(K.U.)
Finura de moliena	UNE-EN 21524	<15	Cumple	Micras
Peso específico a 20 °	UNE 48098-92	1.13 - 1.19	cumple	Kg./L.
Sólidos en volumen	UNE 48098-92	38-44	cumple	%
Secado al tacto	UNE 48086	1 Hora	Cumple	Horas
PINTURA SECA				
Adherencia	UNE 4803280	100	100	%
Brillo	UNE-EN 2813	>75	cumple	%

Figura 26. Boletín de control de calidad - Esmalte acabado s/rápido

2.4.7 Degradación del recubrimiento

Como se ha mencionado previamente la protección mediante pinturas no es una solución infinita. La pintura sufrirá degradación con el tiempo a causa de su exposición al medio corrosivo y de su envejecimiento natural [33]. La evaluación del estado de un recubrimiento se realiza por inspección visual comparando el estado actual con patrones fotográficos (con imágenes digitales procesadas) que pueden encontrarse en las normas UNE-EN ISO 4628. Los tipos de defecto más comunes son:

- Ampollamiento: definido previamente en el Apartado 2.1.6. Se evalúa la densidad de ampollas y su tamaño. El método de evaluación se encuentra definido en la norma UNE-EN ISO 4628-2 [17] (Figura 27).

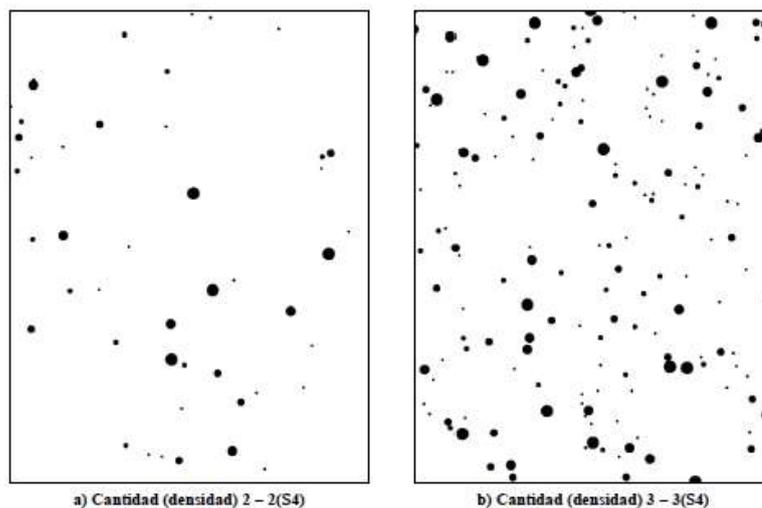


Figura 27. Ejemplos de patrones para la determinación del grado de ampollamiento ^[17]

- Oxidación: formación de óxido que rompe y atraviesa la película protectora. Se busca determinar la superficie oxidada. El método de evaluación se encuentra definido en la norma UNE-EN ISO 4628-3 ^[18] (Figura 28).

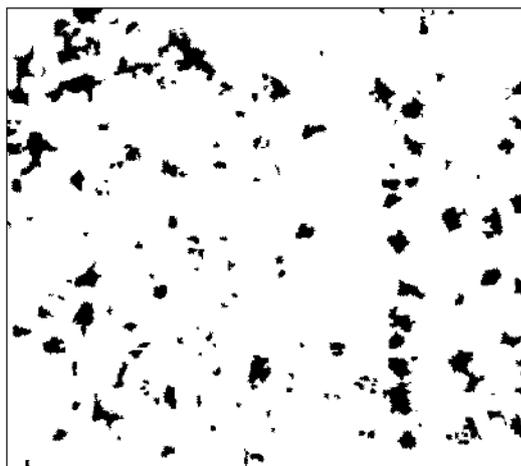


Figura 28. Ejemplo de patrón para determinación del grado de oxidación ^[18]

- Agrietamiento: formación de grietas en el recubrimiento. Se evalúa la cantidad de grietas, su tamaño y profundidad. El método de evaluación se encuentra definido en la norma UNE-EN ISO 4628-4 ^[19] (Figura 29).

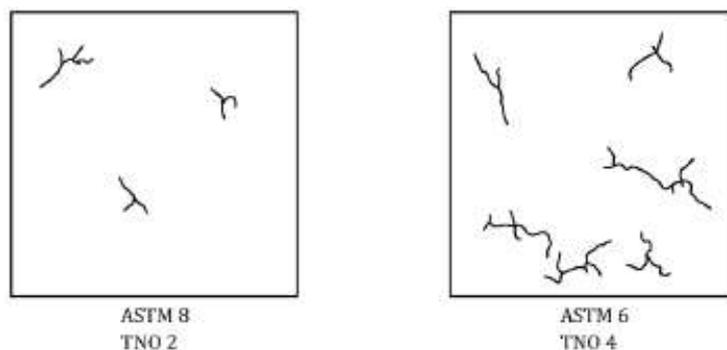


Figura 29. Ejemplos de patrones para determinación del grado de agrietamiento ^[19]

- Descamación: desprendimiento de escamas del recubrimiento. Se evalúa la cantidad desprendida, su tamaño y profundidad. El método de evaluación se encuentra definido en la norma UNE-EN ISO 4628-5 ^[20] (Figura 30).

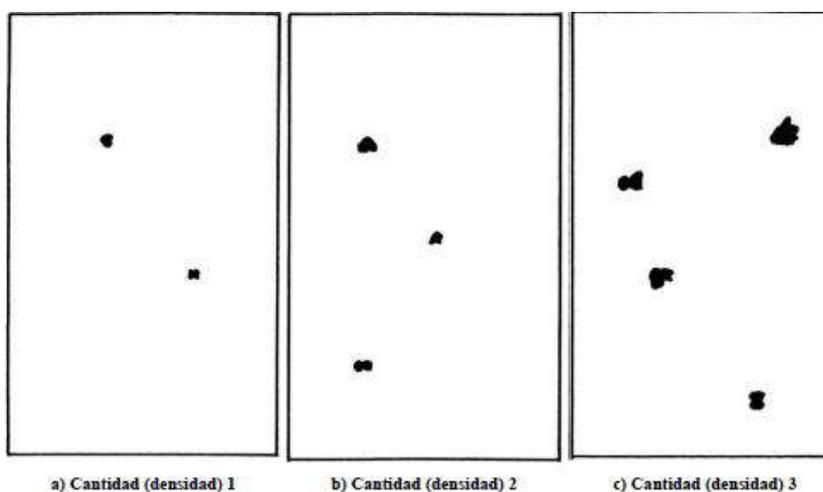


Figura 30. Ejemplos de patrones para determinación del grado de descamación ^[20]

2.5 ENSAYOS DE CORROSIÓN

Los ensayos de corrosión son necesarios debido al gran número de factores intervinientes en el proceso y la variabilidad de estos. La corrosión es por tanto, un proceso estocástico de muy difícil predicción. No quiere esto decir que las previsiones del comportamiento de un material que sufre corrosión no sean importantes, sino que se deben corroborar mediante ensayos de corrosión.

Estos ensayos sirven para determinar los parámetros básicos del proceso corrosivo y son la base del estudio de la eficacia de los distintos métodos de protección. Los ensayos deben ser representativos, reales, fiables y repetitivos, lo cual, al depender el proceso corrosivo tanto del material como del medio, es en ocasiones muy difícil.

2.5.1 Tipos de ensayo

Se pueden distinguir los siguientes tipos de ensayo de corrosión ^[29], los cuales se exponen ya que posteriormente será necesario seleccionar el tipo de ensayo más adecuado para el caso que nos concierne:

1. Ensayos de laboratorio:

Se utilizan en investigación y cuando el presupuesto o el tiempo impiden la realización de ensayos de campo, o como paso previo a estos. Son adecuados para identificar la problemática. La mayoría de ensayos de laboratorio son ensayos acelerados, en los cuales se somete al material a condiciones más severas que las de su uso nominal con el fin de acelerar el proceso corrosivo, reduciendo así el tiempo necesario para obtener conclusiones. Sin embargo, los ensayos acelerados tienen un importante punto débil y es la ausencia de pruebas sobre la representatividad de estos en relación a las condiciones de servicio. Dentro de los ensayos de laboratorio podemos identificar:

1.1. Ensayos en atmósfera artificial:

Se realizan en cámaras cerradas que permiten controlar en su interior tanto la temperatura como la humedad relativa, permitiendo de esta forma la exposición del material a condiciones variadas. Se puede encontrar la normativa detallada sobre este ensayo en la referencia ^[2].

1.2. Ensayos en cámara de niebla salina:

Se lleva a cabo en cámaras cerradas específicas, llamadas cámaras de niebla salina. En ellas se expone el material a una solución salina con un pH determinado, la cual es pulverizada en la cámara, mientras que se mantiene controlada la temperatura. Es un método de ensayo muy extendido, si bien su representatividad ha sido cuestionada desde su creación, ya que no se ha demostrado una relación entre los resultados que ofrece y el rendimiento en uso real del material. Un estudio llevado a cabo por Montgomery, E. L. et al. ^[49] alcanzó la conclusión que los productos de corrosión se forman por diferentes mecanismos en la exposición atmosférica y en los ensayos de niebla salina. Sin embargo, es un método muy útil para comparar el rendimiento de varios materiales y recubrimientos. La descripción normativa de este método de ensayo puede encontrarse en la referencia ^[15].

1.3. Ensayos de inmersión:

Se dividen en tres tipos: inmersión total, parcial o inmersión alternada en una solución salina. La elección de un tipo u otro depende generalmente de las condiciones ambientales que se pretenden simular. Por ejemplo, si el material en servicio se encuentra completamente sumergido, la opción a elegir será la inmersión total. Sin embargo, si el material se encuentra en algunas ocasiones sumergido y en otras expuesto a la atmósfera, la inmersión alternada será el método más representativo. El ensayo de inmersión alternada se encuentra descrito normativamente en la referencia ^[14].

2. Ensayos de planta piloto:

En ellos se somete al material, a escala reducida, a condiciones reales. Son generalmente más adecuados que los ensayos de laboratorio, pero también más caros. La principal carencia de este tipo de ensayos es que se ha de ensayar el material en las condiciones reales de uso, pero, al no ser posible determinar con exactitud las condiciones a las que va a estar expuesto el material en el futuro, la representatividad de estos ensayos es también relativa.

3. Ensayos de campo:

Consisten en someter al material, a escala real, a las condiciones reales de servicio. Son, por razones obvias, los más representativos. Presentan las grandes limitaciones de un elevado coste y la necesidad de una exposición de una gran duración (meses o incluso años). En función de las particularidades de uso del material pueden efectuarse en condiciones atmosféricas, enterradas o sumergidas.

2.5.2 Procedimiento de los ensayos

Con el objetivo de obtener resultados concluyentes es importante seguir una metodología definida de antemano. En la Figura 31 se presenta un diagrama de flujo con los pasos a seguir para la realización de un ensayo de corrosión.

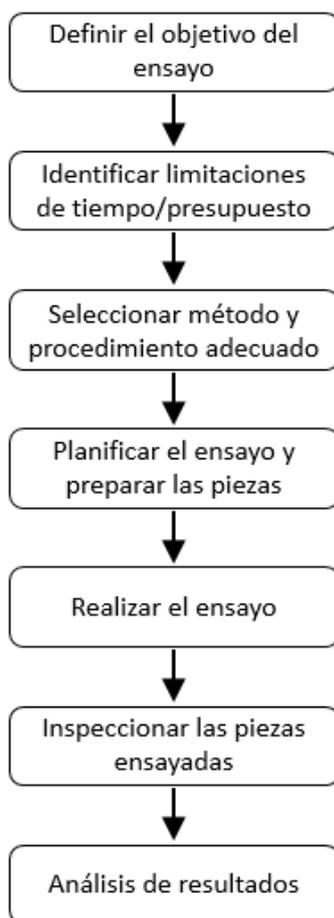


Figura 31. Diagrama de flujo para ensayos de corrosión ^[29]

2.6 TÉCNICAS DE INSPECCIÓN

La inspección de los metales que sufren corrosión es una etapa importante de su ciclo de vida, tanto para los componentes que se encuentran en uso, como para los componentes que se someten a ensayo. En el caso de los materiales metálicos en uso es importante que el ensayo no sea destructivo, con el fin de no causar deterioro en el material ensayado. Aun así, la mayor parte de ensayos no destructivos precisan una serie de requisitos (limpieza y preparación de la muestra) que, en ocasiones, no hacen posible su aplicación en servicio.

Cuando se estima necesario, o cuando es inevitable con el fin de obtener datos necesarios (principalmente propiedades físicas), se pueden llevar a cabo ensayos destructivos. Otra posibilidad intermedia es la extracción de muestras del material. Como en este trabajo se van a utilizar ensayos no destructivos, se explican más en detalle en el siguiente Sub-apartado (2.6.1).

2.6.1 Ensayos no destructivos

Existe una gran variedad de ensayos no destructivos, por lo que su relación es en realidad más extensa que la que se va a exponer a continuación. Los más utilizados actualmente en la industria son ^[35]:

- **Inspección visual:**
Obviamente es el método de inspección más sencillo, pero no por ello debe infravalorarse, ya que es el más utilizado. Presenta las ventajas de coste reducido (incluso nulo) y facilidad de aplicación. Sin embargo, es necesario ser preciso a la hora de establecer relaciones causa-efecto, para lo cual es necesario poseer experiencia en la materia. Este sistema de inspección puede, en ocasiones, no ser tan sencillo, al realizarse con ayuda de luces estroboscópicas o sistemas endoscópicos. Otra variante es la observación por microscopía, la cual permite un análisis mucho más exhaustivo, pero imponiendo la necesidad de extracción de muestras y preparación previa de estas. Su principal desventaja es que la detección de defectos se limita a la superficie del material estudiado.
- **Ensayo mediante líquidos penetrantes:**
Consisten en la aplicación o sumergimiento de la pieza en un fluido que cumpla una serie de requisitos (evaporación suficientemente lenta, facilidad de limpieza, no ser inflamables, etc.). Posteriormente se elimina el exceso de líquido superficial y se aplica un revelador, con el fin de resaltar y poder observar las discontinuidades del material.
- **Ensayos magnéticos:**
Se magnetiza la pieza a ensayar y se extienden partículas magnéticas sobre su superficie. Las partículas se orientan a lo largo de las líneas del campo magnético siempre y cuando no encuentren alguna discontinuidad en su camino. Examinando las desviaciones de las partículas respecto a las líneas magnéticas se identifican las discontinuidades del material ensayado, incluso aquellas que se encuentran ligeramente bajo la superficie.
- **Ensayos de inducción electromagnética:**
Permiten, además de la identificación de grietas o heterogeneidades, obtener datos sobre la homogeneidad estructural y la naturaleza del material. Se

inducen corrientes en la pieza a ensayar, con ayuda de una bobina aproximada a su superficie. La magnitud del campo magnético que provoca la corriente inducida es, en presencia de defectos, inferior a la que provocaría en una pieza sin defectos. Las variaciones de campo repercuten sobre la intensidad de la bobina inductora, del mismo modo que si variase la impedancia de la bobina. Se representa el diagrama fase-magnitud de las impedancias registradas y se comparan con una serie de patrones gráficos correspondientes a diferentes estados posibles. La necesidad de contar con un conjunto bien definido de patrones para cada tipo de pieza es su principal inconveniente.

- Métodos radiográficos:

Es una de las técnicas más empleadas entre los ensayos no destructivos. Se realiza una radiografía (de forma análoga a las radiografías médicas) del material a ensayar, y, gracias a las variaciones en la capacidad de absorción de los rayos X, se pueden identificar las heterogeneidades de dicho material, que se presentan en la placa radiográfica mediante una distinta exposición. Presentan el inconveniente de la emisión de radiación inherente a su aplicación y el daño potencial asociado a esta.

- Inspección por ultrasonidos:

Los ultrasonidos son ondas de presión con una frecuencia superior al umbral auditivo humano ($\approx 20\text{kHz}$). Las frecuencias de los ensayos ultrasónicos se encuentran en el rango de 1 a 25 MHz. Es el método más común de control de calidad de materiales, dada su gran fiabilidad, sensibilidad e inmediatez de los resultados. Los dos métodos de inspección por ultrasonidos utilizados más frecuentemente son: impulso-eco y transmisión. En el caso del método de impulso-eco, se miden los reflejos de las ondas ultrasónicas producidas por las heterogeneidades y, en función del tiempo que tardan en reflejarse, se puede incluso determinar la profundidad del defecto. En el método de transmisión es necesario disponer de un emisor y un receptor separados, en ambas caras del material a ensayar. La amplitud de onda recibida por el receptor será menor cuanto mayor sea la heterogeneidad que encuentre en su camino. Los principales inconvenientes son: no da buenos resultados en materiales con superficies rugosas y requiere personal cualificado, tanto para la configuración de la aparatología como para la interpretación de los resultados.

2.7 ESTUDIOS ESPECIALIZADOS

En este apartado se encuentran recogidos los estudios publicados que tienen relación con este trabajo y que se encuentran recopilados en bases de datos científicas, principalmente Scopus ^[31], Web of Science ^[64] y Engineering Village ^[30] a las cuales es posible acceder gracias a las licencias proporcionadas por la Universidad de Cantabria.

Todas las búsquedas se han realizado con una gran variedad de palabras clave, planteando diversas combinaciones de estas y filtrando con el fin de recopilar únicamente los estudios que verdaderamente tienen relación con lo recogido en este Trabajo Fin de Grado. Algunas de estas palabras clave se mencionan a continuación: *Corrosion, Welding, Design, Structural Steel, Geometry, Coating, Footbridge, Restoration, Atmospheric, Bridge, etc.*

La corrosión es un ámbito en el que se focalizan muchos estudios científicos. Se puede afirmar esto porque realizando una búsqueda con la palabra clave “*Corrosion*” en las bases de datos, se obtienen casi 400.000 resultados en Web of Science y casi 300.000 en Scopus. Por este motivo, la búsqueda de información relativa a un trabajo concreto, es una tarea que requiere una amplia dedicación temporal y una correcta utilización de las herramientas de búsqueda de cada base de datos.

En primer lugar, se debe mencionar la ausencia de estudios específicos en relación al binomio diseño-corrosión que estudia este trabajo. No se ha logrado encontrar ningún estudio comparativo entre dos diseños que investigue sus propiedades frente a la corrosión basado en sus aspectos geométricos. Esto se corresponde con la ausencia de bibliografía especializada en este aspecto particular de la corrosión, lo cual hemos mencionado previamente.

Simancas, J. y Morcillo, M. (1998) ^[62] llevaron a cabo un estudio sobre el comportamiento de varios sistemas de pintura, con distintos grados de preparación y espesores, en ensayos de corrosión atmosférica de larga duración (8 años). Realizaron ensayos con muestras idénticas expuestas al mismo tiempo en varias zonas del territorio español, exponiendo así, además, a los recubrimientos a distintas categorías de agresividad atmosférica. No apreciaron grandes diferencias entre las superficies preparadas con chorreado abrasivo en grado Sa 3 y Sa 2 (partiendo de condiciones iniciales A y B en ambos casos). Sin embargo si acaeció un deterioro

anticipado en forma de ampollas y oxidación en las superficies preparadas manualmente en grado St 2. Las pinturas al aceite y alquídicas ofrecieron la menor protección, comenzando su deterioro antes de 5 años de exposición. Las pinturas epoxi y poliuretano mostraron unas propiedades excelentes incluso en los menores espesores aplicados, no mostrando deterioro tras los 8 años que duró el ensayo. No se apreció que los distintos espesores considerados en el estudio proporcionaran diferencias importantes en el comportamiento de los recubrimientos. Tampoco se apreciaron diferencias importantes causadas por la corrosividad de las atmósferas en el comportamiento del recubrimiento. Sin embargo si se apreciaron diferencias causadas por la corrosividad de las atmósferas en unas pequeñas incisiones que se realizaron en todas las muestras, por lo que, si el recubrimiento presenta un punto débil, el tipo de atmósfera pasa a ser determinante en el proceso corrosivo.

Akgül, F. y Frangopol, D. M. (2004) ^[21] elaboraron un método para determinar la esperanza de vida restante en puentes con estructura de perfiles metálicos similares a los de la pasarela que también sufrían pérdida de sección por corrosión atmosférica. Dicho método posee la limitación de utilizar parámetros de difícil medición en estructuras en servicio, cómo por ejemplo, la pérdida exacta de sección.

Goto, Y. y Kawanishi, N. (2004) ^[38] evaluaron el impacto de las reparaciones sobre el comportamiento mecánico en estructuras de acero que han sufrido pérdida de sección por corrosión. Afirmaron que, en las reparaciones de las estructuras corroídas, no se consigue restaurar el estado inicial, al no recuperarse los desplazamientos que se han producido por haber estado la estructura sometida a esfuerzos no calculados en diseño. Compararon dos métodos de restauración en un puente para evaluar el comportamiento mecánico. En uno de los métodos restauraron la pérdida de sección en los perfiles corroídos directamente mientras que, en el otro, además de restaurar la sección, devolvieron el puente a su posición inicial alzándolo con gatos hidráulicos. Concluyeron que el método de reparación directa, sin alzamiento, ofrece los mejores resultados, tanto desde el punto de vista mecánico cómo desde el económico.

Paik, J. K. et al. (2004) ^[55] estudiaron la resistencia al esfuerzo en placas de acero con corrosión mediante análisis por elementos finitos. Definieron el concepto DOP (*degree of pitting intensity*) como la relación del área corroída en la superficie entre el área total de la superficie intacta. Los resultados probaron que la pérdida de material

causada por corrosión generalizada y por corrosión por picadura puede causar importantes pérdidas en las propiedades mecánicas. Concluyeron que frente a esfuerzos cortantes el factor determinante en la pérdida de propiedades mecánicas es el DOP, mientras que frente a esfuerzos axiales es la reducción de sección lo que gobierna el proceso.

Shifler, D. A. (2005) ^[61] llevó a cabo una discusión sobre los parámetros que afectan al proceso corrosivo en medios marinos. Afirma que los recubrimientos son la forma más común de control de la corrosión. En cuanto al diseño, asegura que un diseño apropiado es la forma más efectiva de reducir los costes asociados a la corrosión. Según Shifler, el proceso de diseño consiste en realizar una correcta selección de los materiales, seguido de la utilización de geometrías y formas de unión adecuadas, y finalizando con un método de control de la corrosión apropiado. Declara que mediante estas prácticas es posible prevenir o ralentizar el proceso corrosivo y minimizar sus efectos cuando ocurra.

Nicolai, R. P. et al. (2009) ^[52] presentaron un modelo de optimización de costes de mantenimiento del recubrimiento protector mediante pinturas cuando se aplican acciones correctivas. Estudian tres acciones de mantenimiento: repintado en zonas específicas, repintado completo sin eliminar los productos de corrosión y repintado completo eliminando completamente los productos de corrosión. Comentan que el método más barato (y el menos efectivo) es el repintado puntual y el más caro (y el más efectivo) el repintado completo eliminando completamente los productos de corrosión. Alcanzaron la conclusión de que no existe una secuencia de mantenimiento óptima, ya que la elección de un procedimiento u otro puede ser óptima en un determinado instante debido al gran número de factores que influyen.

Sharifi, Y. y Rahgozar, R. (2010) ^[60] estudiaron la resistencia al pandeo remanente en perfiles metálicos similares a los de la pasarela retirados de una planta química. Afirman que la corrosión es el factor más determinante para poder estimar la esperanza de vida de las estructuras metálicas. Comentan que en el caso de la corrosión por picadura los factores determinantes en la pérdida de propiedades son la forma de las picaduras y su densidad, mientras que en el caso de la corrosión generalizada se trata de la pérdida de sección. Desarrollan un modelo de cálculo basado en más de 700 medidas en las vigas corroídas, lo cual es posible porque han

sido retiradas de la estructura de la que formaban parte, pero aun así, comentan en las conclusiones que su modelo debe complementarse con inspecciones visuales.

Jakubowski, M. (2011) ^[43] analizó varios estudios sobre corrosión. Afirma que hay dos grupos de acciones que dañan las estructuras en funcionamiento: la corrosión y el esfuerzo mecánico. Argumenta que la corrosión por picadura reduce el límite elástico y, aún más acusadamente, la resistencia a tracción. Concluye que la corrosión por picadura produce mayores pérdidas en las propiedades mecánicas que la corrosión generalizada. Advierte que calcular el impacto mecánico de la corrosión por picadura utilizando la pérdida de sección media puede llevar a resultados erróneos (los cálculos mostrarían una menor pérdida de propiedades que la que hay en realidad), ya que empleando dicha aproximación no se tienen en cuenta aspectos clave en el proceso, como son la distribución de las picaduras en la sección y la posibilidad de creación y propagación de grietas debido a las tensiones generadas en las picaduras.

Kaita, T. et al. (2011) ^[44] mencionan las dificultades que se encuentran muchos ingenieros a la hora de estimar las propiedades físicas remanentes en los materiales corroídos a causa del reducido volumen de estudios al respecto. Afirman que en las estructuras de puentes antiguos se han visualizado picaduras con diámetros superiores a 30 mm. En su estudio llegaron a la conclusión de que pueden obtenerse resultados relevantes de las propiedades remanentes en placas metálicas corroídas utilizando como parámetro gobernante del proceso el espesor mínimo promedio. Sin embargo, este método vuelve a presentar limitaciones en su aplicación sobre estructuras en servicio.

Emami, S. y Toubia E. A. (2016) ^[32] llevaron a cabo un estudio comparativo sobre el comportamiento frente a la corrosión de un sistema de protección tradicional mediante tres capas de pintura (imprimación rica en Zn, capa intermedia epoxi y acabado de uretano), frente a un sistema moderno de dos capas (imprimación rica en Zn y acabado de polisiloxano), con una muestra de 435 placas de acero recubiertas. Los resultados mostraron que el sistema moderno de dos capas ofrece mejor comportamiento frente a la corrosión que el sistema tradicional de tres, lo cual corrobora la tendencia actual en el ámbito de los recubrimientos de optimizar el recubrimiento con un menor número de capas con mejores propiedades. De esta

forma se optimiza el recubrimiento protector desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental.

Kim, I. et al. (2016) ^[45] afirman que el rendimiento de una estructura a lo largo del tiempo está directamente relacionado con su nivel de corrosión. Extrajeron probetas de un puente de acero pintado de 75 años de antigüedad expuesto a condiciones marinas. Llegaron a la conclusión de que las propiedades de un componente corroído de forma irregular pueden ser determinadas utilizando la media y la desviación estándar realizando medidas del espesor residual.

Garbatov, Y. et al. (2016) ^[34] compararon el efecto sobre el comportamiento mecánico de tres acciones de mantenimiento para hacer frente a elementos corroídos. Las tres acciones valoradas consistían en no realizar mantenimiento, lijar o chorrear. Concluyeron que existe una influencia clara de la acción de mantenimiento efectuada en los elementos corroídos sobre el comportamiento mecánico. Los resultados experimentales mostraron que el módulo de elasticidad se reducía más rápido en los elementos lijados, seguido por los no mantenidos. Los que mejor comportamiento mostraron fueron los elementos chorreados.

Momber, A. W. (2016) ^[48] estudió el deterioro del recubrimiento en varios generadores offshore. Con una muestra de 750 inspecciones alcanza la conclusión de que la mayoría de los daños en el recubrimiento son causados por errores de diseño y exacerbados por esfuerzos mecánicos. Afirma que el estudio de imágenes digitales procesadas es un buen método para detectar el deterioro del recubrimiento en las etapas más tempranas y para cuantificar el nivel del deterioro en etapas más avanzadas.

Odrobiňák, J. y Hlinka, R. (2016) ^[53] evaluaron la degradación de siete pasarelas de estructura metálica con ausencia de inspección y mantenimiento. Afirman que las pasarelas con estructura metálica requieren un plan de mantenimiento que incluya inspecciones frecuentes ya que de no ser así acontece una degradación que conllevará a grandes rehabilitaciones o reparaciones, como podemos observar en el caso de estudio de este TFG. De los resultados del estudio extrajeron que las estructuras sin mantenimiento generan problemas precoces de corrosión que pueden traducirse en problemas estructurales. Afirman que siempre es más barato implantar un plan de inspección y mantenimiento que descuidar la estructura hasta que sea

necesaria una reparación mayor. Concluyen su artículo enunciando que es necesario realizar inspecciones periódicas del estado de los recubrimientos protectores y comentan que los problemas de corrosión pueden ser detectados incluso por personal no especializado. Argumentan que es deber el propietario de la estructura llevar a cabo este mantenimiento para garantizar la seguridad de los usuarios.

Stankiewicz, A. y Barker, M. B. (2016) ^[63] analizaron en su artículo las últimas innovaciones en materia de recubrimientos. Centran su estudio en los recubrimientos con propiedades de auto-reparación, los cuales han despertado el interés académico e industrial. Una de las formas de conseguir la auto-reparación que mencionan en su estudio es la incorporación al recubrimiento de micro-cápsulas o nano-cápsulas en forma de esferas huecas de material polimérico, sílice, titanio o carbonato cálcico cargadas de inhibidores de la corrosión en su interior. Las cápsulas pueden diseñarse para romperse por varias acciones, como pueden ser el daño mecánico, un cambio de presión o de temperatura, o una variación en el pH. En cuanto a los inconvenientes, mencionan que por el momento los recubrimientos que tienen esta propiedad de auto-reparación únicamente consiguen retardar el proceso de deterioro y no detenerlo completamente. Afirman que, a pesar de la intensiva investigación en este tipo de recubrimientos, existen muy pocos que se comercialicen. Mencionan también la existencia de pinturas que tornan fluorescentes automáticamente cuando comienza el proceso corrosivo, lo cual supone un gran avance de cara a las inspecciones y el mantenimiento.

Yang, S. et al. (2016) ^[67] presentaron un estudio sobre la relación conjunta de la corrosión y el esfuerzo mecánico en las soldaduras y el efecto estructural de dicho fenómeno. Utilizando análisis por elementos finitos determinaron que las zonas en torno a las soldaduras, debido a las elevadas tensiones que sufren, tienden a acelerar el proceso corrosivo y que además, es más probable que la corrosión no sea uniforme cuando se combinan los efectos de la corrosión y el esfuerzo mecánico. Concluyeron además que las zonas soldadas, al encontrarse sometidas al efecto conjunto mencionado, tienen una mayor probabilidad de fisurarse y conllevar al fallo.

En la Tabla 14 se presenta un resumen de los artículos revisados y de sus conclusiones más relevantes en relación a este TFG.

Tabla 14. Resumen de antecedentes

Autor (Fecha)	Estudio	Conclusiones
Simancas, J. y Morcillo, M. (1998) ^[62]	Comportamiento de distintos sistemas de pintado en ensayos atmosféricos de larga duración (8 años).	No hay diferencias entre la preparación Sa 3 y Sa 2. La preparación St 2 ofrece peores resultados. Las pinturas epoxi y poliuretano proporcionan buenas y duraderas propiedades anticorrosivas.
Akgül, F. y Frangopol, D. M. (2004) ^[21]	Método para determinar la esperanza de vida restante en grandes estructuras metálicas con problemas de corrosión.	Presentan un método fiable, sin embargo, es complicado medir en servicio los parámetros necesarios para su aplicación.
Goto, Y. y Kawanishi, N. (2004) ^[38]	Impacto de las reparaciones sobre el comportamiento mecánico en puentes de estructura metálica que han perdido sección por corrosión.	Recomiendan la reparación directa sin alzamiento, al ser la opción óptima desde el punto de vista mecánico y económico.
Paik, J. K. et al. (2004) ^[55]	Resistencia al esfuerzo (cortante y axil) en placas de acero con corrosión generalizada y por picadura mediante AEF.	Las pérdidas de sección causadas por ambos fenómenos resultan en importantes reducciones en las propiedades mecánicas de los elementos que las sufren.
Shifler, D. A. (2005) ^[61]	Parámetros que afectan al proceso corrosivo en medios marinos, valorando el impacto del diseño.	Mediante la aplicación de un diseño adecuado es posible prevenir o ralentizar el proceso corrosivo y minimizar sus efectos cuando ocurra.
Nicolai, R. P. et al. (2009) ^[52]	Modelo de optimización de costes de mantenimiento del recubrimiento protector mediante pinturas cuando se aplican acciones correctivas.	No existe una secuencia de mantenimiento óptima, ya que la elección de un procedimiento u otro puede ser óptima en un momento determinado.
Sharifi, Y. y Rahgozar, R. (2010) ^[60]	Resistencia al pandeo remanente en perfiles metálicos corroídos retirados de una planta química.	Desarrollan un modelo de cálculo basado en más de 700 medidas en las vigas corroídas, que aun así debe ser complementado con inspecciones visuales.
Jakubowski, M. (2011) ^[43]	Analiza varios estudios sobre la relación entre la corrosión y la pérdida de propiedades mecánicas.	La corrosión por picadura reduce el límite elástico y más acusadamente la resistencia a tracción. La corrosión por picadura produce mayores pérdidas mecánicas que la corrosión generalizada.
Kaita, T. et al. (2011) ^[44]	Analizan las propiedades físicas remanentes en puentes con estructura metálica corroída.	Pueden obtenerse resultados relevantes de las propiedades remanentes utilizando como parámetro el espesor mínimo promedio. Esto presenta limitaciones en su aplicación sobre estructuras en servicio.
Emami, S. y Toubia E. A. (2016) ^[32]	Comparación entre el comportamiento de un sistema de pintado tradicional de 3 capas (Zn+epoxi+uretano) frente a un sistema moderno de 2 capas (Zn+polisiloxano).	El sistema moderno de 2 capas ofrece mejor comportamiento que el tradicional de 3, lo cual permite optimizar el recubrimiento desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental.
Kim, I. et al. (2016) ^[45]	Rendimiento mecánico de un puente de acero pintado de 75 años de antigüedad expuesto a ambiente marino.	Las propiedades de un componente corroído de forma irregular pueden ser determinadas utilizando la media y la desviación estándar del espesor residual.
Garbatov, Y. et al. (2016) ^[34]	Comparación entre el efecto sobre el comportamiento mecánico de tres acciones de mantenimiento de elementos corroídos: no actuar, lijar o chorrear.	Existe una influencia clara entre el comportamiento mecánico y la acción de mantenimiento realizada. El módulo de elasticidad se reduce rápidamente en los elementos lijados, seguido por los no mantenidos. Los elementos chorreados presentan el mejor comportamiento.
Momber, A. W. (2016) ^[48]	Deterioro del recubrimiento en varios generadores offshore, con una muestra de 750 inspecciones.	La mayoría de daños en el recubrimiento son causados por errores de diseño y exacerbados por los esfuerzos mecánicos.
Odrobiňák, J. y Hlinka, R. (2016) ^[53]	Degradación de siete pasarelas de estructura metálica con ausencia de inspección y mantenimiento.	Siempre es más barato implantar un plan de inspección y mantenimiento que descuidar la estructura hasta que sea necesaria una reparación mayor.
Stankiewicz, A. y Barker, M. B. (2016) ^[63]	Últimas innovaciones en recubrimientos protectores de estructuras metálicas.	Se están desarrollando recubrimientos con propiedades de auto-reparación, aunque estos sólo podrán detener el proceso corrosivo y no detenerlo.
Yang, S. et al. (2016) ^[67]	Acción conjunta de la corrosión y el esfuerzo mecánico en las soldaduras y su efecto estructural mediante AEF.	En las zonas en torno a las soldaduras se tiende a acelerar el proceso corrosivo, además, es más probable que la corrosión no sea uniforme. Las zonas soldadas tienen mayor probabilidad de fisurarse y provocar el fallo.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En la Figura 32 se presenta un diagrama de flujo que resume la metodología de trabajo utilizada en el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado, indicando su distribución en los distintos capítulos del mismo:

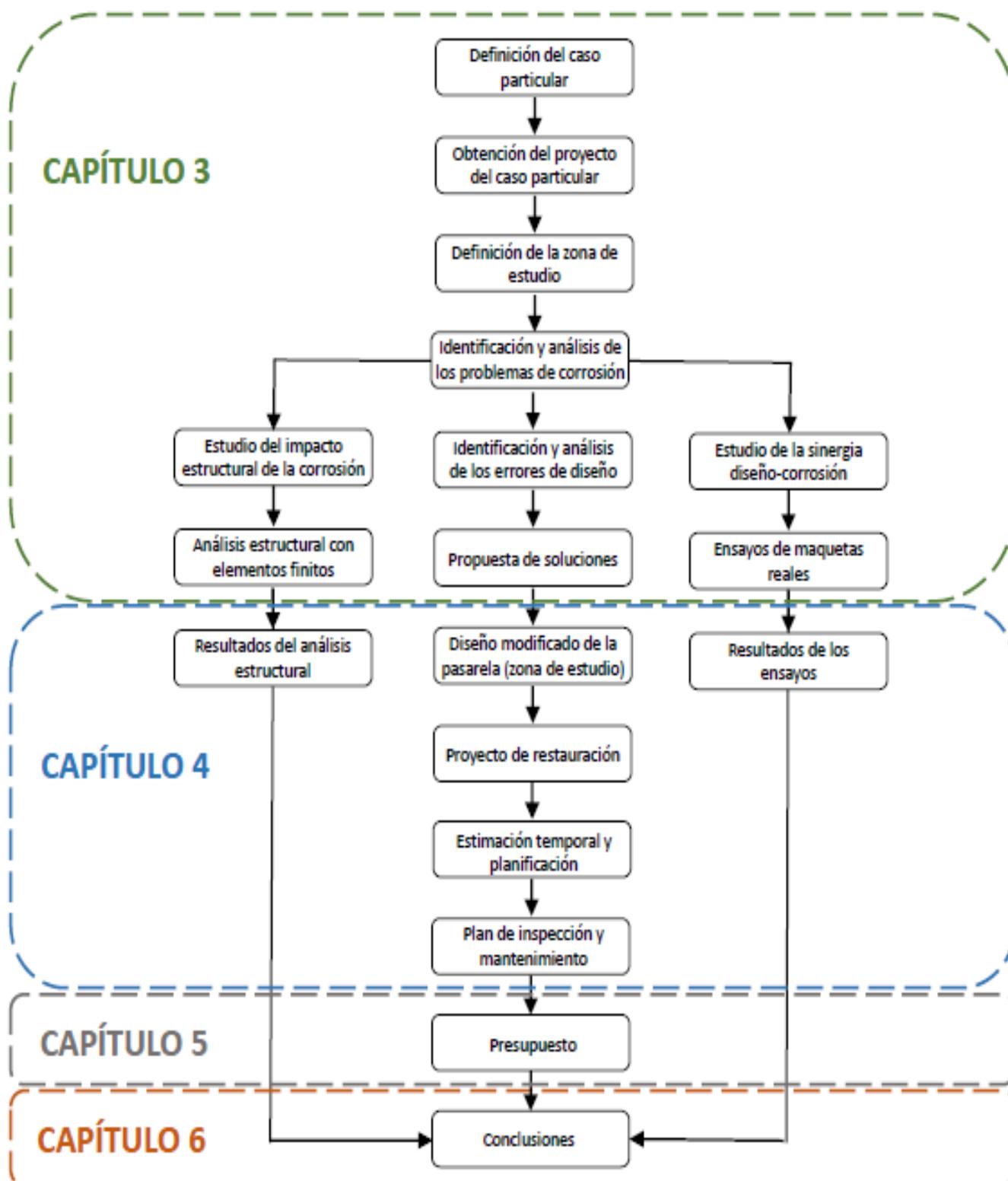


Figura 32. Flujo de trabajo y distribución en el documento

3.1 DEFINICIÓN DEL CASO PARTICULAR: PASARELA ETSIIT, UC

En la Figura 33 se muestra la posición del Apartado 3.1 en el flujo de trabajo de este TFG, presentado previamente en la Figura 32.

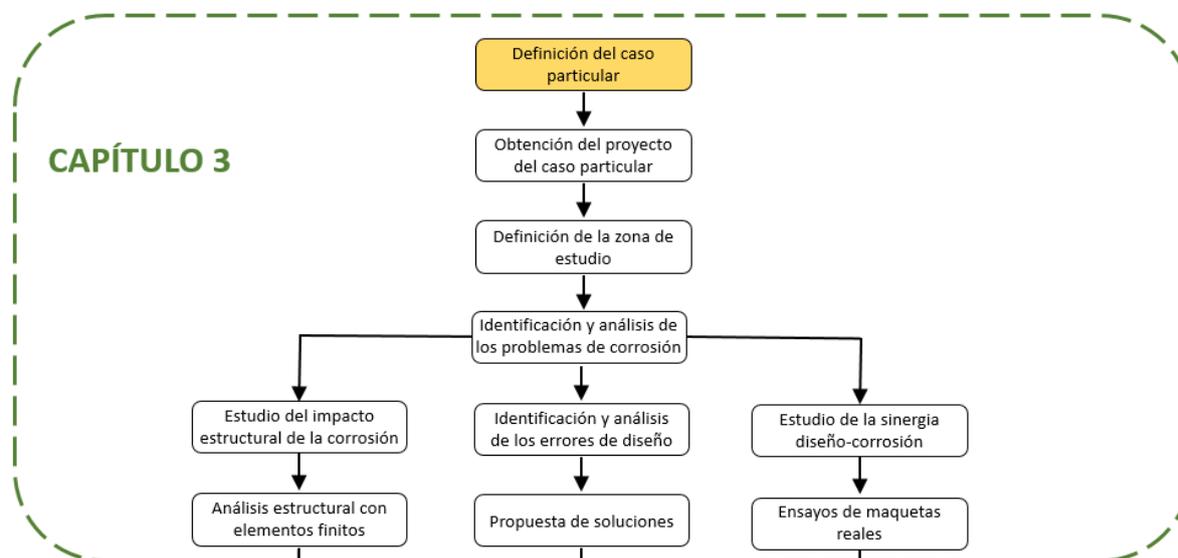


Figura 33. Posición del Apartado 3.1 en el flujo de trabajo

3.1.1 Descripción

El caso práctico que se estudia en este TFG se sitúa en la pasarela que une la E.T.S. de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación (ETSIIT) con la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria. La ETSIIT es una de las estructuras más modernas del campus universitario. La pasarela fue construida simultáneamente a dicho edificio, y, aunque no ha sido posible determinar su fecha de construcción con exactitud, por los problemas encontrados para obtener datos sobre la estructura, que se describirán en el Apartado 3.2. Parece ser que esa fecha se sitúa entre los años 1992 y 1998.

3.1.2 Ubicación

La pasarela se encuentra ubicada en Santander, capital de la comunidad autónoma de Cantabria, en el Norte de España. Coordenadas: 43°28'19"N 3°47'56"O (Figuras 34 a 38).



Figura 34. Situación pasarela - España [37]

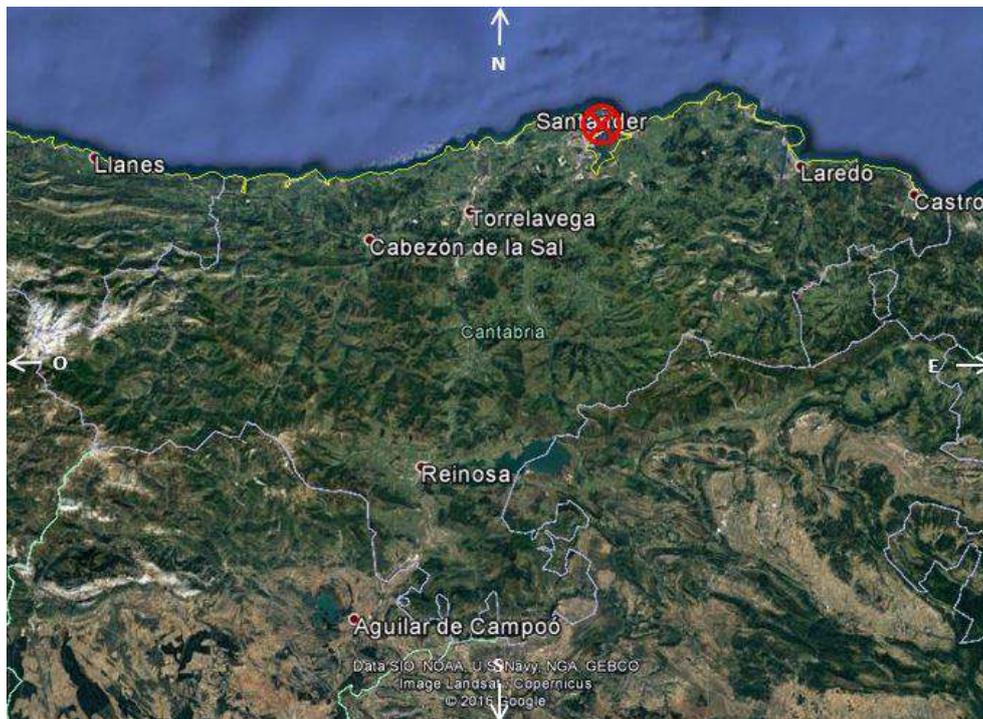


Figura 35. Situación pasarela - Cantabria [37]

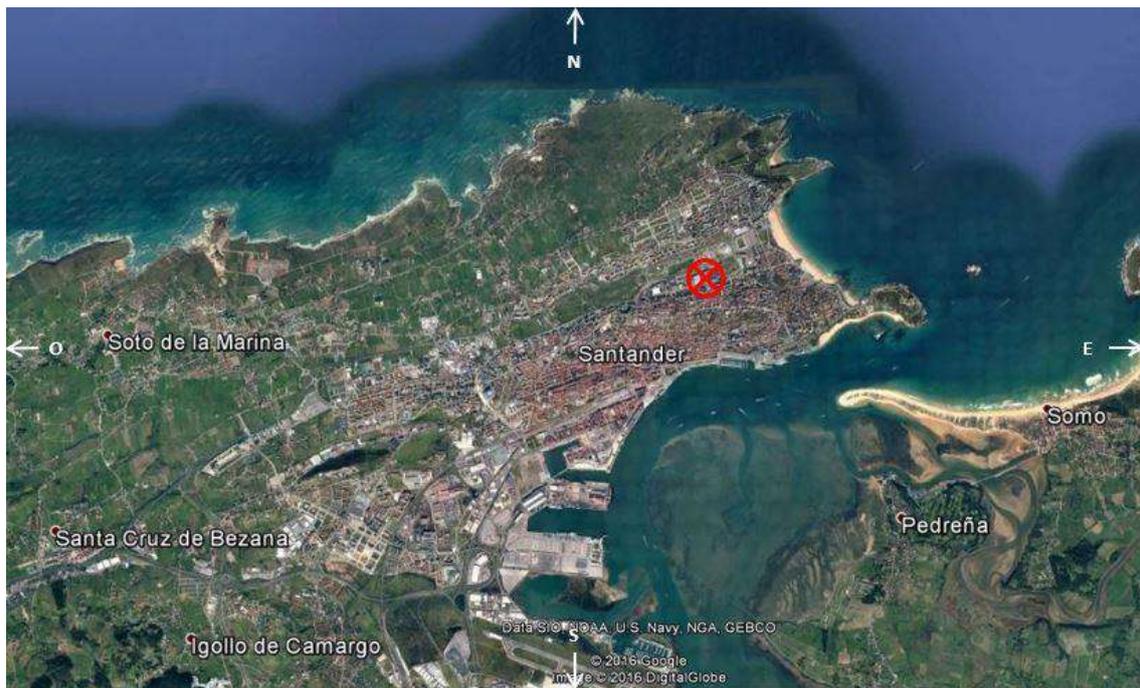


Figura 36. Situación pasarela - Santander [37]

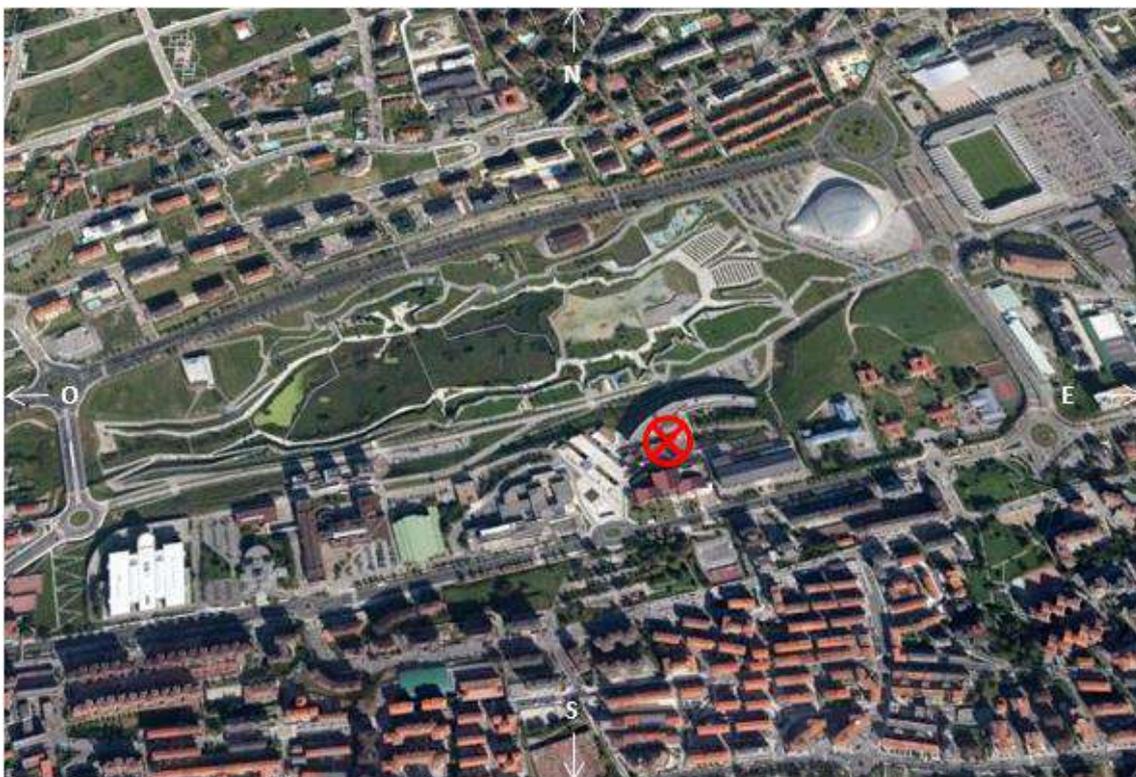


Figura 37. Situación pasarela - Campus Universitario/Parque de las Llamas [37]

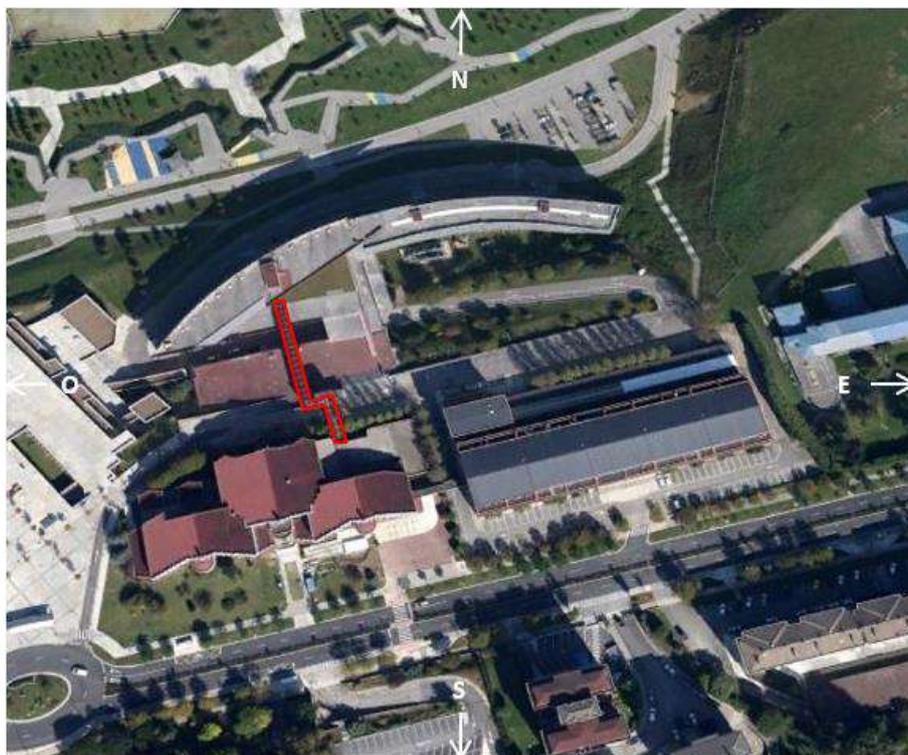


Figura 38. Situación pasarela - ETSIIT/ETSICCP [37]

3.1.3 Dimensiones

En la Figura 39 se muestran las dimensiones aproximadas de la pasarela en metros, obtenidas tomando medidas con una cinta métrica de 10 m de longitud y precisión ± 1 cm. La distancia al suelo no ha podido ser determinada debido a la disposición de la pasarela. No se representan los apoyos intermedios.

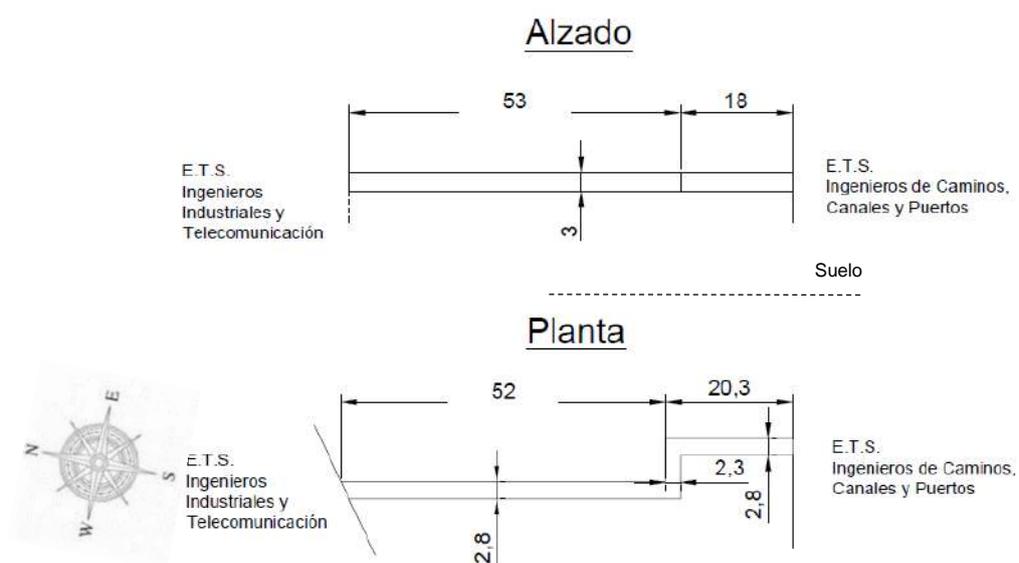


Figura 39. Dimensiones de la pasarela

3.1.4 Vista exterior e interior de la estructura

Con el fin de presentar el caso de estudio se muestran a continuación dos fotografías exteriores de la pasarela, tomadas en Febrero de 2017 (Figuras 40 y 41).



Figura 40. Fachada oeste



Figura 41. Fachada este

En las Figuras 42 a 47 se muestra el interior de la pasarela.

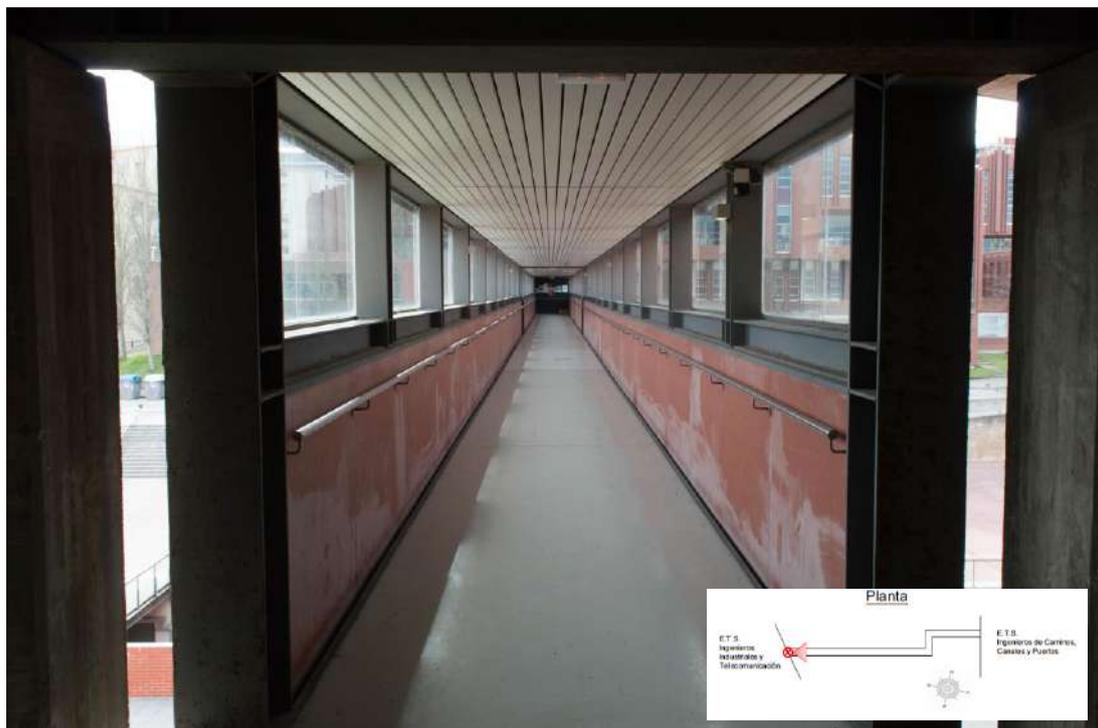


Figura 42. Desde E.T.S.I.I.T. hacia zona central

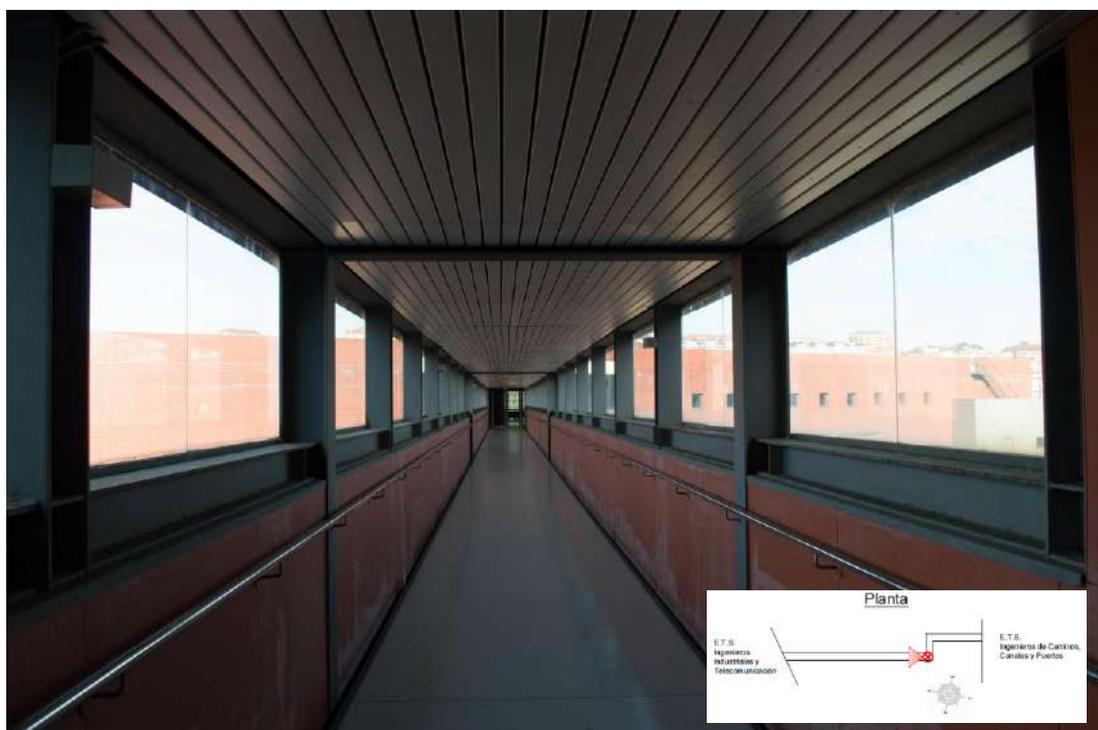


Figura 43. Desde zona central hacia E.T.S.I.I.T.

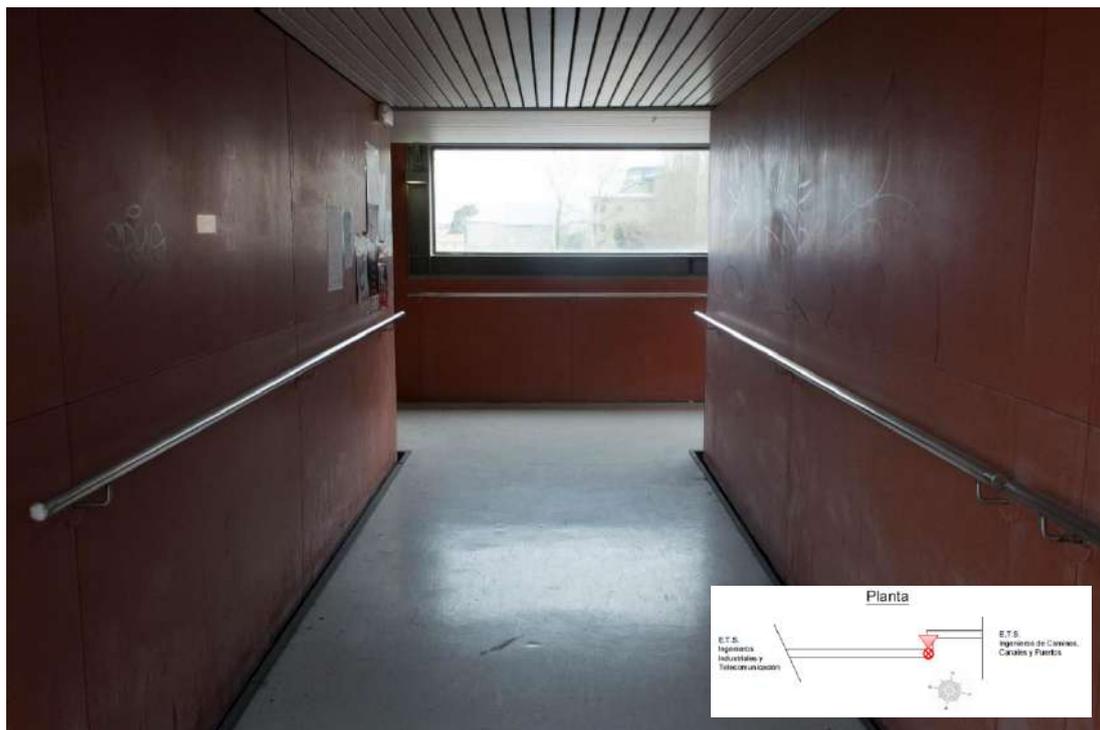


Figura 44. Desde zona central hacia fachada este

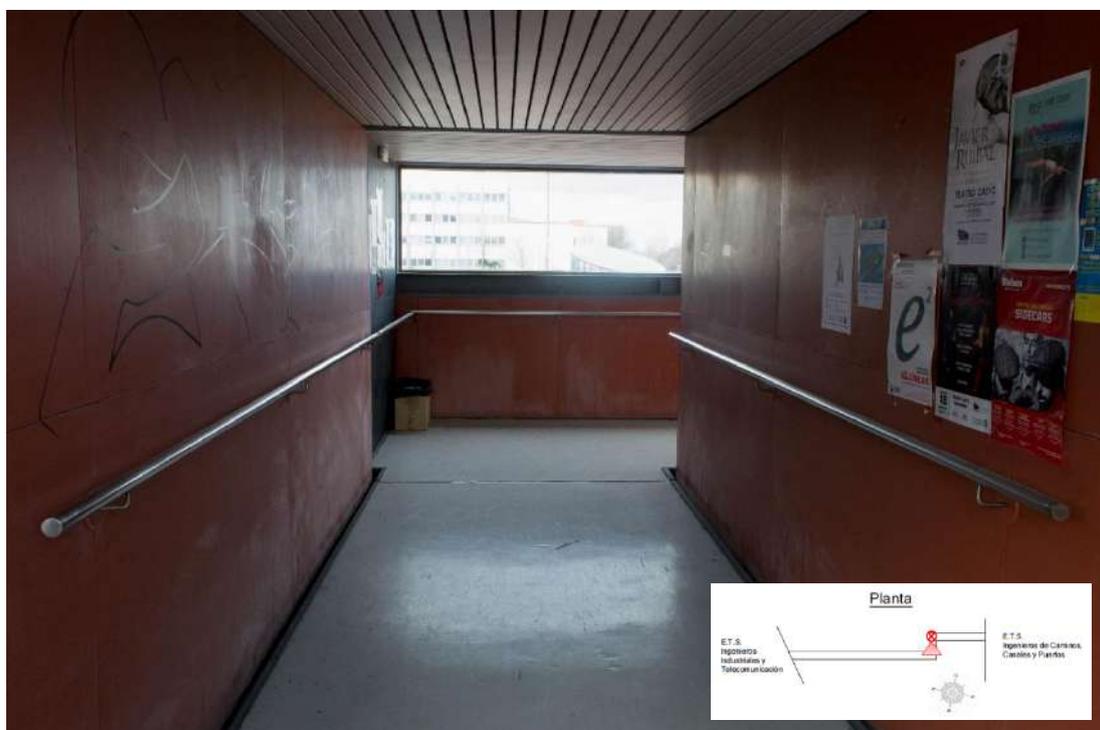


Figura 45. Desde zona central hacia fachada oeste

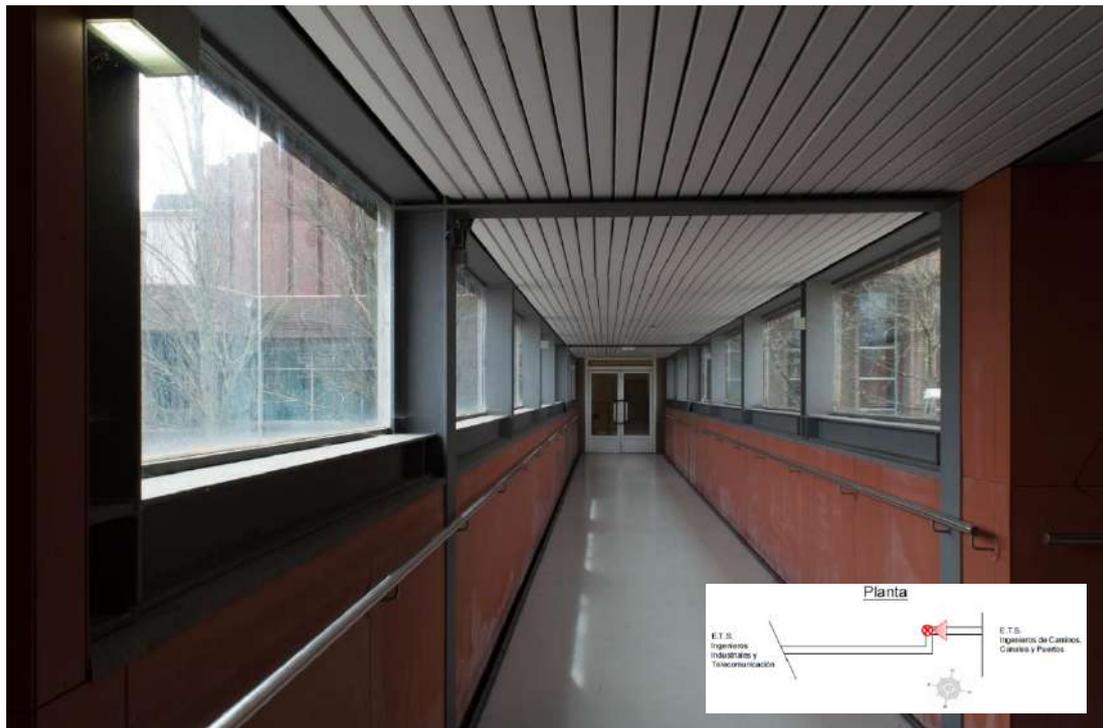


Figura 46. Desde zona central hacia E.T.S.I.C.C.P.



Figura 47. Desde E.T.S.I.C.C.P. hacia zona central

3.2 OBTENCIÓN DEL PROYECTO DEL CASO PARTICULAR

En la Figura 48 se muestra la posición del Apartado 3.2 en el flujo de trabajo de este TFG, presentado previamente en la Figura 32.

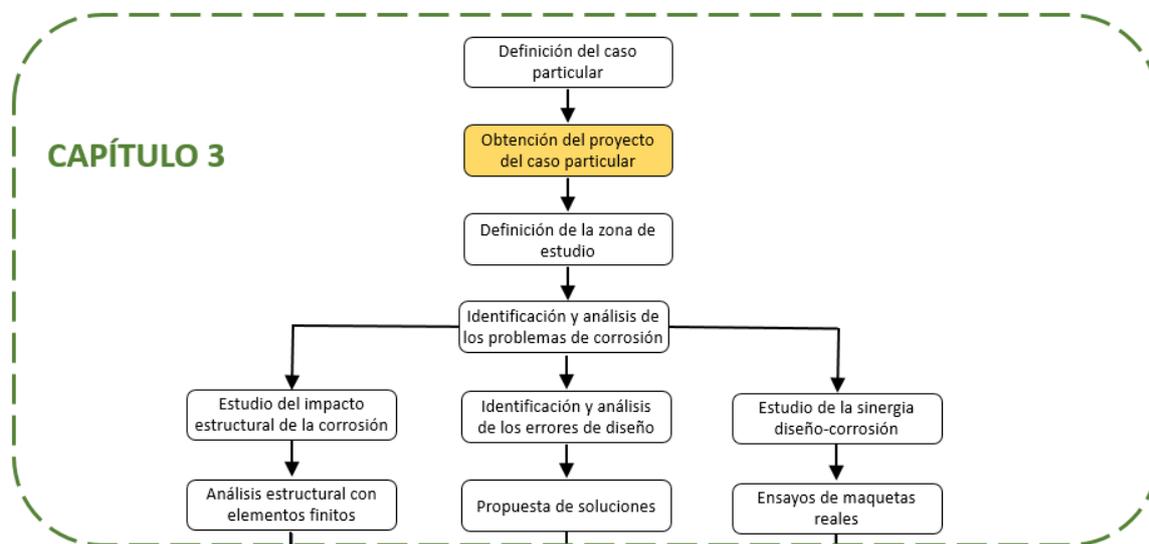


Figura 48. Posición del Apartado 3.2 en el flujo de trabajo

Al ser la pasarela una estructura de elevada complejidad en cuanto a diversidad de materiales y construcción, se considera importante obtener datos sobre su proyecto de ejecución. También se busca obtener conocimientos del ciclo de vida de la pasarela desde su concepción hasta el estado actual, para poder valorar las acciones de mantenimiento que se han llevado a cabo.

Con estos objetivos, se contacta con el Servicio de Infraestructuras de la Universidad de Cantabria ^[65], que es el órgano competente en todo lo referente a las edificaciones del campus universitario. Gracias a los datos proporcionados por el Servicio de Infraestructuras se determina que se hace referencia a la pasarela en uno de los apartados del proyecto de la ETSIIT, firmado en diciembre de 1989. Los datos proporcionados (memoria, presupuesto y planos) pueden encontrarse en el ANEXO 1.

Realizando una comparativa entre los planos del proyecto proporcionado y la construcción física de la pasarela se alcanza la conclusión de que se realizaron modificaciones importantes sobre dicho proyecto, al no corresponder los planos con la pasarela actual. En dichos planos puede observarse como la pasarela fue proyectada para poseer unas paredes y un techo acristalados y, que la disposición y

características de los elementos constructivos no son los existentes en la actualidad, por lo que los datos de dicho proyecto no pueden tomarse como representativos de la pasarela.

Al haber sido reformado el proyecto, y recibir confirmación desde el Servicio de Infraestructuras de que no poseen en sus archivos dato alguno sobre el proyecto reformado, se solicita información sobre la empresa que llevó a cabo la construcción. Una vez más, gracias a la información proporcionada por el Servicio de Infraestructuras, se determina que la empresa de construcción que ejecutó la pasarela entró en liquidación en el año 2013, por lo que tampoco es posible acceder al proyecto por este medio.

Finalmente, se acude al Archivo Municipal del Ayuntamiento de Santander, donde se consultan los proyectos de obra licitados por la Universidad de Cantabria entre los años 1990 y 2000 en relación a la E.T.S. de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación y a la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, para consultar si el proyecto reformado de la pasarela se encuentra allí recogido. Se consultan los siguientes legajos:

- 1991. Legajo 1179. *Edificio Politécnico de la Universidad de Cantabria*. Contiene parcialmente el proyecto proporcionado por el Servicio de Infraestructuras, por lo que no se extrae de él información adicional.
- 1994. Legajo 401. *Urbanización del Edificio Politécnico de la Universidad de Cantabria*. Contiene el proyecto que define las actuaciones de urbanización en torno al Edificio Politécnico, pero no hace mención alguna de la pasarela.
- 1998. Legajo 899. *Ampliación del Edificio Politécnico de la Universidad de Cantabria. (Fase A: Estructuras)*. Contiene el proyecto del edificio sobre el que se sitúan los pilares de cemento de la pasarela. En este proyecto, la única información relativa a la pasarela es la siguiente fotografía (Figura 49), gracias a la cual se puede determinar que su construcción fue simultánea a la de la E.T.S. de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación.



Figura 49. Primera fotografía documentada de la pasarela

- 1998. Legajo 900. *Ampliación del Edificio Politécnico de la Universidad de Cantabria. (Fase B: Nave de ensayos).*

Contiene el proyecto correspondiente a la nave de ensayos de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. No hace mención alguna de la pasarela.

Tras realizar estas averiguaciones, se consideran agotadas las formas de acceder al proyecto de la pasarela, por lo que se desiste de su búsqueda. Será, por tanto, necesario trabajar con los datos que se obtendrán realizando inspecciones visuales de la pasarela, con la limitación que esto impone al no poder determinar cuáles son los materiales exactos que se utilizaron en su construcción y no poder conocer los aspectos de la pasarela que no pueden obtenerse mediante inspección visual, debido a problemas de acceso o por encontrarse ocultos.

3.3 DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

En la Figura 50 se muestra la posición del Apartado 3.3 en el flujo de trabajo de este TFG, presentado previamente en la Figura 32.

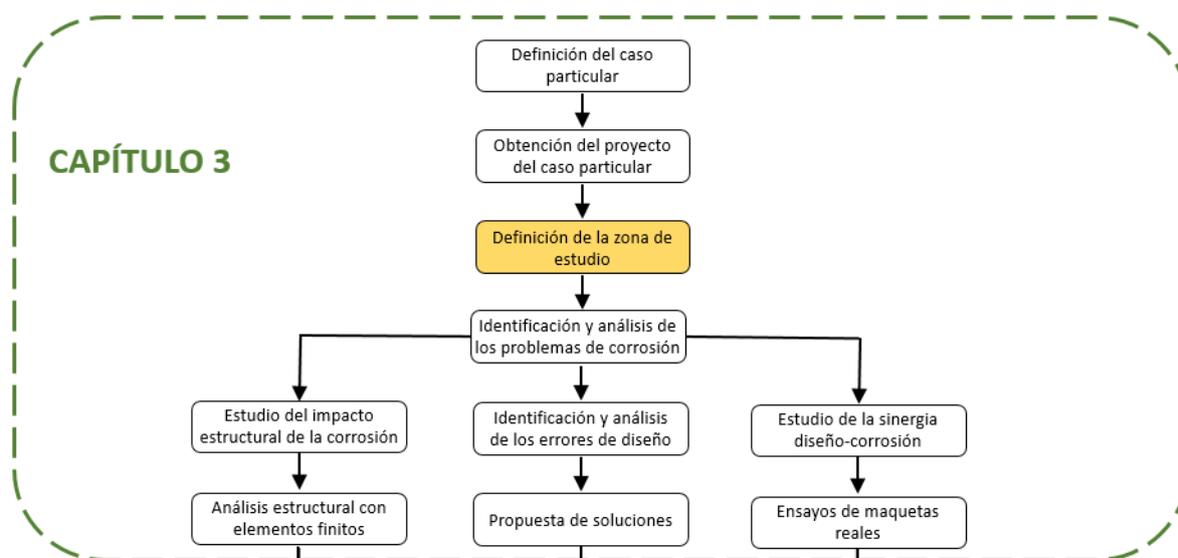


Figura 50. Posición del Apartado 3.3 en el flujo de trabajo

Debido a la disposición de la pasarela, elevada una distancia considerable respecto al suelo, la posibilidad de realizar un estudio completo de la corrosión en su estructura con los medios disponibles queda descartada, al no ser viable acceder a muchas de sus zonas.

Por tanto, el estudio se centrará en las zonas accesibles sin ayudas, desde la zona interior de la pasarela. Al tratarse de un estudio de corrosión restringiremos el análisis a las partes metálicas. En la zona mencionada se pueden identificar dos tipos de superficie metálica: la estructura de acero y los pasamanos.

Se decide focalizar el estudio sobre la estructura de acero de la pasarela, al identificar mediante inspección visual que es la zona que presenta los mayores problemas de corrosión. Otro aspecto importante de la elección de la estructura de acero frente a los pasamanos es que, frente al deterioro, el proceso de sustitución de los pasamanos por otros nuevos es mucho más sencillo y barato que el de la estructura de acero. No quiere decir esto que no se deba tener en cuenta la corrosión en los pasamanos, sino que en la pasarela objeto de estudio, el deterioro de la estructura de acero se considera más importante. Los pasamanos requerirían, por tanto, un estudio análogo.

La zona de estudio se identifica fácilmente debido al recubrimiento color gris oscuro que se encuentra actualmente aplicado en los perfiles metálicos de la estructura. En las Figuras 51 y 52 se acota mediante líneas de color rojo la zona mencionada sobre las Figuras 43 y 47 respectivamente.



Figura 51. Zona de estudio acotada sobre la Figura 43



Figura 52. Zona de estudio acotada sobre la Figura 47

3.4 IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS DE CORROSIÓN

En la Figura 53 se muestra la posición del Apartado 3.4 en el flujo de trabajo de este TFG, presentado previamente en la Figura 32.

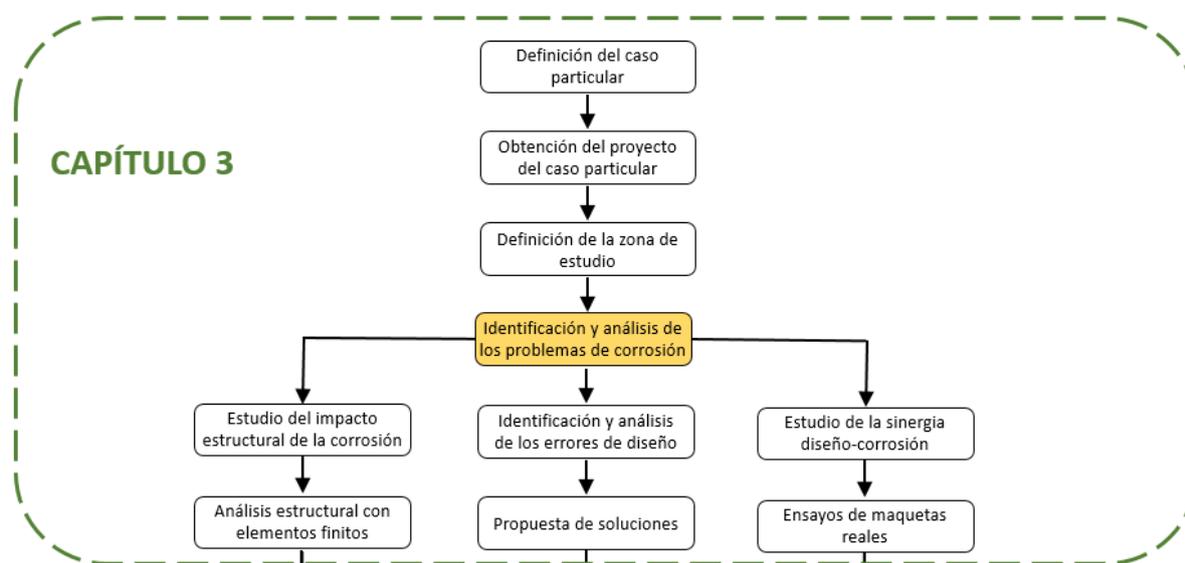


Figura 53. Posición del Apartado 3.4 en el flujo de trabajo

La estructura de acero de la pasarela tiene elementos en posición vertical y horizontal. Bajo una primera inspección visual, los elementos verticales parecen presentar un menor grado de corrosión que los horizontales. Sin embargo, observando la parte de los perfiles verticales próxima al acristalamiento (lo cual debe hacerse a través de su reflejo en los cristales, por la falta de acceso) puede apreciarse que el recubrimiento no es el mismo que en la parte frontal, y que los perfiles verticales, en realidad sí presentan problemas de corrosión. Por tanto puede concluirse que, toda la estructura metálica de la pasarela, experimenta en mayor o menor medida, problemas de corrosión, independientemente de su disposición.

De no estar protegida por un recubrimiento, la estructura de acero sufriría corrosión generalizada debido a su exposición a la atmósfera. Por otra parte, si la protección aplicada fuese efectiva, se hubieran tenido en cuenta las consideraciones de diseño y se hubiera llevado a cabo un plan de inspección y mantenimiento, los problemas de corrosión que se estudian en este trabajo no hubieran tenido lugar. Sin embargo, como esto no ha sido así, el proceso corrosivo afecta en la actualidad, en distintos niveles de gravedad, a toda la estructura metálica de la pasarela.

En la Figura 54 se esquematiza el proceso corrosivo que sufre la pasarela.

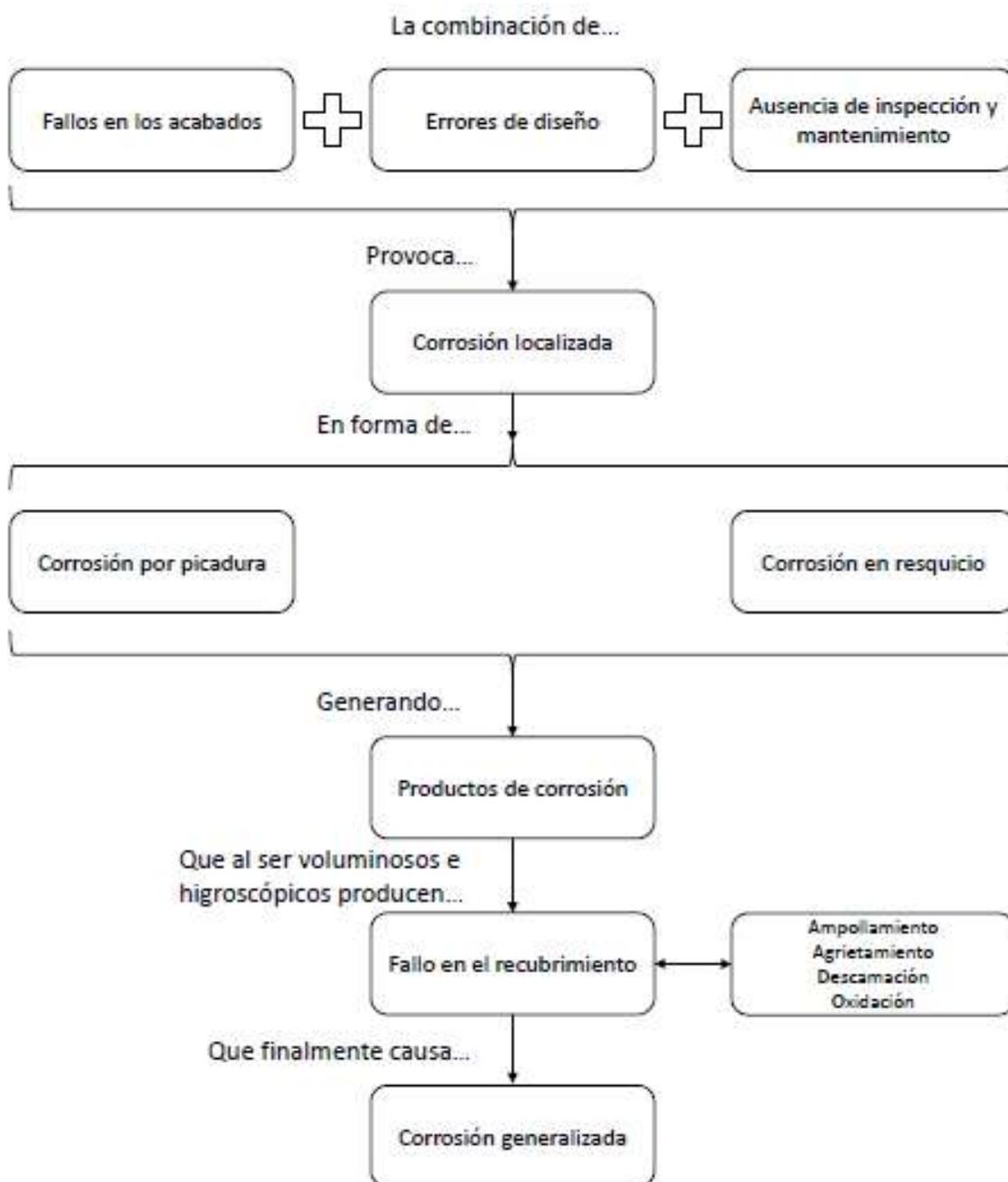


Figura 54. Etapas del proceso corrosivo en la pasarela

En la zona de la pasarela próxima a la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, se suma a los problemas mencionados la presencia de corrosión microbiológica debido a las condiciones de falta de luz solar.

En la Figura 1 puede apreciarse este fenómeno, donde las distintas tonalidades de los productos de corrosión son debidas a la presencia de varios tipos de microorganismos ^[59].

Además, en la pasarela pueden apreciarse filtraciones de agua causadas por goteras y fallos de estanqueidad en los sellados. Aunque se eliminen las filtraciones, lo cual reduciría la gravedad del ataque, la estructura seguirá sufriendolo a través de la formación cíclica de una película húmeda y de la condensación en las ventanas y en la propia superficie metálica.

3.5 ERRORES DE DISEÑO EN LA PASARELA

En este apartado se estudia el diseño actual de la pasarela. Con el objetivo de identificar los errores de diseño en la pasarela se utiliza como apoyo las etapas de diseño definidas por Pludek V. R. [57], ya mencionadas en el Apartado 2.2. Paralelamente, se proponen soluciones a los errores de diseño que se identifiquen.

En la Figura 55 se muestra la posición del Apartado 3.5 en el flujo de trabajo de este TFG, presentado previamente en la Figura 32.

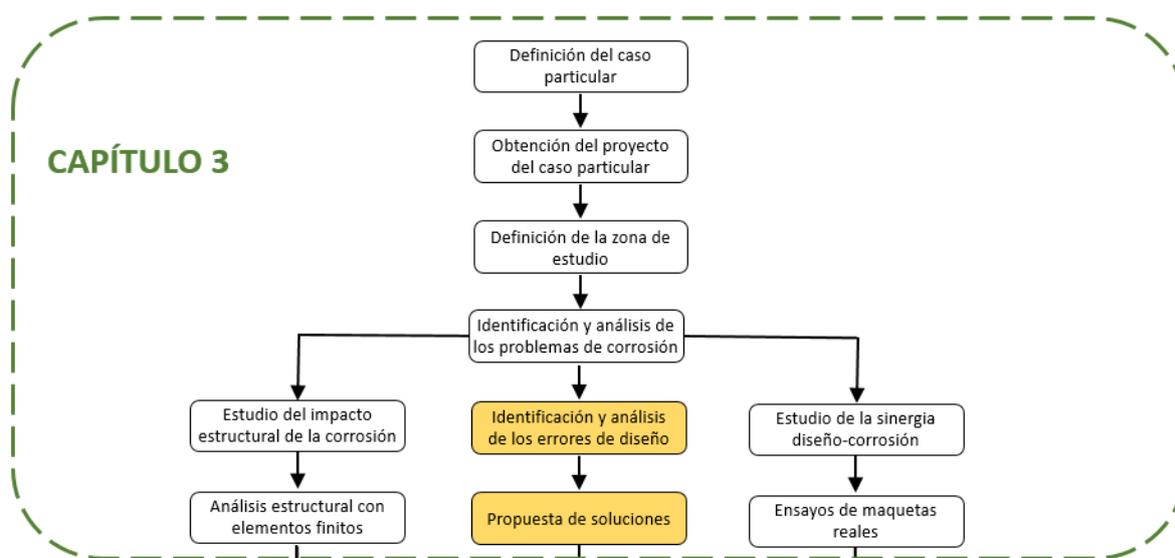


Figura 55. Posición del Apartado 3.5 en el flujo de trabajo

3.5.1 Selección de materiales

La estructura de la pasarela está construida con acero estructural, sin embargo, no es posible determinar el tipo exacto, al no haber podido acceder al proyecto de ejecución. Teniendo esto en cuenta puede afirmarse que la selección de materiales es correcta, al ofrecer el acero estructural buenas propiedades mecánicas a un precio razonable.

3.5.2 Estudio de la compatibilidad de los materiales

Efectuando una inspección visual, no se observa corrosión galvánica en los elementos estructurales de la pasarela, de lo que se deriva que todas las partes componentes son del mismo tipo de acero, por lo que la elección de los materiales en relación a su compatibilidad es correcta.

3.5.3 Diseño geométrico

Un diseño geoméricamente adecuado debe evitar zonas que permitan la acumulación de suciedad y electrolito, favoreciendo, simultáneamente, las acciones de inspección y mantenimiento. En la pasarela pueden identificarse los siguientes aspectos que comprometen el diseño geométrico:

Accesibilidad

Problemática

Los perfiles verticales que forman la estructura metálica son inaccesibles en la zona próxima a los cristales, existiendo únicamente un hueco en sus laterales, inferior a 3 cm, que impide el acceso para realizar las labores de inspección y mantenimiento (Figura 56). Esta falta de acceso dificulta, además, la valoración del estado actual de los perfiles en esa zona, que únicamente pueden observarse a través de su reflejo en el cristal, donde es posible apreciar la presencia de corrosión.



Figura 56. Problemas de accesibilidad en la pasarela

Consecuencias

Presencia notable de corrosión en las superficies posteriores de los perfiles verticales que forman la estructura metálica de la pasarela en su zona próxima a los cristales. La Figura 57 muestra la parte posterior de uno de dichos perfiles, en donde puede apreciarse un elevado nivel de corrosión.

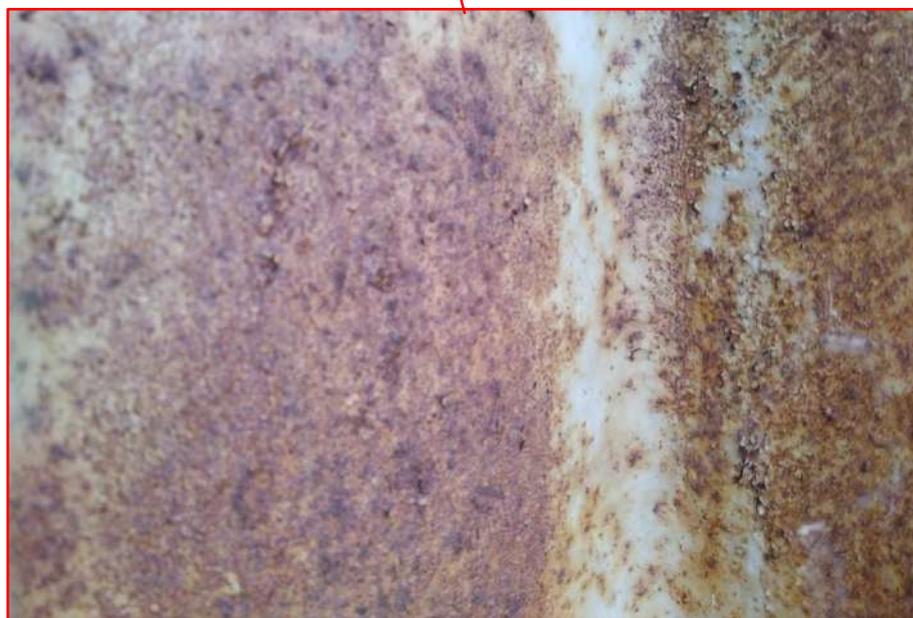


Figura 57. Corrosión en la parte posterior de los perfiles verticales

Soluciones propuestas

Para evitar esta zona con falta de accesibilidad y una geometría complicada se proponen las siguientes soluciones:

1. Soldar placas de acero que sellen completamente el perfil en su parte posterior. Aunque no solucionaría la falta de acceso, ofrecería una geometría más simple que la que presenta el perfil en la actualidad. Esta solución, sin embargo, presenta el problema de que los perfiles se encuentran deformados por su peso propio (lo cual puede determinarse mediante medición directa de las dimensiones del perfil), por lo que las soldaduras podrían fallar, eliminándose la estanqueidad y reapareciendo los problemas de corrosión.
2. Especificar un sistema de pintura de elevada durabilidad, siguiendo las instrucciones de la norma ^[5]. Esta solución, aunque no elimina el problema de accesibilidad, reduce considerablemente el potencial de que la zona en cuestión sufra corrosión en un largo periodo de tiempo.

Resquicios

Problemática

Existen resquicios en la estructura metálica (Figura 58) entre los perfiles del acristalamiento y los perfiles HEB horizontales; también existen resquicios entre los perfiles HEB horizontales y el perfil metálico situado sobre las paredes. Como se ha visto en el Apartado 2.2, la presencia de resquicios en una estructura metálica constituye un punto débil en la protección frente a la corrosión.

Consecuencias

Aparece en estas zonas la corrosión en resquicio, provocando que los productos de corrosión devengan en un desprendimiento del recubrimiento, lo que a su vez agrava el proceso, al exponer el metal desnudo al medio agresivo. En algunas zonas pueden apreciarse desprendimientos de recubrimiento de varios centímetros de largo e incluso, puede deducirse de la coloración de los productos de corrosión la presencia de microorganismos (Figura 18).

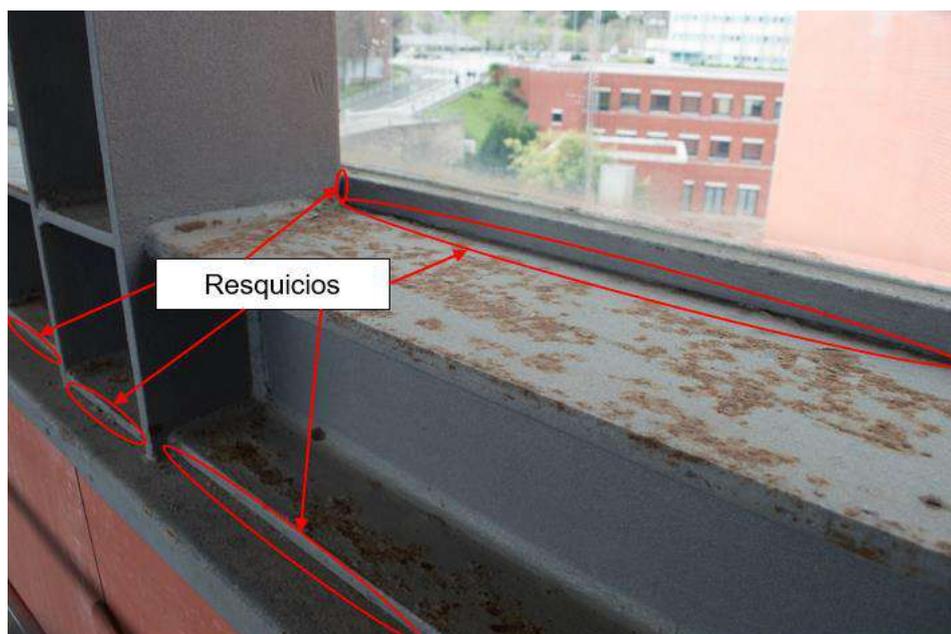


Figura 58. Resquicios en la pasarela

Soluciones propuestas

Para eliminar los resquicios se proponen las siguientes soluciones:

1. Efectuar una soldadura continua en todos los resquicios. La realización de una soldadura continua es siempre la mejor opción de sellado, pero, en este caso, al necesitar los perfiles metálicos del acristalamiento libertad de movimiento para absorber las dilataciones térmicas, el soldado no es viable, por lo que esta solución es descartada.
2. Aplicar un adhesivo sellante en los resquicios, el cual deberá proporcionar la estanqueidad necesaria para que no se produzca la corrosión en resquicio.

Superficies planas horizontales

Problemática

La estructura metálica presenta grandes superficies planas horizontales, que favorecen el estancamiento del electrolito que se deposita sobre ellas, al no facilitar su drenaje y eliminación (Figura 59).

Consecuencias

A causa de esto, todas las superficies planas horizontales de la pasarela presentan, en menor o mayor medida, problemas de corrosión, que se traducen en ampollamiento de la pintura.

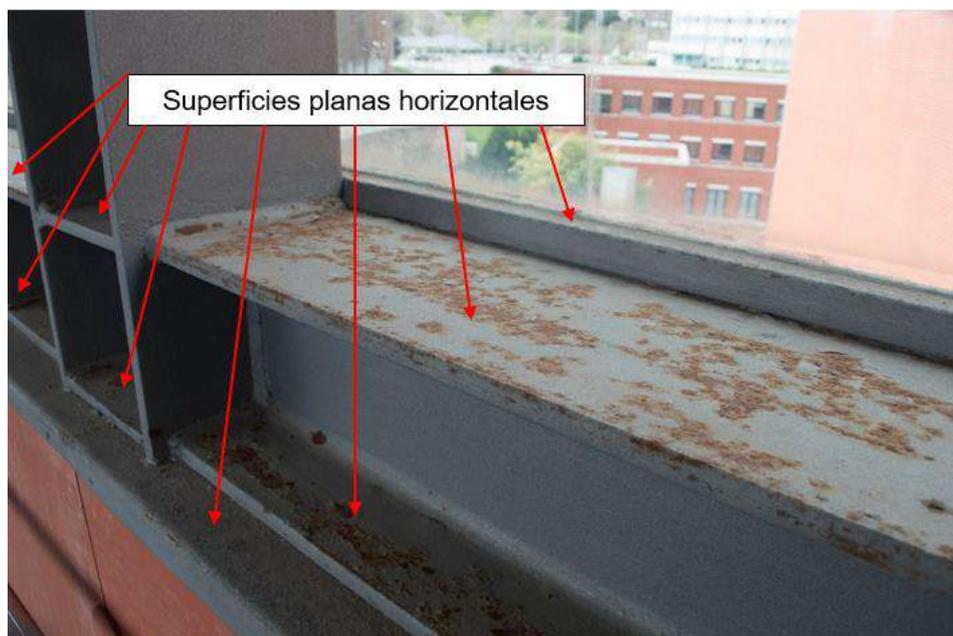


Figura 59. Superficies planas horizontales en la pasarela

Soluciones propuestas

Para favorecer el drenado, y reducir la problemática inherente a las superficies planas horizontales, se proponen las siguientes soluciones:

1. Diseñar la estructura de forma que presente una leve pendiente, lo cual, aunque no es posible medir, es probable que ya esté aplicado en la pasarela, al ser una práctica habitual para facilitar el drenaje. Sin embargo, en este caso, esta medida no es suficiente al existir un gran número de superficies planas horizontales en la pasarela.
2. Especificar un sistema de pintura de elevada durabilidad, siguiendo las instrucciones de la norma ^[5] ya que, a causa de esta complicación geométrica, la estructura tiene un elevado potencial de corrosión.

En la Tabla 15 se resumen los errores de diseño geométrico identificados, su problemática, sus consecuencias y las soluciones propuestas.

Tabla 15. Errores en el diseño geométrico de la pasarela

Error de diseño	Problemática	Consecuencia	Soluciones propuestas
Accesibilidad	Falta de acceso en los perfiles verticales	Presencia notable de corrosión y daño en el recubrimiento	1. Soldar placas de acero 2. Sistema de pintura de elevada durabilidad
Resquicios	Presencia de resquicios en la estructura	Corrosión en resquicio y daño en el recubrimiento	1. Realizar soldadura continua 2. Aplicar adhesivo sellante
Superficies planas horizontales	Grandes superficies planas horizontales que favorecen el estancamiento	Corrosión y ampollamiento del recubrimiento protector	1. Añadir leve pendiente a la estructura 2. Sistema de pintura de elevada durabilidad

3.5.4 Diseño en aspectos mecánicos

En lo relativo al estado tensional, la zona estudiada está sometida a una carga estática constante debido al peso propio de la estructura y a cargas dinámicas debidas al viento, vibraciones, paso de peatones, etc.

Efectuando una inspección visual puede determinarse que es un aspecto que se ha tenido en cuenta en el diseño de la pasarela, en la que se han aplicado medidas al respecto, como son el empleo de soldadura continua como método de unión preferente y la instalación de multitud de refuerzos en las vigas de acero soldados en todo su contorno, si bien no puede determinarse hasta qué punto por la ausencia de datos mencionada en el Apartado 3.2.

3.5.5 Diseño de las superficies

Bordes

Problemática

Los bordes de los perfiles presentan un ángulo recto demasiado abrupto, lo que provoca que las capas de recubrimiento no alcancen el espesor necesario, al no permitirse la formación de una película de espesor uniforme (Figura 60).

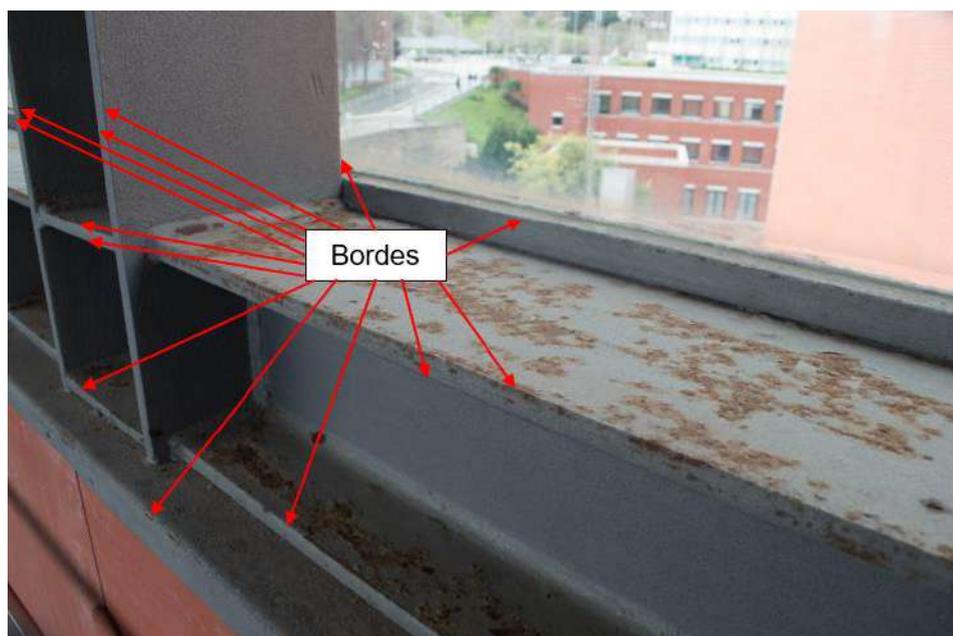


Figura 60. Bordes en la pasarela

Consecuencias

Presencia de corrosión en la mayor parte de los bordes de los perfiles que forman la estructura metálica. En Figura 61 se muestra un borde con un deterioro muy representativo de este error de diseño.



Figura 61. Corrosión en un borde de la estructura

Soluciones propuestas

Para solucionar este error de diseño se propone:

- Como recomienda la normativa^[5] y diversos autores^{[46][57]}, realizar un biselado de estos bordes, o, si es posible, preferentemente redondearlos. La normativa recomienda un radio de redondeo superior a 2 mm (Figura 62).

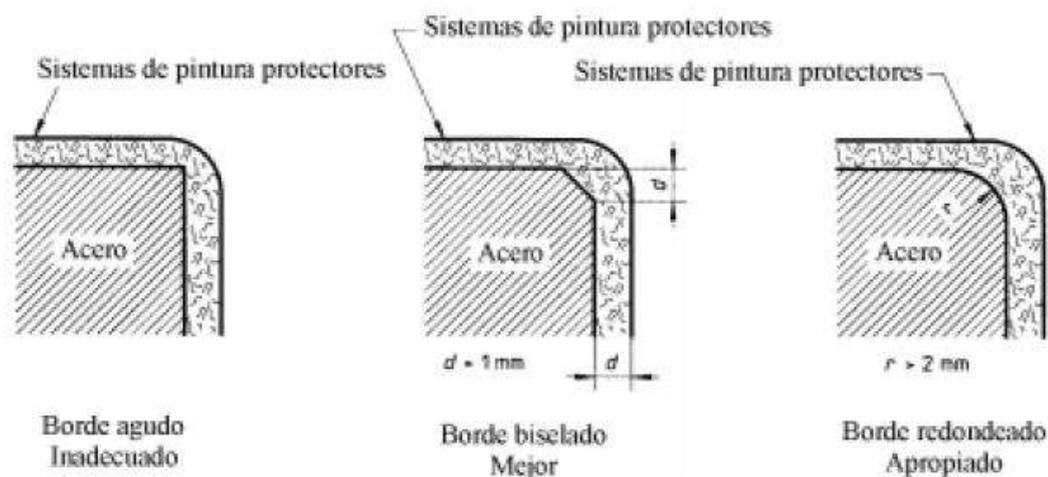


Figura 62. Selección de bordes en el diseño^[5]

Soldaduras

Problemática

Las soldaduras son una zona muy delicada desde el punto de vista de la corrosión. Esto es debido a que, durante el proceso de soldado, el calor latente de solidificación del cordón de soldadura se transmite a la zona afectada por el calor (ZAC), produciendo tensiones indeseadas en los sistemas metálicos, al acaecer un enfriamiento no controlado.

Además, la soldadura introduce heterogeneidades en la continuidad geométrica de la estructura, generando discontinuidades en el recubrimiento protector, lo que favorece el proceso corrosivo (Figura 63).

Como nota positiva al diseño actual, se ha utilizado en la mayor parte de la estructura la soldadura continua como método de unión, el cual es, por lo general, la elección preferente para proporcionar el mejor sellado y protección para la corrosión (Figura 64).

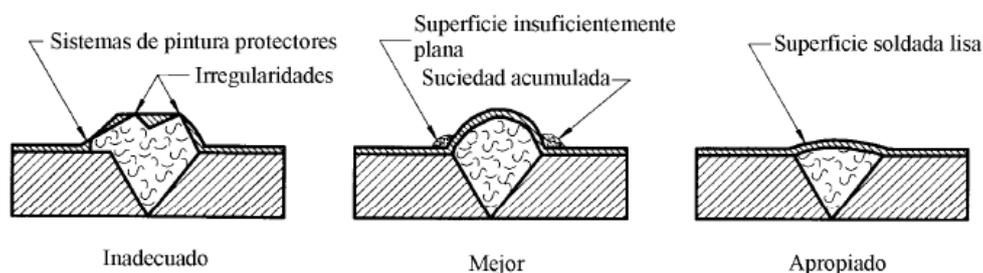
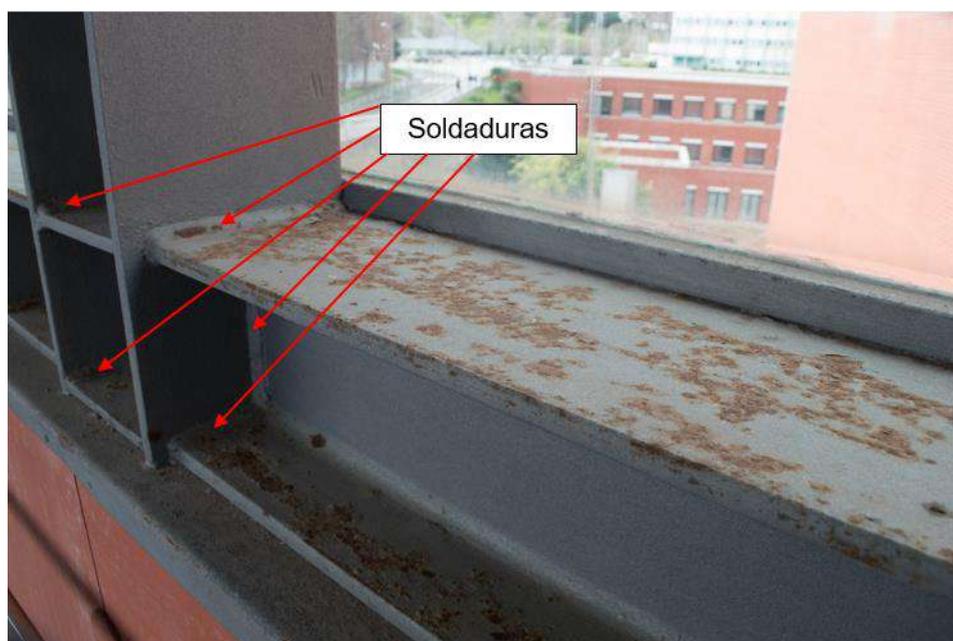
Figura 63. Acabado de soldaduras ^[5]

Figura 64. Soldaduras en la pasarela

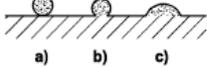
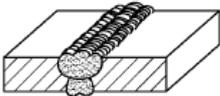
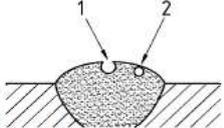
Consecuencias

Como puede apreciarse en la Figura 64, y por los motivos expuestos previamente, las soldaduras favorecen la aparición de la corrosión.

Soluciones propuestas

Para reducir el impacto negativo de las soldaduras se deberá garantizar la ausencia de grietas, poros, asperezas, cráteres o proyecciones, los cuales deberán ser eliminados en su totalidad por medios mecánicos o rellenados de material apropiado. En la Tabla 16 se indica el acabado deseado frente a los problemas que pueden encontrarse en los cordones de soldadura.

Tabla 16. Acabado deseado en las soldaduras ^[11]

Salpicaduras	Ondas	Escorias	Muecas	Poros
				
La superficie debe quedar exenta de salpicaduras	La superficie debe presentar un perfil liso	La superficie debe quedar exenta de escorias	La superficie debe quedar exenta de muecas	La superficie debe quedar exenta de poros visibles

Leyenda
 1 Visible
 2 Invisible (podría abrirse después de un chorro de abrasivo)

Fijación de los perfiles del acristalamiento

Problemática

La fijación de los perfiles del acristalamiento a la estructura metálica se ha efectuado por medio de tornillos, que es un método de unión desaconsejable, al introducir heterogeneidades en la continuidad de la superficie (Figura 65).

Consecuencias

Actualmente no se aprecia un gran deterioro debido a este método de unión en las zonas circundantes a los tornillos. Esto es debido a que, por lo general, en estas zonas, el recubrimiento ha alcanzado un espesor suficiente para sellar el perímetro de la cabeza de los tornillos, evitando así la aparición de la corrosión, como puede observarse en la Figura 65.



Figura 65. Tornillo de fijación del acristalamiento

Soluciones propuestas

Al no poderse realizar un soldado continuo en estas partes porque, dificultaría las posibles acciones de sustitución de los cristales rotos e impediría la absorción de las dilataciones producidas por efectos térmicos, se recomienda mantener el sistema de fijación mediante tornillos, siempre que se tengan en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Los tornillos han de ser de un material compatible con los perfiles del acristalamiento y con la estructura metálica para no crear pares galvánicos (preferentemente misma composición química)
- Las dimensiones de los tornillos deben elegirse para garantizar el mejor ajuste posible, evitando que sobresalgan o sean demasiado pequeños
- Debe verificarse que la colocación de los tornillos es correcta antes de proceder al chorreado y a la posterior aplicación del recubrimiento protector

En la Tabla 17 se resumen los errores de diseño de las superficies identificados, su problemática, sus consecuencias y las soluciones propuestas.

Tabla 17. Errores en el diseño de las superficies de la pasarela

Error de diseño	Problemática	Consecuencia	Soluciones propuestas
Bordes	Los bordes de los perfiles presentan un ángulo recto demasiado abrupto	Presencia notable de corrosión y daño en el recubrimiento	Biselar o redondear los bordes con un radio superior a 2 mm
Soldaduras	Las soldaduras son un punto débil frente a la corrosión	Presencia notable de corrosión y daño en el recubrimiento	Eliminar grietas, poros, asperezas, cráteres y proyecciones
Fijación de los perfiles del acristalamiento	Fijación mediante tornillos	Actualmente no se aprecian	Mantener el sistema de fijación mediante tornillos siguiendo las indicaciones realizadas

3.5.6 Diseño del sistema de protección

Problemática

Es difícil determinar con exactitud cuál fue el procedimiento de pintado que se aplicó en la construcción de la estructura debido a la ausencia de documentos al respecto. Lo único que puede afirmarse con seguridad es que el recubrimiento actual no está realizando las funciones de protección. El estado de deterioro del recubrimiento se ha alcanzado por una combinación de las causas expuestas previamente en la Figura 54.

Consecuencias

Las consecuencias de la ausencia de protección de la estructura metálica pueden observarse a lo largo de este TFG, ya que, si el recubrimiento estuviera realizando sus funciones, la corrosión no hubiera tenido lugar, o, al menos, no de una forma tan notable como lo hace en la actualidad.

Soluciones propuestas

Se propone un procedimiento de pintado adecuado a las características de exposición de la pasarela. Para la elaboración de dicho procedimiento se han seguido las recomendaciones normativas, adaptándolas al caso particular.

Se debe tener en cuenta que la pasarela tiene condiciones de condensación prácticamente constantes y está expuesta a un elevado número de contaminantes, al encontrarse en una zona próxima al mar y expuesta al tráfico urbano.

Realizando esta consideración, y utilizando como soporte documental el catálogo de una de las marcas líderes en el sector de los recubrimientos de protección ^[39], se diseña un procedimiento de pintado destinado a atmósferas clasificadas normativamente ^[4] en la categoría C4 (alta), que se considera representativa y suficientemente conservadora respecto a las condiciones de exposición de la estructura estudiada.

Dados los antecedentes de falta de mantenimiento, y los errores de diseño mencionados en apartados previos, se proyecta el recubrimiento para una duración estimada superior a 15 años (tiempo hasta el primer mantenimiento), lo cual aumentará la inversión inicial, pero reducirá las acciones de mantenimiento y proveerá una mayor seguridad de cara a prevenir actuaciones de restauración como las que

se contemplan en este trabajo. Esto no exime de la implantación de un plan de inspección y mantenimiento, el cual se propone en el Apartado 4.6.

El sistema de pintura propuesto es el siguiente:

1. Eliminación de los restos de pintura y productos de corrosión mediante chorreado abrasivo, siguiendo los procedimientos especificados en ^[7] hasta alcanzar un grado de preparación superficial Sa 2 ½, según la normativa correspondiente ^[10].
2. Aplicación por pulverización de una capa de recubrimiento epoxi de dos componentes de base disolvente, hasta alcanzar un espesor de 200 µm, tipo HEMPADUR 45880/1/W ^[39] respetando las indicaciones del fabricante y los tiempos de secado entre las aplicaciones de las distintas capas.
3. Aplicación por pulverización de una capa de esmalte de poliuretano de dos componentes de base disolvente, tipo HEMPATHANE HS 55610, con un espesor de 80 µm ^[39].

La elección de la preparación por chorreado para los elementos corroídos se realiza de acuerdo a las conclusiones obtenidas en el estudio de Garbatov, Y. et al. ^[34] pues este método de preparación es el más adecuado para optimizar el comportamiento mecánico.

Se escoge el grado de preparación Sa 2 ½ sobre el grado Sa 3 ya que el incremento en el coste que se produce al realizar un chorreado de mejor calidad no se justifica desde el punto de vista técnico en la mayor parte de las aplicaciones, como se probó en el estudio realizado por Simancas, J. y Morcillo, M. ^[62]. En el mismo estudio, se demostró que las pinturas epoxi y poliuretano ofrecen una gran protección durante largos periodos de tiempo, lo cual justifica la elección de las pinturas.

Se opta por un sistema bicapa, ya que como se demostró en el estudio llevado a cabo por Emami, S. y Toubia E. A. ^[32] no es el número de capas, si no la calidad de la pintura y el espesor de dichas capas, lo que asegura una buena protección.

3.5.7 Diseño del sistema de inspección y mantenimiento

No es posible valorar el diseño del sistema de inspección y mantenimiento proyectado para la pasarela estudiada, debido a la imposibilidad de acceder al proyecto de ejecución. Aun así, observando el estado actual de deterioro puede afirmarse con

seguridad que en la pasarela no se han llevado a cabo trabajos de inspección y mantenimiento con la frecuencia debida, bien por ausencia de un plan a tal efecto o por el incumplimiento de este.

3.5.8 Valoración económica

El diseño actual de la pasarela en materia de protección frente a la corrosión supone, en principio, unos costes bajos. Esto es debido al reducido número de medidas implantadas para proteger la estructura y a la ausencia de tareas de inspección y mantenimiento.

Sin embargo, este proceder no puede ser considerado rentable, desde un punto de vista económico, basando esta afirmación en las conclusiones del estudio realizado por Odrobiňák, J. y Hlinka, R. ^[53], pues han demostrado que siempre es más barato realizar tareas de inspección y mantenimiento periódicamente, que no realizar acciones hasta que el deterioro provoque la necesidad de un gran mantenimiento.

Cuando no se tiene en cuenta suficientemente la corrosión como parte del diseño y no se implantan las suficientes medidas preventivas, acaece un deterioro como el que presenta la pasarela en la actualidad. Es entonces cuando se hace patente la necesidad de realizar un gran proyecto de restauración como el que se presentará más adelante en este TFG, que viene acompañado de elevados costes.

Por tanto, el diseño actual de la pasarela, al no incorporar el suficiente número de medidas, es más barato en inicio, pero, a largo plazo, supone un mayor desembolso que si se aplicarían las medidas adecuadas desde la concepción de la estructura junto a un adecuado plan de inspección y mantenimiento, al aparecer grandes daños que deben ser subsanados.

3.6 ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

En este apartado se estudia la relevancia estructural que tiene la corrosión en los perfiles horizontales de la estructura metálica interior mediante análisis por elementos finitos (AEF).

En la Figura 66 se muestra la posición del Apartado 3.6 en el flujo de trabajo de este TFG, presentado previamente en la Figura 32.

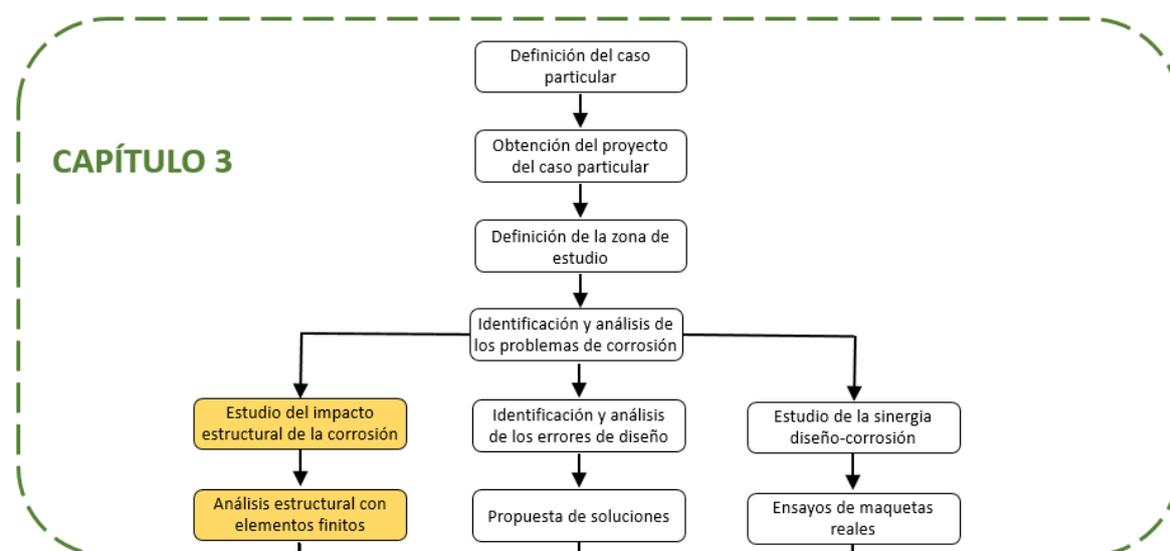


Figura 66. Posición del Apartado 3.6 en el flujo de trabajo

Con este fin se realizan varios modelos del perfil horizontal que aparece con mayor frecuencia en la estructura, el perfil HEB 180 de 2.700 mm de longitud (Figuras 67 y 68).



Figura 67. Imagen real perfil estudiado en AEF

Los modelos se realizan y estudian utilizando el software ANSYS ^[23], uno de los principales referentes en AEF. Se plantean distintas hipótesis, las cuales valoran distintos niveles de corrosión en el perfil, con el objetivo de observar la evolución en su comportamiento en relación a los esfuerzos que sufre por su peso propio. Por tanto, no se tiene en cuenta el efecto sobre el perfil estudiado del peso del resto de la

estructura ni de las sobrecargas de uso, viento, etc. Que puedan existir, es decir, se estudia el elemento aislado y no se modelan los refuerzos.

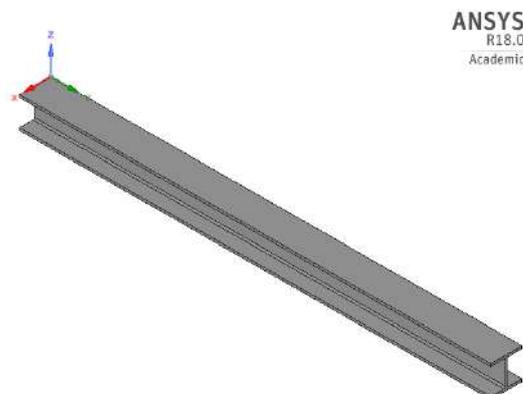


Figura 68. Modelo base perfil HEB 180 L=2.700 mm

Se comparan las tensiones máximas de Von Mises en el elemento y su desplazamiento máximo, para evaluar su relación con el tamaño de las picaduras, la pérdida de sección y la acción combinada de estas. El análisis es lineal ya que, con las hipótesis que se valoran, el estudio se encuentra completamente en la zona de trabajo lineal del material.

El material empleado en los modelos es el acero estructural por defecto del software, al no ser posible conocer las propiedades el acero utilizado en la pasarela. Las propiedades del material estudiado se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Propiedades del acero estructural estudiado ^[23]

Density	7.850 kg/m ³
Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05
Tensile Yield Strength	250 MPa
Compressive Yield Strength	250 Mpa
Tensile Ultimate Strength	460 Mpa
Compressive Ultimate Strength	0 Pa
Young's Modulus	2E+05 Mpa
Poisson's Ratio	0,3
Bulk Modulus	1,6667E+11 Pa
Shear Modulus	7,6923E+10 Pa
Strength Coefficient	920 Mpa
Strength Exponent	-0,106
Ductility Coefficient	0,213
Ductility Exponent	-0,47
Cyclic Strength Coefficient	1000 Mpa
Cyclic Strength Hardening Exponent	0,2

El efecto de la corrosión se modela a través de la pérdida de material que dicho fenómeno produce. En la pasarela, por lo general, no se aprecia directamente la pérdida de material. Por el contrario, se aprecia un incremento del volumen en la sección de los perfiles metálicos, debido a que *“los productos de corrosión del acero son más voluminosos que los elementos de partida y son de naturaleza expansiva”* [22].

Los productos de corrosión pueden considerarse despreciables en cuanto a sus efectos estructurales, por lo que pérdida de sección por corrosión se modelará como si el material corroído no estuviese presente.

3.6.1 Efecto de las picaduras

Para simular las picaduras se realizan orificios semiesféricos (Figura 69) en la superficie superior del ala superior del perfil estudiado, al ser esta la zona más afectada en la pasarela.

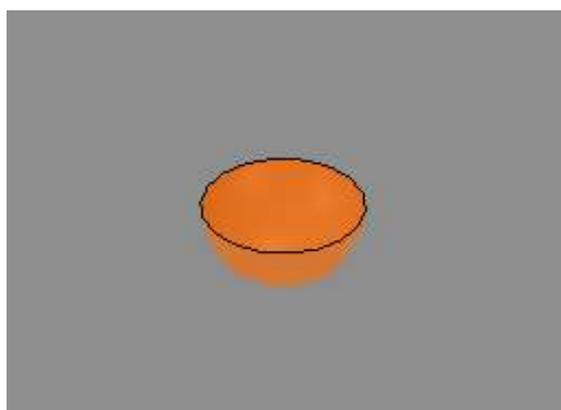


Figura 69. Modelo de una picadura

Se efectúan 33 orificios situados en un patrón rectangular (3 orificios en anchura y 11 en longitud, Figura 70). La cantidad de orificios se ve limitada por el máximo número de nodos que es posible estudiar con la versión académica del software (32.000 nodos), ya que una mayor densidad de orificios genera un malla que supera dicho número de nodos, impidiendo realizar el cálculo.

La distancia entre los centros de los orificios es constante, de 50 mm en anchura y de 250 mm en longitud, buscando un reparto uniforme en la superficie. El diámetro de los orificios varía entre 2 y 50 mm, con el objetivo de cubrir un gran espectro de posibilidades.

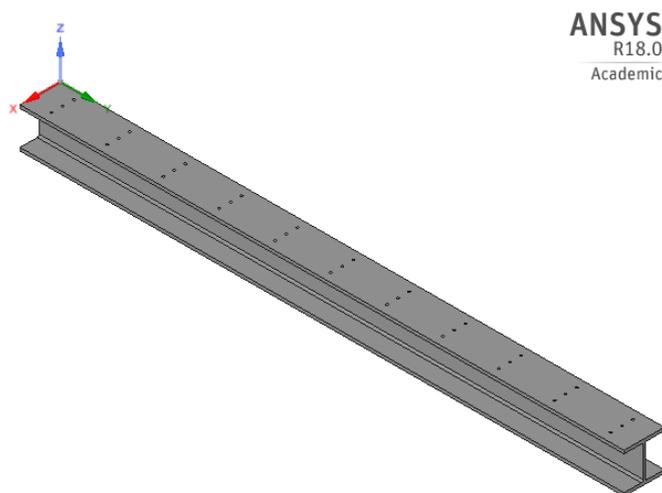


Figura 70. Modelo corrosión por picadura

En el caso de la corrosión por picadura es habitual utilizar el término DOP (*degree of pitting intensity*), concebido por Paik, J. K. et al. (2004) ^[55], que se define como:

$$DOP (\%) = \frac{\text{Superficie afectada por picaduras}}{\text{Superficie total}} \cdot 100 \quad (10)$$

En la Tabla 19 se presentan las hipótesis estudiadas junto al DOP correspondiente.

Tabla 19. Hipótesis de picadura y DOP

Hipótesis	DOP	Hipótesis	DOP
Picaduras 2 mm	0,02%	Picaduras 18 mm	1,73%
Picaduras 4 mm	0,09%	Picaduras 20 mm	2,13%
Picaduras 6 mm	0,19%	Picaduras 25 mm	3,33%
Picaduras 8 mm	0,34%	Picaduras 30 mm	4,80%
Picaduras 10 mm	0,53%	Picaduras 35 mm	6,53%
Picaduras 12 mm	0,77%	Picaduras 40 mm	8,53%
Picaduras 14 mm	1,05%	Picaduras 45 mm	10,80%
Picaduras 16 mm	1,37%	Picaduras 50 mm	13,33%

3.6.2 Efecto de la corrosión generalizada

En esta hipótesis se valora la pérdida de sección uniforme en la superficie superior, debida a corrosión generalizada. Para simular la corrosión generalizada se elimina material uniformemente de la superficie superior del ala superior del perfil estudiado (Figura 71). La pérdida de sección varía de 1 a 13 mm en incrementos de 1 mm. Con este rango, se estudian todas las posibilidades, desde el inicio del proceso, hasta el

estado más desfavorable en el que el perfil sigue cumpliendo su función de sujetar el acristalamiento (con una pérdida de 14 mm, el ala superior del perfil desaparecería).

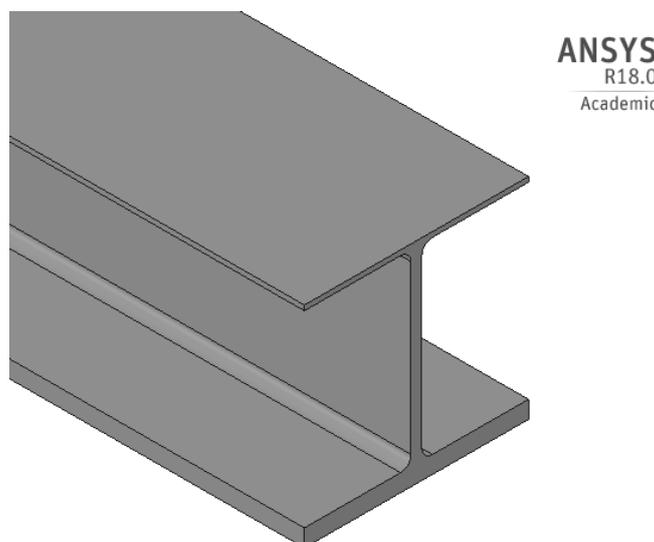


Figura 71. Detalle modelo pérdida de sección por corrosión generalizada

En la Tabla 20 se presentan las hipótesis de corrosión generalizada junto a la pérdida de sección porcentual sobre la altura total del ala del perfil (14 mm).

Tabla 20. Hipótesis de corrosión generalizada y pérdida de sección porcentual

Hipótesis	Pérdida porcentual	Hipótesis	Pérdida porcentual
Pérdida sección 1 mm	7,14%	Pérdida sección 8 mm	57,14%
Pérdida sección 2 mm	14,29%	Pérdida sección 9 mm	64,29%
Pérdida sección 3 mm	21,43%	Pérdida sección 10 mm	71,43%
Pérdida sección 4 mm	28,57%	Pérdida sección 11 mm	78,57%
Pérdida sección 5 mm	35,71%	Pérdida sección 12 mm	85,71%
Pérdida sección 6 mm	42,86%	Pérdida sección 13 mm	92,86%
Pérdida sección 7 mm	50,00%		

3.6.3 Combinación de corrosión generalizada y picaduras

En el caso de la pasarela, las picaduras y la corrosión generalizada coexisten. Por ese motivo se estudian estas hipótesis, en las que se consideran distintas combinaciones de pérdida de sección por picaduras y por corrosión generalizada.

Para estudiar el efecto conjunto de estos dos fenómenos, se va suponer un diámetro constante de picadura de 6 mm en la superficie superior (DOP 0,19%), al ser este un tamaño de picadura similar al de las ampollas que se aprecian en la pasarela con

mayor frecuencia. La distribución de las picaduras en la superficie es la misma que en las hipótesis con picaduras únicamente.

Las picaduras se combinan con pérdidas de sección uniforme de 1 a 11 mm en incrementos de 1 mm (Figuras 72 y 73). No se valoran las combinaciones con pérdidas de sección uniforme de 12 y 13 mm por generar mallas que imposibilitan el cálculo.

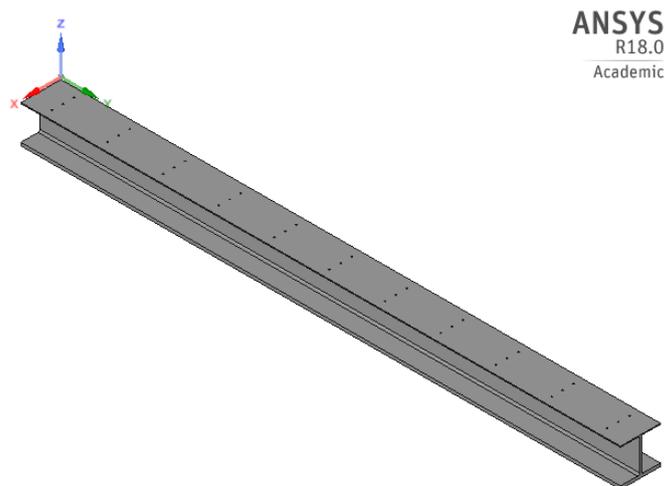


Figura 72. Modelo hipótesis combinada

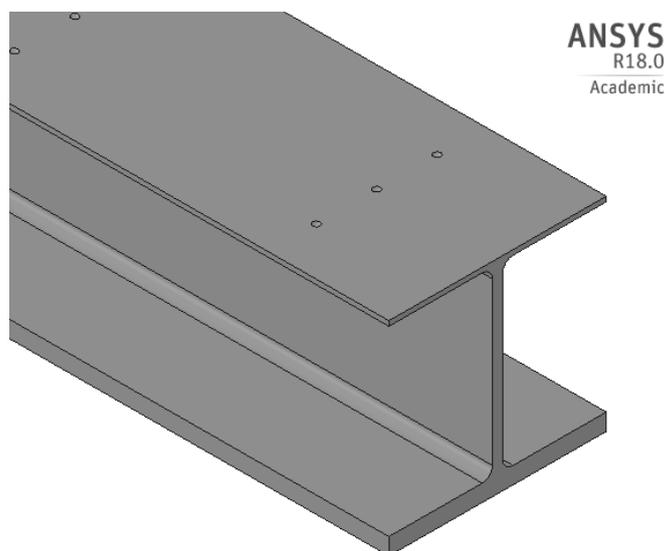


Figura 73. Detalle modelo hipótesis combinada

3.6.4 Condiciones de contorno y mallado

La validez de los datos obtenidos a través de un estudio mediante AEF depende en gran medida de la exactitud con la que se determinen las condiciones de contorno y de la idoneidad del mallado seleccionado.

Con el objetivo de simular las condiciones reales de trabajo, se limita completamente el movimiento en las superficies laterales del tramo estudiado. Se aplica a toda la sección estudiada una fuerza gravitatoria descendente, simulando su peso propio (Figura 74).

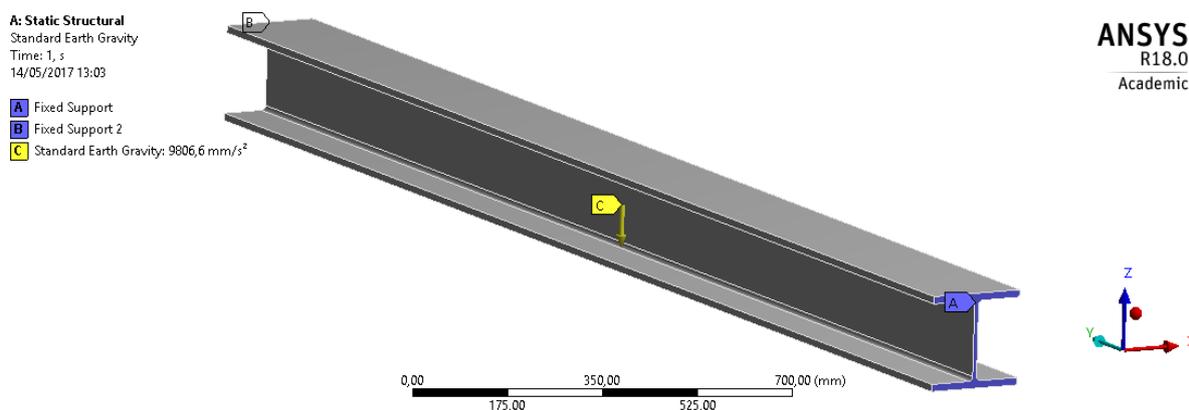


Figura 74. Condiciones de contorno

En cuanto al mallado, debido a las restricciones impuestas por la versión académica y por la geometría seleccionada para el estudio, las opciones se encuentran bastante limitadas. Se opta por realizar un mallado automático controlado por el software en el que únicamente se varía el parámetro *Relevance center* de su valor por defecto *Coarse*, al siguiente nivel de refinado *Medium* (Figura 75). De esta forma se refina globalmente el mallado, acercándolo lo máximo posible al límite de los 32.000 nodos.

Sizing	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Medium
<input type="checkbox"/> Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Automatic Mesh ...	On
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Minimum Edge L...	13,3520 mm

Figura 75. Parámetros del mallado

En las Figuras 76 a 78 puede observarse el mallado realizado por el programa en las distintas hipótesis.

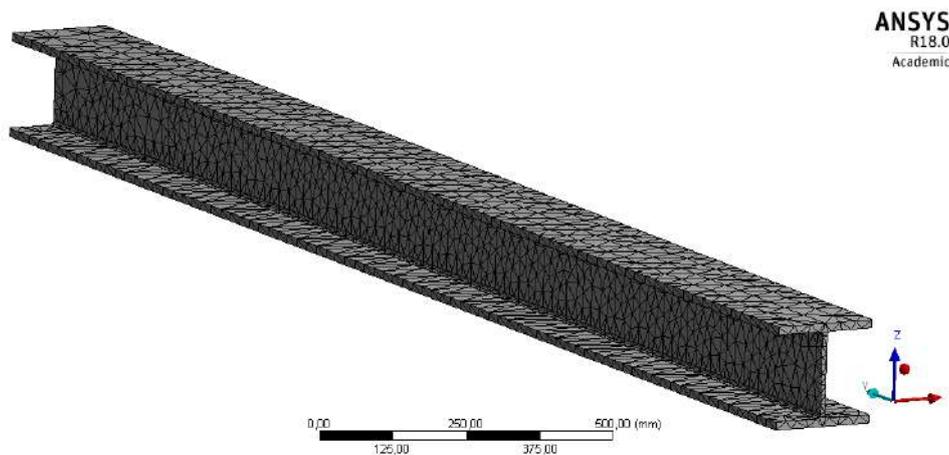


Figura 76. Mallado modelo original / corrosión generalizada

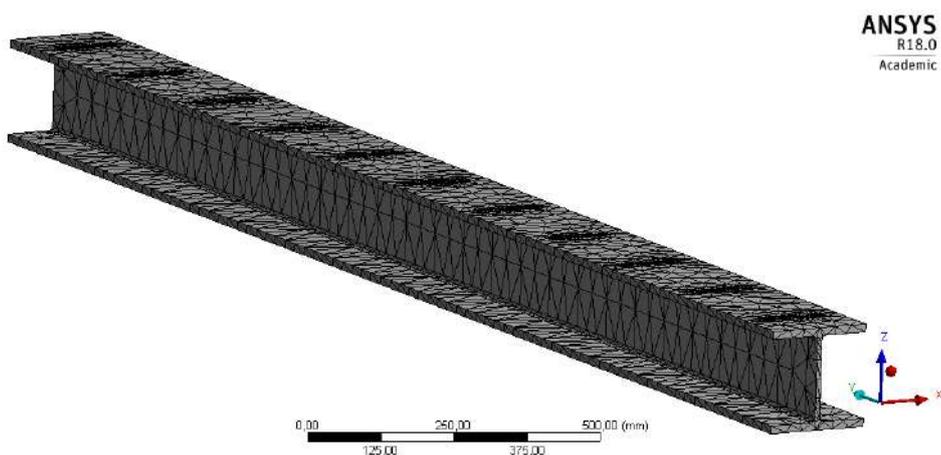


Figura 77. Mallado modelo corrosión por picadura / hipótesis combinadas

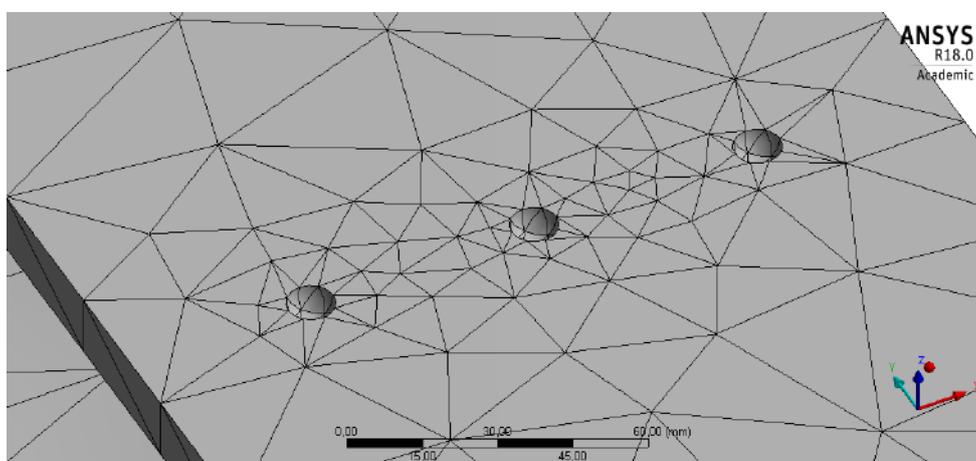


Figura 78. Detalle del mallado en las picaduras

3.7 ENSAYOS

En la Figura 79 se muestra la posición del Apartado 3.7 en el flujo de trabajo de este TFG, presentado previamente en la Figura 32.

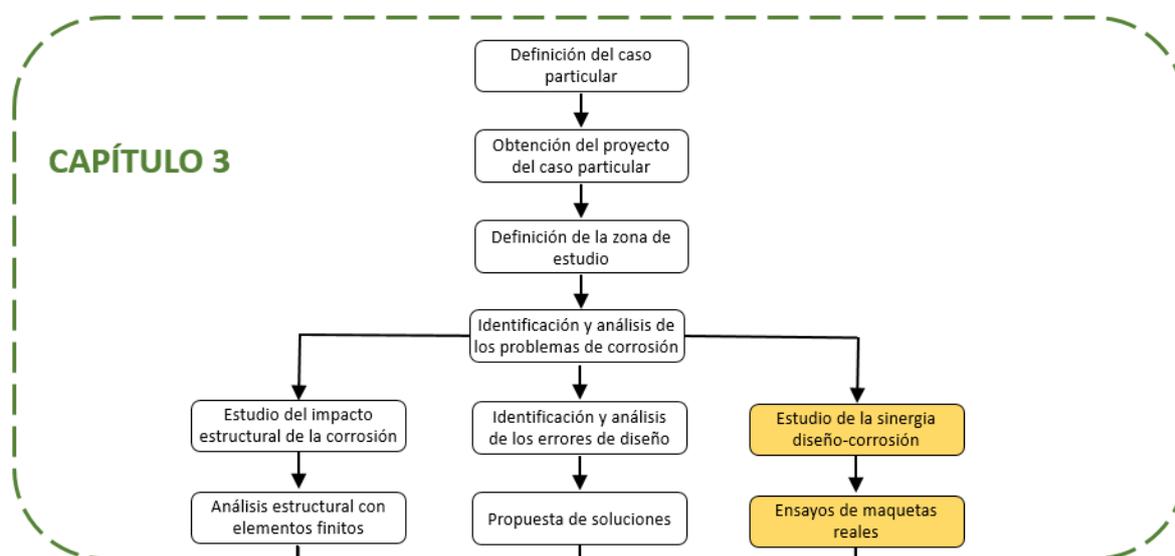


Figura 79. Posición del Apartado 3.7 en el flujo de trabajo

Es importante tener criterio a la hora de escoger el diseño definitivo que se va a implantar en una estructura como la pasarela estudiada en este TFG. Se podría, por ejemplo, proponer la introducción en los pliegos del procedimiento concursal de adjudicación, de una condición que incentivase a las empresas concursantes a suministrar unas maquetas representativas de los procedimientos de fabricación y protección que van a utilizar en las partes metálicas de la estructura.

Estas maquetas podrían ser ensayadas, realizando ensayos comparativos para evaluar el rendimiento de sus propuestas. Como se puede deducir de lo estudiado en este TFG, los errores de diseño que facilitan los procesos corrosivos se siguen cometiendo hoy en día, y es más, existe una evidente falta de estudio en la materia.

Por estos motivos se incluye en este Trabajo Fin de Grado un estudio comparativo similar al que podría realizarse, siempre que se fuera a llevar a cabo la construcción o remodelación de cualquier estructura o producto que esté compuesta total o parcialmente por materiales metálicos, cuyo acabado requiera la utilización de recubrimientos protectores, lo cual es especialmente importante cuando forman parte de estructuras de una envergadura considerable cómo es el caso de esta pasarela.

Para realizar el estudio comparativo se efectúan ensayos de corrosión. Para ayudar en el proceso de decisión previo a la realización de los ensayos, se emplea el diagrama de flujo especificado en el Apartado 2.5.2, en la Figura 31. Las etapas especificadas en dicha figura se exponen en los Sub-apartados 3.7.1 a 3.7.5.

3.7.1 Definición del objetivo

Realizar un análisis comparativo entre dos propuestas de diseño para la estructura de la pasarela ensayando maquetas, con el fin de evaluar su comportamiento frente a la corrosión desde el punto de vista del diseño. Las maquetas están formadas por piezas idénticas, presentando diferencias en las soldaduras, en los sistemas de pintura y en los procedimientos de pintado. Ambas maquetas se ensayan bajo las mismas condiciones ambientales. El diseño de las maquetas se realiza tratando de modelar dos posibles propuestas reales de diseño. La duración del ensayo es de dos meses (ocho semanas).

3.7.2 Elección del procedimiento

En este caso particular teniendo en cuenta las limitaciones de tiempo, la forma de proceder más lógica parece el empleo de ensayos acelerados. La corrosión es un proceso que requiere tiempo, y la limitación temporal de dos meses es demasiado reducida para llevar a cabo un ensayo realizado completamente en condiciones reales de servicio.

Estos ensayos, si bien no sirven para simular el comportamiento real que va a tener el componente en condiciones de servicio, sí que son aptos para realizar una comparación fundada entre varias propuestas de diseño, lo cual se ajusta al objetivo definido. Paralelamente, sería interesante obtener una representación del comportamiento real del componente en condiciones de servicio.

Por estos motivos, se decide realizar un ensayo de inmersión parcial. Las dos piezas se ensayarán en condiciones idénticas, en el interior del mismo recipiente y permanecerán en el interior de una habitación ventilada naturalmente durante la realización del ensayo.

La mitad de cada maqueta es sumergida en una mezcla de agua de mar y agua dulce natural, recogida en la desembocadura de la Ría de Boó, a su paso por las Marismas

Blancas de Astillero, en condiciones de pleamar (Figura 80). Se decide recoger esta mezcla de agua en lugar de agua marina pura para introducir un mayor número de impurezas en el electrolito e intentar acelerar el proceso corrosivo. La otra mitad, permanece expuesta a una atmósfera interior, en condiciones similares a las de servicio.

El recipiente permanece destapado totalmente en el interior del garaje de una vivienda. El garaje se encuentra separado del edificio principal, carece de sistema de calefacción y posee un elevado nivel de ventilación natural, debido a la ausencia de estanqueidad en el cierre de la puerta. Esta ventilación además se ve incrementada a causa de la apertura y cierre de la puerta, acción que se realiza varias veces al día. De esta forma, la parte de las piezas expuesta a la atmósfera interior, se enfrenta a unas condiciones que pueden considerarse similares a las de la pasarela objeto de este estudio.

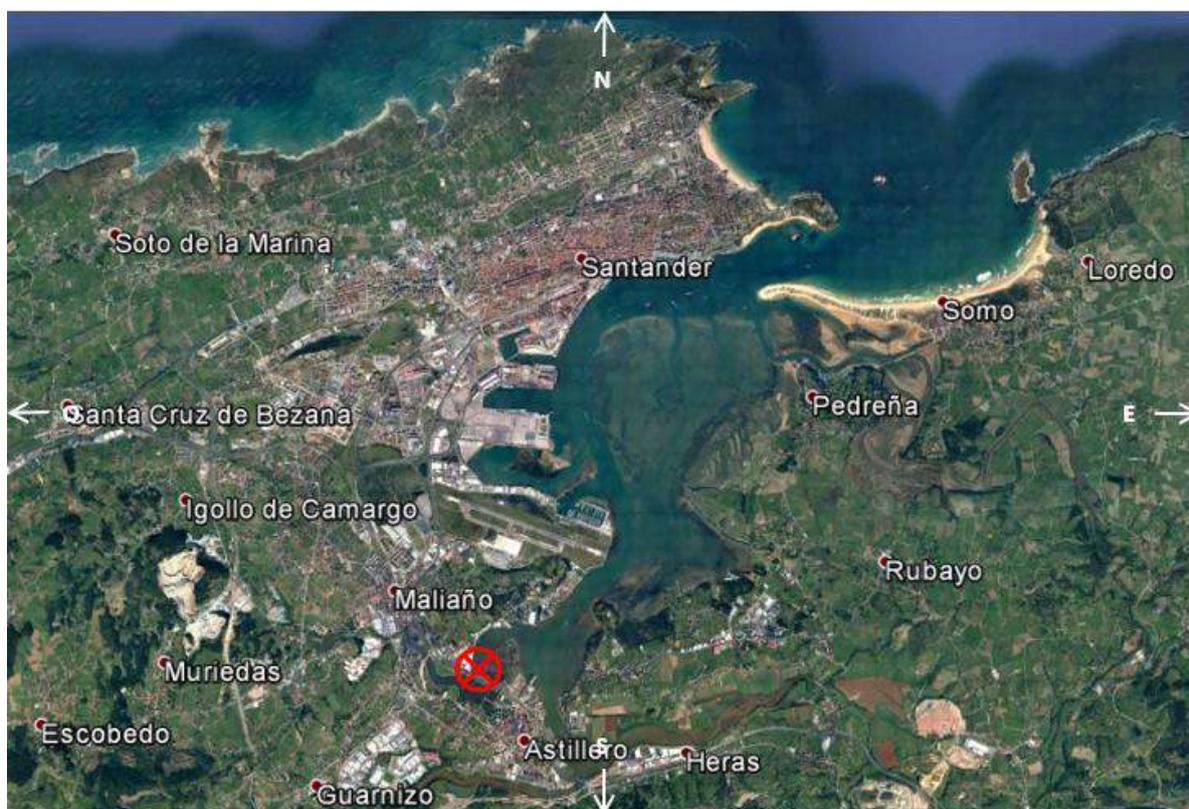


Figura 80. Ubicación de la recogida de agua para el ensayo ^[37]

Se elige el ensayo de inmersión parcial porque cubre varios aspectos que se consideran importantes, tales como:

- Permite acelerar el proceso en la parte sumergida, de forma que se elevan las probabilidades de obtener resultados en el corto periodo de tiempo para el que se han diseñado los ensayos.
- La parte de la maqueta no sumergida se encuentra en condiciones similares a las de servicio, lo que permite determinar si se produce avance en el proceso corrosivo en el tiempo del ensayo.
- Permite realizar una inspección continua del proceso, de forma que, por inspección visual, se pueden identificar zonas preferentes de ataque, así como el ritmo del proceso corrosivo.
- Posibilita llevar a cabo inspecciones periódicas extrayendo las maquetas del electrolito para tener un mayor control de la evolución del proceso.

El principal inconveniente que se deriva de utilizar este procedimiento de ensayo es que no se encuentra definido normativamente, por lo que el procedimiento para su realización debe ser elaborado en su totalidad, siempre resaltando que el objetivo es realizar un estudio comparativo entre dos propuestas de diseño.

En la Figura 81 se muestra un esquema representativo del ensayo por semi-inmersión al que se someten las maquetas.

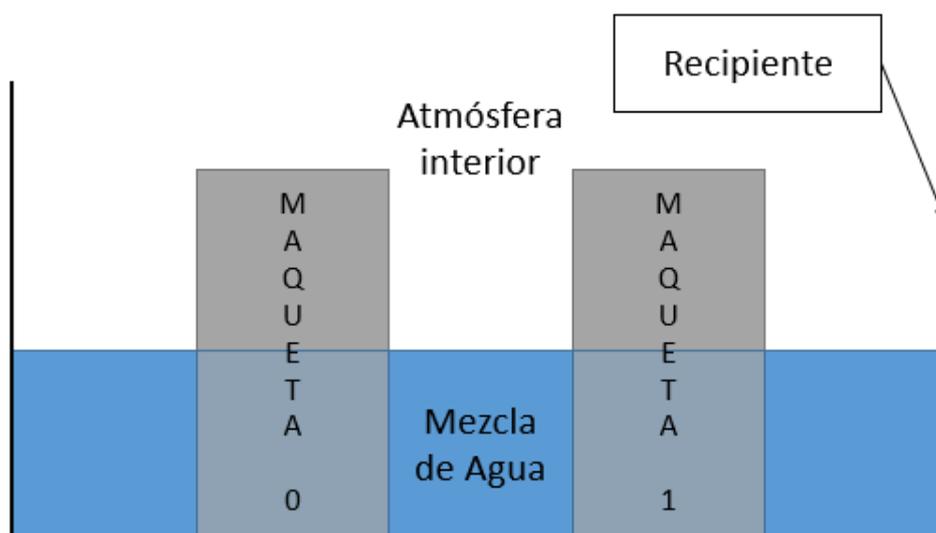


Figura 81. Esquema del ensayo a efectuar (Semi-inmersión)

3.7.3 Elaboración de las piezas

Se elabora un plano para encargar las dos maquetas a una empresa especializada ya que, como se ha comentado, son idénticas dimensionalmente. Las maquetas consisten en un tramo de perfil HEB 120 de acero de construcción S275JR al que se sueldan dos placas laterales del mismo material, simulando así las características constructivas de los perfiles internos de la pasarela.

Se ha seleccionado acero de construcción S275JR, cuyo límite elástico es de 275 MPa, con una resiliencia de 27J a 20°C, por ser uno de los materiales utilizados más comúnmente en este tipo de estructuras. Se exponen en la Tabla 21 sus equivalencias normativas ^[1].

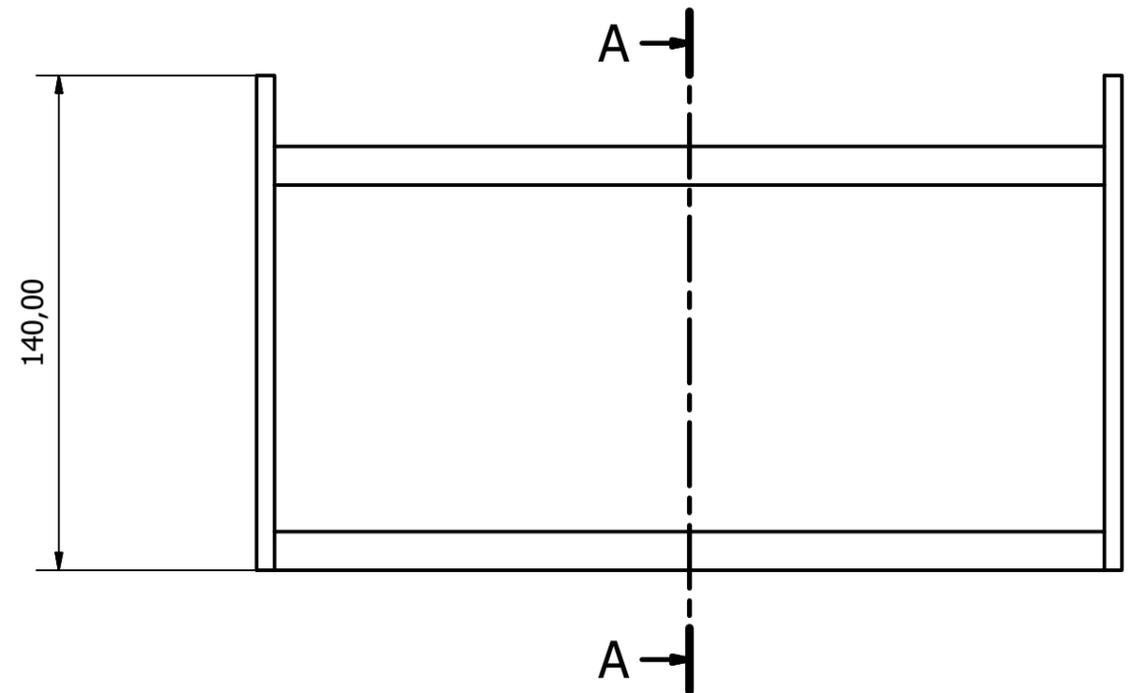
Tabla 21. Equivalencia aproximada acero S275JR ^[1]

UNE-EN 10025	S275JR
UNE-EN 10027	1.0044
UNE 36080	AE275B
DIN 17100	St 44-2
UNI 7070	Fe430B
ASTM	A36
BS 4360	43B

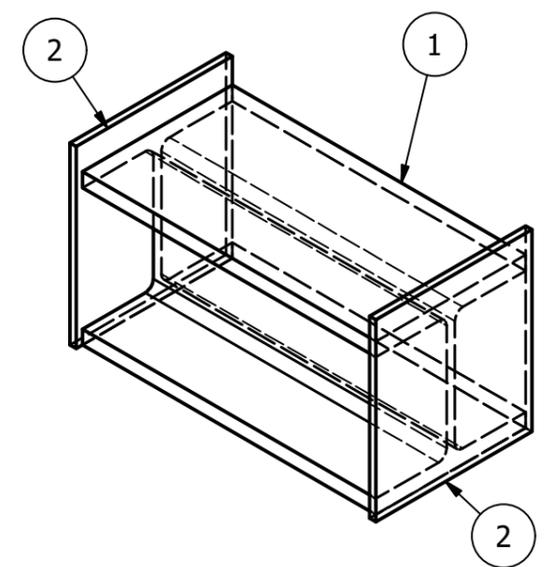
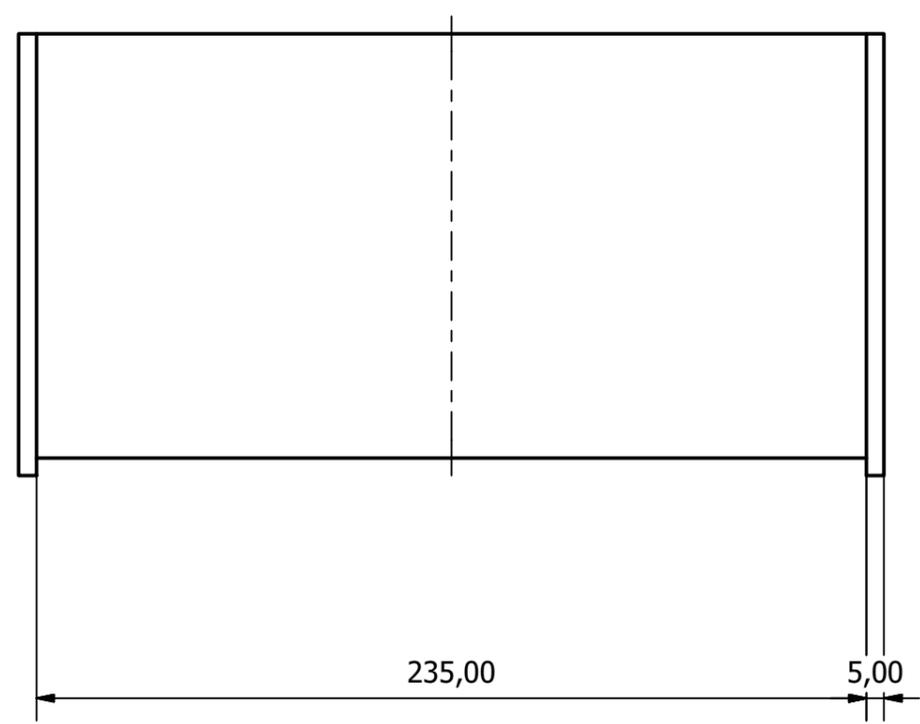
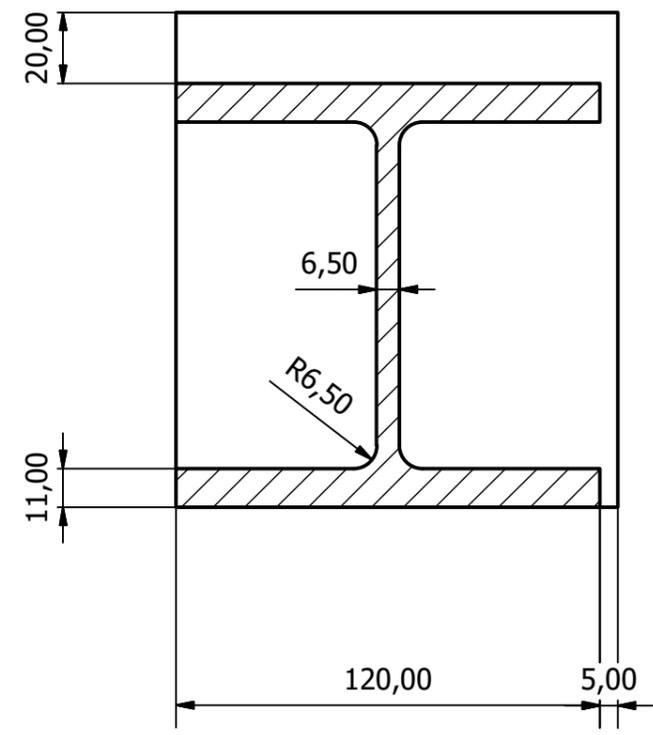
El plano de ensamblado de las maquetas se adjunta en la siguiente hoja (Plano 01), ya que, al tratarse de una composición de piezas muy sencilla, no se considera necesario realizar un despiece más exhaustivo.

Se contacta con la empresa de calderería y recubrimientos metálicos MEYREMO S.A. ^[47], la cual, tras exponer la situación e indicar que son para un TFG accede de buen grado a elaborarlas. Además, la empresa proporciona las fichas técnicas de los materiales utilizados en el proceso de fabricación de las maquetas, adjuntados en el ANEXO 2.

La unión de las piezas se realiza con soldadura MIG (*Metal Inert Gas*) semiautomática. Se denomina semiautomática porque el equipo controla constantemente algunos parámetros como la tensión y la corriente, siendo el operario el encargado del manejo manual de la antorcha. El gas protector utilizado es STARGON C15, compuesto por 85% Argón y 15% CO₂. Su ficha técnica puede consultarse en el ANEXO 2.



A-A (1 : 2)



Lista de componentes		
Nº Id	Cantidad	Pieza
1	1	Perfil HEB 120
2	2	Placa lateral

Nº de Piezas	Denominación	Marca	Material y Dim.	Observaciones
3	Maqueta	-	Acero S275JR	Uniones soldadas

Grado en Ing. en Tecnologías Industriales Trabajo de Fin de Grado	Tipo de documento Plano de ensamblado	Creado por: Diego Agudo Saiz		
E.T.S.I Industriales y T.	Título. Título suplementario Maquetas para ensayo	Aprobado por: María Victoria Biezma Moraleda	Rev. 01	Idioma Es
		Referencia técnica: María Victoria Biezma Moraleda	Nº de Plano 01	Hoja 1 / 1
		Fecha 06/03/2017		

Escala 1 : 2



El material de aporte en la soldadura es hilo macizo de 1,2 mm ER70S-6, muy utilizado en soldadura de acero estructural por no crear pares galvánicos. Su ficha técnica puede consultarse en el ANEXO 2. En la Tabla 22 se recogen las composiciones químicas del cordón de soldadura (C.S.) y del metal base (M.B.), en la que podemos observar que son muy similares:

Tabla 22. Comparativa composición química acero - cordón soldadura (%wt)

		%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Ni	%Cu	%Nb	%V	%Ti	%Fe
M.B.	S275JR	0,21	1,5	-	0,035	0,035	0,012	0,55	0,05	0,13	0,05	bal
C.S.	ER70S-6	0,09	1,47	0,92	0,012	0,009	0,019	0,15	-	0,001	0,002	bal

Las maquetas se identifican genéricamente como Maqueta 0 y Maqueta 1 ya que, como se ha mencionado previamente, existen diferencias en sus diseños y acabados. La Figura 82 muestra la Maqueta 1 antes de proceder a la aplicación de su recubrimiento, en la que pueden observarse algunas de sus zonas críticas.

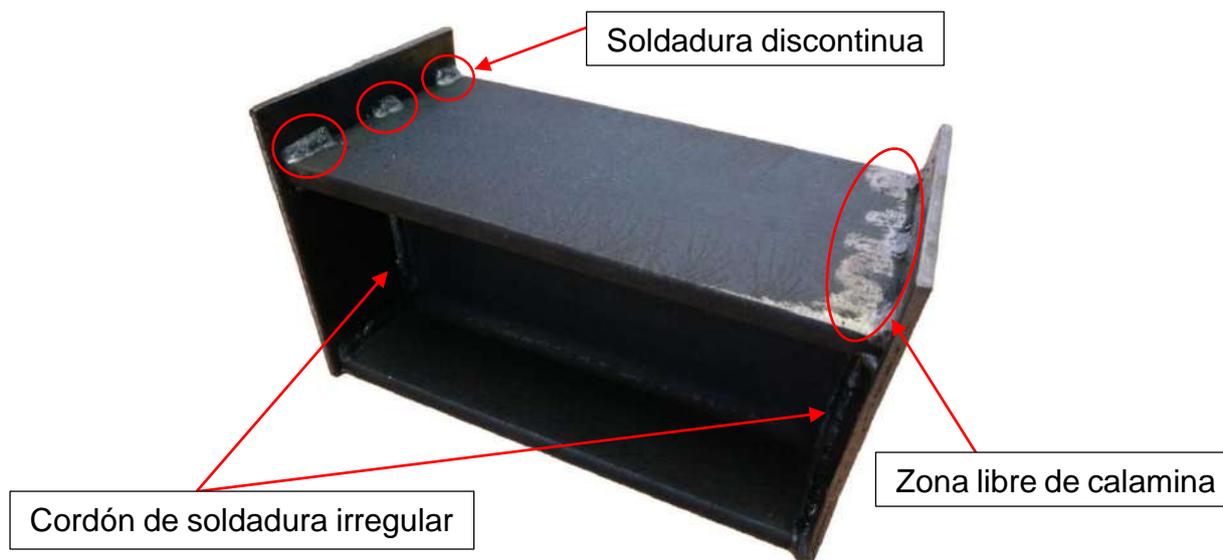


Figura 82. Maqueta 1 - Previo Recubrimiento

A continuación se detallan los diseños y acabados de ambas maquetas:

Maqueta 0

La Figura 83 ilustra la Maqueta 0 antes de comenzar el ensayo.



Figura 83. Maqueta 0 - Vista general

Diseño

- Recibe soldadura continua en todas las uniones, sellándolas completamente, incluida la parte inferior, el contacto entre el perfil HEB y las placas de acero laterales.
- Las soldaduras inferiores son desbastadas y pulidas para ofrecer una superficie plana y lisa.

Recubrimiento protector

- El sistema de pintura se ilustra en la Figura 84. El procedimiento de pintado es riguroso, realizado en el taller de pintura de la empresa especializada suministradora de las maquetas y consiste en:
 1. Preparación superficial mediante chorreado abrasivo por proyección de partículas hasta alcanzar una preparación Sa 2 ½.
 2. Aplicación por proyección de una capa de imprimación epoxi dos componentes (50 µm).
 3. Aplicación por proyección de una capa de acabado sintético de secado rápido (40 µm).

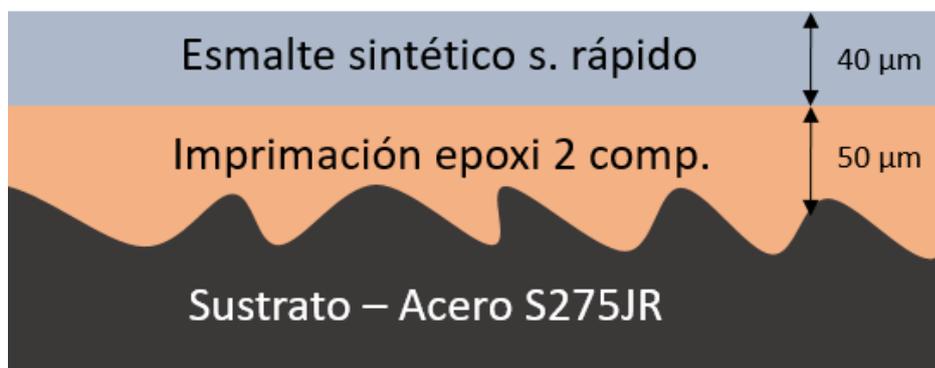


Figura 84. Detalle sistema pintura - Maqueta 0

Nota: Al tratarse de una empresa especializada, se controla minuciosamente que el espesor de cada capa de recubrimiento es el determinado en la fase de diseño. Las fichas técnicas de los recubrimientos utilizados se adjuntan en el ANEXO 2.

Maqueta 1

La Figura 85 ilustra la Maqueta 1 antes de comenzar el ensayo.



Figura 85. Maqueta 1 - Vista general

Diseño

- Recibe soldadura continua en todas las uniones, excepto en la unión superior entre el perfil HEB y las placas laterales, en donde se efectúa una soldadura discontinua.
- Las soldaduras inferiores son desbastadas y pulidas para ofrecer una superficie plana y lisa.

Recubrimiento protector

- El sistema de pintura se ilustra en la Figura 86. El procedimiento de pintado no es riguroso y consiste en:
 1. Preparación superficial mediante pulido por medios mecánicos empleando una lijadora orbital equipada con lija para metal de grano muy grueso (40).
 2. Se repasa toda la superficie equipando la lijadora orbital con lija para metal de grano grueso (60).
 3. Se limpia la superficie de todo resto del procedimiento de preparación utilizando disolvente.
 4. Aplicación mediante brocha de una capa de esmalte antioxidante (no necesita imprimación) con acabado martelé.



Figura 86. Detalle sistema pintura - Maqueta 1

Nota: En este caso no se controla el espesor del recubrimiento. El fabricante no proporciona ficha técnica. Se adjunta una imagen de la etiqueta del producto en el ANEXO 2.

3.7.4 Preparación de las piezas

Para optimizar la obtención de resultados es necesario realizar operaciones de preparación de las piezas previamente a la realización del ensayo. Todas las marcas indicativas que se realizan en las maquetas son efectuadas con rotulador permanente de punta fina. Todas las numeraciones e identificaciones se realizan análogamente en ambas maquetas.

En primer lugar, las maquetas se dividen en seis caras, que se denominan alfabéticamente de la A a la F. Se denomina cara a toda la superficie de la maqueta que es posible apreciar mirando directamente la pieza hacia la zona indicada. Es decir, la cara superior, no se limita únicamente a la superficie plana superior del perfil HEB, sino que también incluye las secciones de las placas laterales que se ven cuando se observa la pieza desde arriba.

La cara frontal se distingue de la trasera al ser la zona en que las placas laterales sobresalen ligeramente, hecho no apreciado en la cara trasera. En la Figura 87 se muestra la división en caras.

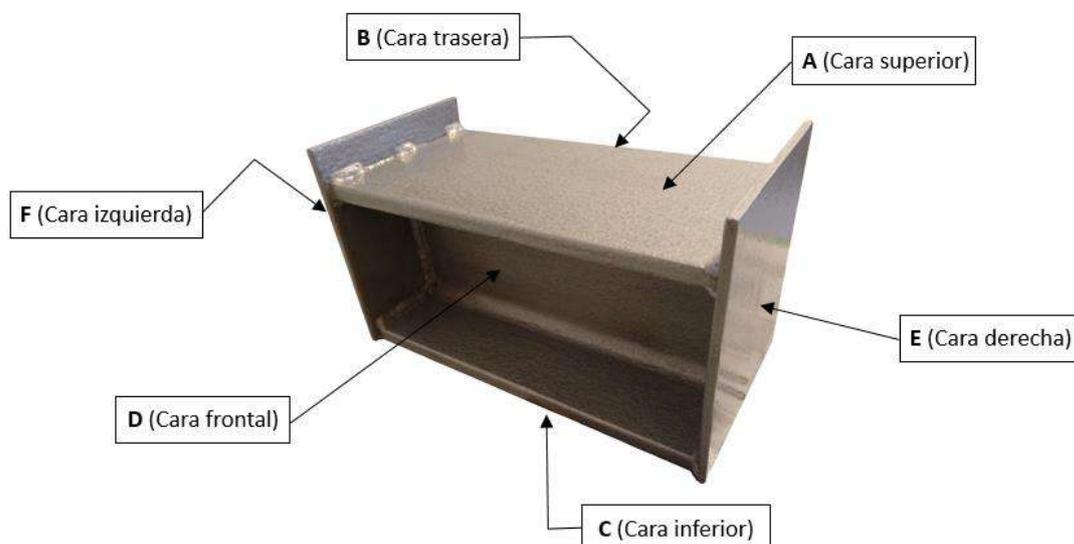


Figura 87. División en caras de las maquetas

La cara F será la que apoye en el fondo del recipiente en ambas maquetas. En la Tabla 23 se puede apreciar cómo se ha procedido a identificar las caras en ambas maquetas.

Tabla 23. Identificación de las caras de las maquetas

Maqueta 0	Maqueta 1
A (Cara superior)	
B (Cara trasera)	
C (Cara inferior)	
D (Cara frontal)	
E (Cara derecha)	
F (Cara izquierda)	

Posteriormente, se identifican los puntos más críticos de cada una de las maquetas. Se denomina punto crítico a las zonas puntuales de la maqueta que presentan, bajo una inspección visual, falta de calidad en la construcción y/o en la aplicación del recubrimiento. Se efectúa esta identificación, ya que estas faltas de calidad pueden asemejarse a errores de diseño.

Se prestará especial atención a los puntos críticos durante la realización del ensayo, al ser un aspecto representativo del objetivo de este estudio: la importancia que tiene el diseño en el comportamiento frente a la corrosión en estructuras metálicas.

Se seleccionan seis puntos críticos en cada maqueta. El reparto se realiza buscando que queden el mismo número de puntos sumergidos y no sumergidos. Los puntos críticos se numeran en cada maqueta cardinalmente, de 1 a 6. En ambas maquetas los puntos 1, 2 y 3 pertenecen a la mitad sumergida, mientras que los puntos 4, 5 y 6 corresponden a la no sumergida.

En la Tabla 24 se muestran los puntos críticos seleccionados en ambas maquetas, junto con una breve descripción de los motivos que hacen que sean puntos críticos.

Tabla 24. Identificación de los puntos críticos de las maquetas

Maqueta 0. Puntos críticos	Maqueta 1. Puntos críticos
<p>Punto 1 (Cara B): Discontinuidad en la soldadura en forma de cavidad y proyecciones de soldadura</p>	<p>Punto 1 (Cara B): Discontinuidad en la soldadura en forma de cavidad</p>
	

Tabla 24 bis. Identificación de los puntos críticos de las maquetas

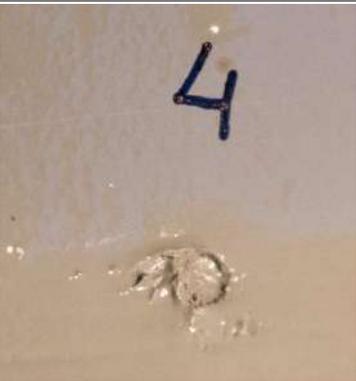
<p>Punto 2 (Cara B): Discontinuidad en la soldadura en forma de acumulación de material</p>	<p>Punto 2 (Cara B): Proyecciones de soldadura en forma de pequeñas bolas junto al cordón (a la derecha)</p>
	
<p>Punto 3 (Cara F): Discontinuidad en el recubrimiento protector</p>	<p>Punto 3 (Cara D): Resquicio por discontinuidad en el cordón de soldadura</p>
	
<p>Punto 4 (Cara D): Discontinuidad en el recubrimiento en forma de cavidad</p>	<p>Punto 4 (Cara B): Conjunto de discontinuidades derivadas del proceso de soldadura</p>
	

Tabla 24 ter. Identificación de los puntos críticos de las maquetas

<p>Punto 5 (Cara B): Proyecciones de soldadura y cavidad en el cordón de soldadura</p>	<p>Punto 5 (Cara D): Concentración de proyecciones de soldadura</p>
	
<p>Punto 6 (Cara B): Imperfección en el recubrimiento en una esquina</p>	<p>Punto 6 (Cara D): Proyección de soldadura de gran tamaño junto al cordón (a la derecha)</p>
	

Finalmente, se delimitan ocho superficies cuadradas de 20x20 mm² en cada una de las maquetas, cubriendo por tanto cada una de ellas una superficie de 400 mm². La superficie total cubierta por las superficies delimitadas en cada una de las maquetas es de 3200 mm².

La distribución de las superficies se realiza buscando un reparto entre zonas sumergidas y no sumergidas y, además, colocando al menos un área delimitada en las superficies más relevantes. Teniendo en cuenta estas restricciones, la posición de las superficies se realiza aleatoriamente en una de las maquetas, para posteriormente reproducirla en la otra maqueta. Las superficies se identifican cardinalmente utilizando números romanos de I a VIII.

El objetivo de la delimitación de estas superficies es seleccionar las zonas que se van a controlar durante las inspecciones que se realicen, sin olvidar el resto de la pieza, que deberá ser inspeccionada visualmente. Así, se han remarcado estas áreas para prestar una mayor atención, lo cual no es posible si se inspecciona la pieza completa.

La Tabla 25 ilustra la ubicación de las superficies delimitadas.

Tabla 25. Maquetas - Superficies delimitadas

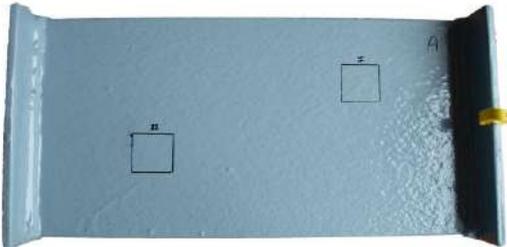
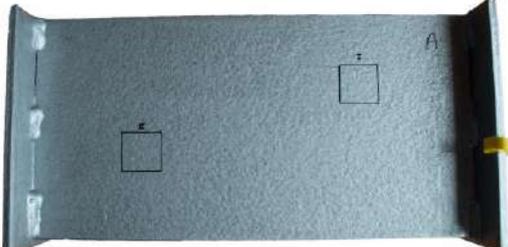
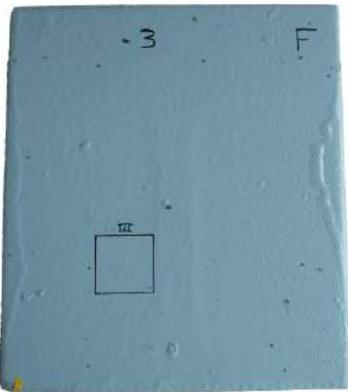
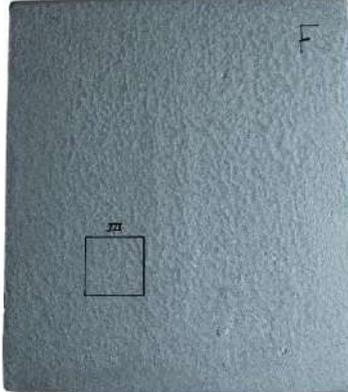
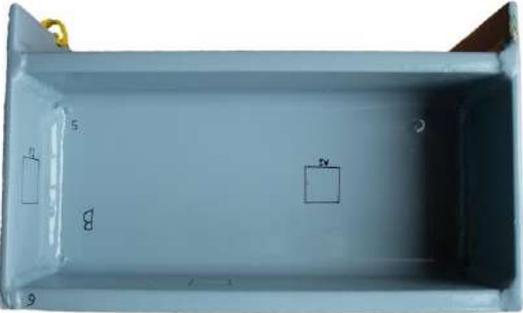
Maqueta 0	Maqueta 1
Superficies I y II (Cara A)	
	
Superficie III (Cara F)	
	
Superficies IV, V y VI (Cara B)	
	

Tabla 25 bis. Maquetas - Superficies delimitadas

Superficie VII (Cara D)**Superficie VIII (Cara E)****3.7.5 Planificación y realización**

Se fija como fecha de comienzo del ensayo el 18 de Marzo de 2017. Ese mismo día se realiza la recogida de agua en la zona marcada en las condiciones establecidas. Se colocan las maquetas, posadas sobre la cara F como se ha indicado previamente, en el recipiente transparente en el que se va a llevar a cabo el ensayo (Figura 88).

Se procede al llenado del recipiente con el agua recogida hasta que el nivel de este alcanza aproximadamente la mitad de las maquetas (Figura 89). Para alcanzar las condiciones de semi-inmersión son necesarios 18 litros de agua.

Se marca el nivel que alcanza el agua en el recipiente utilizando un rotulador permanente, con el objetivo de mantenerlo controlado como se ha especificado previamente (Figura 90).



Figura 88. Colocación de las maquetas en el recipiente



Figura 89. Inicio del ensayo - Maquetas en semi-inmersión



Figura 90. Marca de control del nivel de agua

Inmediatamente después, se realiza la medida del pH del agua utilizando una tira reactiva (Figura 91), dando como resultado un pH de 8. El agua de la Bahía de Santander medido con un pHímetro digital, de medida más precisa, posee un pH 8,2.



Figura 91. Medición del pH del agua

Se lleva a cabo un control diario del área de ensayo, verificando que el nivel de agua se mantiene, como se pretende, aproximadamente a la mitad de las maquetas. La mezcla de agua no se cambiará completamente en ninguna ocasión a lo largo del ensayo, ni tampoco se realiza agitación. En caso de que, la evaporación del agua, suponga una reducción significativa (mayor a 1 cm) del nivel de inmersión de las maquetas, se añadirá agua tomada en la misma zona hasta restaurar el nivel deseado.

Durante este control diario se inspeccionan visualmente las piezas sin modificar su posición, con el objetivo de comprobar que no se están produciendo cambios difícilmente justificables. En el caso de que aparezcan este tipo de cambios, la pieza debe extraerse para proceder a una inspección extraordinaria más detallada, realizando un informe que debe ser presentado en la recogida de datos, en el que se indique el motivo de la extracción y los resultados de la inspección.

De ser necesaria, la inspección extraordinaria debe durar el menor tiempo posible y al finalizar el proceso de evaluación la pieza debe volver a ser sumergida, restaurando su posición previa.

Se realiza una inspección semanal, en la que se extraen las maquetas de la mezcla de agua. Las tareas de la inspección semanal se detallan a continuación:

1. Secado de la parte sumergida.
2. Inspección visual del estado general de la pieza y, por tanto, de la evolución del ensayo.
3. Se toman fotografías de todas las caras y de los puntos críticos.
4. Se contabiliza y anota el número de ampollas que han aparecido en el recubrimiento en las superficies acotadas. Se mide también el diámetro de dichas ampollas para calcular el diámetro medio.
5. Se contabilizan, aparte, las ampollas que eclosionen, es decir, las que provoquen la rotura del recubrimiento y se anotan.
6. Las mismas operaciones de contabilización y medida de las ampollas se realizan también en la superficie plana superior de la cara A, al tener especial relevancia en este estudio por ser la superficie que presenta mayor deterioro actualmente en la pasarela.
7. Antes de volver a sumergir las piezas se realiza una medida del pH de la mezcla de agua utilizando una tira reactiva, de la misma forma que se hizo al principio del ensayo.
8. Finalmente, se vuelven a sumergir parcialmente las piezas, prestando especial cuidado de realizar la inmersión sin voltear las piezas, de forma que la parte sumergida sea siempre la misma.

Nota: Las tareas 4, 5 y 6 se anotan en la hoja de recogida de datos (Tabla 26) correspondiente a cada inspección.

Se elabora una hoja de recogida de datos para anotar los resultados obtenidos en las inspecciones semanales (Tabla 26).

Tabla 26. Hoja de recogida de datos

Hoja de recogida de datos para la inspección semanal de las maquetas

Id. Maqueta 0 1
 Fecha Inspección: _____

Valoración general del grado de corrosión

Parte sumergida

0 (Mantiene el estado inicial)	<input type="text"/>	Observaciones:
1 (Indicios de corrosión en los puntos críticos)	<input type="text"/>	
2 (Corrosión clara en los puntos críticos)	<input type="text"/>	
3 (Primeras ampollas en el recubrimiento)	<input type="text"/>	
4 (Elevado número de ampollas en el recubrimiento)	<input type="text"/>	
5 (Ampollas rotas en el recubrimiento)	<input type="text"/>	
6 (Elevado nivel de corrosión)	<input type="text"/>	

Parte no sumergida

0 (Mantiene el estado inicial)	<input type="text"/>	Observaciones:
1 (Indicios de corrosión en los puntos críticos)	<input type="text"/>	
2 (Corrosión clara en los puntos críticos)	<input type="text"/>	
3 (Primeras ampollas en el recubrimiento)	<input type="text"/>	
4 (Elevado número de ampollas en el recubrimiento)	<input type="text"/>	
5 (Ampollas rotas en el recubrimiento)	<input type="text"/>	
6 (Elevado nivel de corrosión)	<input type="text"/>	

Inspección de las superficies acotadas

Número total de ampollas en las superficies acotadas: _____

Diámetro de las ampollas (ϕ)

Nº Ampolla																			
ϕ (mm)																			
Nº Ampolla																			
ϕ (mm)																			

Diámetro promedio de las ampollas en las superficies acotadas: _____ mm

Número total de ampollas rotas en las superficies acotadas: _____

Inspección de la superficie plana superior (Cara A)

Número total de ampollas en la superficie plana superior: _____

Diámetro de las ampollas (ϕ)

Nº Ampolla																			
ϕ (mm)																			
Nº Ampolla																			
ϕ (mm)																			

Diámetro promedio de las ampollas en la superficie plana superior: _____ mm

Número total de ampollas rotas en la superficie plana superior: _____

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 ENSAYOS

En este apartado se exponen los resultados de las sesiones de inspección de las maquetas ensayadas. En el análisis del comportamiento de las maquetas durante el ensayo no se tiene en cuenta la corrosión que aparece en los bordes de la placa apoyada en el fondo del recipiente, al aparecer en estos una corrosión en resquicio que no representa el comportamiento del perfil en servicio.

En la Figura 92 se muestra la posición del Apartado 4.1 en el flujo de trabajo de este TFG, presentado previamente en la Figura 32.

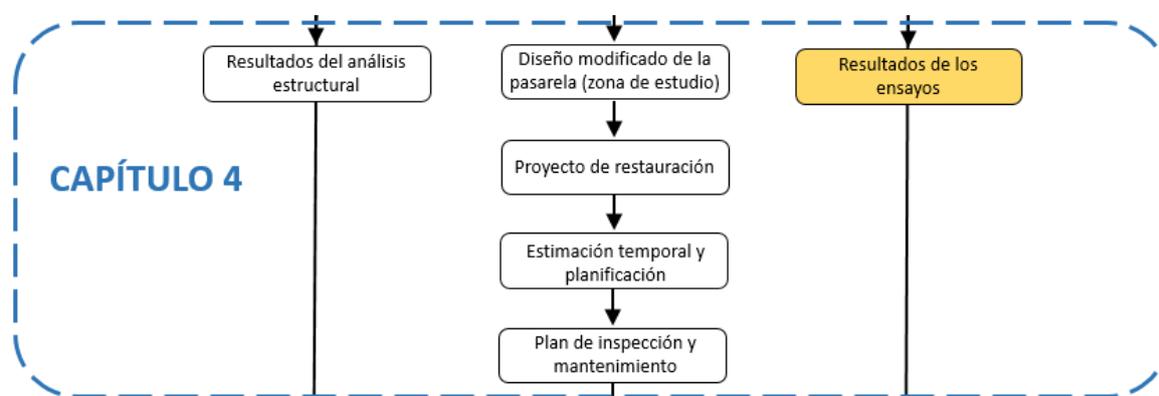


Figura 92. Posición del Apartado 4.1 en el flujo de trabajo

Durante la realización del ensayo no han ocurrido cambios difícilmente justificables, por lo que no ha sido necesario realizar inspecciones extraordinarias. Debido a la evaporación natural del agua en el que se sumergen las piezas, ha sido necesario rellenar el recipiente hasta recuperar el nivel marcado en el recipiente en una ocasión durante el ensayo (semana 4).

Las lecturas semanales del valor del pH se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27. Evolución del pH del agua

Semana	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Valor	8	7	6	7	6	6	6	6	6

Se observa que, durante el ensayo, se ha producido una acidificación del agua, que ha pasado de básico a ácido, manteniéndose en torno a pH 6 a partir de la semana 4. En la Figura 93 se muestra el aspecto que presenta el agua utilizado en el ensayo el día de su finalización, donde puede apreciarse la gran cantidad de productos de corrosión solubles que se han producido durante el ensayo, y se han disueltos en el agua.



Figura 93. Aspecto del agua en la finalización del ensayo

4.1.1 Maqueta 0

La Maqueta 0 comenzó a mostrar presencia de productos de corrosión en los puntos críticos 1 y 2 tras solo 24 horas de inmersión. En la Figura 94 (a, b) se aprecia respectivamente el estado de dichos puntos en la primera inspección, tras una semana de inmersión.

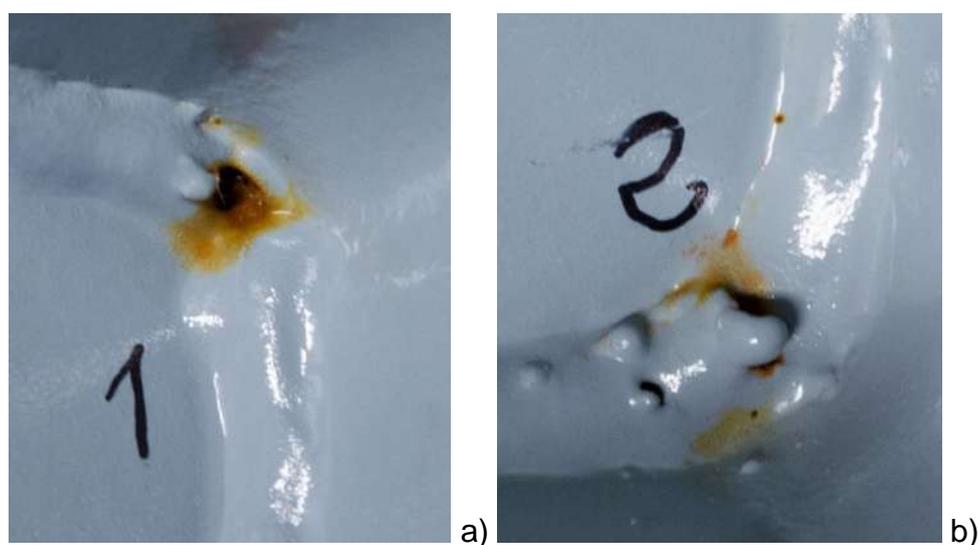


Figura 94. Maqueta 0 (Semana 1) - a) Punto crítico 1; b) Punto crítico 2

Durante las siguientes semanas y hasta el final del ensayo, el proceso corrosivo en los puntos 1 y 2 continuó avanzando con una evolución constante. En la Figura 95 (a, b) se observa respectivamente el aspecto que presentan al finalizar el ensayo.



Figura 95. Maqueta 0 (Semana 8) - a) Punto crítico 1; b) Punto crítico 2

Además del incremento en la cantidad de productos de corrosión, el recubrimiento ha adquirido una textura ligeramente granulosa, al formarse ampollas en la zona sumergida muy pequeñas, de diámetro inferior a 1 mm; estas ampollas pueden apreciarse especialmente en la zona circundante al número 2 (Figura 95 b).

El comportamiento del punto crítico 1 refleja la problemática inherente a las soldaduras discontinuas y a los cráteres presentes en los cordones, mientras que el punto crítico 2 lo hace por la existencia de proyecciones de soldadura.

Estos errores de diseño, ya mencionados en el Capítulo 2, deben evitarse a toda costa ya que, como puede deducirse de los resultados del ensayo, aunque la elección de recubrimiento y el proceso de pintado sean correctos, la protección de la estructura se verá con certeza comprometida por su presencia.

Las Tablas 28 y 29 muestran una comparativas de las caras y los puntos críticos de la Maqueta 0 antes de comenzar el ensayo y tras su finalización (la pequeña variación de color se debe a ligeras alteraciones en la iluminación a la hora de tomar las fotografías).

Tabla 28. Maqueta 0 - Comparativa caras

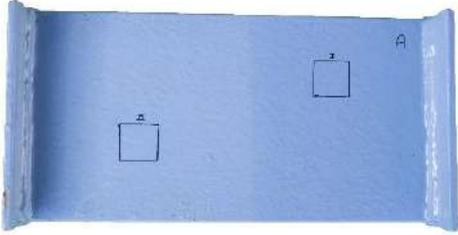
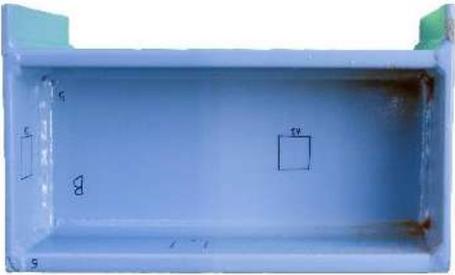
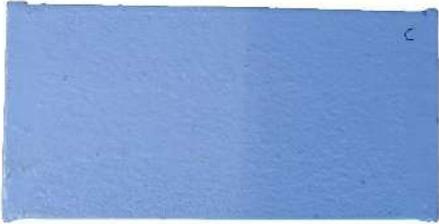
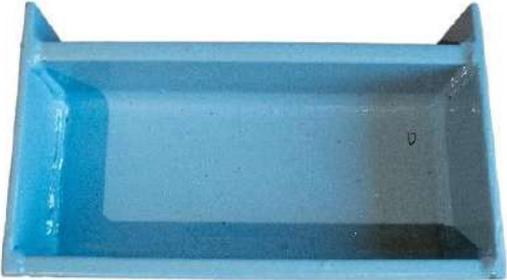
Inicio (Semana 0)	Finalización (Semana 8)
A (Cara superior)	
	
B (Cara trasera)	
	
C (Cara inferior)	
	
D (Cara frontal)	
	

Tabla 28 bis. Maqueta 0 - Comparativa caras

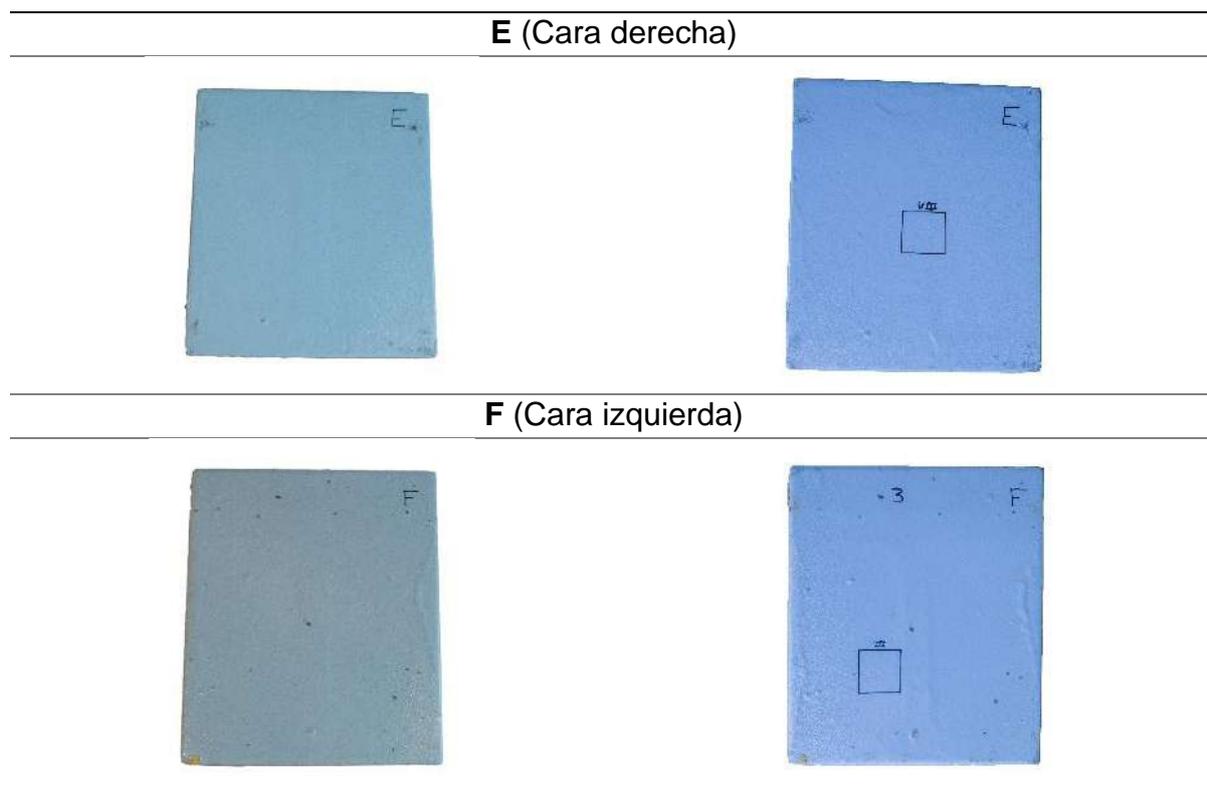


Tabla 29. Maqueta 0 - Comparativa puntos críticos

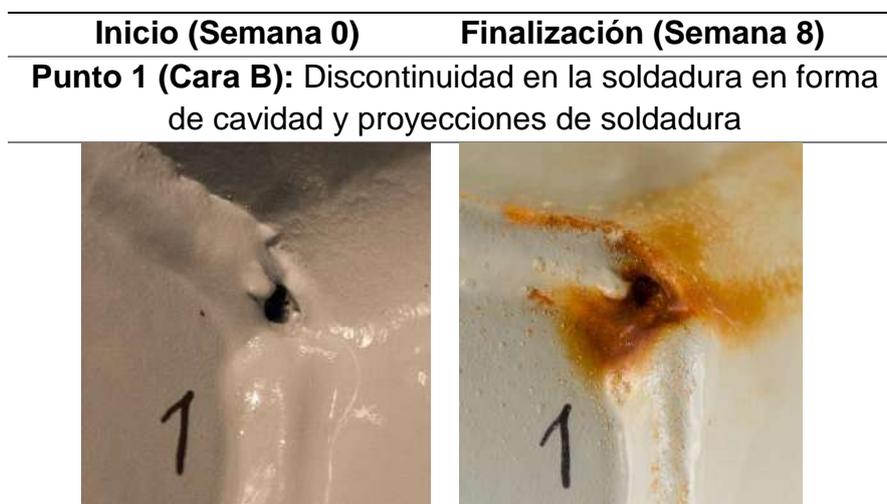
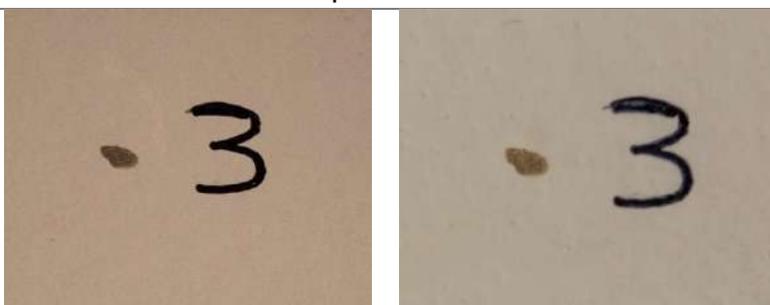


Tabla 29 bis. Maqueta 0 - Comparativa puntos críticos

Punto 2 (Cara B): Discontinuidad en la soldadura en forma de acumulación de material



Punto 3 (Cara F): Discontinuidad en el recubrimiento protector



Punto 4 (Cara D): Discontinuidad en el recubrimiento en forma de cavidad

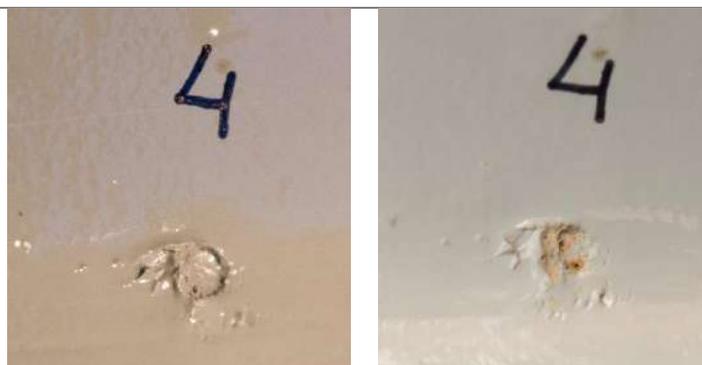
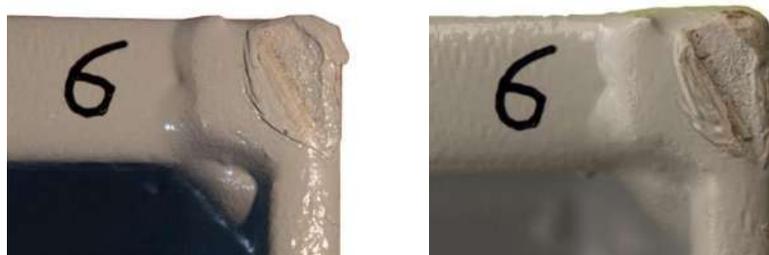


Tabla 29 ter. Maqueta 0 - Comparativa puntos críticos

Punto 5 (Cara B): Proyecciones de soldadura y cavidad en el cordón de soldadura



Punto 6 (Cara B): Imperfección en el recubrimiento en una esquina



La Figura 96 presenta la evolución del nivel de corrosión con el tiempo de ensayo para la Maqueta 0, tanto en la parte sumergida, como en la no sumergida (la definición de los niveles de corrosión se ha realizado previamente en la Tabla 26).

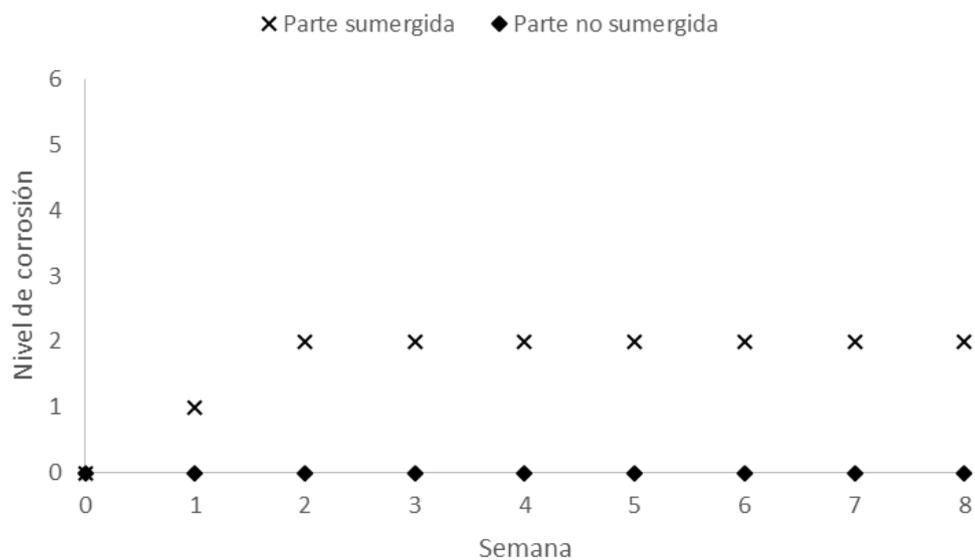


Figura 96. Maqueta 0 - Evolución del nivel de corrosión

Debido al buen comportamiento del recubrimiento durante el tiempo de ensayo, en las inspecciones no se han registrado ampollas cuyo diámetro sea lo suficientemente grande para ser medido (todas las ampollas son de diámetro inferior a 2 mm).

Exceptuando los puntos críticos 1 y 2 y las minúsculas ampollas mencionadas, en el resto de la maqueta no puede apreciarse la acción de la corrosión, ni degradación del recubrimiento, por lo que puede afirmarse que, bajo el ensayo realizado, el recubrimiento se ha comportado de una forma adecuada.

4.1.2 Maqueta 1

La Maqueta 1 también comenzó a mostrar indicios de corrosión a las pocas horas de comenzar el ensayo, especialmente en los puntos críticos 1, 2 y 3. En la Figura 97 (a, b, c) puede apreciarse respectivamente el estado de dichos puntos en la primera inspección, tras una semana de inmersión.

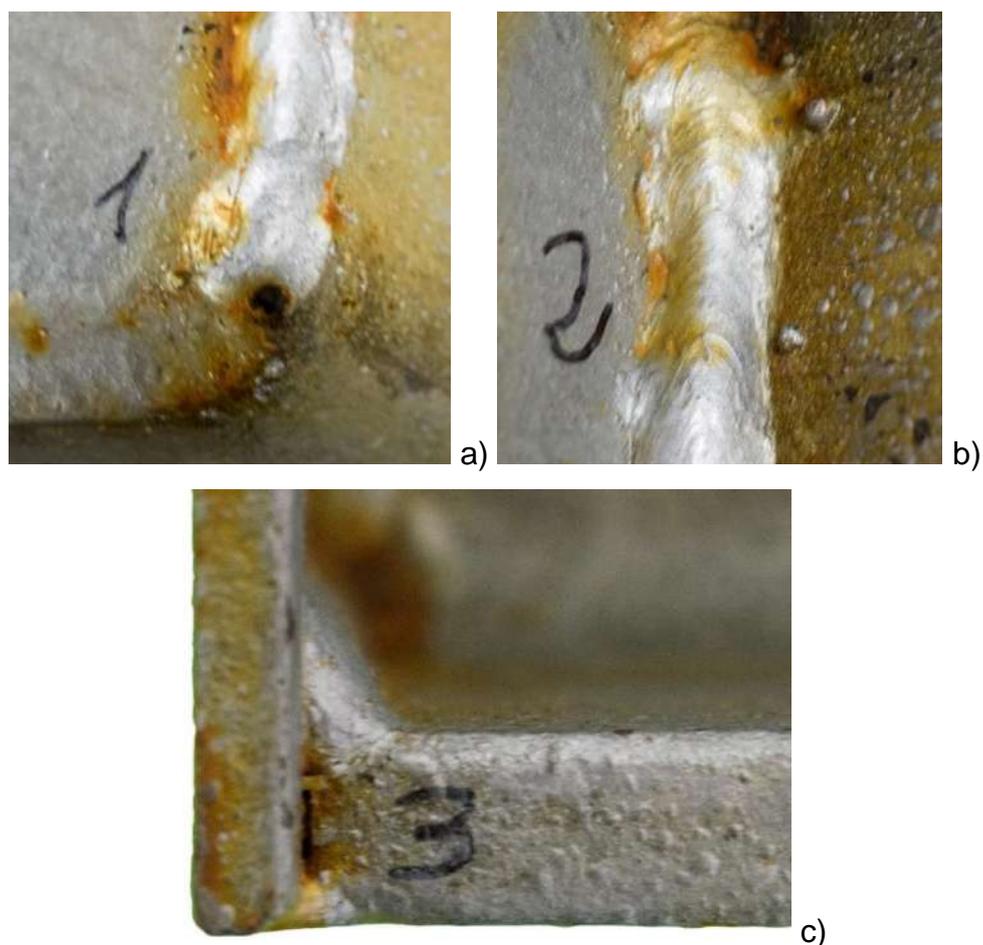


Figura 97. Maqueta 1 (Semana 1) - a) Punto crítico 1; b) Punto crítico 2; c) Punto crítico 3

El comienzo del proceso de ampollamiento del recubrimiento, se aprecia notablemente en la Figura 97 b), en la zona situada a la derecha del cordón de soldadura. En la zona inferior derecha de la Figura 97 b) se observa que el recubrimiento ha comenzado a descamarse, desprendiéndose de la superficie a proteger.

Otro aspecto a tener en cuenta es que, en dos zonas del cordón de soldadura próximas al punto crítico 2, no identificadas en inicio como puntos críticos, presentaban un elevado nivel de deterioro (señaladas en la Figura 98).

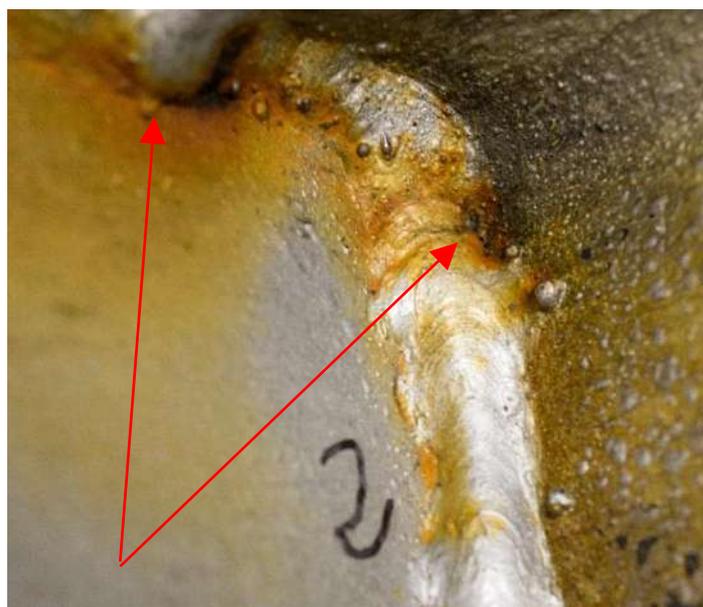


Figura 98. Maqueta 1 - Corrosión en puntos no marcados como críticos (Semana 1)

Junto al incremento de la cantidad de productos de corrosión en los puntos mencionados anteriormente, la degradación del recubrimiento tuvo lugar a un ritmo elevado; la siguiente inspección (semana 2) permitió apreciar una gran cantidad de ampollas en la parte sumergida (zona marcada en la Figura 99), que habían aumentado su tamaño (entre 1 y 2 mm). Además, el proceso de desprendimiento del recubrimiento continuó avanzando (Figura 99).

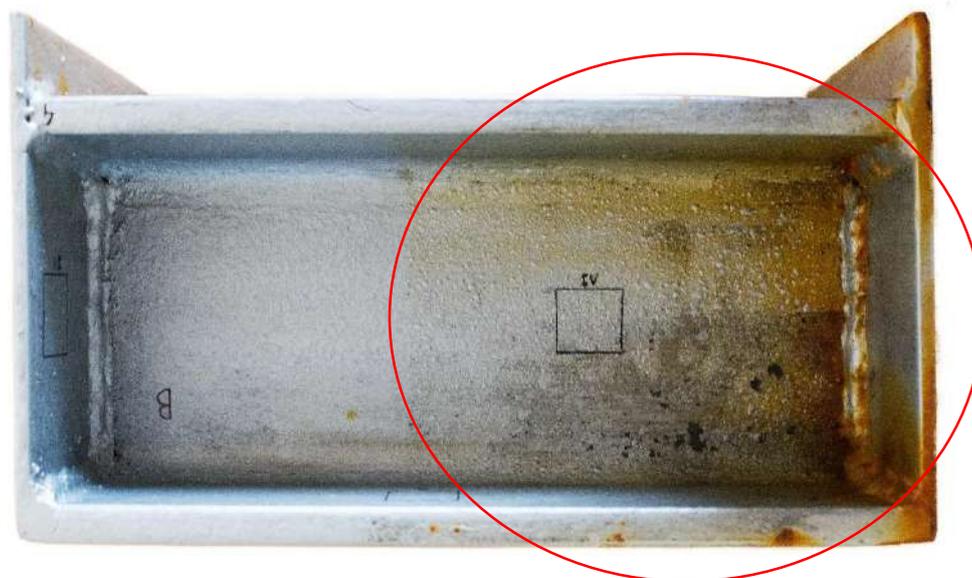


Figura 99. Maqueta 1 (Cara B)-Ampollas/descamación en zona sumergida (Semana 2)

Tras esta segunda inspección pudo determinarse el proceso de degradación del recubrimiento: se forman pequeñas ampollas ($\varnothing < 2$ mm) debidas a la falta de adherencia entre el recubrimiento y la superficie metálica y a la porosidad del recubrimiento, las cuales a causa del pequeño espesor de la capa protectora posteriormente se rompen, dando lugar al desprendimiento del recubrimiento, provocando que el metal quede desprotegido.

A partir de la semana 2, el proceso de degradación en la zona sumergida continuó avanzando de forma constante. Durante las siguientes semanas, pudo apreciarse la aparición de algunas zonas puntuales con la coloración anaranjada característica de los productos de corrosión de Fe en la parte no sumergida, si bien, tras la finalización del ensayo, la zona no sumergida no presenta fallos en el recubrimiento más allá de pequeñas coloraciones puntuales, por lo que puede considerarse que, en la zona no sumergida, el comportamiento del recubrimiento ha sido aceptable.

En las Tablas 30 y 31 se muestran respectivamente imágenes comparativas de las caras y los puntos críticos de la Maqueta 1 antes de comenzar el ensayo y tras su finalización (la pequeña variación de color se debe a ligeras alteraciones en la iluminación a la hora de tomar las fotografías).

Tabla 30. Maqueta 1 - Comparativa caras

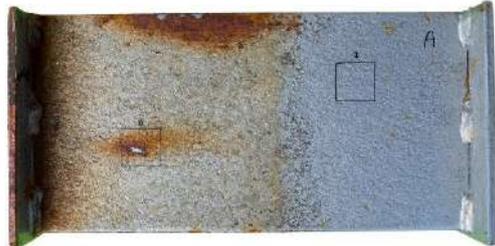
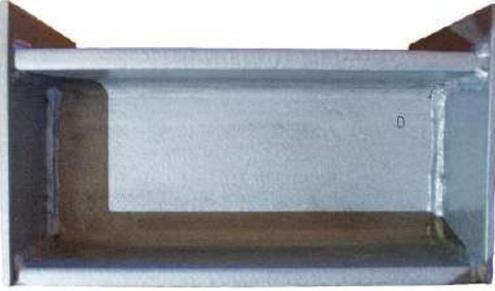
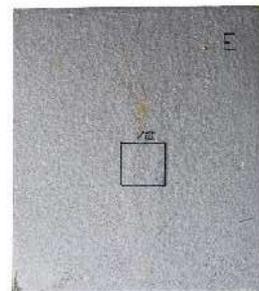
Inicio (Semana 0)	Finalización (Semana 8)
A (Cara superior)	
	
B (Cara trasera)	
	
C (Cara inferior)	
	
D (Cara frontal)	
	

Tabla 30 bis. Maqueta 1 - Comparativa caras

E (Cara derecha)



F (Cara izquierda)

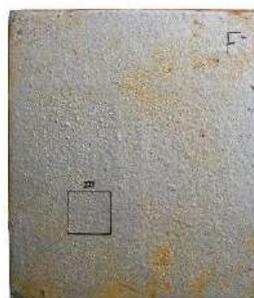


Tabla 31. Maqueta 1 - Comparativa puntos críticos

Inicio (Semana 0)	Finalización (Semana 8)
Punto 1 (Cara B): Discontinuidad en la soldadura en forma de cavidad	
	

Tabla 31 bis. Maqueta 1 - Comparativa puntos críticos

Punto 2 (Cara B): Proyecciones de soldadura en forma de pequeñas bolas junto al cordón (a la derecha)



Punto 3 (Cara D): Resquicio por discontinuidad en el cordón de soldadura



Punto 4 (Cara B): Conjunto de discontinuidades derivadas del proceso de soldadura



Tabla 31 ter. Maqueta 1 - Comparativa puntos críticos

Punto 5 (Cara D): Concentración de proyecciones de soldadura



Punto 6 (Cara D): Proyección de soldadura de gran tamaño junto al cordón (a la derecha)



La Figura 100 presenta la evolución del nivel de corrosión con el tiempo de ensayo para la Maqueta 1, tanto en la parte sumergida, como en la no sumergida (la definición de los niveles de corrosión se ha realizado previamente en la Tabla 26).

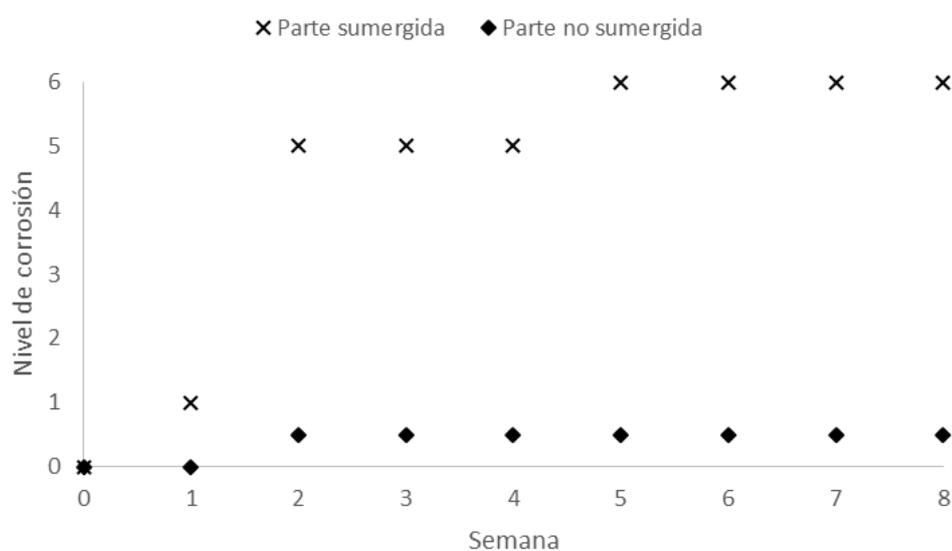


Figura 100. Maqueta 1 - Evolución del nivel de corrosión

Debido al mal comportamiento del recubrimiento en la parte sumergida, durante las inspecciones no se han registrado ampollas cuyo diámetro sea lo suficientemente grande para ser medido (las ampollas se rompen antes de que su diámetro supere los 2 mm). Puede observarse en la gráfica que a partir de la semana 2 se otorga un valor de 0,5 al nivel de corrosión de la parte no sumergida de la maqueta. Esto es debido a que, como se ha mencionado anteriormente, dicha parte posee zonas puntuales con la coloración anaranjada típica de los productos de corrosión de Fe, sin llegar a mostrar signos de corrosión los puntos críticos.

La evolución de esta maqueta durante el ensayo representa lo que ocurre cuando la elección de recubrimiento es incorrecta y/o el procedimiento de pintado no es el adecuado. En vista de los resultados, se puede afirmar que el comportamiento del recubrimiento ha sido deficiente.

4.1.3 Discusión de los resultados

Los resultados obtenidos en el ensayo se corresponden con lo afirmado por Momber, A. W. ^[48], al deberse los daños en el recubrimiento a errores de diseño, bien por un mal diseño del sistema de protección o por errores de diseño en las soldaduras o fallos los acabados.

Por otra parte, se ha observado que, en las zonas de soldadura ha sido donde se ha iniciado el proceso corrosivo y en donde se aprecian los mayores efectos de la corrosión, lo cual coincide con lo expresado en las conclusiones del estudio llevado a cabo por Yang, S. et al. ^[67].

El comportamiento de las maquetas durante los ensayos concuerda con lo expuesto por Simancas, J. y Morcillo, M. ^[62], al apreciarse una gran diferencia entre la preparación por chorreado y la preparación manual, siendo la primera la que ofrece notablemente mejores resultados (Maqueta 0). Además, la primera capa del sistema de pintado de la Maqueta 0 consiste en una imprimación epoxi, que, según el estudio mencionado previamente, presenta un buen comportamiento frente a la corrosión, lo cual ha sido verificado por los ensayos realizados en el estudio actual.

Por otra parte, la mencionada Maqueta 0 posee un sistema de pintado bicapa, y su buen comportamiento se corresponde con las conclusiones del estudio de Emami, S. y Toubia E. A. ^[32], quienes afirman que, la buena protección no está garantizada por

un gran número de capas, sino por la calidad de la pintura y el espesor de dichas capas. El peor comportamiento de la Maqueta 1 puede justificarse por haberse usado un recubrimiento de calidad inferior y con un espesor no controlado, sumado esto a un procedimiento de aplicación no óptimo (brocha) y a una preparación superficial insuficiente.

4.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON ELEMENTOS FINITOS

En este apartado se exponen los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas con el software de AEF ANSYS [23] para las distintas hipótesis estudiadas.

En la Figura 101 se muestra la posición del Apartado 4.2 en el flujo de trabajo de este TFG, presentado previamente en la Figura 32.

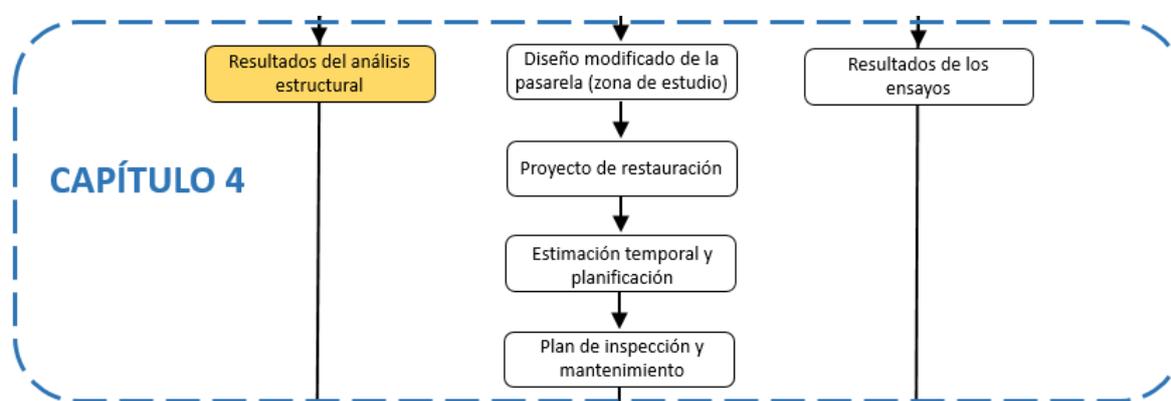


Figura 101. Posición del Apartado 4.2 en el flujo de trabajo

Las Figuras 102 y 103 ilustran las simulaciones del perfil sin defectos, mostrando respectivamente la distribución de las tensiones equivalentes de Von Mises y de los desplazamientos.

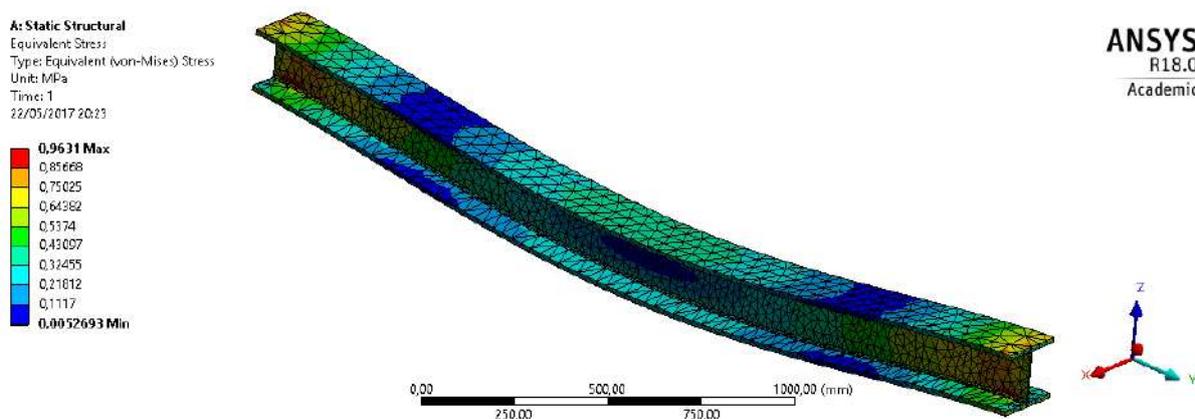


Figura 102. Simulación AEF - Sin defectos (Tensión equiv. Von Mises)

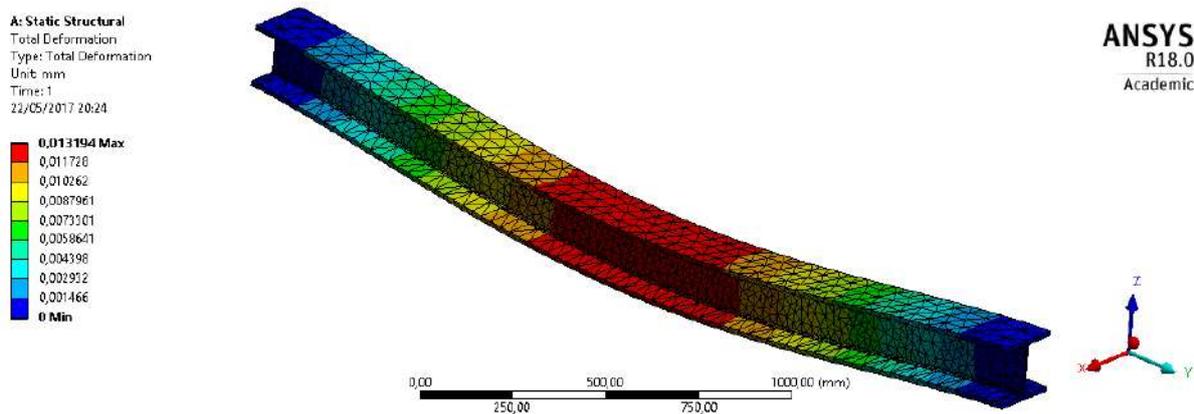


Figura 103. Simulación AEF - Sin defectos (Desplazamiento)

4.2.1 Efecto de las picaduras

Las Figuras 104 y 105 ilustran respectivamente las simulaciones del AEF para la hipótesis de picaduras de 6 mm, mostrando la distribución de las tensiones equivalentes de Von Mises y de los desplazamientos.

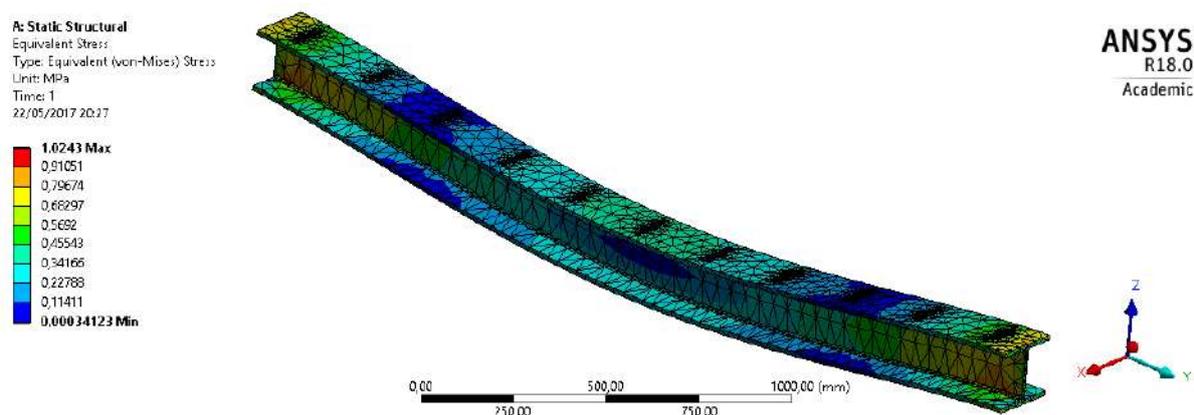


Figura 104. Simulación AEF - Picaduras 6 mm (Tensión equiv. Von Mises)

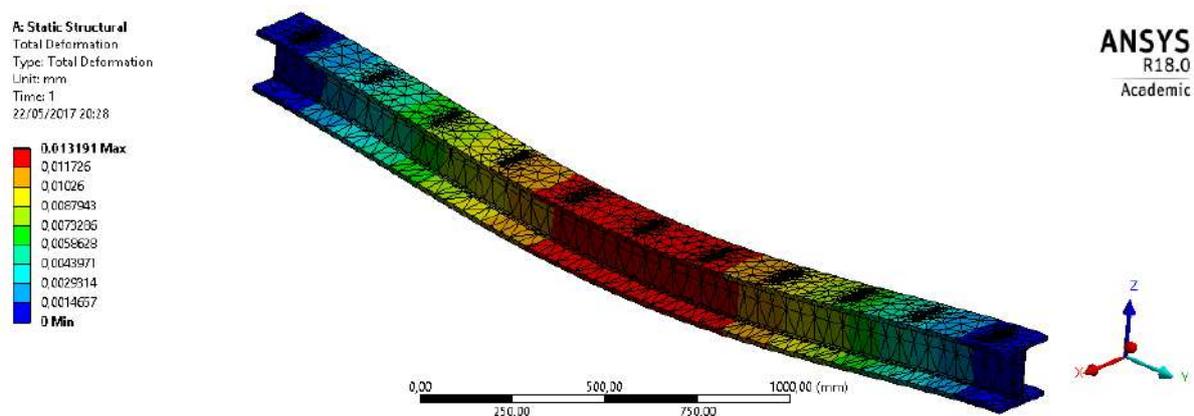


Figura 105. Simulación AEF - Picaduras 6 mm (Desplazamiento)

En la Tabla 32 se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas con el software de AEF ANSYS [23] para las hipótesis de corrosión por picadura.

Tabla 32. Resultados AEF - Picaduras

Hipótesis	DOP	σ_{\max} (Mpa)	u_{\max} (mm)
Sin defectos	-	0,9631	0,013194
Picaduras 2 mm	0,02%	0,9769	0,013187
Picaduras 4 mm	0,09%	0,9763	0,013188
Picaduras 6 mm	0,19%	1,0243	0,013191
Picaduras 8 mm	0,34%	1,0182	0,013193
Picaduras 10 mm	0,53%	1,0365	0,013197
Picaduras 12 mm	0,77%	1,0184	0,013201
Picaduras 14 mm	1,05%	1,0372	0,013210
Picaduras 16 mm	1,37%	1,1140	0,013220
Picaduras 18 mm	1,73%	1,0746	0,013234
Picaduras 20 mm	2,13%	1,0492	0,013244
Picaduras 25 mm	3,33%	1,2475	0,013325
Picaduras 30 mm	4,80%	1,2652	0,013359
Picaduras 35 mm	6,53%	2,2978	0,013808
Picaduras 40 mm	8,53%	2,6119	0,014013
Picaduras 45 mm	10,80%	3,3591	0,014921
Picaduras 50 mm	13,33%	6,5687	0,015817

Se aprecia un incremento tanto en las tensiones como en los desplazamientos máximos al aumentar el tamaño de las picaduras.

Por ejemplo, las picaduras de 10 mm, causan un incremento respecto al perfil sin defectos del 7,62% en la tensión máxima de Von Mises, y del 0,02% en el desplazamiento máximo. Cuando las picaduras duplican su tamaño, alcanzando un diámetro de 20 mm, el incremento de la tensión máxima de Von Mises es del 8,94% y, en el caso del desplazamiento máximo, se aprecia un incremento del 0,38%. Para un diámetro de picadura de 30 mm, la tensión máxima aumenta en un 31,37%, y el desplazamiento máximo en un 1,25%. Cuando las picaduras tienen un diámetro de 40 mm, el incremento de la tensión máxima es del 171,19%, y el del desplazamiento máximo del 6,21%. En la hipótesis de picaduras de diámetro 50 mm, la tensión máxima aumenta en un 582,04% y el desplazamiento máximo en un 19,88%.

Tensión máxima de Von Mises

Los resultados de la tensión máxima de Von Mises en el AEF para las hipótesis de picadura se muestran en la Figura 106.

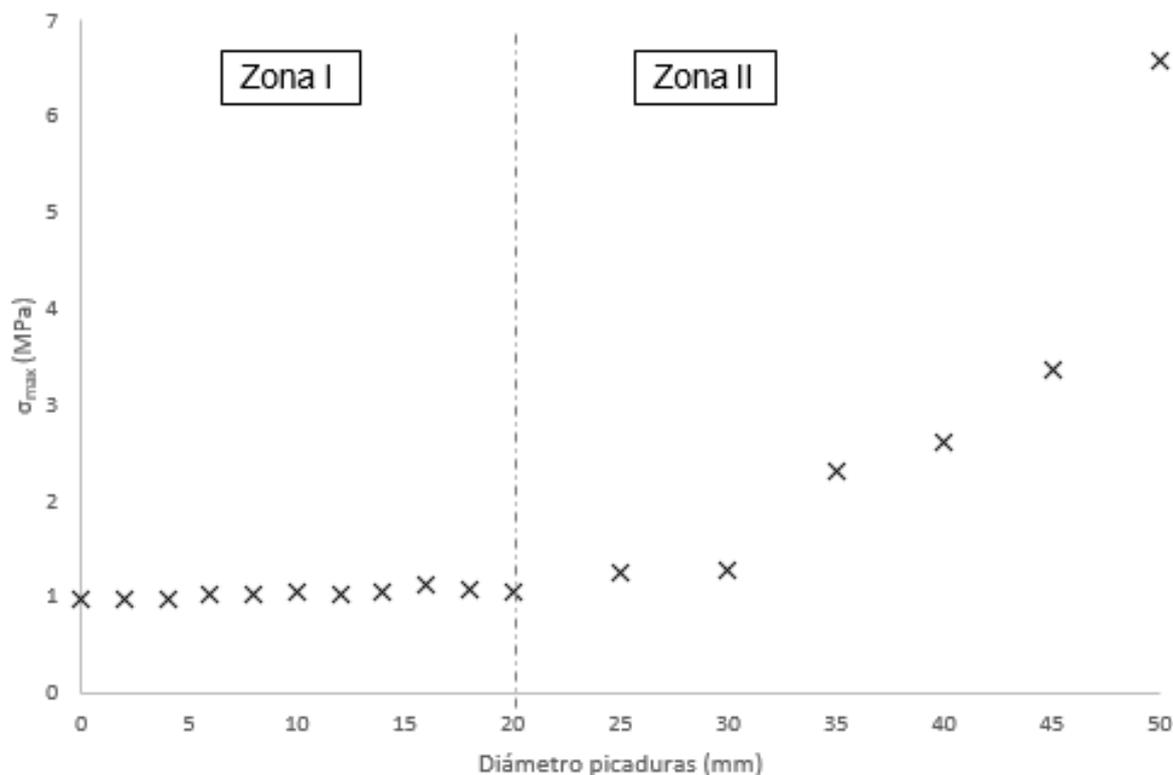


Figura 106. Tensión máxima Von Mises - Hipótesis picaduras

En la Figura 106 se observa que la tensión presenta comportamientos diferentes en función del diámetro de las picaduras. Dicho comportamiento es lineal para un diámetro de picadura de hasta 20 mm (Zona I) y polinómico entre 20 y 50 mm (Zona II).

Esto sucede porque en el momento que las picaduras atraviesan completamente el ala de la viga las tensiones crecen a un mayor ritmo. Por tanto, es conveniente separar el comportamiento en dos partes, de forma que quede definido por dos ecuaciones diferentes:

- Zona I: diámetro de las picaduras entre 0 y 20 mm (Figura 107)

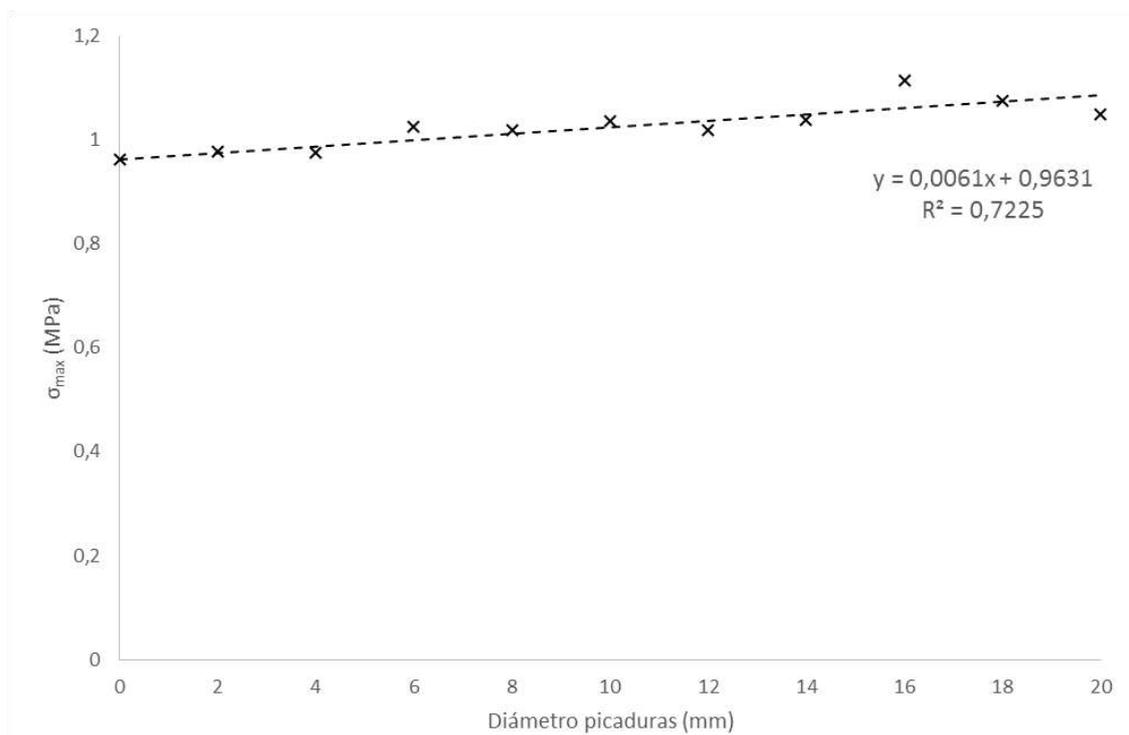


Figura 107. Tensión máxima Von Mises (Tendencia) - Zona I

- Zona II: diámetro de las picaduras entre 20 y 50 mm (Figura 108)

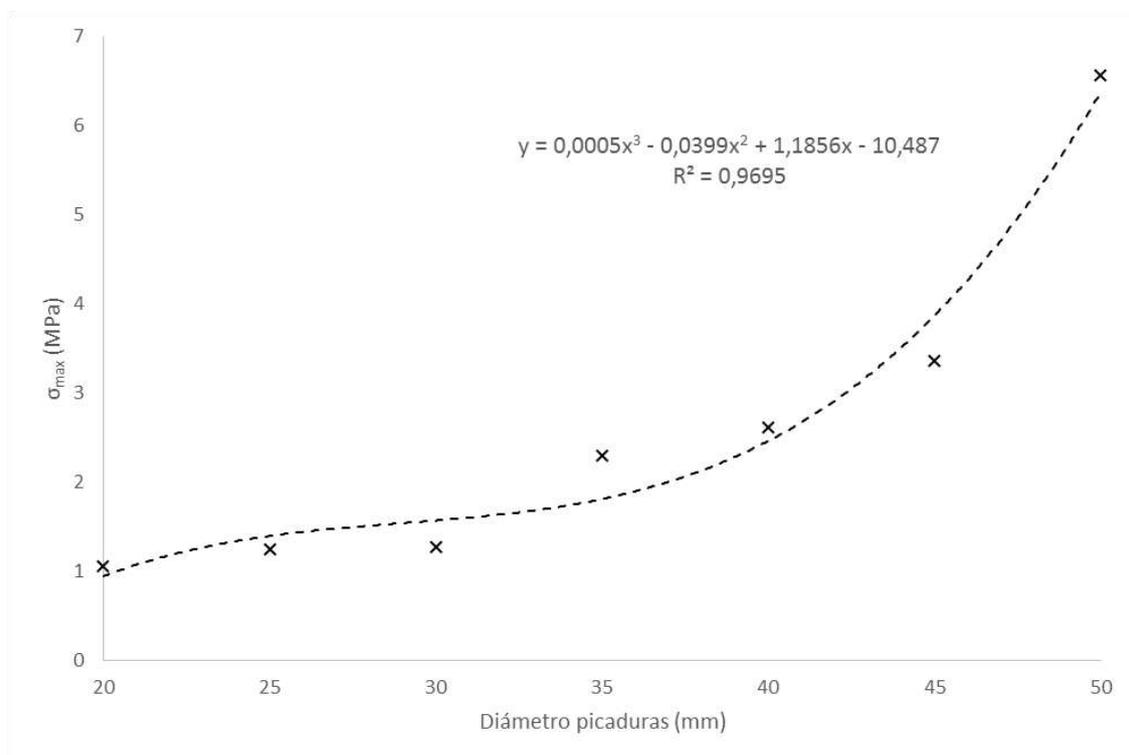


Figura 108. Tensión máxima Von Mises (Tendencia) - Zona II

Las ecuaciones (11) y (12) definen la tensión máxima de Von Mises en función del diámetro de las picaduras con las hipótesis establecidas:

$$0 \leq \phi < 20 \rightarrow \sigma_{max}(MPa) = 0,0061 \cdot \phi + 0,9631 \quad (11)$$

$$20 \leq \phi \leq 50 \rightarrow \sigma_{max}(MPa) = 0,0005 \cdot \phi^3 - 0,0399 \cdot \phi^2 + 1,1856 \cdot \phi - 10,487 \quad (12)$$

En donde:

σ_{max} → tensión máxima de Von Mises en MPa

ϕ → diámetro de las picaduras en mm

Desplazamiento máximo

La figura 109 muestra los resultados del desplazamiento máximo en el AEF para las hipótesis de picadura.

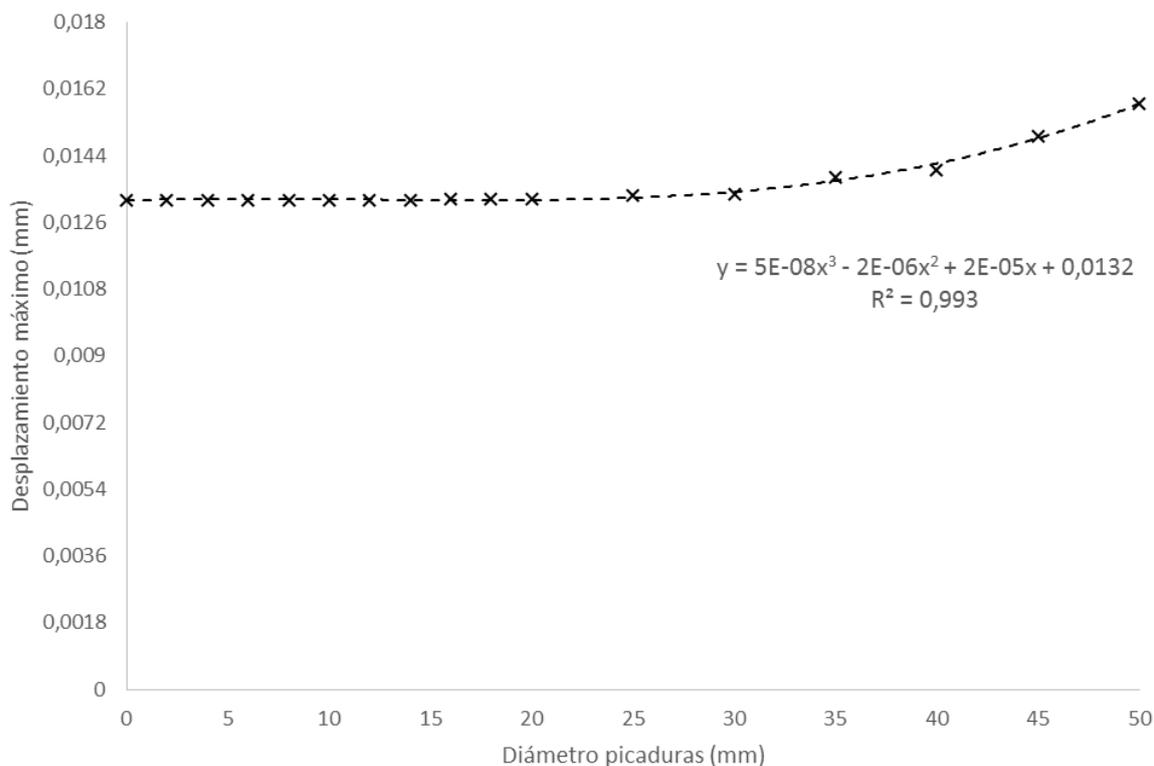


Figura 109. Desplazamiento máximo (Tendencia) - Hipótesis picaduras

La ecuación (13) permite calcular el desplazamiento máximo en función del diámetro de las picaduras con las hipótesis establecidas, de la forma:

$$0 \leq \phi \leq 50 \rightarrow u_{max}(mm) = 5 \cdot 10^{-8} \cdot \phi^2 - 2 \cdot 10^{-6} \cdot \phi^2 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot \phi + 0,013194 \quad (13)$$

En donde:

u_{max} → desplazamiento máximo en mm

\varnothing → diámetro de las picaduras en mm

4.2.2 Efecto de la corrosión generalizada

Las Figuras 110 y 111 ilustran respectivamente las simulaciones del AEF para la hipótesis de corrosión generalizada de 6 mm, mostrando la distribución de las tensiones equivalentes de Von Mises y de los desplazamientos.

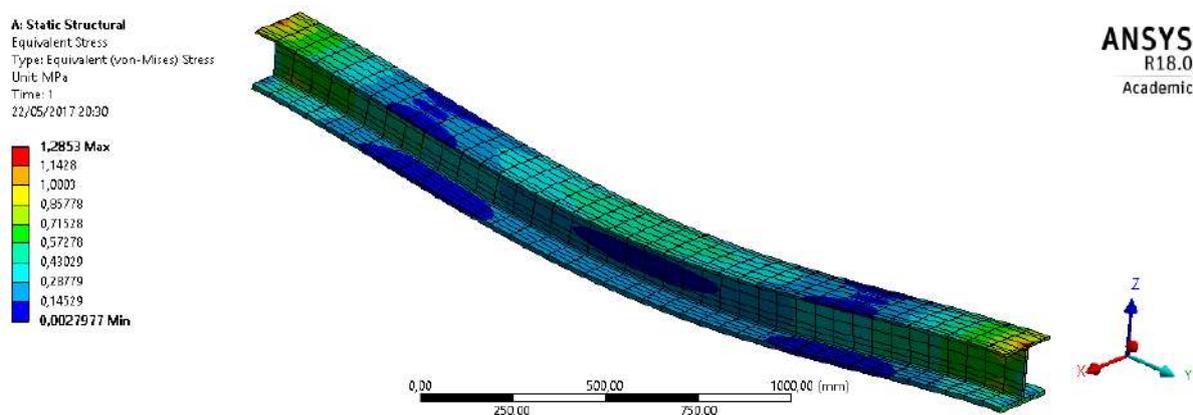


Figura 110. Simulación AEF - Pérd. Uni. 6 mm (Tensión equiv. Von Mises)

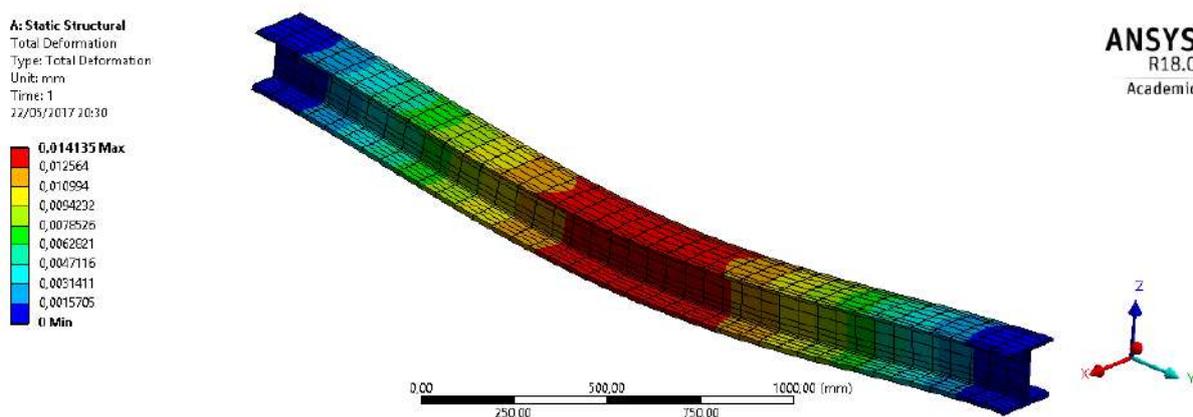


Figura 111. Simulación AEF - Pérd. Uni. 6 mm (Desplazamiento)

En la Tabla 33 se presentan los resultados obtenidos para las hipótesis de corrosión generalizada.

Tabla 33. Resultados AEF - Corrosión generalizada

Hipótesis	Pérd. %	σ_{\max} (Mpa)	u_{\max} (mm)
Sin defectos	-	0,9631	0,013194
Pérdida uniforme 1 mm	7,14%	1,0983	0,013307
Pérdida uniforme 2 mm	14,29%	1,0856	0,013361
Pérdida uniforme 3 mm	21,43%	1,0341	0,013468
Pérdida uniforme 4 mm	28,57%	1,0657	0,013626
Pérdida uniforme 5 mm	35,71%	1,0973	0,013841
Pérdida uniforme 6 mm	42,86%	1,2853	0,014135
Pérdida uniforme 7 mm	50,00%	1,1917	0,014529
Pérdida uniforme 8 mm	57,14%	1,3466	0,014944
Pérdida uniforme 9 mm	64,29%	1,4441	0,015923
Pérdida uniforme 10 mm	71,43%	2,0045	0,016662
Pérdida uniforme 11 mm	78,57%	2,2546	0,018137
Pérdida uniforme 12 mm	85,71%	2,6096	0,020103
Pérdida uniforme 13 mm	92,86%	2,0628	0,025894

Se aprecia un incremento tanto en las tensiones como en los desplazamientos máximos al aumentar la pérdida uniforme de sección.

Por ejemplo, la pérdida uniforme de sección de 5 mm en el ala superior del perfil, causa un incremento respecto al perfil sin defectos del 14,93% en la tensión máxima de Von Mises, y del 4,90% en el desplazamiento máximo. Cuando la pérdida de sección duplica su tamaño, alcanzando un diámetro de 10 mm, el incremento de la tensión máxima de Von Mises es del 108,13% y, en el caso del desplazamiento máximo, se aprecia un incremento del 26,29%. Finalmente, cuando la pérdida de sección alcanza 13 mm, la tensión máxima aumenta en un 114,18% y el desplazamiento máximo en un 96,26%. El mayor incremento de la tensión máxima se produce para una pérdida de 12 mm, y es del 170,96%.

Tensión máxima de Von Mises

Los resultados de la tensión máxima de Von Mises en el AEF para las hipótesis de corrosión generalizada se muestran en la Figura 112.

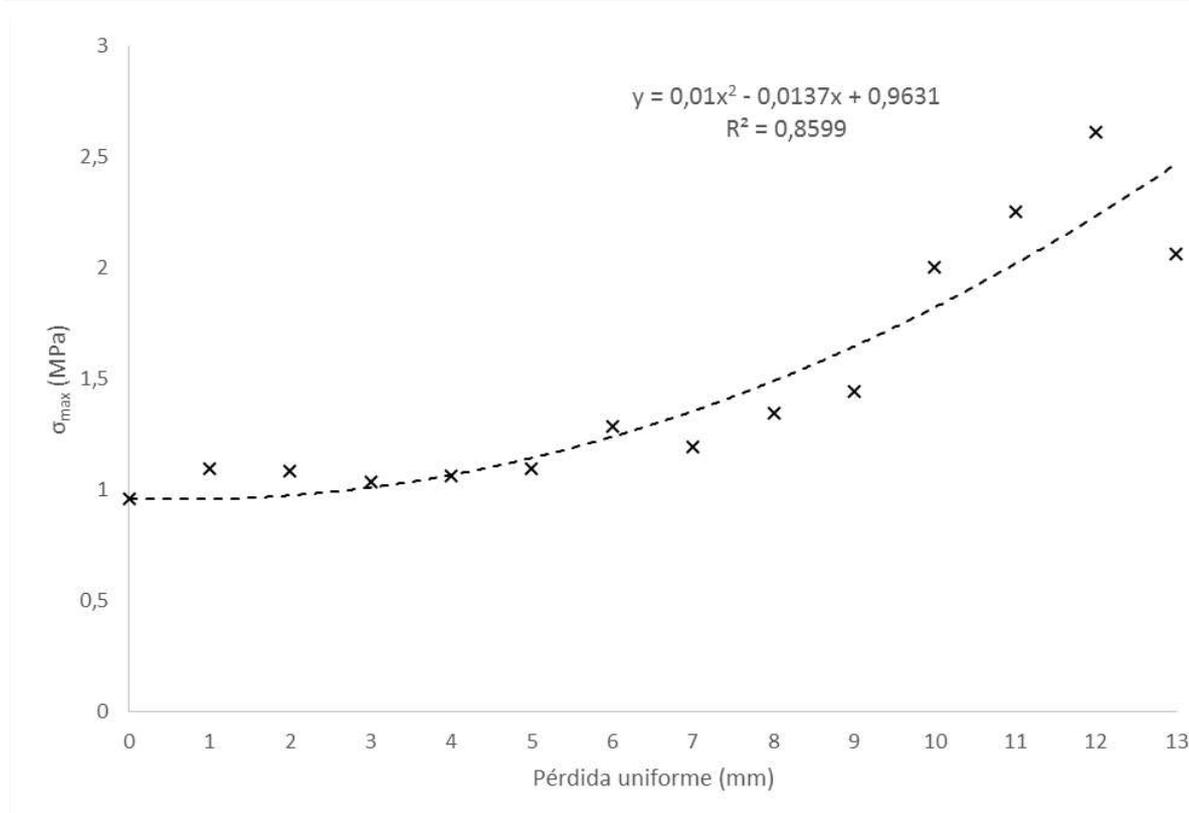


Figura 112. Tensión máxima Von Mises (Tendencia) - Hipótesis pérdida uniforme

La tensión máxima de Von Mises en función de la pérdida de sección uniforme t , del ala superior del perfil, queda definida en la ecuación (14).

$$0 \leq t \leq 13 \rightarrow \sigma_{max} (MPa) = 0,01 \cdot t^2 - 0,0137 \cdot t + 0,9631 \quad (14)$$

En donde:

σ_{max} → tensión máxima de Von Mises en MPa

t → pérdida de sección uniforme en el ala superior en mm

Desplazamiento máximo

Los resultados del desplazamiento máximo en el AEF para las hipótesis de corrosión generalizada se muestran en la Figura 113.

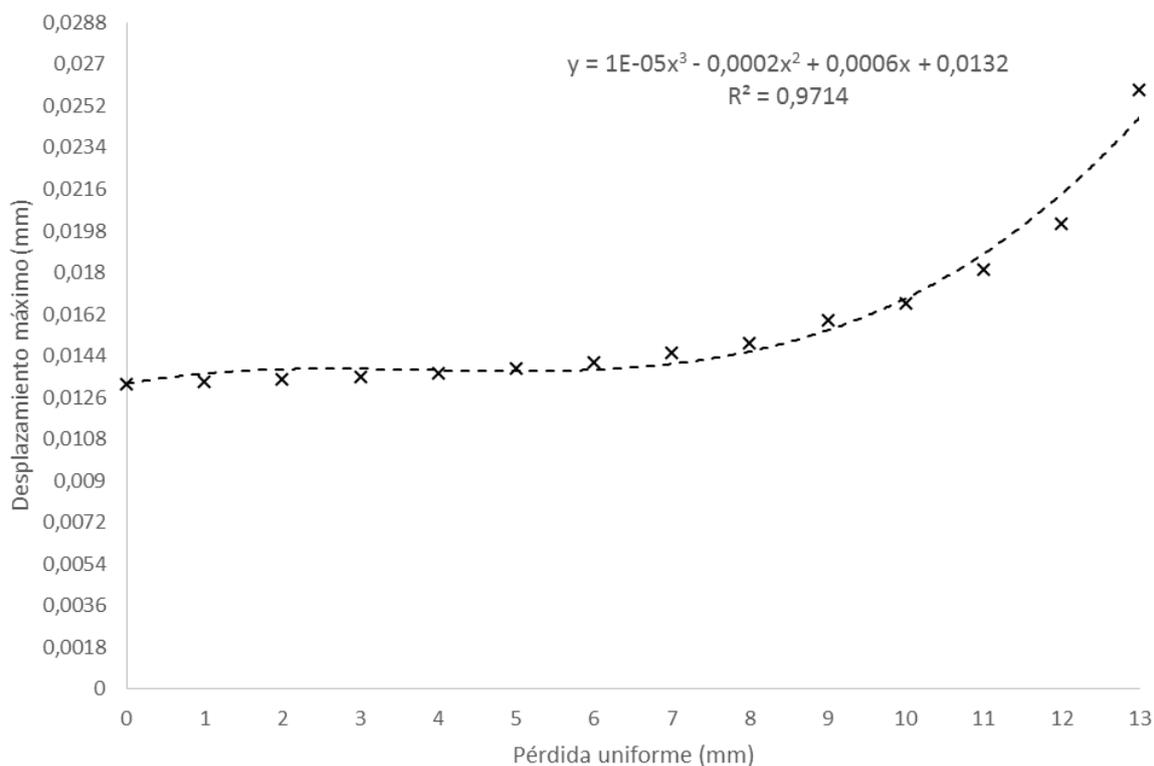


Figura 113. Desplazamiento máximo (Tendencia) - Hipótesis pérdida uniforme

La ecuación (15) relaciona el desplazamiento máximo con de la pérdida de sección uniforme t , del ala superior del perfil.

$$0 \leq t \leq 13 \rightarrow u_{max}(mm) = 1 \cdot 10^{-5} \cdot t^3 - 0,0002 \cdot t^2 + 0,0006 \cdot t + 0,013194 \quad (15)$$

En donde:

u_{max} → desplazamiento máximo en mm

t → pérdida de sección uniforme en el ala superior en mm

4.2.3 Combinación de corrosión generalizada y picaduras

Las Figuras 114 y 115 ilustran las simulaciones del AEF para la hipótesis combinada corrosión generalizada de 6 mm, con picaduras de 6 mm, mostrando la distribución de las tensiones equivalentes de Von Mises y de los desplazamientos respectivamente.

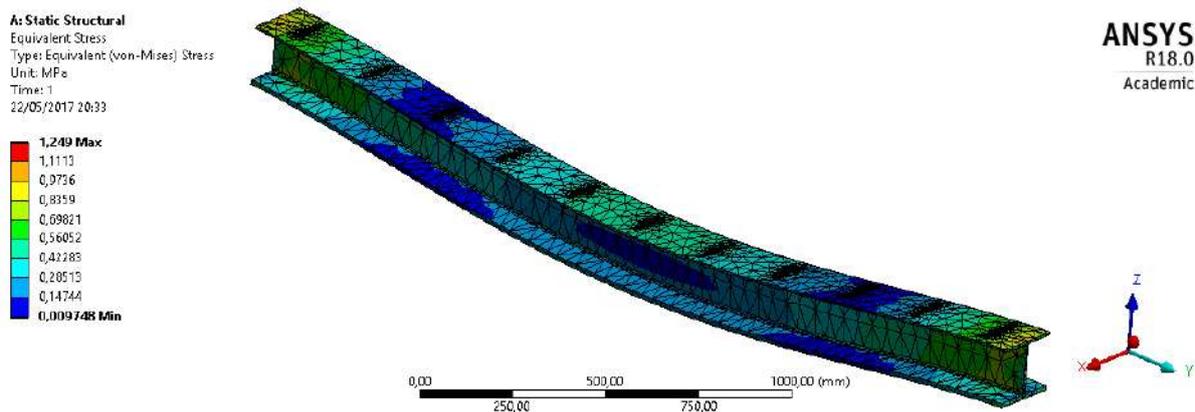


Figura 114. Simulación AEF - Uni. 6mm + Pic. 6mm (Tensión eq. Von Mises)

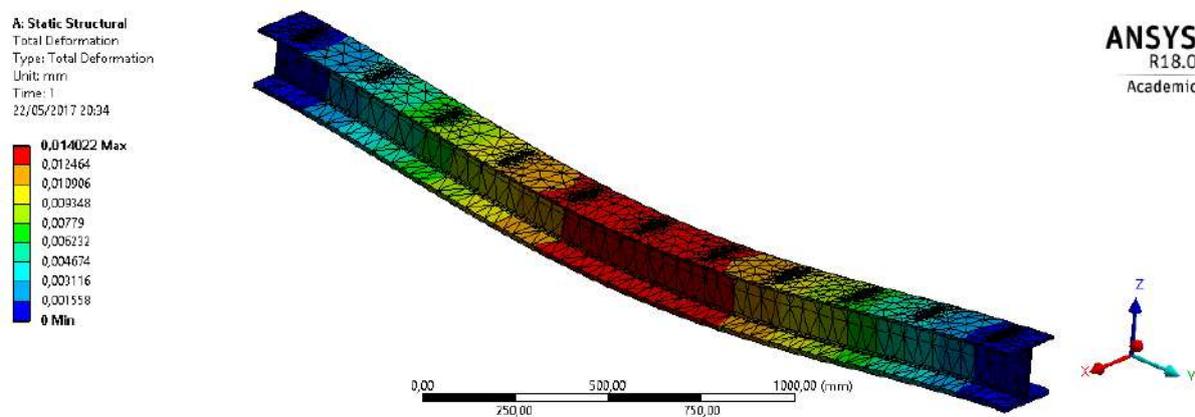


Figura 115. Simulación AEF - Uni. 6mm + Pic. 6mm (Desplazamiento)

La Tabla 34 ilustra los resultados obtenidos para las hipótesis combinadas.

Tabla 34. Resultados AEF - Combinación picaduras/generalizada

Nº	Hipótesis	σ_{\max} (Mpa)	u_{\max} (mm)
0	Pérd. Unif. 0 mm + Pic. 6 mm	1,0243	0,013191
1	Pérd. Unif. 1 mm + Pic. 6 mm	1,0606	0,013237
2	Pérd. Unif. 2 mm + Pic. 6 mm	1,2803	0,013305
3	Pérd. Unif. 3 mm + Pic. 6 mm	1,3195	0,013404
4	Pérd. Unif. 4 mm + Pic. 6 mm	1,1812	0,013551
5	Pérd. Unif. 5 mm + Pic. 6 mm	1,2638	0,013747
6	Pérd. Unif. 6 mm + Pic. 6 mm	1,2490	0,014022
7	Pérd. Unif. 7 mm + Pic. 6 mm	1,3711	0,014391
8	Pérd. Unif. 8 mm + Pic. 6 mm	1,4874	0,014889
9	Pérd. Unif. 9 mm + Pic. 6 mm	1,6183	0,015591
10	Pérd. Unif. 10 mm + Pic. 6 mm	1,7454	0,016565
11	Pérd. Unif. 11 mm + Pic. 6 mm	2,0279	0,017925

Se aprecia un incremento tanto en las tensiones como en los desplazamientos máximos al aumentar la pérdida uniforme de sección para un diámetro y densidad de picaduras constante.

Con un diámetro de picadura constante de 6 mm, la pérdida uniforme de sección de 5 mm en el ala superior del perfil, causa un incremento (respecto al perfil que únicamente tiene picaduras de 6 mm) del 23,38% en la tensión máxima de Von Mises, y del 4,19% en el desplazamiento máximo. Cuando la pérdida de sección duplica su tamaño, alcanzando un diámetro de 10 mm, el incremento de la tensión máxima de Von Mises es del 70,40% y, en el caso del desplazamiento máximo, se aprecia un incremento del 25,55%. Finalmente, cuando la pérdida de sección alcanza 11 mm, la tensión máxima aumenta en un 97,98% y el desplazamiento máximo en un 35,89%.

Tensión máxima de Von Mises

Los resultados de la tensión máxima de Von Mises en el AEF para las hipótesis combinadas se muestran en la Figura 116.

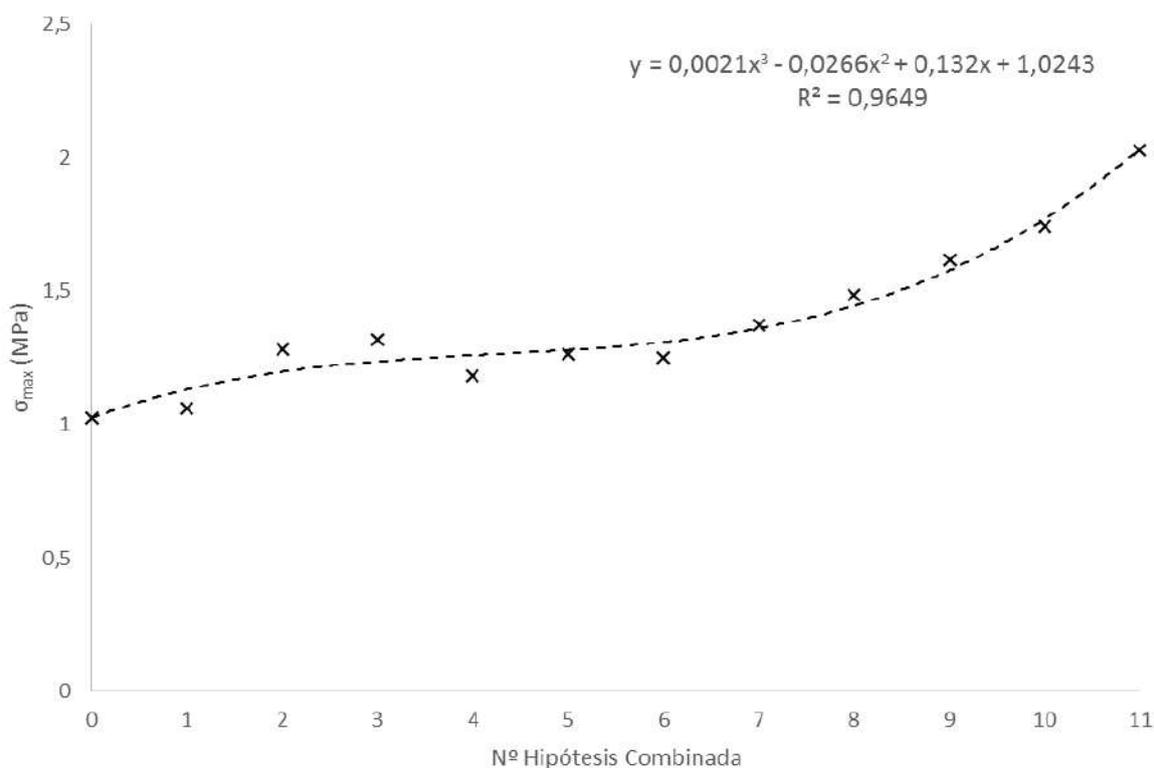


Figura 116. Tensión máxima Von Mises (Tendencia) - Hipótesis combinada

La tensión máxima de Von Mises en función del número de hipótesis combinada x , queda definida por la ecuación (16).

$$0 \leq x \leq 11 \rightarrow \sigma_{max}(MPa) = 0,0021 \cdot x^3 - 0,0266 \cdot x^2 + 0,132 \cdot x + 1,0243 \quad (16)$$

En donde:

σ_{max} → tensión máxima de Von Mises en MPa

x → número de hipótesis combinada

Desplazamiento máximo

Los resultados del desplazamiento máximo en el AEF para las hipótesis combinadas se muestran en la Figura 117.

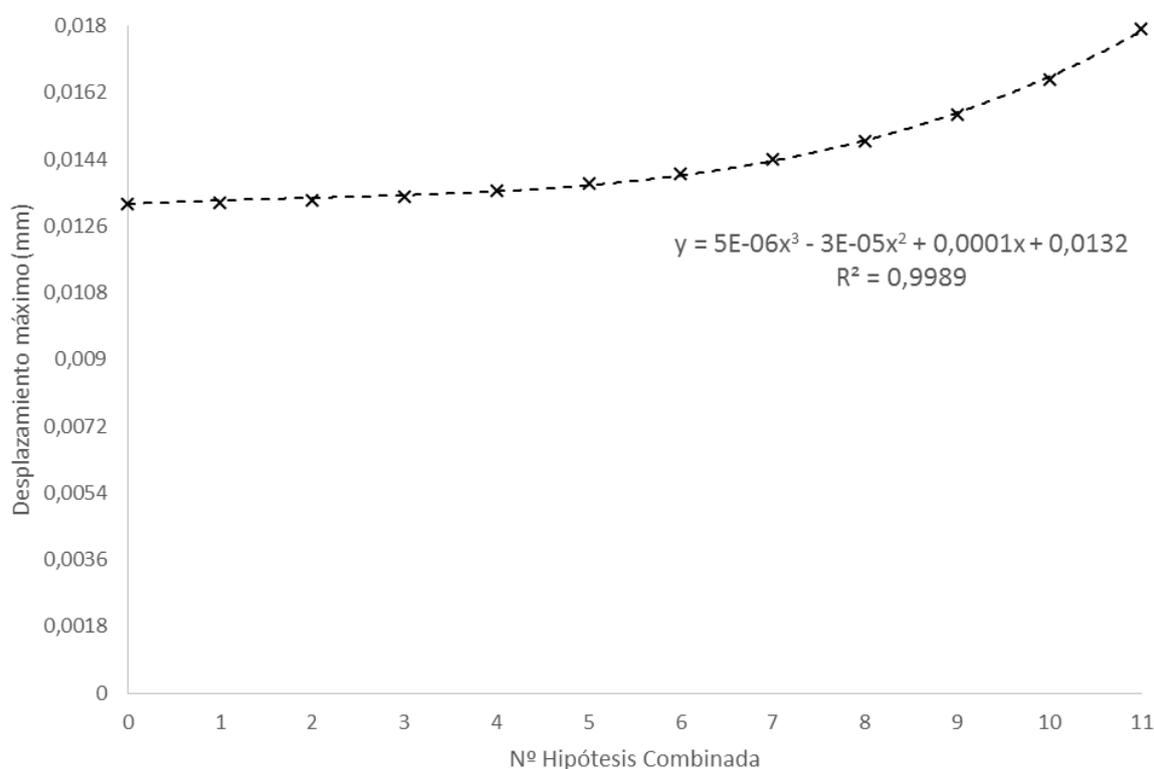


Figura 117. Desplazamiento máximo (Tendencia) - Hipótesis combinada

El desplazamiento máximo en función del número de hipótesis combinada x , queda definido por la ecuación (17).

$$0 \leq x \leq 11 \rightarrow u_{max}(mm) = 5 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 - 3 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0,0001 \cdot x + 0,013191 \quad (17)$$

En donde:

u_{max} → desplazamiento máximo en mm

x → número de hipótesis combinada

4.2.4 Discusión de los resultados

Los resultados obtenidos están de acuerdo con Paik, J. K. et al. [55], en cuyo análisis por elementos finitos alcanzaron la conclusión de que la corrosión puede causar daños mecánicos importantes.

Sin embargo, no se corresponden con las conclusiones de Jakubowski, M. [43], quien afirma que, las picaduras, tienen mayor impacto que la corrosión generalizada, lo cual, en vista de los resultados, solo ha sido así cuando las picaduras atraviesan la sección del ala del perfil estudiado. Esto puede deberse a que la densidad superficial de picaduras estudiada en las hipótesis es demasiado reducida, ya que según Sharifi, Y. y Rahgozar, R. [60] es éste parámetro, junto a la forma de las picaduras, los que definen su impacto sobre el comportamiento mecánico.

La densidad de picaduras no puede incrementarse debido a las limitaciones impuestas por la versión académica del software utilizado, al generar mallas que superan el límite de nodos. Aun así, deben tenerse en cuenta las conclusiones de Jakubowski, M. [43], quien asegura que, aunque no se produzcan incrementos importantes de la tensión máxima, sí que se generan nuevas distribuciones de tensiones en la zona afectada por picaduras, lo cual puede favorecer la propagación de grietas.

Las hipótesis que combinan corrosión generalizada y picaduras, para algunos valores, presentan valores de tensión y desplazamiento máximo superiores a los de las hipótesis de corrosión generalizada que tienen la misma pérdida de sección, y en otros, inferiores. Sin embargo, los valores de tensión y desplazamiento máximo deberían ser superiores en el caso combinado, a causa de la mayor pérdida de sección causada por ambos fenómenos, respecto a cuándo sólo actúa uno. Los resultados de las hipótesis combinadas no pueden compararse objetivamente, al no haberse encontrado publicaciones que valoren combinaciones de corrosión generalizada y picaduras mediante AEF.

4.3 DISEÑO MODIFICADO

En la Figura 118 se muestra la posición del Apartado 4.3 en el flujo de trabajo de este TFG, presentado previamente en la Figura 32.

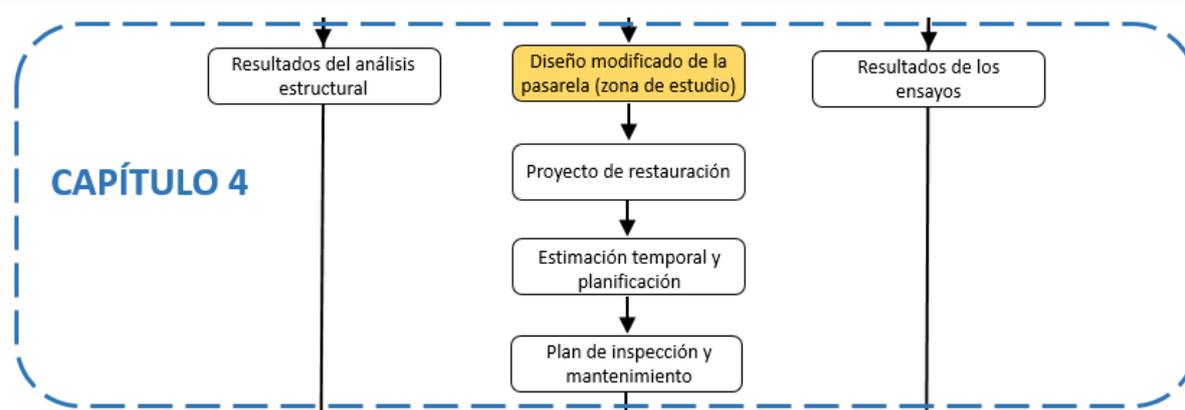


Figura 118. Posición del Apartado 4.3 en el flujo de trabajo

De las soluciones propuestas en el Apartado 3.5 se implementan las modificaciones del diseño actual, que solucionan los errores de diseño identificados en los siguientes aspectos, recogidos en la Tabla 35.

Tabla 35. Soluciones de diseño a los problemas identificados en la pasarela

Aspecto	Modificaciones sobre el diseño actual
Accesibilidad	Diseñar un sistema de protección adecuado de elevada durabilidad
Resquicios	Sellado mediante adhesivo polimérico
Superficies planas horizontales	Diseñar un sistema de protección adecuado de elevada durabilidad
Bordes	Redondear los bordes expuestos con un radio de 4 mm
Soldaduras	Adecuación de los cordones de soldadura para que presenten una superficie uniforme; eliminación de las proyecciones
Fijación de los perfiles del acristalamiento	Mantener el sistema de fijación mediante tornillos (respetando las especificaciones)
Sistema de protección	Diseñar un sistema de protección adecuado de elevada durabilidad: <ol style="list-style-type: none"> 1. Chorreado abrasivo a Sa 2 ½ 2. 200 µm recubrimiento epoxi 2 comp. 3. 80 µm acabado poliuretano 2 comp.

Se presenta a continuación un modelado de la pasarela (Figura 119) utilizando el software de diseño asistido por ordenador Autodesk Inventor [25]. Se realizan dos diseños, el original (Figura 120) y el modificado (Figura 121).

Como el objetivo de este modelado es presentar los cambios, únicamente se hace una representación parcial de la pasarela, puesto que un diseño completo dificultaría la visualización, al tratarse, en ocasiones, de cambios muy localizados.



Figura 119. Diseño actual

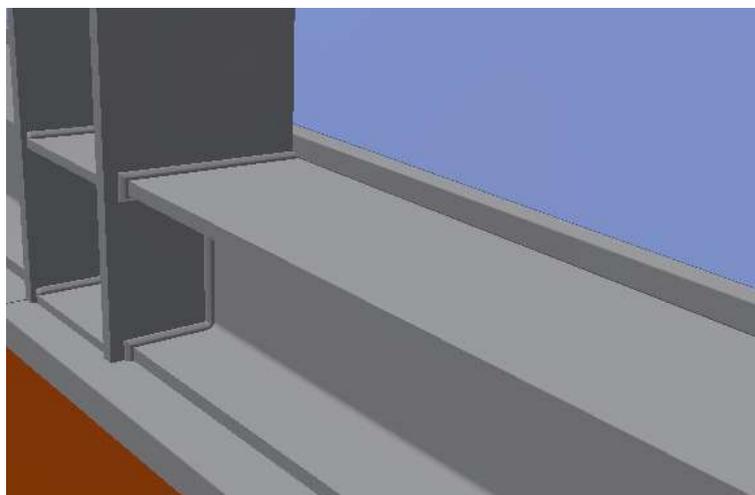


Figura 120. Modelado diseño actual

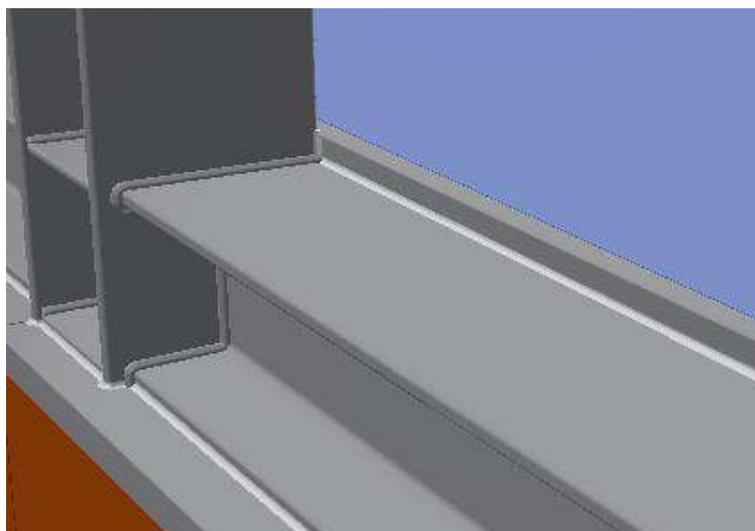
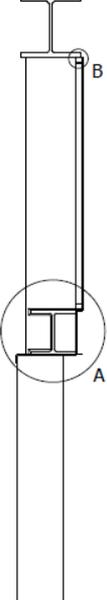
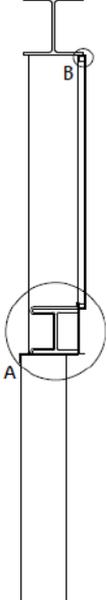


Figura 121. Modelado diseño modificado

En la Tabla 36 se realiza una comparativa del diseño actual con el modificado, junto con una breve explicación de los cambios realizados.

Tabla 36. Comparativa diseño actual - diseño modificado

Diseño actual	Diseño modificado
El diseño modificado, resistente frente a la corrosión, no cambia los elementos de la pasarela ni su disposición, como puede apreciarse en la siguiente vista en perfil	
	

En el detalle A se aprecian las mayores modificaciones realizadas sobre el diseño actual: redondear los bordes expuestos al medio corrosivo con un radio de 4 mm y sellar efectivamente todos los resquicios

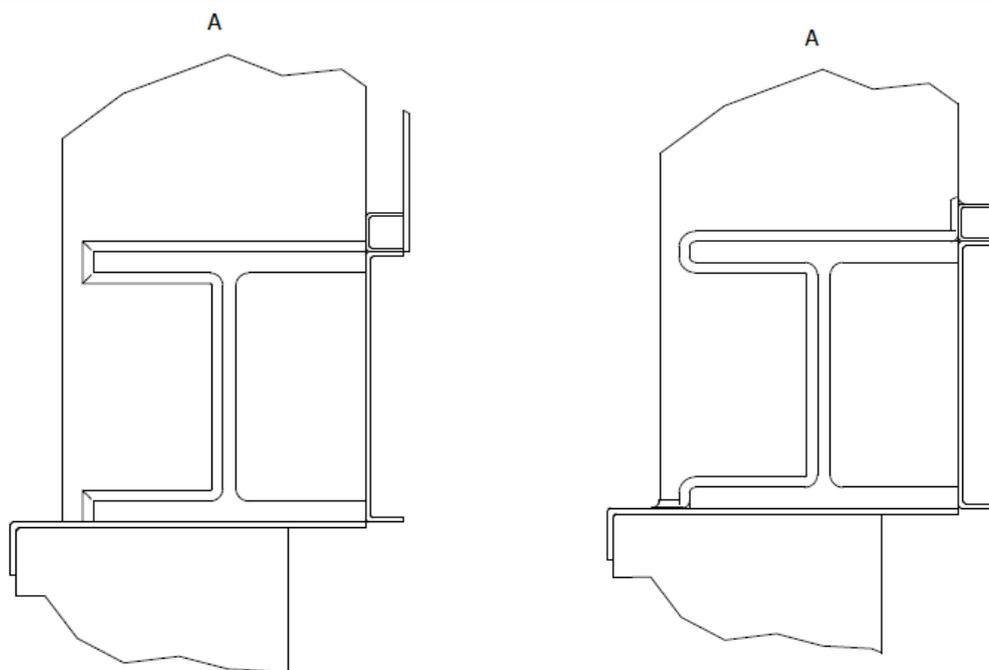
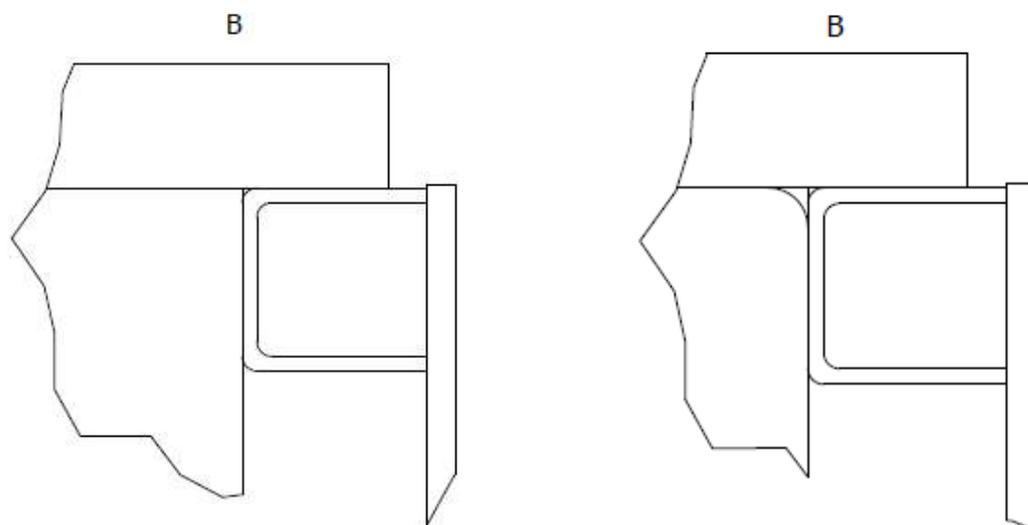


Tabla 36 bis. Comparativa diseño actual - diseño modificado

En el detalle B, puede visualizarse el sellado que se efectúa en el resquicio existente entre el perfil de la ventana y el perfil HEB superior, eliminando de esta forma la posibilidad de que se produzca corrosión en resquicio



4.4 PROYECTO DE RESTAURACIÓN

En este apartado se contemplan las tareas que deberían llevarse a cabo en la restauración de la parte de la estructura metálica estudiada en este TFG. Este apartado, por tanto, formaría parte del proyecto de restauración integral de la pasarela, que sería competencia de la Ingeniería Civil.

En la Figura 122 se muestra la posición del Apartado 4.4 en el flujo de trabajo de este TFG, presentado previamente en la Figura 32.

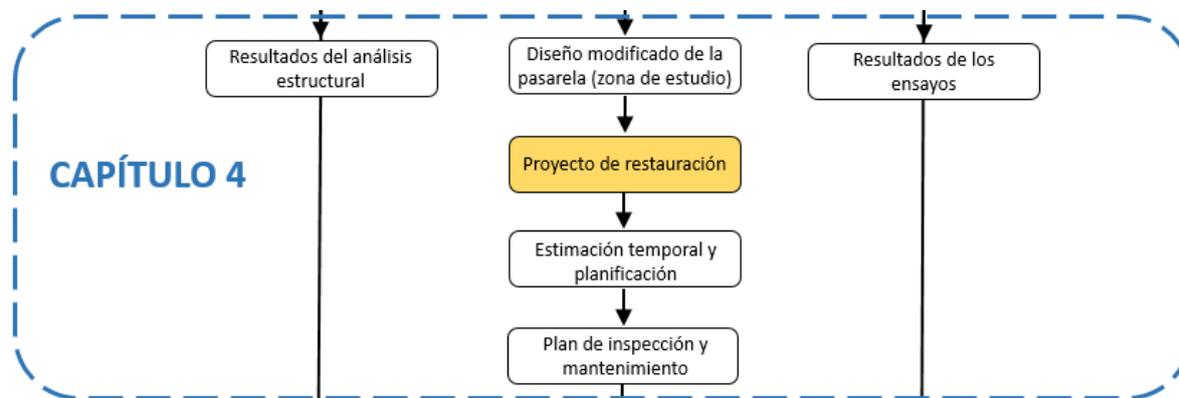


Figura 122. Posición del Apartado 4.4 en el flujo de trabajo

En el proyecto de restauración deberían realizarse otras actuaciones que no se valoran en este trabajo, entre las que se encuentran la impermeabilización de la pasarela, la sustitución de los pasamanos y la restauración del suelo. En este proyecto de restauración se incluyen todas las modificaciones de diseño presentadas en el Apartado 4.3 (Tabla 35) excepto el redondeo de bordes, cuya realización se considera que debería haberse realizado en el proceso de construcción inicial, con el objetivo de que las soldaduras se adaptasen a las formas redondeadas.

Es importante que el ingeniero que realice el proyecto de restauración tenga en cuenta las soluciones propuestas en este trabajo, para que la situación actual de deterioro no se vuelva a producir, y no sea necesario realizar otra restauración similar pasado un breve periodo de tiempo. Partiremos de la condición de diseño de utilizar los materiales existentes, intentando proyectar un trabajo eficaz y efectivo desde el punto de vista técnico y económico.

Según las conclusiones alcanzadas por Goto, Y. y Kawanishi, N. ^[38] se opta por proceder a realizar la restauración de la estructura metálica sin realizar un alzamiento previo mediante gatos hidráulicos, al obtenerse de esta forma mejores resultados respecto a las propiedades mecánicas.

TAREA 0: Aunque no se integra en este proyecto de restauración, previamente a su realización se considera necesario llevar a cabo un análisis estructural de la pasarela, para verificar que cumple las condiciones de servicio. Se deberán efectuar las pruebas de carga estáticas y pruebas dinámicas de vibraciones para comprobar y garantizar la integridad estructural.

TAREA 1: Contratación y recepción de la maquinaria necesaria para llevar a cabo la restauración.

TAREA 2: Proteger el suelo, el techo, las paredes y demás zonas que no se van a restaurar.

TAREA 3: Desmontar las luminarias situadas en el interior de la pasarela, con el objetivo de no dañarlas durante el proceso de restauración, y poder acceder a las zonas que cubren. Se deberán desmontar tanto las luminarias de pared (iluminación), como las de techo (emergencia).

TAREA 4: Desmontar el acristalamiento para efectuar una evaluación del estado de la cristalería y limpiarlas apropiadamente, eliminando la suciedad y los restos de silicona. Los perfiles metálicos del acristalamiento deberán permanecer colocados en la pasarela, con el objetivo de ser sometidos al mismo procedimiento de pintado que el resto de partes metálicas, por lo que únicamente será necesario desmontar los cristales. Se deberá indicar qué partes del acristalamiento no se encuentran en buen estado para su sustitución por otras nuevas.

TAREA 5: Proceder a la preparación superficial de la superficie metálica, aplicando un chorreado abrasivo hasta alcanzar un grado de preparación superficial Sa 2 ½, como se especifica en el procedimiento de pintado. Una vez chorreada la estructura, se identificarán mediante inspección visual las pérdidas de material causadas por corrosión, las cuales serán reparadas aplicando masilla epoxi de dos componentes, que se lijará previamente al pintado.

TAREA 6: Aplicación del sistema de pintura propuesto en el Apartado 3.5.6, consistente en una capa de recubrimiento epoxi de dos componentes de base disolvente, hasta alcanzar un espesor de 200 µm, tipo HEMPADUR 45880/1/W, seguido de una capa de esmalte de poliuretano de dos componentes de base disolvente, tipo HEMPATHANE HS 55610, con un espesor de 80 µm. Ambas capas se aplicarán por pulverización mediante pistola *airless*, respetando las indicaciones del fabricante.

TAREA 7: Fijar el acristalamiento, sustituyendo aquellas partes que se hayan indicado en la Tarea 4. La fijación se realizará sobre calzos con aplicación de silicona estructural.

TAREA 8: Sellado de resquicios mediante adhesivo sellante de alto rendimiento mecánico no poroso. Los principales resquicios se identifican en dos zonas: perfiles del acristalamiento-perfiles HEB y perfiles HEB horizontal-perfil metálico sobre los paneles de madera que forman las paredes.

TAREA 9: Fijar las luminarias desmontadas en la tarea 3. Se verificará el correcto funcionamiento de todas las bombillas y se sustituirán aquellas que no satisfagan las condiciones de uso.

TAREA 10: Eliminación de las protecciones colocadas en las partes no restauradas y limpieza final de obra.

La Figura 123 recoge en un diagrama de flujo las tareas del proyecto de restauración propuesto, junto con una breve descripción de estas.

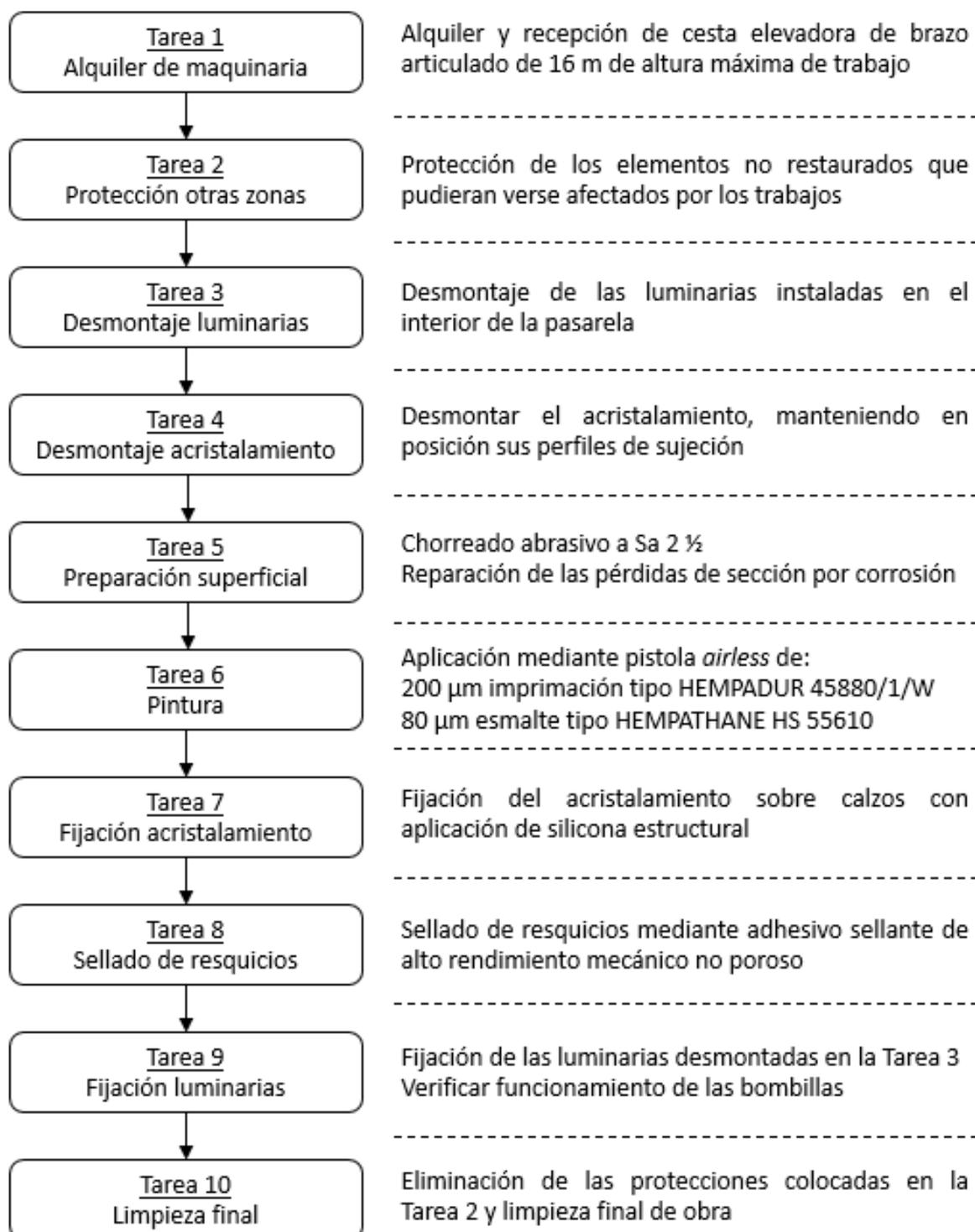


Figura 123. Tareas del proyecto de restauración

4.5 ESTIMACIÓN TEMPORAL

En la Figura 124 se muestra la posición del Apartado 4.5 en el flujo de trabajo de este TFG, presentado previamente en la Figura 32.

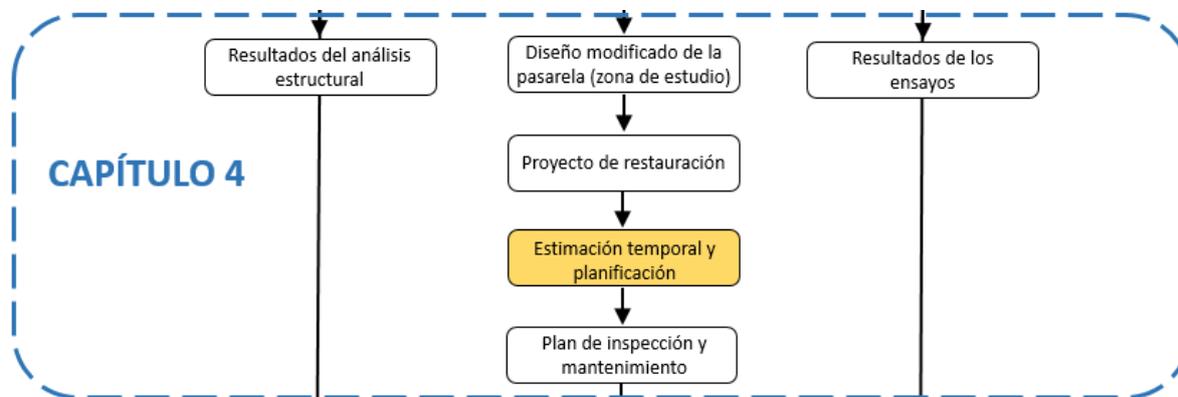


Figura 124. Posición del Apartado 4.5 en el flujo de trabajo

Para realizar la estimación temporal se asume una jornada laboral de 8 horas y se considera que la plantilla que ejecuta la obra está compuesta por los siguientes miembros:

- 1 x oficial 1ª electricista
- 1 x oficial 1ª cristalero
- 1 x oficial 1ª pintor
- 1 x ayudante electricista
- 1 x ayudante cristalero
- 1 x ayudante pintor
- 1 x peón especializado construcción
- 3 x peón ordinario construcción

La Tabla 37 ilustra los cálculos de la estimación temporal.

Tabla 37. Estimación temporal - Proyecto de restauración

Id.	Tarea	Medición	Tiempo unitario	Reducción por varios operarios	Tiempo (horas)	Tiempo (días)
2.01	Protección otras zonas	1,00 Ud	40,00 h/Ud	3,00	13,33	1,67
3.01	Desmontaje luminarias	18,00 Ud	0,094 h/Ud	1,00	1,69	0,21
4.01	Desmontaje acristalamiento	138,00 m ²	0,300 h/m ²	1,00	41,40	5,18
5.01	Chorroado abrasivo	250,00 m ²	0,239 h/m ²	1,00	59,75	7,47
5.02	Reparación defectos	2,00 m ²	3,000 h/m ²	1,00	6,00	0,75
6.01	Pintura	250,00 m ²	0,335 h/m ²	1,00	83,75	10,47
7.01	Fijación acristalamiento	138,00 m ²	0,397 h/m ²	1,00	54,79	6,85
8.01	Sellado resquicios	420,00 m	0,070 h/m	1,00	29,40	3,68
9.01	Fijación luminarias	18,00 Ud	0,130 h/Ud	1,00	2,34	0,29
10.01	Limpieza final	1,00 Ud	40,00 h/Ud	3,00	13,33	1,67

4.5.1 Planificación proyecto restauración

Con las condiciones establecidas, teniendo en cuenta que las tareas son secuenciales el tiempo de ejecución del proyecto de restauración es de 38 días laborables, tal y como se recoge en la Figura 125.

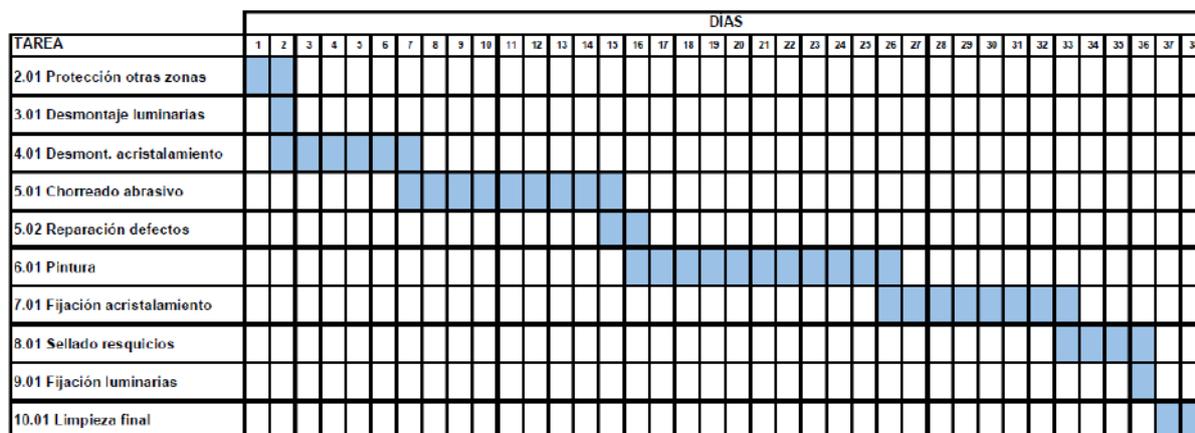


Figura 125. Programación - Proyecto de restauración

4.6 PLAN DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

En la Figura 126 se muestra la posición del Apartado 4.6 en el flujo de trabajo de este TFG, presentado previamente en la Figura 32.

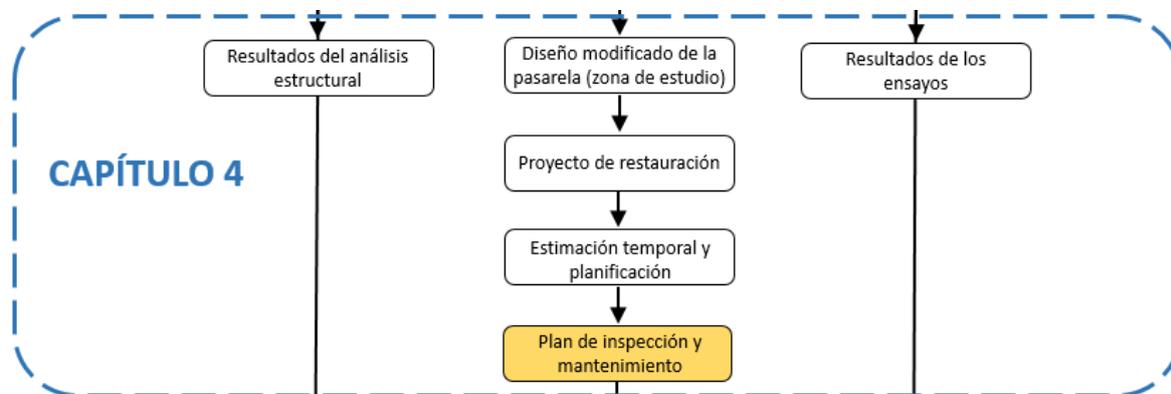


Figura 126. Posición del Apartado 4.6 en el flujo de trabajo

Según la Tabla 5.1 de la Instrucción de Acero Estructural (EAE), la vida útil nominal de la pasarela debería ser de 100 años, siendo la vida útil nominal el “periodo de tiempo durante el que deben mantenerse las exigencias básicas en unos límites aceptables, realizando labores de conservación normales, sin necesidad de rehabilitaciones”. Para conseguir este objetivo, se proyecta el siguiente plan de inspección y mantenimiento, presentado en las Tablas 38 a 40.

4.6.1 Plan de inspección

En la Tabla 38 se sintetiza el plan de inspección propuesto.

Tabla 38. Plan de inspección

Id.	Descripción	Responsable	Frecuencia
I.01	Inspección visual del estado del recubrimiento, verificando la ausencia total de problemas de: ampollamiento, oxidación, agrietamiento, descamación, daño mecánico	Personal especializado*	Cada 6 meses
I.02	Inspección visual del estado del adhesivo sellante de los resquicios, verificando la ausencia total de problemas de: desprendimiento, falta de adherencia, fallo en el sellado, indicios de corrosión en resquicio	Personal especializado*	Cada 6 meses
I.03	Revisión del estado de las juntas de silicona del acristalamiento, verificando la ausencia total de problemas de: desprendimiento, falta de adherencia, fallo en el sellado	Personal especializado*	Cada 6 meses
I.04	Revisión del estado del acristalamiento, verificando la ausencia total de: grietas, roturas	Usuarios**	Continua

* Personal especializado: ingeniero con experiencia en corrosión.

** Los usuarios podrán notificar de la presencia de defectos a la conserjería del centro, que se encargará de transmitir la información al responsable del mantenimiento.

4.6.2 Plan de mantenimiento

En la Tabla 39 se ilustran las acciones correctivas contempladas en el plan de mantenimiento propuesto.

Tabla 39. Plan de mantenimiento - Acciones correctivas

Acciones correctivas			
Id.	Descripción problema	Acción correctiva	Frecuencia
C.01	Presencia de problemas en el recubrimiento de: ampollamiento, oxidación, agrietamiento, descamación, daño mecánico	Identificación y actuación frente a las causas que hayan motivado el fallo, para posteriormente proceder a un repintado parcial de la zona afectada, previa preparación superficial mediante decapado en la zona, utilizando el mismo sistema de pintura que el proyectado en el proyecto de restauración	Inmediatamente después a la inspección semestral en la que se identifique el defecto
C.02	Presencia de problemas en el adhesivo sellante del recubrimiento de: desprendimiento, falta de adherencia, fallo en el sellado, indicios de corrosión en resquicio	Identificación y actuación frente a las causas que hayan motivado el fallo, para posteriormente proceder a la eliminación del adhesivo en la zona afectada, el cual se volverá a aplicar según las condiciones establecidas en el proyecto de restauración	Inmediatamente después a la inspección semestral en la que se identifique el defecto
C.03	Presencia de problemas en las juntas de silicona del acristalamiento de: desprendimiento, falta de adherencia, fallo en el sellado	Identificación y actuación frente a las causas que hayan motivado el fallo, para posteriormente proceder a la eliminación de la junta de silicona en la zona afectada, la cual se volverá a aplicar según las condiciones establecidas en el proyecto de restauración	Inmediatamente después a la inspección semestral en la que se identifique el defecto
C.04	Presencia de problemas en el acristalamiento de: grietas, roturas	Identificación y actuación frente a las causas que hayan motivado el fallo, para posteriormente proceder a la sustitución del vidrio afectado por uno nuevo, el cual se colocará según las condiciones establecidas en el proyecto de restauración	Inmediatamente después a la notificación del defecto

En la Tabla 40 se ilustran las acciones programadas contempladas en el plan de mantenimiento propuesto.

Tabla 40. Plan de mantenimiento - Acciones programadas

Acciones programadas		
Id.	Acción programada	Frecuencia
P.01	Limpieza de toda la zona interior de la pasarela, incluyendo la superficie metálica, la cual se limpiará cuidadosamente con trapos húmedos y será inmediatamente secada tras finalizar la limpieza.	Cada mes
P.02	Sustitución completa del adhesivo sellante de los resquicios. Se deberá valorar si las condiciones establecidas en el proyecto de restauración son adecuadas, o si por el contrario, se debe diseñar un nuevo sistema de sellado acorde a la tecnología existente.	Cada 10 años
P.03	Sustitución completa de las juntas de silicona del acristalamiento. Se deberá valorar si las condiciones establecidas en el proyecto de restauración son adecuadas, o si por el contrario, se debe diseñar un nuevo sistema de fijación acorde a la tecnología existente.	Cada 10 años
P.04	Repintado completo de la estructura. Se deberán considerar si las condiciones establecidas en el proyecto de restauración son adecuadas, o si por el contrario, se debe diseñar un nuevo sistema de protección acorde a la tecnología existente.	Cada 30 años

CAPÍTULO 5. PRESUPUESTO

En la Figura 127 se muestra la posición del Capítulo 5 en el flujo de trabajo de este TFG, presentado previamente en la Figura 32.

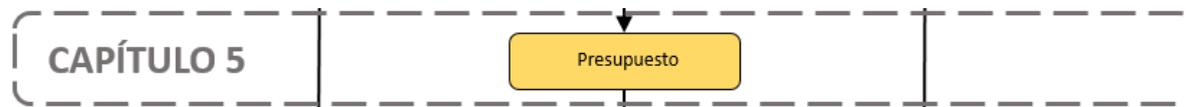


Figura 127. Posición del Capítulo 5 en el flujo de trabajo

En este Capítulo se hace una estimación presupuestaria del proyecto de restauración de las superficies metálicas estudiadas, cuyas tareas han sido presentadas en el Apartado 4.4 (Figura 123).

En este presupuesto no se incluyen los costes de elaboración del proyecto de restauración, ni los honorarios del ingeniero.

Las mediciones, al carecer del proyecto de ejecución, han sido realizadas directamente sobre la pasarela, utilizando una cinta métrica con precisión de ± 1 mm para medidas superiores a 100 mm y un calibre con precisión de $\pm 0,05$ mm para medidas inferiores.

Los precios y tiempos de las partidas han sido obtenidos con el Generador de precios de la construcción en España de CYPE Ingenieros ^[28], indicando como características definitorias de la obra las siguientes:

- Tipo de proyecto: Restauración
- Ubicación: Santander, Cantabria
- Superficie total construida: 500 m²
- Dificultad de acceso: Limitado
- Almacenamiento de materiales y escombros: Reducido
- Grado de intervención: Parcial
- Estado de conservación: Deficiente
- Dificultad de ejecución: Alta
- Transporte de materiales: Manual
- Presencia de usuarios: Ocasional
- Tipo de utilización: Otros usos

5.1 Mediciones

Tarea 1. Alquiler de maquinaria

Id.	Unidades	Descripción	Cantidad total
1.01	Ud	Transporte a obra y retirada de cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo	2,00

Desglose

Componente	Cantidad (Ud)	Longitud (m)	Altura (m)	Cantidad parcial
Alquiler 1	1,00	-	-	1,00
Alquiler 2	1,00	-	-	1,00

Id.	Unidades	Descripción	Cantidad total
1.02	Ud	Alquiler diario de cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo	34,00

Desglose

Componente	Cantidad (Ud)	Longitud (m)	Altura (m)	Cantidad parcial*
Desmontaje acristalamiento	1,00	-	-	5,18
Protección otras zonas	1,00	-	-	1,67
Chorreado abrasivo	1,00	-	-	7,47
Pintura	1,00	-	-	10,47
Fijación acristalamiento	1,00	-	-	6,85
Limpieza final	1,00	-	-	1,67
Redondeo	1,00	-	-	0,69

* La cantidad de días de alquiler se ha extraído de la estimación temporal del proyecto (Apartado 4.5).

Tarea 2. Protección otras zonas

Id.	Unidades	Descripción				Cantidad total
2.01	m ²	Protección mediante lonas, láminas de polietileno y tableros de madera, de huecos, carpinterías, y todos aquellos elementos que pudieran verse afectados mientras duren de los trabajos de rehabilitación.				500,00
Desglose						
		Componente	Cantidad (Ud)	Longitud (m)	Altura (m)	Cantidad parcial
		Suelo	1,00	52,00	2,40	124,80
			1,00	20,00	2,40	48,00
		Techo	1,00	52,00	2,40	124,80
			1,00	20,00	2,40	48,00
		Pared	1,00	17,00	1,10	18,70
			1,00	20,00	1,10	22,00
			1,00	49,00	1,10	53,90
			1,00	52,00	1,10	57,20
		Redondeo	1,00	-	-	2,60

Tarea 3. Desmontaje luminarias

Id.	Unidades	Descripción				Cantidad total
3.01	Ud	Desmontaje de luminaria interior instalada en superficie, con medios manuales				18,00
Desglose						
		Componente	Cantidad (Ud)	Longitud (m)	Altura (m)	Cantidad parcial
		Luminaria de pared	14,00	-	-	14,00
		Luminaria de techo (emergencia)	4,00	-	-	4,00

Tarea 4. Desmontaje acristalamiento

Id.	Unidades	Descripción				Cantidad total
4.01	m ²	Desmontaje con medios manuales del acristalamiento, fijado sobre carpintería, sin deteriorar la carpintería a la que se sujeta				138,00
Desglose						
		Componente	Cantidad (Ud)	Longitud (m)	Altura (m)	Cantidad parcial
		Acristalamiento	1,00	17,00	1,00	17,00
			1,00	20,00	1,00	20,00
			1,00	49,00	1,00	49,00
			1,00	52,00	1,00	52,00

Tarea 5. Preparación superficial

Id.	Unidades	Descripción				Cantidad total
5.01	m ²	Proyección en seco de chorro de partículas de material abrasivo (silicato de aluminio) sobre perfiles metálicos hasta alcanzar un grado de preparación Sa 2 ½ según UNE-EN ISO 8501-1, eliminando los restos deteriorados de pintura y óxido				255,00
Desglose						
		Componente	Cantidad (Ud)	Longitud (m)	Altura (m)	Cantidad parcial
		HEA 360	1,00	3,60	*	3,40
		HEB 300	2,00	2,20	*	
			2,00	2,30	*	16,60
		HEB 240	6,00	2,30	*	
			5,00	2,60	*	37,60
		HEB 200	44,00	1,20	*	
			1,00	17,00	*	
			1,00	20,00	*	
			1,00	49,00	*	
			1,00	52,00	*	92,20
		HEB 180	2,00	2,63	*	
			18,00	2,70	*	
			10,00	2,75	*	

	4,00	2,85	*	
	4,00	2,90	*	
	6,00	3,00	*	
	6,00	3,10	*	74,00
Refuerzos	44,00	0,17	*	1,40
	44,00	0,17	*	0,75
	50,00	0,15	*	1,40
Perfil acristalamiento	8,00	1,00	*	
	2,00	17,00	*	
	2,00	20,00	*	
	2,00	49,00	*	
	2,00	52,00	*	14,00
Perfil sobre pared	1,00	17,00	*	
	1,00	20,00	*	
	1,00	49,00	*	
	1,00	52,00	*	12,20
Redondeo	1,00	-	-	1,45

* Los perfiles presentan geometrías complicadas que no pueden ser determinadas por una única altura. Las superficies son calculadas con la ayuda de modelados en Autodesk Inventor [25].

Id.	Unidades	Descripción	Cantidad total			
5.02	m ²	Reparación de picaduras e imperfecciones causadas por corrosión hasta obtener una superficie lisa y homogénea, con una profundidad media de 2 mm, incluso lijado posterior previo al recubrimiento	2,00			
Desglose						
		Componente	Cantidad (Ud)	Longitud (m)	Altura (m)	Cantidad parcial
		Partida alzada	1,00	-	-	2,00

Tarea 6. Pintura

Id.	Unidades	Descripción	Cantidad total
6.01	m ²	Esmalte de dos componentes, color a elegir, acabado brillante, sobre superficie de acero laminado en estructuras metálicas, limpieza y preparación de la superficie a pintar, mediante medios manuales hasta dejarla exenta de grasas, una mano de imprimación, con un espesor mínimo de película seca de 200 micras (rendimiento: 0,357 l/m ²) y una mano de acabado con esmalte de dos componentes con un espesor mínimo de película seca de 80 micras (rendimiento: 0,176 l/m ²)	255,00

Desglose

Componente	Cantidad (Ud)	Longitud (m)	Altura (m)	Cantidad parcial
HEA 360	1,00	3,60	*	3,40
HEB 300	2,00	2,20	*	
	2,00	2,30	*	16,60
HEB 240	6,00	2,30	*	
	5,00	2,60	*	37,60
HEB 200	44,00	1,20	*	
	1,00	17,00	*	
	1,00	20,00	*	
	1,00	49,00	*	
	1,00	52,00	*	92,20
HEB 180	2,00	2,63	*	
	18,00	2,70	*	
	10,00	2,75	*	
	4,00	2,85	*	
	4,00	2,90	*	
	6,00	3,00	*	
	6,00	3,10	*	74,00
Refuerzos	44,00	0,17	*	1,40
	44,00	0,17	*	0,75
	50,00	0,15	*	1,40
Perfil acristalamiento	8,00	1,00	*	
	2,00	17,00	*	

	2,00	20,00	*	
	2,00	49,00	*	
	2,00	52,00	*	14,00
Perfil sobre pared	1,00	17,00	*	
	1,00	20,00	*	
	1,00	49,00	*	
	1,00	52,00	*	12,20
Redondeo	1,00	-	-	1,45

* Los perfiles presentan geometrías complicadas que no pueden ser determinadas por una única altura. Las superficies son calculadas con la ayuda de modelados en Autodesk Inventor [25].

Tarea 7. Fijación acristalamiento

Id.	Unidades	Descripción	Cantidad total			
7.01	m ²	Fijación del acristalamiento, sobre carpintería con calzos y sellado continuo, con medios manuales	138,00			
Desglose						
		Componente	Cantidad (Ud)	Longitud (m)	Altura (m)	Cantidad parcial
		Acrystalamiento	1,00	17,00	1,00	17,00
			1,00	20,00	1,00	20,00
			1,00	49,00	1,00	49,00
			1,00	52,00	1,00	52,00

Tarea 8. Sellado de resquicios

Id.	Unidades	Descripción				Cantidad total
8.01	m	Sellado de resquicios en estructura metálica				422,00
Desglose						
		Componente	Cantidad (Ud)	Longitud (m)	Altura (m)	Cantidad parcial
		Perfil acris./HEB180	8,00	1,00	-	8,00
			2,00	17,00	-	34,00
			2,00	20,00	-	40,00
			2,00	49,00	-	98,00
			2,00	52,00	-	104,00
		Perfil pared/HEB180	1,00	17,00	-	17,00
			1,00	20,00	-	20,00
			1,00	49,00	-	49,00
			1,00	52,00	-	52,00

Tarea 9. Fijación luminarias

Id.	Unidades	Descripción				Cantidad total
9.01	Ud	Colocación de luminaria interior instalada en superficie, con medios manuales				18,00
Desglose						
		Componente	Cantidad (Ud)	Longitud (m)	Altura (m)	Cantidad parcial
		Luminaria de pared	14,00	-	-	14,00
		Luminaria de techo (emergencia)	4,00	-	-	4,00

Tarea 10. Limpieza final

Id.	Unidades	Descripción				Cantidad total
10.01	Ud	Limpieza final de obra incluyendo los trabajos de eliminación de la suciedad y el polvo acumulado en paramentos y carpinterías, limpieza de cristales y carpinterías exteriores, eliminación de manchas y restos de yeso y mortero adheridos en suelos y otros elementos, recogida y retirada de plásticos y cartones, todo ello junto con los demás restos de fin de obra depositados en el contenedor de residuos para su transporte a vertedero autorizado				1,00
Desglose						
		Componente	Cantidad (Ud)	Longitud (m)	Altura (m)	Cantidad parcial
		Limpieza fin de obra	1,00	-	-	1,00

5.2 Cuadro de precios N°1

Tarea 1. Alquiler de maquinaria

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario en cifras	Precio unitario en letras
1.01	Ud	Transporte a obra y retirada de cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo	129,28€	Ciento veintinueve euros con veintiocho céntimos

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario en cifras	Precio unitario en letras
1.02	Ud	Alquiler diario de cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo	141,73€	Ciento cuarenta y un euros con setenta y tres céntimos

Tarea 2. Protección otras zonas

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario en cifras	Precio unitario en letras
2.01	Ud	Protección mediante lonas, láminas de polietileno y tableros de madera, de huecos, carpinterías, y todos aquellos elementos que pudieran verse afectados mientras duren de los trabajos de rehabilitación	3.594,29€	Tres mil quinientos noventa y cuatro euros con veintinueve céntimos

Tarea 3. Desmontaje luminarias

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario en cifras	Precio unitario en letras
3.01	Ud	Desmontaje de luminaria interior instalada en superficie, con medios manuales	3,39€	Tres euros con treinta y nueve céntimos

Tarea 4. Desmontaje acristalamiento

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario en cifras	Precio unitario en letras
4.01	m ²	Desmontaje con medios manuales del acristalamiento, fijado sobre carpintería, sin deteriorar la carpintería a la que se sujeta	5,57€	Cinco euros con cincuenta y siete céntimos

Tarea 5. Preparación superficial

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario en cifras	Precio unitario en letras
5.01	m ²	Proyección en seco de chorro de partículas de material abrasivo (silicato de aluminio) sobre perfiles metálicos hasta alcanzar un grado de preparación Sa 2 ½ según UNE-EN ISO 8501-1, eliminando los restos deteriorados de pintura y óxido	10,61€	Diez euros con sesenta y un céntimos

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario en cifras	Precio unitario en letras
5.02	m ²	Reparación de picaduras e imperfecciones causadas por corrosión hasta obtener una superficie lisa y homogénea, con una profundidad media de 2 mm, incluso lijado posterior previo al recubrimiento	200,56€	Doscientos euros con cincuenta y seis céntimos

Tarea 6. Pintura

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario en cifras	Precio unitario en letras
6.01	m ²	Esmalte de dos componentes, color a elegir, acabado brillante, sobre superficie de acero laminado en estructuras metálicas, limpieza y preparación de la superficie a pintar, mediante medios manuales hasta dejarla exenta de grasas, una mano de imprimación, con un espesor mínimo de película seca de 200 micras (rendimiento: 0,357 l/m ²) y una mano de acabado con esmalte de dos componentes con un espesor mínimo de película seca de 80 micras (rendimiento: 0,176 l/m ²)	19,31€	Diecinueve euros con treinta y un céntimos

Tarea 7. Fijación acristalamiento

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario en cifras	Precio unitario en letras
7.01	m ²	Fijación del acristalamiento, sobre carpintería con calzos y sellado continuo, con medios manuales	17,58€	Diecisiete euros con cincuenta y ocho céntimos

Tarea 8. Sellado de resquicios

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario en cifras	Precio unitario en letras
8.01	m	Sellado de resquicios en estructura metálica	2,93€	Dos euros con noventa y tres céntimos

Tarea 9. Fijación luminarias

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario en cifras	Precio unitario en letras
9.01	Ud	Colocación de luminaria interior instalada en superficie, con medios manuales	4,69€	Cuatro euros con sesenta y nueve céntimos

Tarea 10. Limpieza final

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario en cifras	Precio unitario en letras
10.01	Ud	Limpieza final de obra incluyendo los trabajos de eliminación de la suciedad y el polvo acumulado en paramentos y carpinterías, limpieza de cristales y carpinterías exteriores, eliminación de manchas y restos de yeso y mortero adheridos en suelos y otros elementos, recogida y retirada de plásticos y cartones, todo ello junto con los demás restos de fin de obra depositados en el contenedor de residuos para su transporte a vertedero autorizado	669,09€	Seiscientos sesenta y nueve euros con nueve céntimos

5.3 Cuadro de precios Nº2

Tarea 1. Alquiler de maquinaria

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario
1.01	Ud	Transporte a obra y retirada de cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo	129,28€

Desglose

	Componente	Precio	Precio parcial
	1,000Ud Transporte a obra y retirada de cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo	125,51€/ud	125,51€
	3% Costes indirectos		3,77€

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario
1.02	Ud	Alquiler diario de cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo	141,73€

Desglose

	Componente	Precio	Precio parcial
	1,000Ud Alquiler diario de cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo, incluso mantenimiento y seguro de responsabilidad civil	137,60€/ud	137,60€
	3% Costes indirectos		4,13€

Tarea 2. Protección otras zonas

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario	
2.01	Ud	Protección mediante lonas, láminas de polietileno y tableros de madera, de huecos, carpinterías, y todos aquellos elementos que pudieran verse afectados mientras duren de los trabajos de rehabilitación	3.594,29€	
Desglose				
		Componente	Precio	Precio parcial
		500m ² Lámina de polietileno transparente, de 0,2 mm de espesor	0,15€/m ²	75,00€
		500m Cinta plástica autoadhesiva	0,04€/m	20,00€
		100m ² Tablero aglomerado hidrófugo, de 19 mm de espesor	7,45€/m ²	745,00€
		500m ² Lona impermeable de protección, de polietileno, con malla de refuerzo y cuerda perimetral de poliamida para el ajuste de la lona	4,00€/h	2.000,00€
		40,000h Peón ordinario construcción	16,24€/h	649,60€
		3% Costes indirectos		104,69€

Tarea 3. Desmontaje luminarias

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario	
3.01	Ud	Desmontaje de luminaria interior instalada en superficie, con medios manuales	3,39€	
Desglose				
		Componente	Precio	Precio parcial
		0,094h Oficial 1ª electricista	18,26€/h	1,72€
		0,094h Ayudante electricista	16,66€/h	1,57€
		3% Costes indirectos		0,10€

Tarea 4. Desmontaje acristalamiento

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario	
4.01	m ²	Desmontaje con medios manuales del acristalamiento, fijado sobre carpintería, sin deteriorar la carpintería a la que se sujeta	5,57€	
Desglose				
		Componente	Precio	Precio parcial
		0,300h Ayudante cristalero	18,03€/h	5,41€
		3% Costes indirectos		0,16€

Tarea 5. Preparación superficial

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario
5.01	m ²	Proyección en seco de chorro de partículas de material abrasivo (silicato de aluminio) sobre perfiles metálicos hasta alcanzar un grado de preparación Sa 2 ½ según UNE-EN ISO 8501-1, eliminando los restos deteriorados de pintura y óxido	10,61€

Desglose

Componente	Precio	Precio parcial
2,975kg Abrasivo para limpieza mediante chorro a presión, formado por partículas de silicato de aluminio	0,25€/kg	0,74€
0,221h Equipo de chorro de arena a presión	2,86€/h	0,63€
0,221h Grupo eléctrico insonorizado, trifásico, de 45 kVA de potencia	4,81€/h	1,06€
0,239h Peón especializado construcción	16,71€/h	3,99€
0,239h Peón ordinario construcción	16,24€/h	3,88€
3% Costes indirectos		0,31€

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario
5.02	m ²	Reparación de picaduras e imperfecciones causadas por corrosión hasta obtener una superficie lisa y homogénea, con una profundidad media de 2 mm, incluso lijado posterior previo al recubrimiento	200,56€

Desglose

Componente	Precio	Precio parcial
2,000l Masilla epoxi de dos componentes sin disolvente resistente al agua.	68,74€/l	137,48€
3,000h Peón especializado construcción	19,08€/h	57,24€
3% Costes indirectos		5,84€

Tarea 6. Pintura

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario	
6.01	m ²	Esmalte de dos componentes, color a elegir, acabado brillante, sobre superficie de acero laminado en estructuras metálicas, limpieza y preparación de la superficie a pintar, mediante medios manuales hasta dejarla exenta de grasas, una mano de imprimación, con un espesor mínimo de película seca de 200 micras (rendimiento: 0,357 l/m ²) y una mano de acabado con esmalte de dos componentes con un espesor mínimo de película seca de 80 micras (rendimiento: 0,176 l/m ²)	19,31€	
Desglose				
		Componente	Precio	
			Precio parcial	
		0,357l Imprimación epoxi de capa gruesa de dos componentes con aducto de poliamida y de elevado contenido en sólidos tipo HEMPADUR MASTIC 45880/1/W, color gris, aplicado con pistola	12,68€/l	4,53€
		0,176l Esmalte de poliuretano de dos componentes a base de isocianato alifático, acabado brillante tipo HEMPATHANE HS 55610, color a elegir, aplicado con pistola	15,42€/l	2,71€
		0,335h Oficial 1ª pintor	17,67€/h	5,92€
		0,335h Ayudante pintor	16,69€/h	5,59€
		3% Costes indirectos		0,56€

Tarea 7. Fijación acristalamiento

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario
7.01	m ²	Fijación del acristalamiento, sobre carpintería con calzos y sellado continuo, con medios manuales	17,58€
Desglose			
		Componente	Precio
			Precio parcial
		0,290Ud Cartucho de silicona estructural sintética incolora de 310 ml (rendimiento aproximado de 12 m por cartucho)	3,73€/ud
		1,000Ud Material auxiliar para la colocación de vidrios	1,26€/ud
		0,397h Oficial 1ª cristalero	19,08€/h
		0,397h Ayudante cristalero	18,03€/h
		3% Costes indirectos	0,51€

Tarea 8. Sellado de resquicios

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario
8.01	m	Sellado de resquicios en estructura metálica	2,93€
Desglose			
		Componente	Precio
			Precio parcial
		0,100Ud Cartucho de adhesivo sellante de un componente incoloro de alto rendimiento mecánico de 310 ml (rendimiento aproximado de 10 m por cartucho)	15,00€/ud
		0,070h Peón especializado construcción	19,08€/h
		3% Costes indirectos	0,09€

Tarea 9. Fijación luminarias

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario
9.01	Ud	Colocación de luminaria interior instalada en superficie, con medios manuales	4,69€
Desglose			
		Componente	Precio
			Precio parcial
		0,130h Oficial 1ª electricista	18,26€/h
		0,130h Ayudante electricista	16,66€/h
		3% Costes indirectos	0,14€

Tarea 10. Limpieza final

Id.	Unidades	Descripción	Precio unitario
10.01	Ud	Limpieza final de obra incluyendo los trabajos de eliminación de la suciedad y el polvo acumulado en paramentos y carpinterías, limpieza de cristales y carpinterías exteriores, eliminación de manchas y restos de yeso y mortero adheridos en suelos y otros elementos, recogida y retirada de plásticos y cartones, todo ello junto con los demás restos de fin de obra depositados en el contenedor de residuos para su transporte a vertedero autorizado	669,09€
Desglose			
		Componente	Precio
			Precio parcial
		40,000h Peón ordinario construcción	16,24€/h
		3% Costes indirectos	19,49€

5.4 Presupuestos parciales

Tarea 1. Alquiler de maquinaria

Id.	Unidades	Descripción	Medición	Precio unitario	Precio total
1.01	Ud	Transporte a obra y retirada de cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo	2,00	129,28€	258,56€

Id.	Unidades	Descripción	Medición	Precio unitario	Precio total
1.02	día	Alquiler diario de cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo	34,00	141,73€	4.818,82€

Tarea 2. Protección otras zonas

Id.	Unidades	Descripción	Medición	Precio unitario	Precio total
2.01	Ud	Protección mediante lonas, láminas de polietileno y tableros de madera, de huecos, carpinterías, y todos aquellos elementos que pudieran verse afectados mientras duren de los trabajos de rehabilitación	1,00	3.594,29€	3.594,29€

Tarea 3. Desmontaje luminarias

Id.	Unidades	Descripción	Medición	Precio unitario	Precio total
3.01	Ud	Desmontaje de luminaria interior instalada en superficie, con medios manuales.	18,00	3,39€	61,02€

Tarea 4. Desmontaje acristalamiento

Id.	Unidades	Descripción	Medición	Precio unitario	Precio total
4.01	m ²	Desmontaje con medios manuales del acristalamiento, fijado sobre carpintería, sin deteriorar la carpintería a la que se sujeta	138,00	5,57€	768,66€

Tarea 5. Preparación superficial

Id.	Unidades	Descripción	Medición	Precio unitario	Precio total
5.01	m ²	Proyección en seco de chorro de partículas de material abrasivo (silicato de aluminio) sobre perfiles metálicos hasta alcanzar un grado de preparación Sa 2 ½ según UNE-EN ISO 8501-1, eliminando los restos deteriorados de pintura y óxido	255,00	10,61€	2.705,55€

Id.	Unidades	Descripción	Medición	Precio unitario	Precio total
5.02	m ²	Reparación de picaduras e imperfecciones causadas por corrosión hasta obtener una superficie lisa y homogénea, con una profundidad media de 2 mm, incluso lijado posterior previo al recubrimiento	2,00	200,56€	401,12€

Tarea 6. Pintura

Id.	Unidades	Descripción	Medición	Precio unitario	Precio total
6.01	m ²	Esmalte de dos componentes, color a elegir, acabado brillante, sobre superficie de acero laminado en estructuras metálicas, limpieza y preparación de la superficie a pintar, mediante medios manuales hasta dejarla exenta de grasas, una mano de imprimación, con un espesor mínimo de película seca de 200 micras (rendimiento: 0,756 l/m ²) y una mano de acabado con esmalte de dos componentes con un espesor mínimo de película seca de 80 micras (rendimiento: 0,156 l/m ²)	255,00	19,31€	4.924,05€

Tarea 7. Fijación acristalamiento

Id.	Unidades	Descripción	Medición	Precio unitario	Precio total
7.01	m ²	Fijación del acristalamiento, sobre carpintería con calzos y sellado continuo, con medios manuales	138,00	17,58€	2.426,04€

Tarea 8. Sellado de resquicios

Id.	Unidades	Descripción	Medición	Precio unitario	Precio total
8.01	m	Sellado de resquicios en estructura metálica	422,00	2,93€	1.236,46€

Tarea 9. Fijación luminarias

Id.	Unidades	Descripción	Medición	Precio unitario	Precio total
9.01	Ud	Colocación de luminaria interior instalada en superficie, con medios manuales	18,00	4,69€	84,42€

Tarea 10. Limpieza final

Id.	Unidades	Descripción	Medición	Precio unitario	Precio total
10.01	Ud	Limpieza final de obra incluyendo los trabajos de eliminación de la suciedad y el polvo acumulado en paramentos y carpinterías, limpieza de cristales y carpinterías exteriores, eliminación de manchas y restos de yeso y mortero adheridos en suelos y otros elementos, recogida y retirada de plásticos y cartones, todo ello junto con los demás restos de fin de obra depositados en el contenedor de residuos para su transporte a vertedero autorizado	1,00	669,09€	669,09€

5.5 Presupuesto de ejecución material

PRESUPUESTOS PARCIALES	%	TOTALES
T1. ALQUILER DE MAQUINARIA	23,13	5.077,38€
T2. PROTECCIÓN OTRAS ZONAS	16,38	3.594,29€
T3. DESMONTAJE LUMINARIAS	0,28	61,02€
T4. DESMONTAJE ACRISTALAMIENTO	3,50	768,66€
T5. PREPARACIÓN SUPERFICIAL	14,16	3.106,67€
T6. PINTURA	22,43	4.924,05€
T7. FIJACIÓN ACRISTALAMIENTO	11,05	2.426,04€
T8. SELLADO DE RESQUICIOS	5,63	1.236,46€
T9. FIJACIÓN LUMINARIAS	0,39	84,42€
T10. LIMPIEZA FINAL	3,05	669,09€
TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL		21.948,08 €

El presupuesto de ejecución material asciende a una cifra de **21.948,08€ (Veintiún mil novecientos cuarenta y ocho euros con ocho céntimos)**.

5.6 Presupuesto de ejecución por contrata

PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL	21.948,08€
GASTOS GENERALES (13%)	2.853,25€
BENEFICIO INDUSTRIAL (6%)	1.316,88€
TOTAL PARCIAL	26.118,21€
IVA (21%)	5.484,82€
TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA	31.603,03€

El presupuesto de ejecución por contrata asciende a una cifra de **31.603,03€ (Treinta y un mil seiscientos tres euros con tres céntimos)**.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

En la Figura 128 se muestra la posición del Capítulo 6 en el flujo de trabajo de este TFG, presentado previamente en la Figura 32.

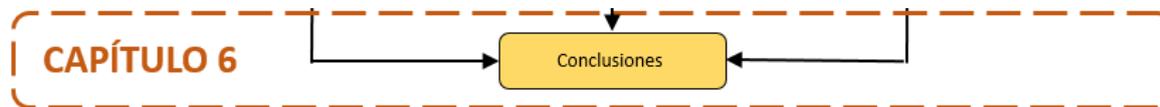


Figura 128. Posición del Capítulo 6 en el flujo de trabajo

Las conclusiones de este Trabajo Fin de Grado son las siguientes:

- El ensayo comparativo por inmersión parcial de dos maquetas con geometrías similares a las existentes en la estructura metálica de la pasarela, muestra el gran impacto que la fase de diseño posee en el comportamiento frente a la corrosión ya que, en la duración del ensayo, se observa una gran diferencia entre los dos diseños estudiados, así como el efecto negativo que tienen los errores de diseño. Además, tras únicamente 24 horas de ensayo, pudieron apreciarse indicios del proceso corrosivo.
 - La Maqueta 0, preparada por chorreado abrasivo y pintada mediante proyección con una capa de imprimación epoxi (50 μm) y otra de esmalte acrílico de secado rápido (40 μm), presentó buen comportamiento durante las 8 semanas de duración del ensayo, exhibiendo únicamente corrosión en los puntos críticos.
 - La Maqueta 1, preparada manualmente y pintada con brocha con una capa de recubrimiento anticorrosivo comercial de espesor no controlado, se comportó deficientemente, de forma que, al finalizar el ensayo, una gran parte del recubrimiento en la parte sumergida se había desprendido.
- El análisis por elementos finitos permite determinar que, la pérdida de sección por corrosión que presentan en la actualidad en el ala superior los perfiles más numerosos de la pasarela, tiene gran impacto estructural. En las hipótesis valoradas, la pérdida de sección por corrosión causa un incremento de las tensiones máximas de Von Mises y del desplazamiento máximo. Esto provoca que la estructura de la pasarela esté sometida a esfuerzos y desplazamientos no contemplados en diseño, a lo que se debe añadir el incremento de la

probabilidad de propagación de grietas por las tensiones generadas por las pérdidas de sección.

- El incremento promedio respecto al perfil sin defectos de la tensión máxima de Von Mises en las hipótesis de corrosión por picadura es del 74,92% y del 2,77% para el desplazamiento máximo. En la hipótesis más desfavorable de corrosión por picadura ($\varnothing=50$ mm) se observa un incremento del 582,04% en la tensión máxima de Von Mises y del 19,88% en el desplazamiento máximo.
- Respecto a la corrosión generalizada se obtienen incrementos promedios del 61,93% y del 24,92% respectivamente. El mayor incremento de la tensión máxima de Von Mises se produce con una pérdida de sección por corrosión generalizada de $t=12$ mm, dando un valor del 170,96%. En el caso del desplazamiento máximo, el mayor incremento (96,26%) sucede con una pérdida de sección de $t=13$ mm.
- En las hipótesis combinadas de corrosión generalizada y picaduras, los incrementos promedios son del 43,35% en la tensión máxima de Von Mises y del 9,79% en el desplazamiento máximo, en este caso, comparando respecto al perfil que únicamente posee picaduras ($\varnothing=6$ mm; $t=0$ mm). Los incrementos para el caso más desfavorable valorado ($\varnothing=6$ mm; $t=11$ mm) son del 97,98% y del 35,89% respectivamente.
- Estos resultados reflejan un mayor incremento de la tensión máxima de Von Mises en el caso de las hipótesis de corrosión por picadura, seguido de la corrosión uniforme, y, finalmente, las hipótesis combinadas. Los desplazamientos máximos fueron mayores en las hipótesis de corrosión generalizada, seguido por las hipótesis combinadas y, por último, las hipótesis de picadura.
- En el diseño modificado, planteado de acuerdo al estado del arte, puede observarse que, en muchas ocasiones, no es necesario realizar cambios radicales sobre el diseño original, sino que, con tener en cuenta una serie de consideraciones, es posible diseñar estructuras más resistentes frente a la corrosión.
- La vía de actuación propuesta, consistente en un proyecto de restauración, permite solucionar la situación actual de deterioro por corrosión de la estructura

metálica de la pasarela, actualizando la estructura al estado del arte, y consiguiendo un compromiso entre viabilidad técnica, económica y temporal. El proyecto de restauración planteado tiene un presupuesto de ejecución por contrata de 31.603,03€ (Treinta y un mil seiscientos tres euros con tres céntimos) y una estimación temporal de 38 (Treinta y ocho) días laborables, por lo que se considera perfectamente abordable en ambos aspectos.

- Se diseña un plan de inspección y mantenimiento para asegurar la durabilidad de las actuaciones proyectadas en la restauración, y, por tanto, de la estructura en el cual se han proyectado labores de inspección y acciones preventivas y correctivas. Estas tareas han sido definidas claramente, indicando el responsable de cada una de ellas y su frecuencia de realización. El plan de inspección y mantenimiento propuesto es innovador ya que, en la actualidad, en los proyectos que contienen estructuras metálicas, no se contemplan estas actuaciones de una forma tan exhaustiva y precisa como presenta este TFG.

CAPÍTULO 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-
- [1] ACEROS URSSA. 2017. *Información técnica: equivalencias aproximadas entre normas*. [Consulta: 17 Marzo 2017]. Disponible en: <http://www.acerosurssa.es/es/content/14-equivalencias-aproximadas-entre-normas>
 - [2] AENOR. 1996. *UNE-EN ISO 7384:1996: Ensayos de corrosión en atmósfera artificial. Prescripciones generales*. Madrid: AENOR.
 - [3] AENOR. 1999. *UNE-EN ISO 12944-1:1998: Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 1: Introducción general*. Madrid: AENOR.
 - [4] AENOR. 1999. *UNE-EN ISO 12944-2:1998: Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 2: Clasificación de ambientes*. Madrid: AENOR.
 - [5] AENOR. 1999. *UNE-EN ISO 12944-3:1998: Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 3: Consideraciones sobre el diseño*. Madrid: AENOR.
 - [6] AENOR. 1999. *UNE-EN ISO 12944-4:1998: Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 4: Tipos y preparación de superficies*. Madrid: AENOR.
 - [7] AENOR. 2002. *UNE-EN ISO 8504-2:2002: Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Métodos de preparación de las superficies. Parte 2: Limpieza por chorreado abrasivo*. Madrid: AENOR.
 - [8] AENOR. 2002. *UNE-EN ISO 8504-3:2002: Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Métodos de preparación de las superficies. Parte 3: Limpieza manual y con herramientas motorizadas*. Madrid: AENOR.
 - [9] AENOR. 2007. *UNE-EN ISO 12944-5:2007: Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 5: Sistemas de pintura protectores*. Madrid: AENOR.
 - [10] AENOR. 2008. *UNE-EN ISO 8501-1:2008: Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 1: Grados de óxido y de*

- preparación de sustratos de acero no pintados después de eliminar totalmente los recubrimientos anteriores.* Madrid: AENOR.
- [11] AENOR. 2008. *UNE-EN ISO 8501-3:2006: Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 3: Grados de preparación de soldaduras, bordes y otras áreas con imperfecciones en la superficie.* Madrid: AENOR.
- [12] AENOR. 2008. *UNE-EN ISO 8501-4:2008: Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 4: Estados iniciales de la superficie, grados de preparación y grados de oxidación instantánea en relación con el decapado por chorro de agua a alta presión.* Madrid: AENOR.
- [13] AENOR. 2009. *UNE-EN ISO 11463:2009: Corrosión de metales y aleaciones. Evaluación de la corrosión por picaduras.* Madrid: AENOR.
- [14] AENOR. 2011. *UNE-EN ISO 11130:2011: Corrosión de metales y aleaciones. Ensayo de inmersión alternada en solución salina.* Madrid: AENOR.
- [15] AENOR. 2012. *UNE-EN ISO 9227:2012: Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales. Ensayo de niebla salina.* Madrid: AENOR.
- [16] AENOR. 2015. *UNE-EN ISO 8044:2015: Corrosión de metales y aleaciones. Términos principales y definiciones.* Madrid: AENOR.
- [17] AENOR. 2016. *UNE-EN ISO 4628-2:2016: Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 2: Evaluación del grado de ampollamiento.* Madrid: AENOR.
- [18] AENOR. 2016. *UNE-EN ISO 4628-3:2016: Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 3: Evaluación del grado de oxidación.* Madrid: AENOR.
- [19] AENOR. 2016. *UNE-EN ISO 4628-4:2016: Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 4: Evaluación del grado de agrietamiento.* Madrid: AENOR.

-
- [20] AENOR. 2016. *UNE-EN ISO 4628-5:2016: Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 5: Evaluación del grado de descamación*. Madrid: AENOR.
- [21] AKGÜL, F.; FRANGOPOL, D. M. 2004. Lifetime Performance Analysis of Existing Steel Girder Bridge Superstructures. *Journal of Structural Engineering*, **130** (12), pp. 1875-1888. ISSN 0733-9445.
- [22] ANDRADE, C. 1982. Corrosión y protección de armaduras. *Informes de la Construcción*, **33** (339), pp. 33-41. ISSN 0020-0883.
- [23] ANSYS. 2017. *Ansys Student 18* [software de CAD y simulación].
- [24] ASKELAND, D. R. [et al.] 2011. *The science and engineering of materials*. 6ª ed. Stamford: Cengage Learning. ISBN 0-495-66802-8.
- [25] AUTODESK. 2015. *Autodesk Inventor Professional 2016* [software de CAD].
- [26] BIEZMA, M. V. (s.f.). *Deterioro de materiales: colección de transparencias, 5º curso de Ingeniería Industrial*. Cantabria: Universidad de Cantabria.
- [27] BIEZMA, M. V.; SAN CRISTÓBAL, J. R. 2006. Letter to the Editor: Is the Cost of Corrosion Really Quantifiable?, *CORROSION*, **62** (12), pp. 1051-1055. ISSN 0010-9312.
- [28] CYPE INGENIEROS. 2017. *Generador de precios de la construcción en España: Rehabilitación*. [Consulta: 20 Abril 2017]. Disponible en: <http://www.generadordeprecios.info/rehabilitacion/>
- [29] DAVIS, J. R. 2000. *Corrosion: understanding the basics*. Ohio: ASM International. ISBN 0-87170-641-5.
- [30] ELSEVIER. 2017. *Engineering Village* [base de datos online]. [Consulta: Marzo 2017]. Disponible en: <http://www.engineeringvillage.com/>
- [31] ELSEVIER. 2017. *Scopus* [base de datos online]. [Consulta: Marzo 2017]. Disponible en: <https://www.scopus.com>
- [32] EMAMI, S.; TOUBIA, E. A. 2016. Experimental Evaluation of Structural Steel Coating Systems. *Journal of Materials in Civil Engineering*, **28** (12), 10 pp. ISSN 0899-1561.
- [33] ENSIDESA. 1991. *Protección anticorrosiva; Fabricación; Montaje*. Madrid: ENSIDESA. Manuales sobre la construcción con acero, 3. ISBN 84-87405-09-6.

- [34] GARBATOV, Y. [et al.] 2016. Experimental assessment of tensile strength of corroded steel specimens subjected to sandblast and sandpaper cleaning. *Marine Structures*, **49**, pp. 18-30. ISSN 0951-8339.
- [35] GOMEZ DE LEON, F. C.; ALCARAZ, D. J. 2004. *Manual básico de corrosión para ingenieros*. Murcia: Universidad de Murcia. ISBN 84-8371-506-6.
- [36] GONZÁLEZ, J. 1999. La pintura como inhibidor de corrosión en las estructuras de acero especialmente expuestas y su rendimiento. *Informes de la Construcción*, **51** (461), pp. 9-17. ISSN 0020-0883.
- [37] GOOGLE. 2016. *Google Earth* [software de información geográfica]. Versión 7.1.7.2606. [Consulta: 9 Febrero 2017].
- [38] GOTO, Y.; KAWANISHI, N. 2004. Analysis to Predict Long-Term Mechanical Performance of Steel Structures with Histories of Corrosion and Repair. *Journal of Structural Engineering*, **130** (10), pp. 1578-1585. ISSN 0733-9445.
- [39] HEMPEL. 2010. *¿Cómo seleccionar el sistema de pintura adecuado? Directrices para la protección anticorrosiva del acero y superficies metálicas con recubrimientos según la Norma ISO 12944 (UNE-EN ISO 12944)*. Barcelona: HEMPEL. [Consulta: 20 Abril 2017]. Disponible en: <http://www.hempel.es/es-es/~/-/~/-/media/66A7CE2BD75049D8986DA791F3CA70E8.pdf>
- [40] HISPANAMER. 2017. *Hispanamer: Compañía Hispano Americana de Pinturas S. A.* [Consulta: 23 Abril 2017]. Disponible en: <http://www.hispanamer.com/>
- [41] HISPANAMER. (s.f.) *Apéndice Técnico. Introducción a la pintura: La pintura, composición básica*. [Consulta: 23 Abril 2017]. Disponible en: <http://www.hispanamer.com/pagina.php?seccion=TECNOLOG%CDA%20%3E%20Ap%E9ndice%20T%E9cnico&pagina=paginas/tIntroduccionPintura.html&titulo=Introducci%F3n%20a%20la%20pintura&nivel=3&subnivel=undefined#>
- [42] HISPANAMER. (s.f.) *Apéndice Técnico. Sistemas de aplicación*. [Consulta: 23 Abril 2017]. Disponible en: <http://www.hispanamer.com/pagina.php?seccion=TECNOLOG%CDA%20%3E%20Ap%E9ndice%20T%E9cnico&pagina=paginas/tSistemaAplicacion.html&titulo=Sistema%20de%20aplicaci%F3n&nivel=3&subnivel=undefined>

-
- [43] JAKUBOWSKI, M. 2011. Influence of pitting corrosion on strength of steel ships and offshore structures. *Polish Maritime Research*, **18** (4), pp. 54-58. ISSN 1233-2585.
- [44] KAITA, T. [et al.] 2011. Experimental Study on Remaining Strength Estimation of Corroded Wide Steel Plates under Tensile Force. *Procedia Engineering*, **14**, pp. 2707-2713. ISSN 1877-7058.
- [45] KIM, I. [et al.] (2017). Effect of corrosion on the 201teel201n behavior of painted structural 201teel members. *Journal of Constructional Steel Research*, **133**, pp. 256-268. ISSN 0143-974X.
- [46] LANDRUM, R. J. 1992. *Fundamentals of designing for corrosion control: a corrosion aid for the designer*. Houston: National Association of Corrosion Engineers. ISBN 0-915567-34-2.
- [47] MEYREMO S. A. 2017. [Consulta: 23 Abril 2017]. Disponible en: <http://www.meyremo.com/>
- [48] MOMBER, A. W. 2016. Quantitative performance assessment of corrosion protection systems for offshore wind power transmission platforms. *Renewable Energy*, **94**, pp. 314-327. ISSN 0960-1481.
- [49] MONTGOMERY, E. L. [et al.] 2011. *Timescale correlation between marine atmospheric exposure and accelerated corrosion testing*. Houston: NACE International.
- [50] NACE International. 2016. *Corrosion failure*. [Consulta: 31 Enero 2017]. Disponible en: <http://www.nace.org/corrosion-failure.aspx>
- [51] NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. 2000. *Coating for the Protection of Structural Steelwork*. Teddington: NPL. [Consulta: 31 Marzo 2017]. Guides to Good Practice in Corrosion Control. Disponible en: <http://www.npl.co.uk/upload/pdf/steelwork.pdf>
- [52] NICOLAI, R. P. [et al.] 2009. Modelling and optimizing imperfect maintenance of coatings on steel structures. *Structural Safety*, **31** (3), pp. 234-244. ISSN 0167-4730.
- [53] ODROBIŇÁK, J.; HLINKA, R. 2016. Degradation of Steel Footbridges with Neglected Inspection and Maintenance. *Procedia Engineering*, **156**, pp. 304-311. ISSN 1877-7058.

-
- [54] OTERO, E. 1997. *Corrosión y degradación de materiales*. Madrid: Síntesis. ISBN 84-7738-518-1.
- [55] PAIK, J. K. [et al.] 2004. Ultimate shear strength of plate elements with pit corrosion wastage. *Thin-Walled Structures*, **42** (8), pp. 1161-1176. ISSN 0263-8231.
- [56] PANCORBO, F. J. 2011. *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación*. Barcelona: Marcombo. ISBN 978-84-267-1576-0.
- [57] PLUDEK, V. R. 1977. *Design and corrosion control*. London: Macmillan Press. ISBN 0-333-19139-0.
- [58] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. 2001. *Diccionario de la lengua española*. 22^a ed. Madrid: Espasa-Calpe. ISBN 84-239-6814-6.
- [59] ROBERGE, P. R. 2000. *Handbook of corrosion engineering*. New York: McGraw-Hill. ISBN 0-07-076516-2.
- [60] SHARIFI, Y.; RAHGOZAR, R. 2010. Evaluation of the remaining lateral torsional buckling capacity in corroded steel members. *Journal of Zhejiang University*, **11** (11), pp. 887-897. ISSN 1673-565X.
- [61] SHIFLER, D. A. 2005. Understanding material interactions in marine environments to promote extended structural life. *Corrosion science*, **47** (10), pp. 2335-2352. ISSN 0010-938X.
- [62] SIMANCAS, J.; MORCILLO, M. 1998. Factores condicionantes de la durabilidad de los sistemas de pinturas anticorrosivas sobre acero en exposiciones atmosféricas. *Revista de Metalurgia*, **34** (extra), pp. 132-136. ISSN 0034-8570.
- [63] STANKIEWICZ, A; BARKER, M. B. 2016. Development of self-healing coatings for corrosion protection on metallic structures. *Smart Materials and Structures*, **25** (8), 10 pp. ISSN 0964-1726.
- [64] THOMSON REUTERS. 2017. *Web of Science* [base de datos online]. [Consulta: Marzo 2017]. Disponible en: <https://webofknowledge.com>
- [65] UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. 2017. *Servicio de Infraestructuras*. [Consulta: 14 Junio 2017]. Disponible en: <http://web.unican.es/unidades/servicio-infraestructuras/>
-

- [66] WELDING JOURNAL. 2006. Types of corrosion. *Welding Journal*, **85** (9), p. 90. ISSN 0043-2296.
- [67] YANG, S. [et al.] 2016. Approach for fatigue damage assessment of welded structure considering coupling effect between stress and corrosion. *International Journal of Fatigue*, **88**, pp. 88-95. ISSN 0142-1123.

ANEXOS

ANEXO 1. PROYECTO ORIGINAL

4.4.18.- PASARELA.

Se proyecta una pasarela de comunicación entre la Escuela de Ingenieros de Caminos y el Edificio Politécnico : esta pasarela establece un recorrido peatonal entre el actual vestíbulo de Caminos y el nivel + 2 del edificio proyectado.

Esta pasarela discurre elevada sobre la rasante del terreno a una altura media de 9m. y desembarca al nivel mencionado en el núcleo de comunicación vertical principal del ala Oeste.

La pasarela parte de un elemento intercambiador que situado en la parte libre resultante entre el vial existente y la fachada Norte de la Escuela de Caminos soluciona los problemas de recorridos e incorporación desde los distintos niveles de ésta a la pasarela (vestíbulo y semisotano) .

Este intercambiador se proyecta como una torreta de paredes de hormigón armado y cristal donde se sitúa una escalera para el acceso desde la rasante de la calle y a donde enchufa una conexión de tipo fuelle hacia el vestíbulo de Caminos : esta conexión flexible se plantea, en principio, por la dificultad que representa el posicionamiento exacto de la pasarela respecto a los dos edificios.

La pasarela se proyecta con una estructura de dos jácenas de sección rectangular hueca de chapa de acero autooxidante apoyadas, en cabeza y cola en el intercambiador y en la estructura del Edificio Politécnico, con dos apoyos intermedios de pilares-pared de hormigón armado con acabado visto liso. Esta jácenas llevarán un arriostramiento transversal del tipo Vierendel.

El acero de las jácenas descritas será del tipo ENSACOR de Ensidesa (Cor-Ten) con la siguiente definición:

*Acero patinable.- Acero de baja aleación de clase St 52-3 con proceso de corrosión de autoprotección.
Aleación aproximada = 0,5 % cobre, 0,8 % cromo , 0,5 % níquel, 0,1 % fósforo.

El sistema de montaje de la estructura primaria se propone como de construcción empujada ,mediante montaje de tramos parciales de la misma, en la zona intermedia de su longitud, y su posterior corrimiento hacia los laterales mediante gatos hidráulicos.

Las jácenas descritas tendrán una contraflecha de ejecución de 50 mm. en el centro del vano .

De esta estructura soporte primaria se colgarán unos porticos transversales metálicos de perfilera de acero que se revestirá con acristalamiento tipo muro cortina de perfil oculto con acristalamiento no practicable doble de cámara con luna exterior "Reflectasol" e interior incolora del tipo Stadip con espesor total de $6+12+(4+4)=26$ mm.

Este acristalamiento solucionará también el remate superior e inferior de la caja estableciéndose una ventilación natural directa mediante hendiduras en el plano de suelo de la misma.

La voluntad de conseguir una imagen de depuración geométrica y precisión tecnológica está presente en el origen del proyecto de la pasarela de acuerdo con la presencia que ésta va a tener en el entorno del campus universitario.

Politécnico. Universidad de Cantabria. Santander.

Página 264

Código Ident.	Cantidad Ud.	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
---------------	--------------	-------------	--------	----------	---------

CAPITULO XXII: PASARELA.

22.01 M....2		M3 EXCAVACION DE ZANJ.POZ.MAQUIN M3.- de excavación de zanjas y pozos a máquina.	571,00		
1.03 O....3	,120 H.	PEON ORDINARIO	910,00	109,20	
2.07 M....13	,120 H.	PALA RETROEXCAVADORA SOBRE NE	3.800,00	456,00	
1.08 @....%	,010 %	MEDIOS AUXILIARES	565,20	5,65	
			Suma la MANO DE OBRA 109,20		
			Suma MAQ. y MED. AUX. 461,65		
			Redondeo ,15		
			Suma el TOTAL PARTIDA. 571,00		

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de QUINIENTAS SETENTA Y UNA pesetas.

22.02 M....4		M3 CARGA Y TRANSTE.A VERTEDERO. M3.- de carga con medios mecánicos y transporte de tierras a vertedero.	251,00		
1.03 O....3	,040 H.	PEON ORDINARIO	910,00	36,40	
2.04 M....10	,020 H.	PALA CARGADORA SOBRE NEUMATIC	4.000,00	80,00	
2.01 M....1	,060 H.	CAMION MEDIO DE 10 Tn.	2.200,00	132,00	
1.08 @....%	,010 %	MEDIOS AUXILIARES	248,40	2,48	
			Suma la MANO DE OBRA 36,40		
			Suma MAQ. y MED. AUX. 214,48		
			Redondeo ,12		
			Suma el TOTAL PARTIDA. 251,00		

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOSCIENTAS CINCUENTA Y UNA pesetas.

Politécnico. Universidad de Cantabria. Santander.

Página 265

Código Ident.	Cantidad Ud.	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
22.031	M3 HCON.150/M3.LIMP.CIMENTACION. M3.- de hormigón de limpieza en la base de los cimientos, de dosificación 150 Kg./M3. de cemento PORTLAND.	6.774,00		
1.02	O....2	,600 H. OFICIAL 1a	1.100,00	660,00	
1.05	O....5	,600 H. AYUDANTE DE OBRA	1.000,00	600,00	
-1.12	E...12	1,050 M3 HCON.D.=150Kg./M3 C.P.	5.188,00	5.447,40	
1.08	@....%	,010 % MEDIOS AUXILIARES	6.707,40	67,07	
					Suma la MANO DE OBRA 1.260,00
					Suman los MATERIALES 5.447,40
					Suman MAQ. y MED. AUX. 67,07
					Redondeo -,47
					Suma el TOTAL PARTIDA. 6.774,00

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SEIS MIL SETECIENTAS SETENTA Y CUATRO pesetas.

22.04	C....7	M2 ENCOF.ENCEPADOS Y ZAPATAS. M2.- de encofrado y desencofrado en zapatas, encepados, recalces,....etc.	1.174,00		
1.02	O....2	,500 H. OFICIAL 1a	1.100,00	550,00	
1.04	O....4	,500 H. PEON ESPECIALISTA	940,00	470,00	
5.11	D...21	1,100 M2 TABLERO PREF.PINO 22mm.20US.	45,00	49,50	
5.01	EME..1	3,000 ML. TABLON PINO 75*225 50 USOS.	12,00	36,00	
5.02	EME..2	2,000 ML. PUNTAL PINO 50 USOS	6,00	12,00	
5.07	EME.11	1,000 DM3 TABLILLAS DE MADERA	35,00	35,00	
5.08	D...12	,100 Kg. CLAVOS	100,00	10,00	
1.08	@....%	,010 % MEDIOS AUXILIARES	1.162,50	11,62	
					Suma la MANO DE OBRA 1.020,00
					Suman los MATERIALES 142,50
					Suman MAQ. y MED. AUX. 11,62
					Redondeo -,12
					Suma el TOTAL PARTIDA. 1.174,00

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de MIL CIENTO SETENTA Y CUATRO pesetas.

Politécnico. Universidad de Cantabria. Santander.

Página 266

Código Ident.	Cantidad Ud.	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
22.05 C....3		Kg BARRAS DE ACERO EN CIMENTACI. Kg.- de barras de acero corrugado del tipo AEH-400 N ò F, de límite elástico 4100 Kg./cm2., en elementos estructurales, cortado, doblado, armado y colocado, incluso p.p. de solapes y despuntes.	108,00		
1.02 O....2	,020 H.	OFICIAL 1a	1.100,00	22,00	
1.05 O....5	,020 H.	AYUDANTE DE OBRA	1.000,00	20,00	
6.01 D....1	1,050 Kg	ACERO CORRUGADO AEH-400 F.	60,00	63,00	
5.09 D...13	,020 Kg.	ALAMBRE DE ATAR	100,00	2,00	
1.08 @....%	,010 %	MEDIOS AUXILIARES	107,00	1,07	
			Suma la MANO DE OBRA 42,00		
			Suman los MATERIALES 65,00		
			Suman MAQ. y MED. AUX. 1,07		
			Redondeo -,07		
			Suma el TOTAL PARTIDA. 108,00		

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CIENTO OCHO pesetas.

22.06	M3	HGON.ARMAR fck=250Kp/cm2.Cim. M3.- de hormigón para armar, de cemento portland, en cimentaciones, de fck=250 Kp./cm2., incluso vertido y vibrado.	8.318,00		
1.04 O....4	,400 H.	PEON ESPECIALISTA	940,00	376,00	
-1.51	1,050 M3	HGON.fck=250 Kp./cm2.	7.304,00	7.669,20	
-1.01 E....1	,200 H	VIBRADOR ELEC.5 M3 REMD.	954,00	190,80	
1.08 @....%	,010 %	MEDIOS AUXILIARES	8.236,00	82,36	
			Suma la MANO DE OBRA 376,00		
			Suman los MATERIALES 7.860,00		
			Suman MAQ. y MED. AUX. 82,36		
			Redondeo -,36		
			Suma el TOTAL PARTIDA. 8.318,00		

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de OCHO MIL TRESCIENTAS DIECIOCHO pesetas.

Politécnico. Universidad de Cantabria. Santander.

Página 267

Código Ident.	Cantidad Ud.	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
22.07 EF...1		M2. ENC.PIL.REC.TABL.MACH.VISTO. M2.- de encofrado de pilares de sección rectangular con tablero machiembreado, acabado para quedar visto, incluso desencofrado.	2.027,00		
1.02 O....2	,800 H.	OFICIAL 1a	1.100,00	880,00	
1.05 O....5	,800 H.	AYUDANTE DE OBRA	1.000,00	800,00	
5.01 EME..1	2,000 ML.	TABLON PINO 75*225 50 USOS.	12,00	24,00	
5.07 EME.11	1,000 DM3	TABLILLAS DE MADERA	35,00	35,00	
5.08 D...12	,100 Kg.	CLAVOS	100,00	10,00	
5.09 D...13	,100 Kg.	ALAMBRE DE ATAR	100,00	10,00	
5.05 EME..5	1,100 M2	T.P.22mm.MACH.CEP. 5 USOS	225,00	247,50	
1.08 @....%	,010 %	MEDIOS AUXILIARES	2.006,50	20,06	
				Suma la MANO DE OBRA	1.680,00
				Suman los MATERIALES	326,50
				Suman MAQ. y HED. AUX.	20,06
				Redondeo	,44
				Suma el TOTAL PARTIDA.	2.027,00

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOS MIL VEINTISIETE pesetas.

22.08		M3 BARRAS ACERO AEH-400 ESTRUCT. Kg.- de barras de acero corrugado AEH-400 N ò F, de límite elástico 4100 Kg./cm2., en elementos estructurales, cortado, doblado, armado y colocado, con p.p. de despuntes.	108,00		
1.02 O....2	,020 H.	OFICIAL 1a	1.100,00	22,00	
1.05 O....5	,020 H.	AYUDANTE DE OBRA	1.000,00	20,00	
6.01 D....1	1,050 Kg	ACERO CORRUGADO AEH-400 F.	60,00	63,00	
5.09 D...13	,020 Kg.	ALAMBRE DE ATAR	100,00	2,00	
1.08 @....%	,010 %	MEDIOS AUXILIARES	107,00	1,07	
				Suma la MANO DE OBRA	42,00
				Suman los MATERIALES	65,00
				Suman MAQ. y HED. AUX.	1,07
				Redondeo	-,07
				Suma el TOTAL PARTIDA.	108,00

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CIENTO OCHO pesetas.

Politécnico. Universidad de Cantabria. Santander.

Página 268

Código Ident.	Cantidad Ud.	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
22.09		M3 HCON ARM.Fck=250 Kp/cm2.Pilas M3.- de hormigón para armar, de cemento Portland P.A.-350., de Fck.=250 Kp./cm2., vertido y vibrado en pilas.	9.732,00		
1.04 O....4	1,500 H.	PEON ESPECIALISTA	940,00	1.410,00	
-1.51	1,100 M3	HCON.Fck=250 Kp./cm2.	7.304,00	8.034,40	
-1.01 E....1	,200 H	VIBRADOR ELEC.5 M3 REND.	954,00	190,80	
1.08 @....%	,010 %	MEDIOS AUXILIARES	9.635,20	96,35	

Suma la MANO DE OBRA 1.410,00
 Suman los MATERIALES 8.225,20
 Suman MAQ. y MED. AUX. 96,35
 Redondeo ,45
 Suma el TOTAL PARTIDA. 9.732,00

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de NUEVE MIL SETECIENTAS TRIENTA Y DOS pesetas.

22.10		Ud APOYO NEOPRENO 200X400X45 5C. Ud.- de apoyo de neopreno zunchado de 200 x 400 x 45 mm. y 5 capas, totalmente colocados e instalados.	20.352,00		
1.02 O....2	1,500 H.	OFICIAL la	1.100,00	1.650,00	
1.05 O....5	1,500 H.	AYUDANTE DE OBRA	1.000,00	1.500,00	
22.05	1,000 Ud	APOYO NEOP.200X400X45mm.5capa	17.000,00	17.000,00	
1.08 @....%	,010 %	MEDIOS AUXILIARES	20.150,00	201,50	

Suma la MANO DE OBRA 3.150,00
 Suman los MATERIALES 17.000,00
 Suman MAQ. y MED. AUX. 201,50
 Redondeo ,50
 Suma el TOTAL PARTIDA. 20.352,00

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de VEINTE MIL TRESCIENTAS CINCUENTA Y DOS pesetas.

Politécnico. Universidad de Cantabria. Santander.

Página 269

Código Ident.	Cantidad Ud.	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
22.11		Kg ACERO PERFILES A-42 IPN,IPE.. Kg.- de acero laminado en caliente, de clase A-42-b, en estructura metálica según se indica en los planos totalmente montados en su emplazamiento definitivo y con las dimensiones indicadas, con perfiles de tipología IPN, IPE, HE, UPN, L y T., incluso la parte proporcional de soldadura necesaria para unir unas piezas con otras, los despuntes y pérdidas, así como todos los medios necesarios para que la unidad quede terminada, incluyendo el acabado a base de una mano de pintura de minio protector, previa limpieza y acabado con pintura del tipo martelé y color a definir por la Dirección Técnica.	150,00		
1.02 O....2	,030 H.	OFICIAL 1a	1.100,00	33,00	
1.05 O....5	,030 H.	AYUDANTE DE OBRA	1.000,00	30,00	
6.09 D...11	1,100 Kg	ACERO A-42(IPN,IPE,....).	70,00	77,00	
-1.53	,010 M2	PINTURA MARTELE s/PERFILES	853,00	8,53	
1.08 @....%	,010 %	MEDIOS AUXILIARES	148,53	1,49	

			Suma la MANO DE OBRA 63,00		
			Suman los MATERIALES 85,53		
			Suman MAQ. y MED. AUX. 1,49		
			Redondeo -,02		

			Suma el TOTAL PARTIDA. 150,00		
			=====		

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CIENTO CINCUENTA pesetas.

Politécnico. Universidad de Cantabria. Santander.

Página 270

Código Ident.	Cantidad Ud.	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
22.12		Kg ACERO LAM.GRANO FINO ENSACOR Kg.- de acero laminado de grano fino, alto límite elástico y baja aleación, con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica, del tipo ENSACOR o similar, con control de inspección y certificación de entidad oficial a determinar por la D.T., en estructura metálica según se indica en los planos totalmente montados en su emplazamiento definitivo y con las dimensiones indicadas, incluso la parte proporcional de soldadura necesaria para unir unas piezas con otras, los despuntes y pérdidas, así como todos los medios necesarios para que la unidad quede terminada en su emplazamiento definitivo.	207,00		
1.02 O....2	,040 H.	OFICIAL 1a	1.100,00	44,00	
1.05 O....5	,040 H.	AYUDANTE DE OBRA	1.000,00	40,00	
6.25	1,100 Kg	ACERO LAM.GRANO.FINO ENSACOR	101,00	111,10	
6.24	,100 Ud	SOLDADURA	100,00	10,00	
1.08 e....%	,010 %	MEDIOS AUXILIARES	205,10	2,05	
				Suma la MANO DE OBRA	84,00
				Suman los MATERIALES	121,10
				Suman MAQ. y MED. AUX.	2,05
				Redondeo	-,15
				Suma el TOTAL PARTIDA.	207,00

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOSCIENTAS SIETE pesetas.

22.13 P...37		ML PASAMANOS ACERO INOXIDABLE ML.- de pasamanos de acero inoxidable, incluso colocación y remates.	2.916,00		
1.02 O....2	,300 H.	OFICIAL 1a	1.100,00	330,00	
1.03 O....3	,300 H.	PEON ORDINARIO	910,00	273,00	
10.19	1,000 ML	PASAMANO BARAN.ACERO INOX.	2.200,00	2.200,00	
-1.18 E...18	,010 M3	PASTA DE YESO NEGRO Y-12	8.442,00	84,42	
1.08 e....%	,010 %	MEDIOS AUXILIARES	2.887,42	28,87	
				Suma la MANO DE OBRA	603,00
				Suman los MATERIALES	2.284,42
				Suman MAQ. y MED. AUX.	28,87
				Redondeo	-,29
				Suma el TOTAL PARTIDA.	2.916,00

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOS MIL NOVECIENTAS DIECISEIS pesetas.

Politécnico. Universidad de Cantabria. Santander.

Página 271

Código Ident.	Cantidad Ud.	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
22.14 M....8		M2 MURO CORT.ALUM.LAC.VID.EST. M2.- de muro cortina compuesto por: Estructura auxiliar de anclaje a base de piezas de acero galvanizado que permiten regulación tridimensionales soldadas a viga de borde perimetral. Dilataciones absorbidas mediante perfiles dobles. La adherencia entre el vidrio estructural y la perfilera de aluminio se logra por una silicona estructural de alta adherencia y alto módulo de elasticidad. Los perfiles serán extruidos según norma UNE 38337, con aleación AGS y temple T-5. Ha de cumplir la clasificación A3,E3,V2. Todo ello colocado y puesto en obra según planos de detalle.	58.631,00		
1.02 O....2	5,000 H.	OPICIAL 1a	1.100,00	5.500,00	
1.05 O....5	5,000 H.	AYUDANTE DE OBRA	1.000,00	5.000,00	
10.35	1,000 P/P	VIDRIO ESTRUCTURAL	22.500,00	22.500,00	
10.36	1,000 P/P	SILICONA ESTRUCTURAL ALTA AD.	3.550,00	3.550,00	
10.31	1,000 M2	MURO CORT.ALUM.LAC.p/p.nec.he	21.500,00	21.500,00	
1.08 @....%	,010 %	MEDIOS AUXILIARES	58.050,00	580,50	

Suma la MANO DE OBRA 10.500,00
 Suman los MATERIALES 47.550,00
 Suman MAQ. y MED. AUX. 580,50
 Redondeo ,50

Suma el TOTAL PARTIDA. 58.631,00
 =====

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CINCUENTA Y OCHO MIL SEISCIENTAS TRIENTA Y UNA pesetas.

22.15		M2 PAV.LAMINAR CONTINUO LINOLEUM M2.- de pavimento laminar continuo de linóleum, adhesivo y adherido sobre tablero de madera contrachapada.	2.404,00		
1.02 O....2	,300 H.	OPICIAL 1a	1.100,00	330,00	
1.05 O....5	,300 H.	AYUDANTE DE OBRA	1.000,00	300,00	
4.29 E...54	2,000 Kg	COLA IMPAC.PARQUETS.CORCHO...	200,00	400,00	
9.45	1,000 M2	PAVIMENTO LAM.CONTI.LINOLEUM	1.350,00	1.350,00	
1.08 @....%	,010 %	MEDIOS AUXILIARES	2.380,00	23,80	

Suma la MANO DE OBRA 630,00
 Suman los MATERIALES 1.750,00
 Suman MAQ. y MED. AUX. 23,80
 Redondeo ,20

Suma el TOTAL PARTIDA. 2.404,00
 =====

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOS MIL CUATROCIENTAS CUATRO pesetas.

Politécnico. Universidad de Cantabria. Santander.

Página 272

Código Ident.	Cantidad Ud.	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
22.16		M2 TARIMA TABL.CONTRACE.15MM M2.- de tarima formada por tablero de madera contrachapada de 15 mm. de espesor del tipo DM antihumedad clavado sobre viguetillas de pino de 100x120 mm. ancladas a estructura metálica.	3.424,00		
1.02 O....2	,300 H.	OFICIAL 1a	1.100,00	330,00	
1.05 O....5	,300 H.	AYUDANTE DE OBRA	1.000,00	300,00	
20.37	1,000 M2	TABLERO MAD.PREFABRIC.DM 15mm	1.550,00	1.550,00	
20.38	4,000 M1	TABLON PINO 100 X 120 mm.	300,00	1.200,00	
5.08 D...12	,100 Kg.	CLAVOS	100,00	10,00	
1.08 @....%	,010 %	MEDIOS AUXILIARES	3.390,00	33,90	

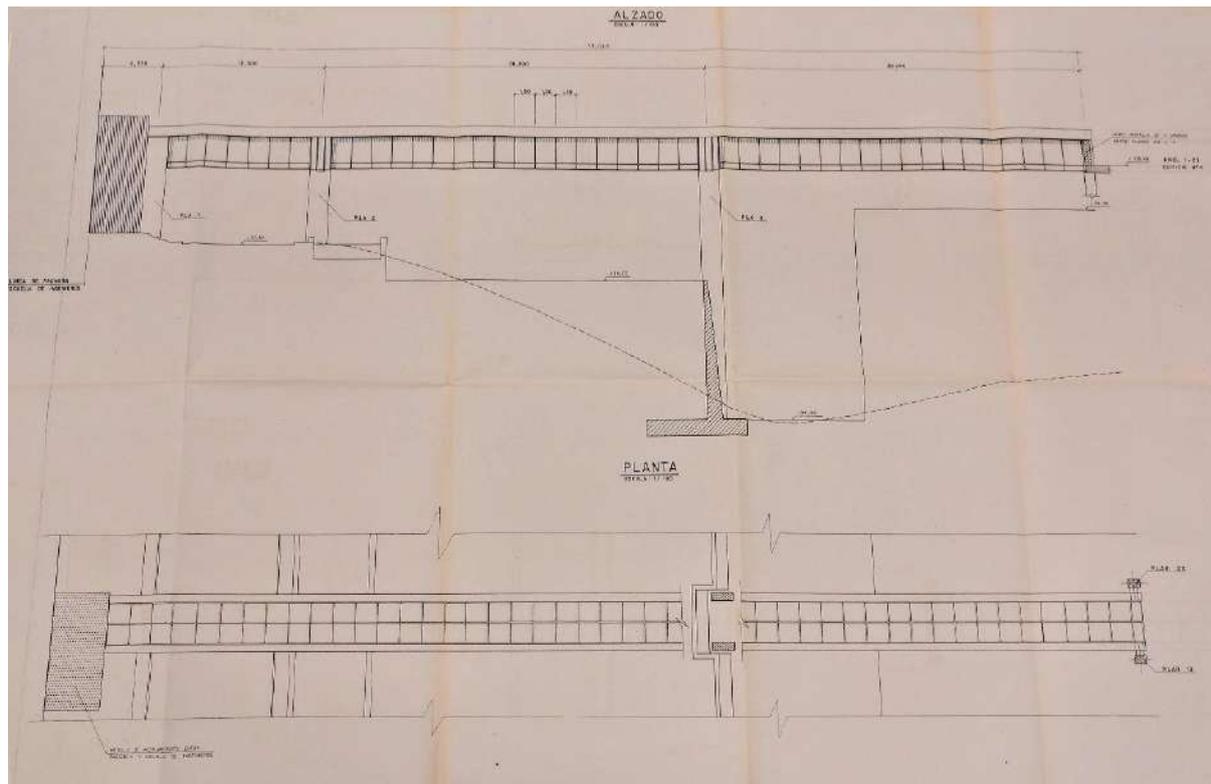
Suma la MANO DE OBRA 630,00
 Suman los MATERIALES 2.760,00
 Suman MAQ. y MED. AUX. 33,90
 Redondeo ,10
 Suma el TOTAL PARTIDA. 3.424,00

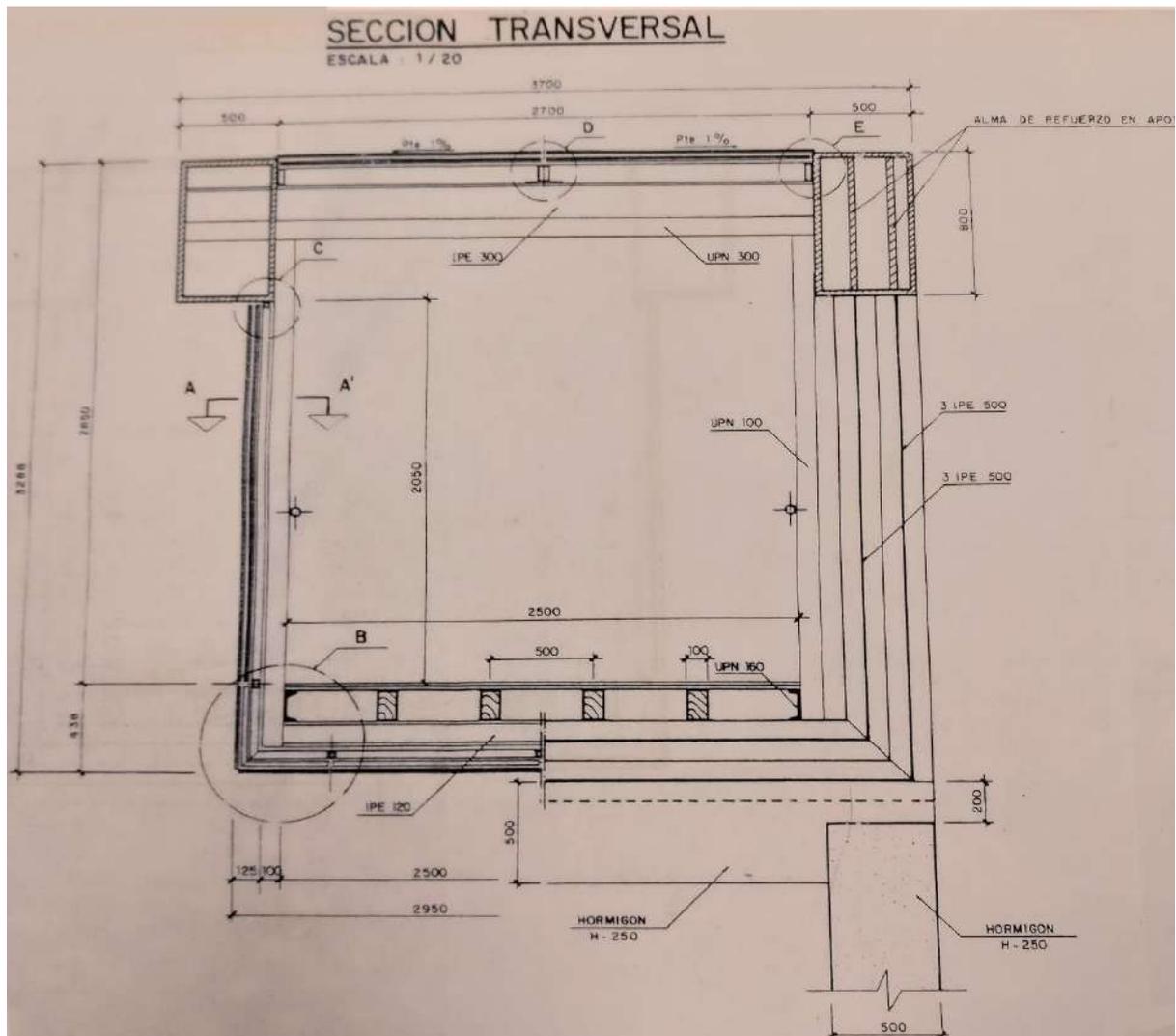
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TRES MIL CUATROCIENTAS VEINTICUATRO pesetas.

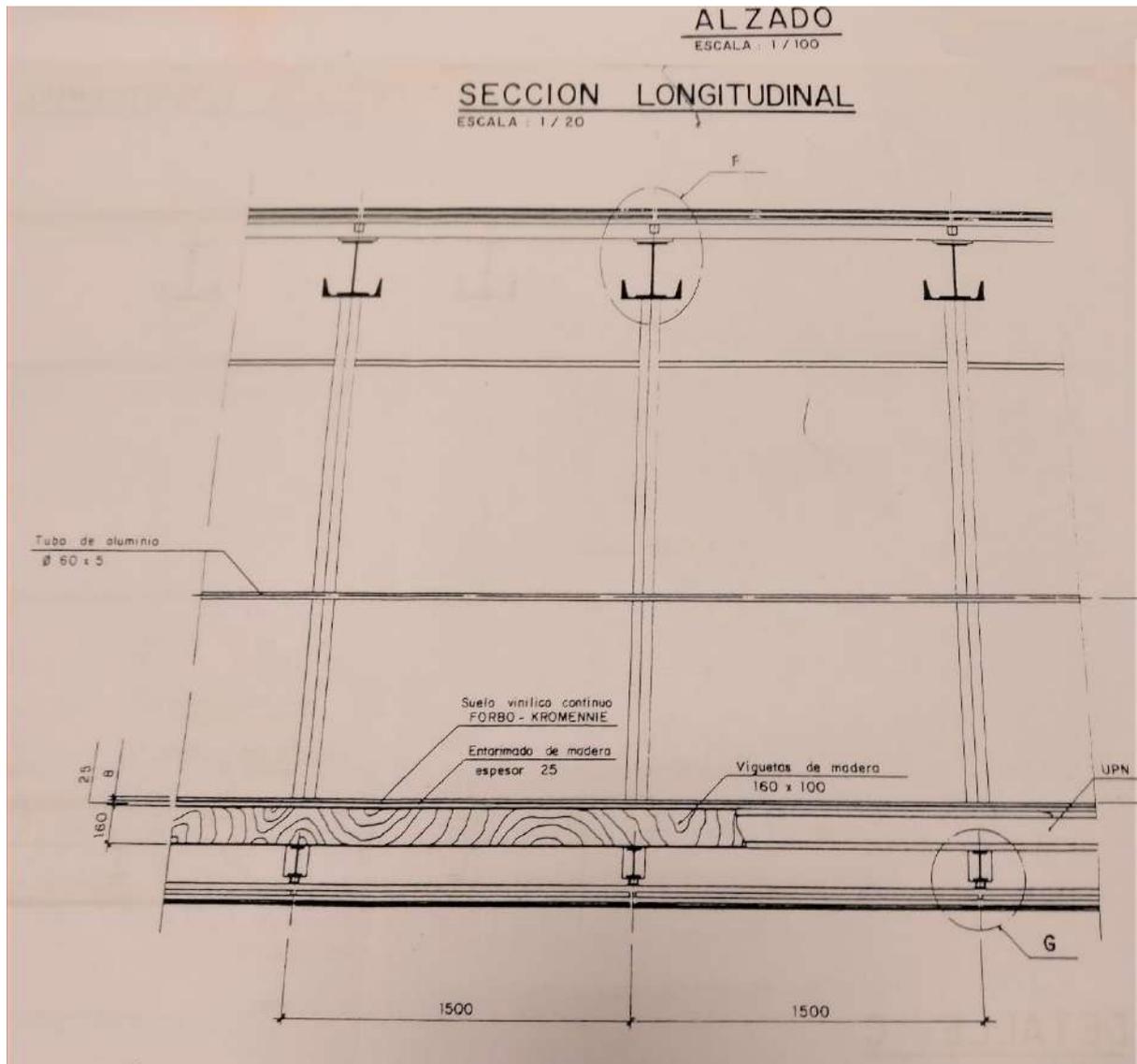
22.17		Ud INTERCAMBIADOR CONEX.PASARELA Ud.- de módulo de intercambiador conexión de pasarela con ETS Inq. Caminos.	5.000.000,00		
22.06	1,000	SIN DESCOMPOSICION	5.000.000,00	5.000.000,00	

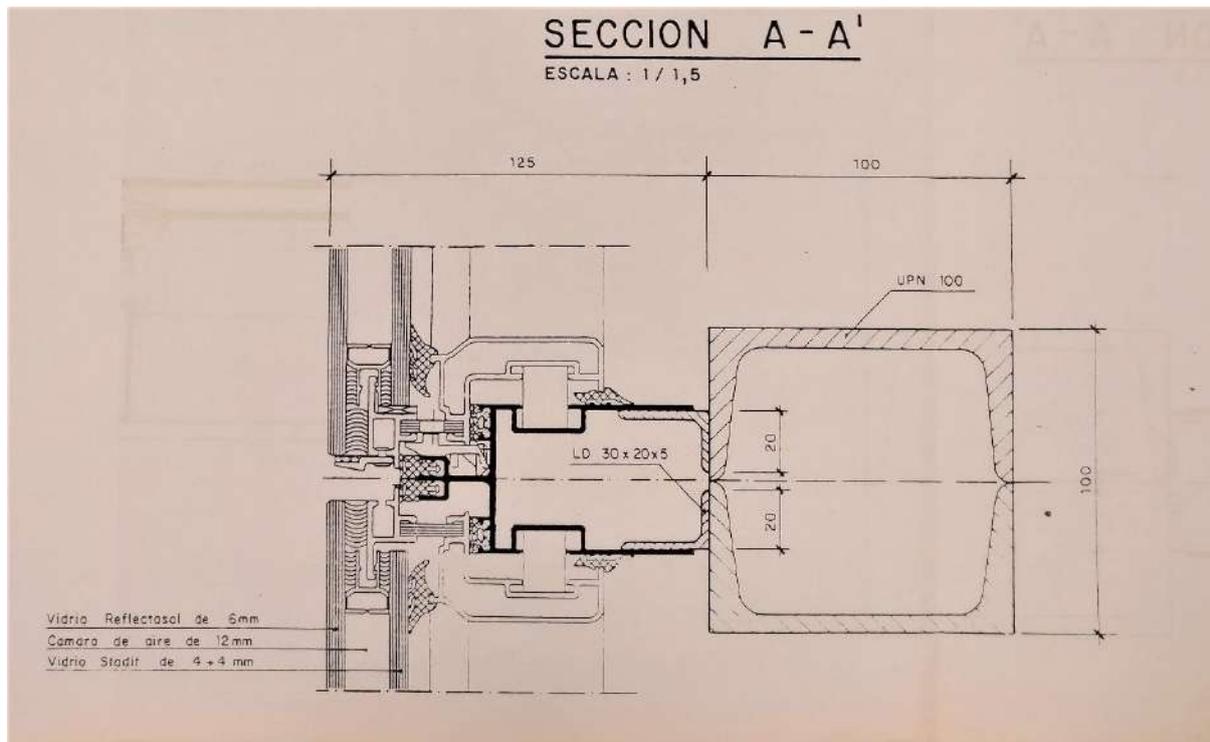
Suman los MATERIALES 5.000.000,00
 Suma el TOTAL PARTIDA. ... 5.000.000,00

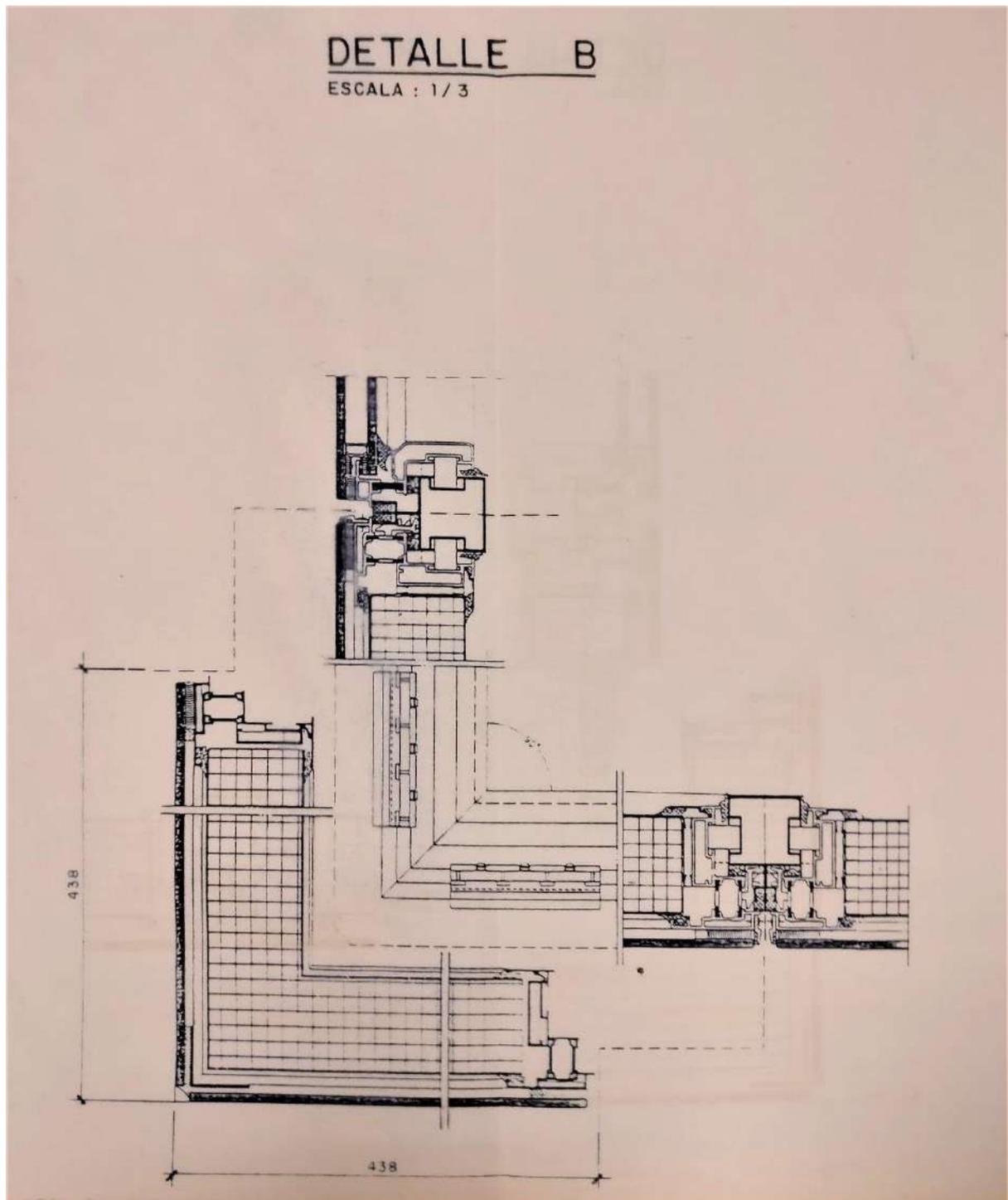
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CINCO MILLONES de pesetas.

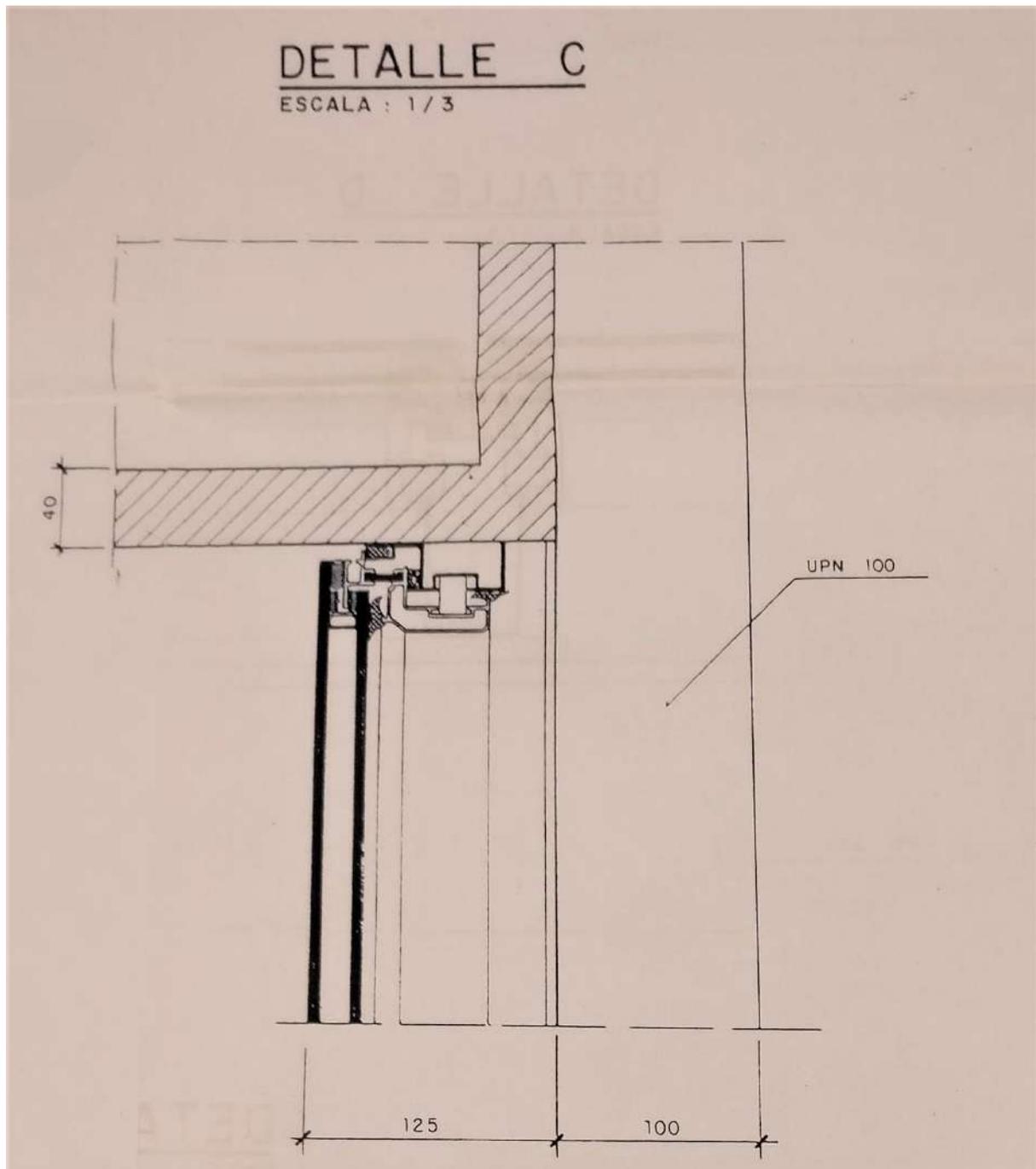


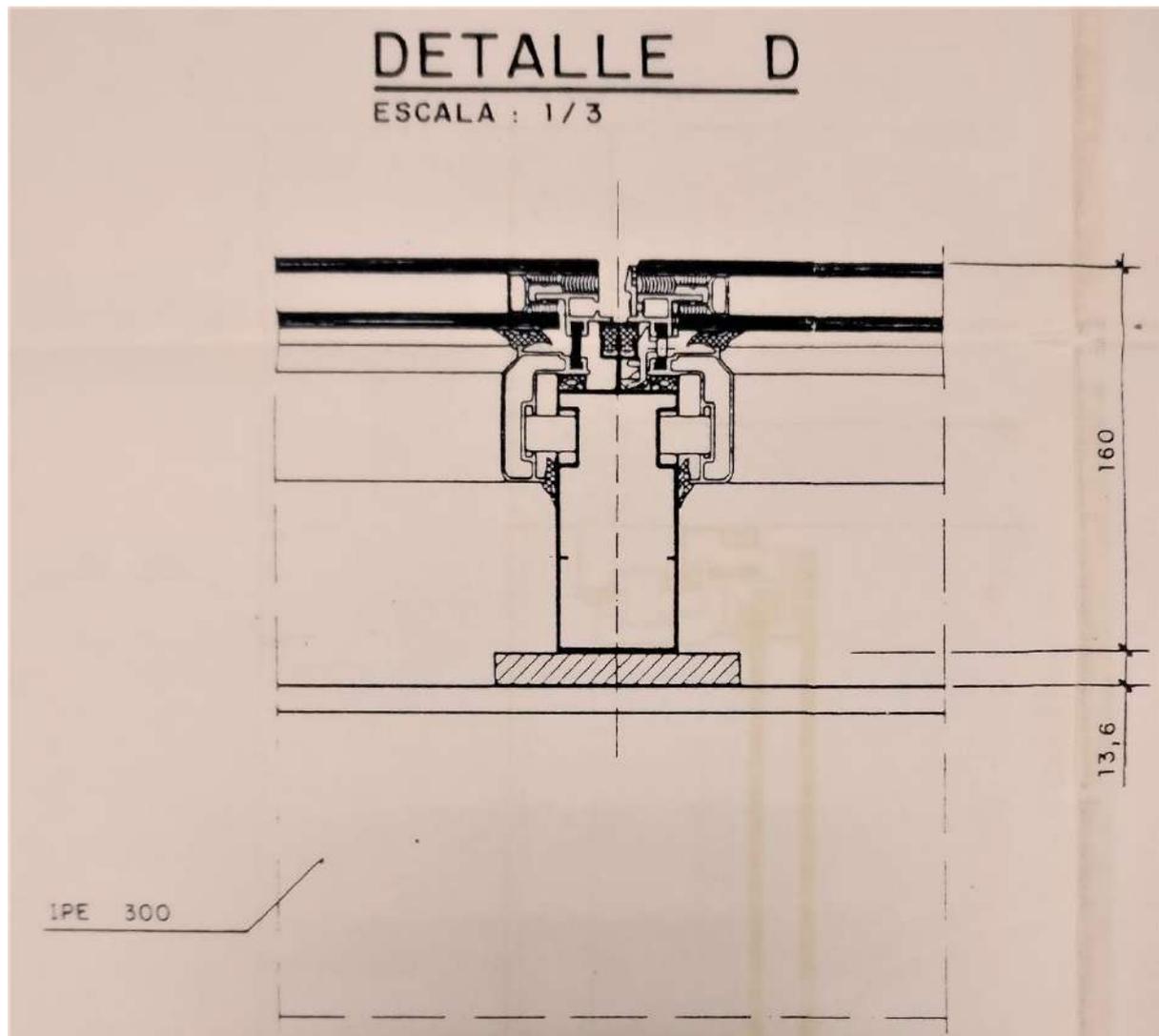


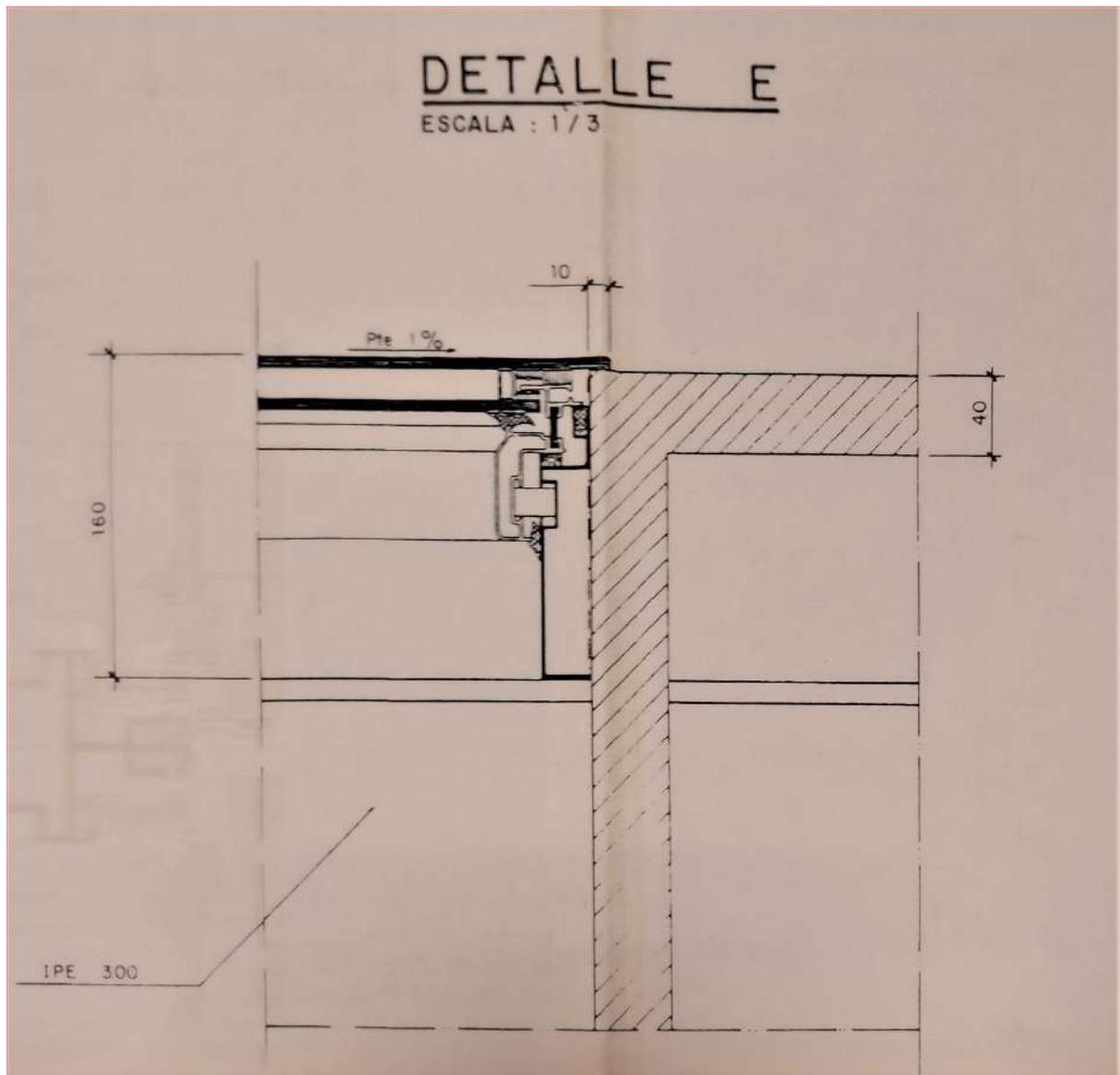


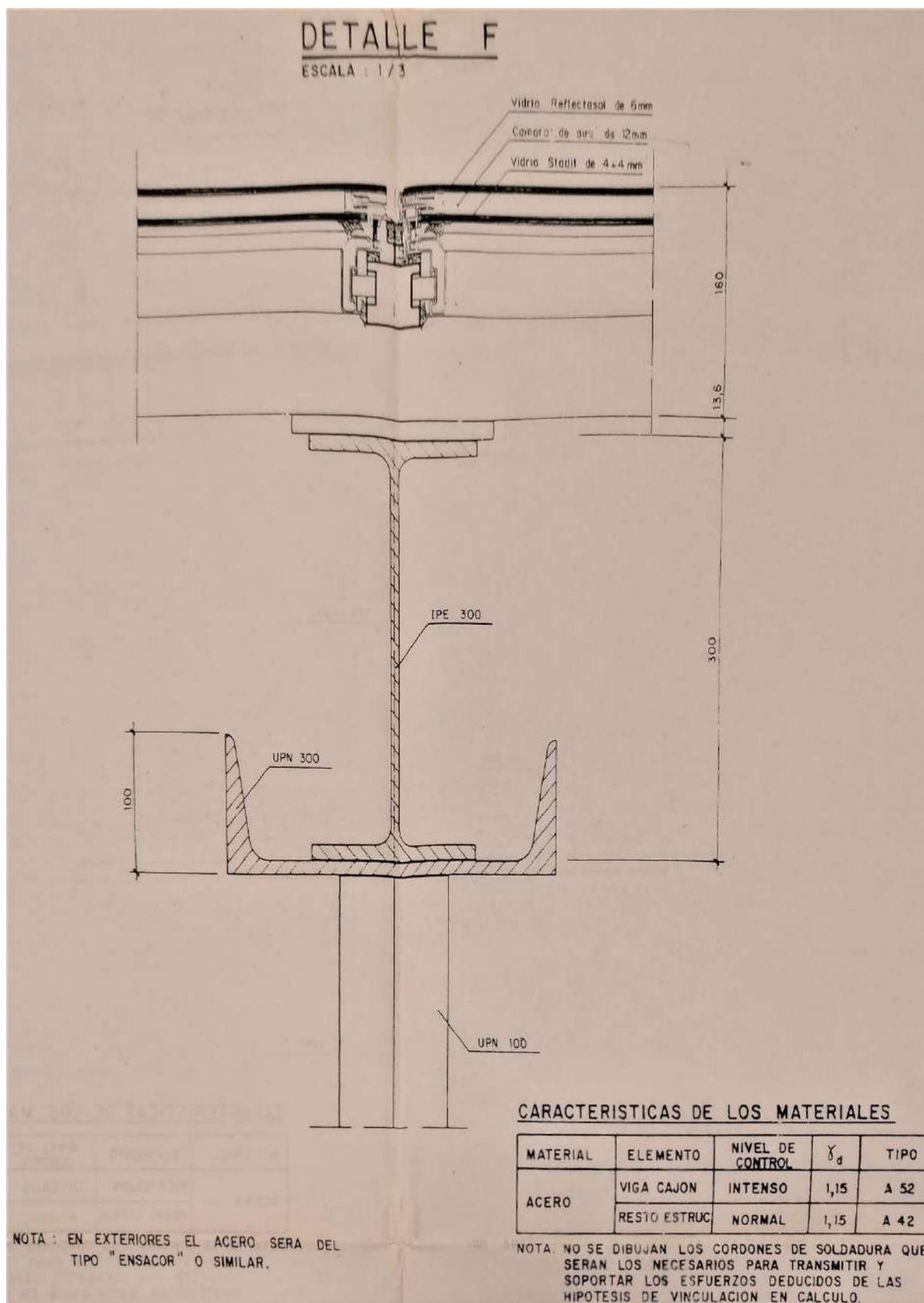


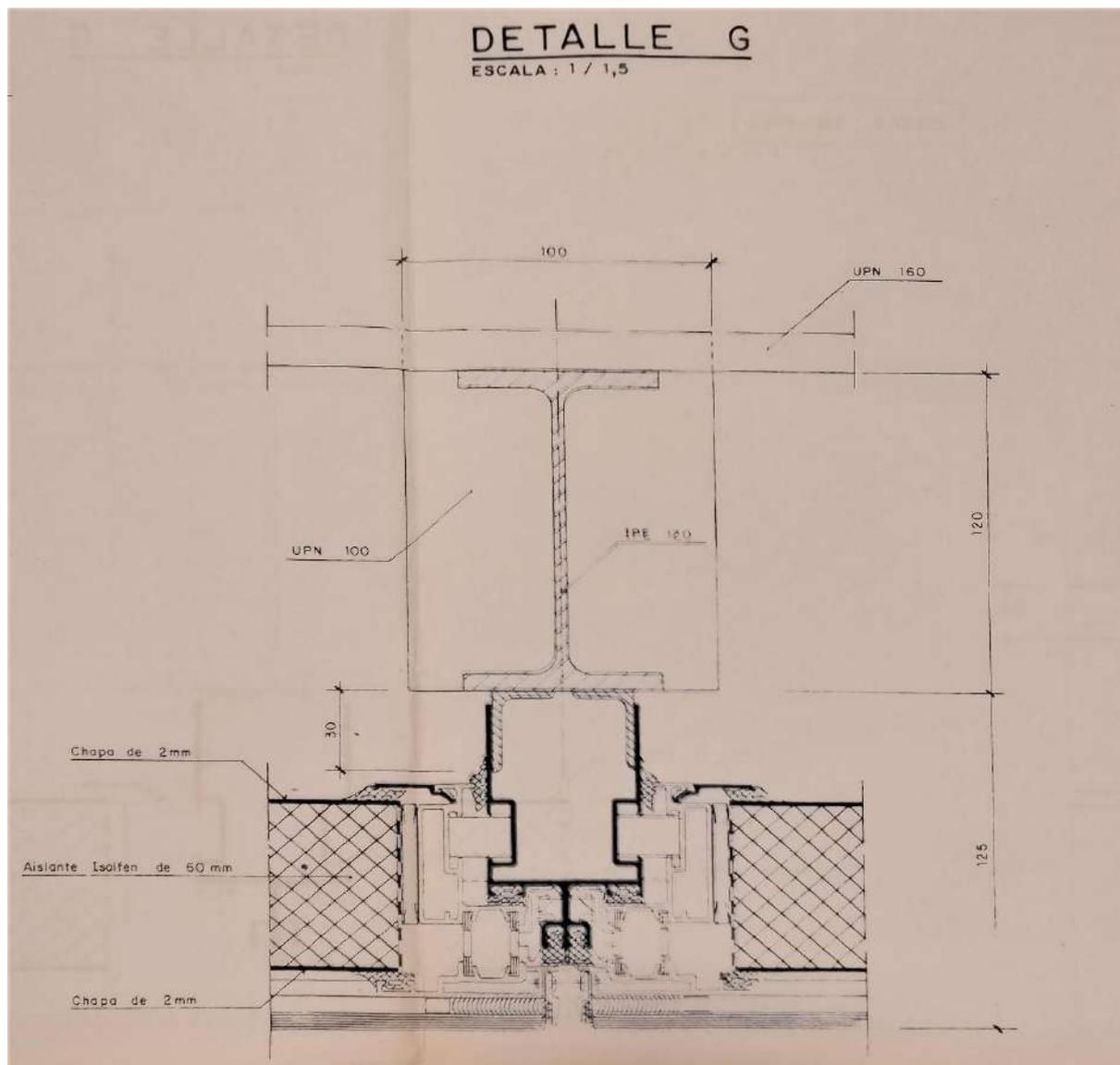












ANEXO 2. FICHAS TÉCNICAS

Imprimación Maqueta 0



39100 BEZABIA (Castellón)
 Tlfno. (943) 98 00 28 ■
 Fax: (943) 98 12 29
 E-mail: hispanamer@hispanamer.com
 http://www.hispanamer.com

IMPRIMACIÓN EPOXIMER

Linea 288

Ficha Técnica

DESCRIPCIÓN	Imprimación epoxídica de dos componentes curada con poliámina y con fosfato de Zinc como pigmento anticorrosivo.
USO RECOMENDADO	Recomendada como imprimación anticorrosiva para la protección de superficies de acero en ambientes agresivos.
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	Excelentes propiedades anticorrosivas. Buena adherencia sobre acero. Excelentes propiedades mecánicas. Utilizada en ambientes industriales y marinos.
NORMAS Y CERTIFICADOS	Cumple Norma UNE 48271: 2003 Clasificada M-1, ensayo de reacción al fuego según UNE 23727 Clasificación frente al fuego según norma UNE-EN 13501-1:2007: Clase B s1 d0.

DATOS TÉCNICOS					
<i>Color</i>	Varios				
<i>Brillo</i>	Semimate-Sedoso				
<i>Peso específico</i>	1,30-1,40				
<i>Sólidos en volumen</i>	57% ± 2				
<i>Sólidos en peso</i>	70% ± 2				
<i>Espesor recomendado</i>	60 micras secas				
<i>Rendimiento teórico</i>	9,5 m ² /Lto.				
<i>Tiempo de secado a 20°C</i>	<i>Tacto</i>	3 h. 30 min.	<i>Intervalo de repintado</i>	<i>Mínimo</i>	4 horas
<i>Endurecedor normal (E.N.)</i>	<i>Duro</i>	4 h.		<i>Máximo</i>	Prolongado
<i>Tiempo de secado a 20°C (*)</i>	<i>Tacto</i>	2 h.	<i>Intervalo de repintado</i>	<i>Mínimo</i>	3 horas
<i>Endurecedor rápido (E.R.)</i>	<i>Duro</i>	2 h.30 min.		<i>Máximo</i>	Prolongado
<i>Tiempo de secado a 20°C (*)</i>	<i>Tacto</i>	1 h.	<i>Intervalo de repintado</i>	<i>Mínimo</i>	2 horas
<i>Endurec.baja temperatura(B.T.)<5°C</i>	<i>Duro</i>	1 h.30 min.		<i>Máximo</i>	30 días
<i>Curado total a 20°C</i>	7 días				
<i>Punto de Inflamación</i>	23°C				
<i>V.O.C.</i>	414 Grs./Lto				



39100 REZANA (Castellón)
 Tlfno. (943) 98 00 39 ■
 Fax. (943) 98 12 39
 E-mail: hispanamer@hispanamer.com
 http://www.hispanamer.com

IMPRIMACIÓN EPOXIMER

Linea 288

Ficha Técnica

DATOS DE APLICACIÓN	
<i>Componentes</i>	2
<i>Ref. Endurecedor</i>	952-066 (E.N.), 952-036 (E.R.) y 952-046 (B.T.)
<i>Proporción de mezcla</i>	Mezclar los dos componentes (base y endurecedor) en proporción 4:1 en volumen.
<i>Tiempo de inducción</i>	Con endurecedor n/Ref ^o .952-066(E.N.), 15 minutos. Con el resto de endurecedores, ninguno.
<i>Vida útil de la mezcla (20°C)</i>	6 horas
<i>Diluyente</i>	Disolvente Epoxi, n / Ref ^o . 003-160
<i>Disolvente de limpieza</i>	Disolvente de limpieza H, n/Ref ^o .003-502.
<i>Preparación de superficie</i>	Limpieza manual St 2 ó S3 o Chorreado abrasivo Sa 2 ó Sa 2½, según Norma UNE-EN ISO 8501-1 (*Utilizando el catalizador E.M.R. Y el B.T., es necesario chorrear a grado Sa 2½.
<i>Métodos de Aplicación</i>	Brocha, rodillo máximo 5% disolvente Pistola aerográfica (10% disolvente) Pistola airless(boquilla 0,017-0,021 pulgadas)
<i>Temperatura de aplicación</i>	Temperatura del sustrato superior a 5°C y superior en 3°C a la temperatura de rocío.
<i>Sistema de pintado</i>	Utilizar como imprimación y repintar con epoxis ó poliuretanos. Nuestras líneas 794, 792, 780, etc...

ALMACENAMIENTO Y CONSERVACIÓN	Almacenado en interiores (lugar seco y ventilado), en envase original y sin abrir. De 5º a 35ºC.
--------------------------------------	--

SEGURIDAD E HIGIENE	Ver ficha de Seguridad
----------------------------	------------------------



39100 REZANA (Castellón)
 Tlfno. (94 3) 98 00 39 ■
 Fax. (94 3) 98 12 39
 E-mail: hispanamer@hispanamer.com
 http://www.hispanamer.com

IMPRIMACIÓN EPOXIMER

Línea 288

Ficha Técnica

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA	
PRODUCTO	RESISTENCIA QUÍMICA
Agua	Buena
Álcalis	Buena
Hidrocarburos alifáticos	Buena
Gasoil, Fuel-oil	Buena
Aceites minerales, lubricantes, vegetales, taladrinas	Buena
Sales minerales	Buena
RESISTENCIA A LA TEMPERATURA	
Régimen continuo	Régimen discontinuo
120°C	150°C

Edición: Marzo/2006

Aprobado: H. Abia

Revisión 0: Marzo/2006

Aprobado: H. Abia

Limitación de responsabilidad: Los datos, recomendaciones e instrucciones que se dan en esta hoja de características corresponden a los resultados obtenidos en ensayos de Laboratorio y en la utilización práctica del producto en circunstancias controladas o específicamente definidas.

No se garantiza la completa reproducibilidad de los mismos en cada utilización concreta.

Página-3

Acabado Maqueta 0

33200 BEZANA (Cantabria)
 Tfn. (942) 98 00 28
 Fax. (942) 98 12 29
 E-mail: hispanamer@hispanamer.com
 http://www.hispanamer.com

HISPARAPID

Línea 529

Ficha Técnica

DESCRIPCIÓN	Esmalte sintético brillante formulado con resinas alídicas modificadas y pigmentos de elevada estabilidad.
USO RECOMENDADO	Como esmalte sintético de acabado de calidad en usos industriales donde se requiere rápido secado (maquinaria industrial, agrícola,
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	Rápido secado Buen brillo Uso interior/ exterior Resiste ambientes industriales Resistente a la intemperie

DATOS TÉCNICOS					
<i>Color</i>	Varios				
<i>Brillo</i>	Brillante				
<i>Peso específico</i>	1.05-1.16				
<i>Sólidos en volumen</i>	40% ± 2				
<i>Sólidos en peso</i>	56% ± 2				
<i>Espesor recomendado</i>	40 micras				
<i>Rendimiento teórico</i>	10 m ² /Lto.				
<i>Tiempo de secado a 20°C</i>	<i>Tacto</i>	30 min.	<i>Intervalo de repintado</i>	<i>Mínimo</i>	6 h
	<i>Duro</i>	4 horas		<i>Máximo</i>	Prolongado
<i>Secado total a 20°C</i>	7 días				
<i>Punto de Inflamación</i>	26°C				
<i>V.O.C.</i>	500 Grs./Lto				



33000 BEZANA (Cantabria)
 Tlfno. (942) 98 00 39 ■
 Fax. (942) 98 12 29
 E-mail: hispanamer@hispanamer.com
 http://www.hispanamer.com

HISPARAPID

Línea 529

Ficha Técnica

DATOS DE APLICACIÓN	
<i>Componentes</i>	1
<i>Diluyente</i>	Disolvente industrial, n / Refª. 003-151
<i>Disolvente de limpieza</i>	Disolvente de limpieza H, n/Refª.003-502.
<i>Preparación de superficie</i>	Aplicar sobre superficies imprimadas ó pintadas libres de polvo, grasas, etc..
<i>Métodos de Aplicación</i>	Brocha, rodillo,. Recomendable aplicar a pistola.
	Pistola aerográfica (5% diluyente)
	Pistola airless (boquilla 0.009 pulgadas)
<i>Temperatura de aplicación</i>	Temperatura del sustrato superior a 5°C y superior en 3°C a la temperatura de rocío.
<i>Sistema de pintado</i>	Aplicar sobre imprimaciones sintéticas, clorocaucho, Líneas 379, 793

ALMACENAMIENTO Y CONSERVACIÓN	Almacenado en interiores (lugar seco y ventilado), en envase original y sin abrir. De 5º a 35ºC.
--------------------------------------	--

SEGURIDAD E HIGIENE	Ver ficha de Seguridad
----------------------------	------------------------

Edición: Marzo/2006

Aprobado: H. Abia

Revisión 0: Marzo/2006

Aprobado: H. Abia

Limitación de responsabilidad: Los datos, recomendaciones o instrucciones que se dan en esta hoja de características corresponden a los resultados obtenidos en ensayos de Laboratorio y en la utilización práctica del producto en circunstancias controladas o específicamente definidas. No se garantiza la completa reproducibilidad de los mismos en cada utilización concreta.

Página-2

Cordón de soldadura



INSPECTION CERTIFICATE 3.1

ACCORDING TO EN 10204:2004

CLIENT		DATE OF ISSUE Feb-15		CERTIFICATE NO.									
		CONSIGNEE REF		INVOICE NO.									
DESCRIPTION OF PRODUCTS WELDING WIRE ER70S-6 (SG2)		CLASSIFICATION: ACCORDING TO :											
BRAND MARK ACCESS Logo		GB T8110		ER50-6									
		AWS A 5.18		ER70S-6									
		DIN 8559		SG 2									
		EN ISO 14341		G 42 2 C/M G3Si1									
		CSA W48-06		B-G 49A 3 C G6 (ER49S-6)									
TIME OF DELIVERY		DATE OF LOADING ----		DATE OF SHIPMENT ---									
LOT NO.	SPECIFICATIONS ACCESS 1.2 MM 15KG-BS300	N.WEIGHT 2.160KGS	MFG DATE Jan-15										
CHEMICAL COMPOSITIONS(%)													
LOT NO.	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Ni	Cu	Al	Co	Ti	V
	0.09	0.92	1.47	0.012	0.009	0.005	0.013	0.019	0.150	0.001	0.005	0.002	0.001
MECHANICAL PROPERTIES OF DEPOSITED METAL													
LOT NO.	YIELD STRENGTH Re N/mm2	TENSILE STRENGTH Rm N/mm2		ELOGATIONS A5(%)		IMPACT VALUE Kv J (-20°C)							
	450	555		26		101							
REMARKS Heat No.:													
We hereby certify that all results of steel wire are in compliance with the classifications described standard.													

Gas utilizado en la soldadura

	Página: 1 / 6
	Versión: 1
	Fecha de Emisión: 14/02/2011
	Fecha de Revisión: 13/11/2013
	Número de FDS:
FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD	300-15-02D
STARGON C15	
SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa	
1.1. Identificador del producto Nombre comercial : STARGON C15	
1.2. Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados Usos aplicables identificados : Industrial y profesional. Llevar a cabo evaluación de riesgo antes de usar. Gas de ensayo / gas de calibrado. Uso en laboratorio. Para mayor información sobre su uso contactar al suministrador.	
1.3. Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad Identificación de la Compañía : PRAXAIR ESPAÑA, S.L.U. Orense, 11 - 5ª Planta 28020 Madrid Dirección email (persona competente) : contact_espana@praxair.com	
1.4. Teléfono de emergencia Teléfono (persona competente) : (+34)914533000 Teléfono de emergencia en Transporte Líquido (24 h) : (+34)915974453 Teléfono de emergencia en Instalaciones (24 h) : (+34)902213000 Teléfono de emergencia en Gases Especiales (24 h) : (+34)917863432	
SECCIÓN 2: Identificación de los peligros	
2.1. Clasificación de la sustancia o de la mezcla Clase y categoría de riesgo, Código de Normativa CE 1272/2008 (CLP) : Peligros físicos : Gases a presión - Gases comprimidos - Atención - (CLP : Press. Gas) - H280 Identificación de peligros : Puede causar asfixia en altas concentraciones. Gas comprimido.	
Clasificación 67/548 CE o 1999/45 : CE : Clasificación CE : No clasificada como sustancia / mezcla peligrosa.	
2.2. Elementos de la etiqueta Normativa de Etiquetado CE 1272/2008 (CLP) : Pictogramas de peligro :  GHS04	
Palabra de advertencia : Atención Indicación de peligro : H280 : Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento. Consejos de prudencia : P403 : Almacenar en un lugar bien ventilado.	
2.3. Otros peligros Información general : Asfixiante a altas concentraciones.	
SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes	
3.1. Sustancia / Mezcla Nombre del componente : Mezcla. Contenido : Argón N° CAS : 85 % N° EC : 7440-37-1 N° Índice : 231-147-0 N° Reach : ---- Clasificación : Nota1 No clasificado (DSD) Press. Gas Compressed (H280)	
Nombre del componente : Dióxido de carbono Contenido : 15 % N° CAS : 124-38-9 N° EC : 204-696-9 N° Índice : ---- N° Reach : Nota1 Clasificación : No clasificado (DSD) Press. Gas Liquefied (H280)	

 <p>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</p>	Página: 2 / 6
	Versión: 1
	Fecha de Emisión: 14/02/2011
	Fecha de Revisión: 13/11/2013
	Número de FDS: 300-15-02D

STARGON C15	
Información general	<ul style="list-style-type: none"> ‡ No contiene otros componentes o impurezas que puedan influir en la clasificación del producto. ‡ Texto completo de Frases-R, véase capítulo 16. ‡ Texto completo de declaraciones-H, véase capítulo 16.
SECCIÓN 4: Primeros auxilios	
4.1. Descripción de los primeros auxilios	
- Inhalación	‡ Retirar a la víctima a un área no contaminada llevando colocado el equipo de respiración autónoma. Mantener a la víctima caliente y en reposo. Llamar al doctor. Aplicar la respiración artificial si se para la respiración.
- Contacto con la piel	‡ No se esperan efectos adversos de este producto.
- Contacto con los ojos	‡ No se esperan efectos adversos de este producto.
- Ingestión	‡ La ingestión no está considerada como una vía potencial de exposición.
4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados	
Información general	<ul style="list-style-type: none"> ‡ A elevadas concentraciones puede causar asfixia. Los síntomas pueden incluir la pérdida de la consciencia o de la movilidad. La víctima puede no haberse dado cuenta de la asfixia. ‡ Ver la Sección 11.
4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente	
Información general	‡ Ninguno.
SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios	
5.1. Medios de extinción	
- Medios de extinción adecuados	‡ Agua en spray o en nebulizador.
- Medios de extinción inadecuados	‡ No usar agua a presión para extinguirlo.
5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla	
Peligros específicos	‡ La exposición al fuego puede causar la rotura o explosión de los recipientes.
Productos de combustión peligrosos	‡ No definido.
5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios	
Métodos específicos	<ul style="list-style-type: none"> ‡ Si es posible detener la fuga de producto. ‡ Utilizar medidas de control de incendios apropiadas con el incendio circundante. La exposición de los envases de gas al fuego y al calor puede provocar su ruptura. Enfriar los envases dañados con chorro de agua pulverizada desde una posición protegida. No vaciar el agua contaminada por el fuego en los desagües. ‡ Usar agua en spray o en nebulizador para disipar humos de incendios.
Equipo de protección especial para extinción de incendios	<ul style="list-style-type: none"> ‡ En espacios confinados utilizar equipos de respiración autónoma de presión positiva. ‡ Vestimenta y equipo de protección standard (aparato de respiración autónoma) para bomberos. ‡ EN 469: Vestimenta protectora para bomberos EN 659: Guantes de protección para bomberos. ‡ Standard EN 137-máscara de cara completa que incluya un aparato de respiración autónoma de aire comprimido en circuito abierto.
SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental	
6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia	
Información general	<ul style="list-style-type: none"> ‡ Evacuar el área. ‡ Intentar parar el escape/derrame. ‡ Asegurar la adecuada ventilación de aire. ‡ Utilizar equipos de respiración autónoma cuando entren en el área a menos que esté probado que la atmósfera es segura. ‡ Vigilar la concentración de producto emitido. ‡ Prevenir la entrada en alcantarillas, sótanos, fosos de trabajo o en cualquier otro lugar donde la acumulación pueda ser peligrosa.
6.2. Precauciones relativas al medio ambiente	
Información general	‡ Intentar parar el escape/derrame.
6.3. Métodos y material de contención y de limpieza	
Información general	‡ Ventilar la zona.
6.4. Referencia a otras secciones	
Información general	‡ Ver también las Secciones 8 y 13.
SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento	
7.1. Precauciones para una manipulación segura	

 FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD	Página: 3 / 6
	Versión: 1
	Fecha de Emisión: 14/02/2011
	Fecha de Revisión: 13/11/2013
	Número de FDS: 300-15-02D

STARGON C15

Uso seguro del producto	<ul style="list-style-type: none"> ‡ Utilizar solo equipo específicamente apropiado para este producto y para su presión y temperatura de suministro, en caso de duda contacte con su suministrador. Solo personas experimentadas y debidamente entrenadas deben manejar gases sometidos a presión. La sustancia debe ser manipulada de acuerdo con los procedimientos de buena higiene industrial y seguridad. No fumar cuando se manipule el producto. Comprobar que el conjunto del sistema de gas ha sido, o es con regularidad, revisado antes de usarse respecto a la posibilidad de escapes. Considerar los instrumentos de reducción de la presión en las instalaciones de gas.
Manipulación segura del envase del gas	<ul style="list-style-type: none"> ‡ Solicitar del suministrador las instrucciones de manipulación de los contenedores. No permitir el retroceso hacia el interior del recipiente. Proteger las botellas de los daños materiales, no arrastrar, ni rodar, deslizar o dejar caer. Si mueve botellas, incluso en pequeños recorridos, use una carretilla (mecánica, manual, etc) diseñada para transportar botellas. Mantener colocada la caperuza de la valvula hasta que el envase quede fijo contra una pared, un banco o situado en una plataforma, y ya dispuesto para su uso. Si el usuario aprecia cualquier problema en una valvula de una botella en uso, termine su utilización y contacte al suministrador. Nunca intentar reparar o modificar las valvulas de los depositos o los mecanismos de seguridad. Las valvulas que estan dañadas deben ser inmediatamente comunicadas al suministrador. Mantener los accesorios de la valvula del deposito libre de contaminantes, especialmente aceites y agua. Reponer la caperuza de la valvula o del deposito si se facilitan por el suministrador, siempre que el envase quede desconectado del equipo. Cierre la valvula del del deposito despues de su uso y cuando quede vacio, incluso si aún esta conectado al equipo. No intentar nunca traspasar gases de una botella/envase a otro. No utilizar nunca mecanismos con llamas o de calentamiento eléctrico para elevar la presión del deposito. No quitar ni desfigurar las etiquetas facilitadas por el suministrador para identificar el contenido de las botellas. Los contenedores ser almacenados en posición vertical y debidamente asegurados para evitar su caída.

7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Información general

- ‡ Mantener el contenedor por debajo de 50°C, en un lugar bien ventilado.
- Observar todas las regulaciones y los requerimientos locales relativos al almacenamiento de contenedores.
- Los contenedores no deben ser almacenados en condiciones que favorezcan la corrosión.
- Los contenedores ser almacenados en posición vertical y debidamente asegurados para evitar su caída.
- Los contenedores almacenados deben ser comprobados periódicamente respecto a su estado general y a posibles fugas.
- Las protecciones de las valvulas y las caperuzas deben estar colocadas.
- Almacenar los contenedores en un lugar libre del riesgo y lejos de fuentes de calor e ignición.
- Mantener alejado de materiales combustibles.

7.3. Usos específicos finales

Información general

- ‡ Ninguno.

SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

8.1. Parámetros de control Límites de exposición profesional	<ul style="list-style-type: none"> ‡ Dióxido de carbono : VLA-ED España [ppm] : 5000 ‡ Dióxido de carbono : VLA-ED España [mg/m³] : 9150
8.2. Controles de la exposición Controles técnicos apropiados	<ul style="list-style-type: none"> ‡ Detectores de oxígeno deben usarse cuando gases asfixiantes pueden ser emitidos. Proporcionar ventilación adecuada, general y local, a los gases de escape. Mantener la concentración por debajo de los límites de concentración admitido para profesionales. Los sistemas sujetos a presión deben ser regularmente comprobados respecto a fugas. Considerar un sistema de permisos de trabajo p.ej para trabajos de mantenimiento.
Equipo de protección personal	<ul style="list-style-type: none"> ‡ Un análisis de riesgos debe ser realizado y formalizado en cada area de trabajo para evaluar los riesgos relacionados con el uso del producto y para determinar el PPE que provoca un riesgo relevante. Estas recomendaciones deben ser tenidas en cuenta. PPE que cumplan los estándares recomendados por EN/ISO deben seleccionarse.
<ul style="list-style-type: none"> • Protección para el ojo/cara • Protección para la piel - Protección de las manos - Otras • Protección de las vías respiratorias 	<ul style="list-style-type: none"> ‡ usar gafas con de seguridad con protecciones laterales. Standard EN 166- Protección para el ojo. ‡ Usar guantes de trabajo al manejar envases de gases. Standard EN 388- guantes que protegen contra riesgos mecanicos. ‡ Usar zapatos de seguridad mientras se manejan envases. Standard EN ISO 20345 - Equipos de protección personal-zapatos de seguridad. ‡ Un aparato de respiración asistida (SCBA) o una mascara con una via de aire a presión tienen que usarse en atmosferas con insuficiente oxígeno. Standard EN 137-mascara de cara completa que incluya un aparato de respiracion autonomo de aire comprimido en circuito abierto.
<ul style="list-style-type: none"> • Peligros térmicos Controles de exposición medioambiental 	<ul style="list-style-type: none"> ‡ No necesaria. ‡ Tener en cuenta las regulaciones locales relativas a las restricciones de emisiones a la atmosfera. Ver sección 13 para metodos específicos de tratamiento de residuos de gases.

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

 <p>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</p>	Página: 4 / 6
	Versión: 1
	Fecha de Emisión: 14/02/2011
	Fecha de Revisión: 13/11/2013
	Número de FDS: 300-15-02D

STARGON C15

9.1. Información sobre

propiedades físicas y químicas básicas

Apariencia

: Gas.

Estado físico a 20°C / 101.3kPa

: Gas.

Color

: La mezcla contiene uno ó mas componente(s) que tienen los colores siguientes:

Incoloro.

Olor

: Puede que no haya indicaciones de advertencia sobre los olores, el olor esw subjetivo y no susceptible de fijar advertencias respecto a una sobreexposición.

La mezcla contiene uno ó mas componentes que tienen el/los siguiente/s olor/es:

Inoloro.

Umbral olfativo

: La superación de límites por el olor es subjetiva e inadecuado para advertir del riesgo de sobrecarga.

Valor de pH

: No es aplicable a mezcla de gases.

Masa molecular [g/mol]

: No es aplicable a mezcla de gases.

Punto de fusión [°C]

: No es aplicable a mezcla de gases.

Punto de ebullición [°C]

: No es aplicable a mezcla de gases.

Punto de inflamación [°C]

: No es aplicable a mezcla de gases.

Velocidad de evaporación (éter=1)

: No es aplicable a mezcla de gases.

Rango de inflamabilidad [% de volumen en aire]

: No es aplicable a mezcla de gases.

Presión de vapor [20°C]

: No aplica.

Densidad relativa del gas (aire=1)

: Más pesado que el aire.

Solubilidad en agua [mg/l]

: Solubilidad en el agua de los componentes de la mezcla.

• Argón : 61 • Dióxido de carbono : 2000

: No es aplicable a mezcla de gases.

Coefficiente de reparto n-octano/agua [log Kow]

: No aplica.

Viscosidad a 20°C [mPa.s]

: No aplica.

Propiedades explosivas

: No aplica.

Propiedades comburentes

: Ninguno.

9.2 Información adicional

Otros datos

: El vapor es mas pesado que el aire. Puede acumularse en espacios confinados, particularmente al nivel del suelo o en sótanos.

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

10.1. Reactividad

Información general

: Sin riesgo de reactividad salvo lo expresado en la sub-sección mas adelante.

10.2. Estabilidad química

Información general

: Estable en condiciones normales.

10.3. Posibilidad de reacciones peligrosas

Información general

: No definido.

10.4. Condiciones que deben evitarse

Información general

: No definido.

10.5. Materiales incompatibles

Información general

: No definido.

10.6. Productos de descomposición peligrosos

Información general

: Productos con riesgo de descomposición no se deben producir por en condiciones normales de almacenamiento y uso.

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1. Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda

: No se conocen los efectos toxicológicos de este producto.

LC50 por inhalación en rata [ppm/4h]

: Sin datos disponibles.

Corrosión o irritación cutáneas

: Se desconocen los efectos de este producto.

Lesiones o irritación ocular graves

: Se desconocen los efectos de este producto.

Sensibilización respiratoria o cutánea

: Se desconocen los efectos de este producto.

Carcinogénesis

: Se desconocen los efectos de este producto.

Mutagenicidad

: Se desconocen los efectos de este producto.

Tóxico para la reproducción

: Se desconocen los efectos de este producto.

fertilidad

: Se desconocen los efectos de este producto.

Tóxico para la reproducción feto

: Se desconocen los efectos de este producto.

Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) – exposición única

: Se desconocen los efectos de este producto.

Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) – exposición repetida

: Se desconocen los efectos de este producto.

Peligro de aspiración

: No es aplicable a gases ni a mezcla de gases.

SECCIÓN 12: Información ecológica

12.1. Toxicidad

Información general

: No se alcanzan criterios de clasificación.

 <p>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</p>	Página: 5 / 6
	Versión: 1
	Fecha de Emisión: 14/02/2011
	Fecha de Revisión: 13/11/2013
	Número de FDS: 300-15-02D

STARGON C15

EC50 48 Horas - Daphnia magna [mg/l]	: Sin datos disponibles.
EC50 72h Algae [mg/l]	: Sin datos disponibles.
LC50-96 Horas en pez [mg/l]	: Sin datos disponibles.
12.2. Persistencia y degradabilidad Información general	: Sin datos disponibles.
12.3. Potencial de bioacumulación Información general	: Sin datos disponibles.
12.4. Movilidad en el suelo Información general	: Sin datos disponibles.
12.5. Resultados de la valoración PBT y mPmB Información general	: Sin datos disponibles.
12.6. Otros efectos adversos Efectos sobre la capa de ozono	: Ninguno.
Produce efectos en el calentamiento global	: Contiene gas(es) de efecto invernadero no contemplados en la Directiva 812/2006/CE.

SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1. Métodos para el tratamiento de residuos

Información general

- : Asegurarse de no superar los límites de emisión establecidos en regulaciones locales.
- No descargar dentro de ningún lugar donde su acumulación pudiera ser peligrosa.
- Referirse al código de prácticas de EIGA Doc 30/10 Eliminación de gases accesible en <http://www.ega.org> para mayor información sobre métodos adecuados de vertidos.
- Contactar con el suministrador si se necesita orientación.
- : 16 05 05: Contenedores de gases a presión distintos de los mencionados en 16 05 04.

Lista de residuos peligrosos

13.2. Información complementaria

Información general

- : Ninguno.

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

14.1. Número ONU

Número ONU

- : 1956

14.2. Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

Designación oficial

- : GAS COMPRIMIDO, N.E.P. (Argón, Dióxido de carbono)

14.3. Clase(s) de peligro para el transporte

Clase(s) de peligro para el transporte

- : 

- 2.2 : Gases no inflamables, no tóxicos

14.4. Grupo de embalaje

Código de clasificación

- : 1

A

14.5. Peligros de contaminación

Peligros para el medio ambiente

IMDG-Marine pollutant

- : Ninguno.

- : No

14.6. Precauciones particulares para los usuarios

Información general

- : Evitar el transporte en los vehículos donde el espacio de la carga no esté separado del compartimiento del conductor.
- Asegurar que el conductor está enterado de los riesgos potenciales de la carga y que conoce que hacer en caso de un accidente o de una emergencia.
- Antes de transportar las botellas :
 - Asegurar una ventilación adecuada.
 - Asegúrese de que los recipientes están bien fijados.
 - Asegurarse que las válvulas de las botellas están cerradas y no fugan.
 - Asegurarse que el tapón del acoplamiento de la válvula (cuando exista) está adecuadamente apretado.
 - Asegurarse que la caperuza de la válvula o la tulpita, (cuando exista), está adecuadamente apretada.

14.7. Transporte de granel según anexo II del tratado MARPOL

73/78 y según código IBC

Información general

- : No aplica.

SECCIÓN 15: Información reglamentaria

15.1. Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Legislación UE

Seveso directiva 96/82/EC

Legislación Nacional

Información general

- : No esta cubierto.

- :

- : Asegúrese que se cumplen las normativas nacionales y locales.

 <p>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</p>	Página: 6 / 6
	Versión: 1
	Fecha de Emisión: 14/02/2011
	Fecha de Revisión: 13/11/2013
	Número de FDS: 300-15-02D

STARGON C15

15.2. Evaluación de la seguridad química

Información general : El CSA (Análisis de Seguridad Química) no debe de realizarse para este producto.
Clasificación 67/548 CE o 1999/45 : No clasificada como sustancia / mezcla peligrosa.
CE BORRAR

SECCIÓN 16: Otra información

Enumeración de los cambios	Hoja de datos de seguridad revisada de acuerdo con la regulación de la Comisión (UE) N°453/2010.
Consejos relativos a la formación	Recipiente a presión. El contacto con el líquido puede causar quemaduras por frío o congelación. No clasificada como sustancia / mezcla peligrosa.
Etiquetado 67/548 CE o 1999/45 CE	No clasificada como sustancia / mezcla peligrosa.
• Símbolo(s)	Ninguno.
• Frase(s) R	Ninguno.
• Frase(s) S	Ninguno.
Origen de la información	Clasificación de acuerdo con los métodos de cálculo del reglamento (EC) 1272/2008 CLP/ (EC) 1999/45 DPD. La presente Ficha de Datos de Seguridad está establecida de acuerdo con las Directivas Europeas en Vigor.
Notas	Nota 1: Figura en la lista del Anexo IV / V de REACH, exento de solicitud de registro. Nota 2: No ha expirado el plazo límite de solicitud de registro. Nota 3: No exige su registro. Sustancias fabricadas o importadas < 1t/y.
Otras advertencias	Antes de utilizar el producto en un nuevo proceso o experimento, debe llevarse a cabo un estudio completo de seguridad y de compatibilidad de los materiales. Los detalles dados son ciertos y correctos en el momento de llevarse este documento a impresión. A pesar de que durante la preparación de este documento se ha tomado especial cuidado, no se acepta ninguna responsabilidad por las lesiones o los daños resultantes.
Responsabilidades	Estas instrucciones han sido elaboradas por Praxair sobre la base de las informaciones disponibles a la fecha de las mismas y cubren las aplicaciones más habituales, sin garantizar que su contenido sea suficiente en todos los casos y situaciones. Su observancia no excluye el cumplimiento de la normativa vigente en cada momento.
Descripción de cambios	Adaptación a la normativa vigente.

Fin del documento

Recubrimiento Maqueta 1



RENTABILIDAD ECONOMICA 0,25L ± 2,5m²	APLICACIÓN / APLICADOR PINTURA POR SPRAY PINTURA A MANO	LIMPIEZA / LIMPIEZA RENTABILIDAD ECONOMICA	TIEMPO DE SECAJE / TIEMPO DE SECAJE 6h 12h 24h
ES - PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE La superficie debe estar limpia, seca y libre de óxido. Superficies nuevas: Desengrasar la superficie con agua. Superficies viejas: Limpiar con un cepillo metálico la parte superior del óxido y el óxido. Cuando se haya eliminado el óxido, se debe aplicar un primer de imprimación.	PT - PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A. Preparación de la superficie: Limpiar la superficie con agua y jabón. B. Preparación de la superficie: Limpiar la superficie con agua y jabón. C. Preparación de la superficie: Limpiar la superficie con agua y jabón.	APLICACIÓN Mezclar bien el contenido y aplicar directamente sobre la superficie a pintar. Aplicar en capas sucesivas, permitiendo que se seque entre cada capa. Aplicar en un ambiente bien ventilado.	SEGURIDAD Evitar el contacto con la piel y los ojos. Evitar la inhalación de las nebulas. Evitar el contacto con la ropa. Evitar el contacto con los alimentos y las bebidas. Evitar el contacto con los animales domésticos. Evitar el contacto con el agua. Evitar el contacto con el suelo. Evitar el contacto con las plantas. Evitar el contacto con los niños. Evitar el contacto con los animales domésticos. Evitar el contacto con el agua. Evitar el contacto con el suelo. Evitar el contacto con las plantas. Evitar el contacto con los niños. Evitar el contacto con los animales domésticos.

ANEXO 3. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Deterioro en la pasarela de la ETSIIT, Universidad de Cantabria.....	7
Figura 2. Factores que intervienen en la corrosión ^[56]	11
Figura 3. (a, b) Fallo por corrosión - pasarela en Lowe's Motor Speedway ^[50]	12
Figura 4. (a, b) Fallo por corrosión - Leo Frigo Memorial Bridge ^[50]	12
Figura 5. Tipos de corrosión ^[26]	14
Figura 6. Tipos de corrosión atendiendo a la morfología ^[26]	15
Figura 7. Esquema - Corrosión electroquímica (aleación base Fe) ^[59]	16
Figura 8. Tubería en Astillero	17
Figura 9. Valla en polígono de Raos	17
Figura 10. Señal en polígono de La Cerrada	18
Figura 11. Corrosión generalizada - Buzón en Polígono de Raos	19
Figura 12. Corrosión generalizada en la pasarela.....	19
Figura 13. Formas de picaduras (corte transversal) ^[13]	20
Figura 14. Corrosión por picadura - Cubierta del Palacio de Deportes de Santander	21
Figura 15. Corrosión por picadura en la pasarela	21
Figura 16. Efecto de los productos de corrosión en el recubrimiento ^[36]	22
Figura 17. Corrosión en resquicio - Cargadero de Orconera en Astillero.....	23
Figura 18. Corrosión en resquicio en la pasarela.....	23
Figura 19. Diseño para evitar retenciones ^[5]	26
Figura 20. Diseño para evitar solapamientos ^[5]	26
Figura 21. Diseño para evitar resquicios y formas de conexión inadecuadas ^[5]	26
Figura 22. Factores que influyen en las medidas frente a la corrosión ^[26]	28
Figura 23. Propiedades generales de algunos tipos de pintura ^[9]	40
Figura 24. Detalle de un sistema de pintado ^[51]	42
Figura 25. Boletín de control de calidad - Imprimación epoxi.....	45
Figura 26. Boletín de control de calidad - Esmalte acabado s/rápido	46
Figura 27. Ejemplos de patrones para la determinación del grado de ampollamiento ^[17]	47
Figura 28. Ejemplo de patrón para determinación del grado de oxidación ^[18]	47
Figura 29. Ejemplos de patrones para determinación del grado de agrietamiento ^[19]	48

Figura 30. Ejemplos de patrones para determinación del grado de descamación ^[20]	48
Figura 31. Diagrama de flujo para ensayos de corrosión ^[29]	51
Figura 32. Flujo de trabajo y distribución en el documento	62
Figura 33. Posición del Apartado 3.1 en el flujo de trabajo	63
Figura 34. Situación pasarela - España ^[37]	64
Figura 35. Situación pasarela - Cantabria ^[37]	64
Figura 36. Situación pasarela - Santander ^[37]	65
Figura 37. Situación pasarela - Campus Universitario/Parque de las Llamas ^[37]	65
Figura 38. Situación pasarela - ETSIIT/ETSICCP ^[37]	66
Figura 39. Dimensiones de la pasarela	66
Figura 40. Fachada oeste	67
Figura 41. Fachada este	67
Figura 42. Desde E.T.S.I.I.T. hacia zona central	68
Figura 43. Desde zona central hacia E.T.S.I.I.T.	68
Figura 44. Desde zona central hacia fachada este	69
Figura 45. Desde zona central hacia fachada oeste	69
Figura 46. Desde zona central hacia E.T.S.I.C.C.P.	70
Figura 47. Desde E.T.S.I.C.C.P. hacia zona central	70
Figura 48. Posición del Apartado 3.2 en el flujo de trabajo	71
Figura 49. Primera fotografía documentada de la pasarela	73
Figura 50. Posición del Apartado 3.3 en el flujo de trabajo	74
Figura 51. Zona de estudio acotada sobre la Figura 43	75
Figura 52. Zona de estudio acotada sobre la Figura 47	75
Figura 53. Posición del Apartado 3.4 en el flujo de trabajo	76
Figura 54. Etapas del proceso corrosivo en la pasarela	77
Figura 55. Posición del Apartado 3.5 en el flujo de trabajo	78
Figura 56. Problemas de accesibilidad en la pasarela	79
Figura 57. Corrosión en la parte posterior de los perfiles verticales	80
Figura 58. Resquicios en la pasarela	82
Figura 59. Superficies planas horizontales en la pasarela	83
Figura 60. Bordes en la pasarela	85
Figura 61. Corrosión en un borde de la estructura	85

Figura 62. Selección de bordes en el diseño ^[5]	86
Figura 63. Acabado de soldaduras ^[5]	87
Figura 64. Soldaduras en la pasarela.....	87
Figura 65. Tornillo de fijación del acristalamiento	88
Figura 66. Posición del Apartado 3.6 en el flujo de trabajo	93
Figura 67. Imagen real perfil estudiado en AEF.....	93
Figura 68. Modelo base perfil HEB 180 L=2.700 mm.....	94
Figura 69. Modelo de una picadura.....	95
Figura 70. Modelo corrosión por picadura.....	96
Figura 71. Detalle modelo pérdida de sección por corrosión generalizada	97
Figura 72. Modelo hipótesis combinada.....	98
Figura 73. Detalle modelo hipótesis combinada.....	98
Figura 74. Condiciones de contorno.....	99
Figura 75. Parámetros del mallado	99
Figura 76. Mallado modelo original / corrosión generalizada	100
Figura 77. Mallado modelo corrosión por picadura / hipótesis combinadas	100
Figura 78. Detalle del mallado en las picaduras.....	100
Figura 79. Posición del Apartado 3.7 en el flujo de trabajo	101
Figura 80. Ubicación de la recogida de agua para el ensayo ^[37]	103
Figura 81. Esquema del ensayo a efectuar (Semi-inmersión).....	104
Figura 82. Maqueta 1 - Previo Recubrimiento.....	106
Figura 83. Maqueta 0 - Vista general	107
Figura 84. Detalle sistema pintura - Maqueta 0.....	108
Figura 85. Maqueta 1 - Vista general	108
Figura 86. Detalle sistema pintura - Maqueta 1.....	109
Figura 87. División en caras de las maquetas.....	110
Figura 88. Colocación de las maquetas en el recipiente	117
Figura 89. Inicio del ensayo - Maquetas en semi-inmersión	117
Figura 90. Marca de control del nivel de agua	117
Figura 91. Medición del pH del agua.....	118
Figura 92. Posición del Apartado 4.1 en el flujo de trabajo	122
Figura 93. Aspecto del agua en la finalización del ensayo.....	123
Figura 94. Maqueta 0 (Semana 1) - a) Punto crítico 1; b) Punto crítico 2	123

Figura 95. Maqueta 0 (Semana 8) - a) Punto crítico 1; b) Punto crítico 2	124
Figura 96. Maqueta 0 - Evolución del nivel de corrosión.....	128
Figura 97. Maqueta 1 (Semana 1) - a) Punto crítico 1; b) Punto crítico 2; c) Punto crítico 3.....	129
Figura 98. Maqueta 1 - Corrosión en puntos no marcados como críticos (Semana 1)	130
Figura 99. Maqueta 1 (Cara B)-Ampollas/descamación en zona sumergida (Semana 2).....	131
Figura 100. Maqueta 1 - Evolución del nivel de corrosión.....	135
Figura 101. Posición del Apartado 4.2 en el flujo de trabajo	137
Figura 102. Simulación AEF - Sin defectos (Tensión equiv. Von Mises).....	137
Figura 103. Simulación AEF - Sin defectos (Desplazamiento).....	138
Figura 104. Simulación AEF - Picaduras 6 mm (Tensión equiv. Von Mises)	138
Figura 105. Simulación AEF - Picaduras 6 mm (Desplazamiento).....	138
Figura 106. Tensión máxima Von Mises - Hipótesis picaduras.....	140
Figura 107. Tensión máxima Von Mises (Tendencia) - Zona I.....	141
Figura 108. Tensión máxima Von Mises (Tendencia) - Zona II.....	141
Figura 109. Desplazamiento máximo (Tendencia) - Hipótesis picaduras	142
Figura 110. Simulación AEF - Pérd. Uni. 6 mm (Tensión equiv. Von Mises)	143
Figura 111. Simulación AEF - Pérd. Uni. 6 mm (Desplazamiento).....	143
Figura 112. Tensión máxima Von Mises (Tendencia) - Hipótesis pérdida uniforme	145
Figura 113. Desplazamiento máximo (Tendencia) - Hipótesis pérdida uniforme ...	146
Figura 114. Simulación AEF - Uni. 6mm + Pic. 6mm (Tensión eq. Von Mises)	147
Figura 115. Simulación AEF - Uni. 6mm + Pic. 6mm (Desplazamiento)	147
Figura 116. Tensión máxima Von Mises (Tendencia) - Hipótesis combinada.....	148
Figura 117. Desplazamiento máximo (Tendencia) - Hipótesis combinada.....	149
Figura 118. Posición del Apartado 4.3 en el flujo de trabajo	151
Figura 119. Diseño actual	152
Figura 120. Modelado diseño actual	152
Figura 121. Modelado diseño modificado.....	152
Figura 122. Posición del Apartado 4.4 en el flujo de trabajo	154
Figura 123. Tareas del proyecto de restauración	157

Figura 124. Posición del Apartado 4.5 en el flujo de trabajo	158
Figura 125. Programación - Proyecto de restauración	159
Figura 126. Posición del Apartado 4.6 en el flujo de trabajo	160
Figura 127. Posición del Capítulo 5 en el flujo de trabajo	165
Figura 128. Posición del Capítulo 6 en el flujo de trabajo	193

NOTA: Las figuras no referenciadas son de elaboración propia.

ANEXO 4. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estimaciones de los costes de la corrosión desde el año 1949 ^[27]	13
Tabla 2. Aspectos a considerar en el diseño ^[5]	25
Tabla 3. Categorías generales de corrosión atmosférica ^[4]	32
Tabla 4. Categorías para el agua y el suelo ^[4]	32
Tabla 5. Clasificación de la durabilidad de los sistemas de pintura ^[3]	33
Tabla 6. Condición de la superficie antes de la preparación superficial ^[10]	34
Tabla 7. Grados de preparación - Chorreado abrasivo ^[10]	35
Tabla 8. Grados de preparación - Limpieza manual o mecánica ^[10]	37
Tabla 9. Grados de preparación - Limpieza por llama ^[10]	37
Tabla 10. Grados de preparación - Agua a presión ^[12]	38
Tabla 11. Grados de oxidación superficial - Agua a presión ^[12]	39
Tabla 12. Tipos de pintura ^[33]	40
Tabla 13. Eficiencia de los métodos de aplicación	44
Tabla 14. Resumen de antecedentes	60
Tabla 15. Errores en el diseño geométrico de la pasarela	84
Tabla 16. Acabado deseado en las soldaduras ^[11]	88
Tabla 17. Errores en el diseño de las superficies de la pasarela	89
Tabla 18. Propiedades del acero estructural estudiado ^[23]	94
Tabla 19. Hipótesis de picadura y DOP	96
Tabla 20. Hipótesis de corrosión generalizada y pérdida de sección porcentual	97
Tabla 21. Equivalencia aproximada acero S275JR ^[1]	105
Tabla 22. Comparativa composición química acero - cordón soldadura (%wt)	106
Tabla 23. Identificación de las caras de las maquetas	111
Tabla 24. Identificación de los puntos críticos de las maquetas	112
Tabla 25. Maquetas - Superficies delimitadas	115
Tabla 26. Hoja de recogida de datos	120
Tabla 27. Evolución del pH del agua	122
Tabla 28. Maqueta 0 - Comparativa caras	125
Tabla 29. Maqueta 0 - Comparativa puntos críticos	126
Tabla 30. Maqueta 1 - Comparativa caras	132
Tabla 31. Maqueta 1 - Comparativa puntos críticos	133
Tabla 32. Resultados AEF - Picaduras	139

Tabla 33. Resultados AEF - Corrosión generalizada	144
Tabla 34. Resultados AEF - Combinación picaduras/generalizada	147
Tabla 35. Soluciones de diseño a los problemas identificados en la pasarela.....	151
Tabla 36. Comparativa diseño actual - diseño modificado	153
Tabla 37. Estimación temporal - Proyecto de restauración	159
Tabla 38. Plan de inspección	161
Tabla 39. Plan de mantenimiento - Acciones correctivas.....	162
Tabla 40. Plan de mantenimiento - Acciones programadas	163

NOTA: Las tablas no referenciadas son de elaboración propia.

ANEXO 5. ÍNDICE DE FÓRMULAS Y ECUACIONES

<u>Nº</u>	<u>Fórmula</u>	<u>Pág.</u>
(1)	$M \rightarrow M^{n+} + ne^{-}$	15
(2)	$H^{+} + e^{-} \rightarrow \frac{1}{2}H_2$	16
(3)	$2H_2O + O_2 + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$	16
(4)	$M^{n+} + ne^{-} \rightarrow M$	16
(5)	$M \rightarrow M^{n+} + ne^{-}$	23
(6)	$O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$	23
(7)	$MCl + H_2O \rightarrow MOH + HCl$	23
(8)	$VS(\%) = \frac{\text{Espesor película seca}}{\text{Espesor película húmeda}} \cdot 100$	44
(9)	$\text{Rendimiento teórico } (m^2/l) = \frac{VS(\%) \cdot 10}{\text{Espesor película seca}(\mu m)}$	44
(10)	$DOP (\%) = \frac{\text{Superficie afectada por picaduras}}{\text{Superficie total}} \cdot 100$	96
(11)	$0 \leq \phi < 20 \rightarrow \sigma_{max}(MPa) = 0,0061 \cdot \phi + 0,9631$	142
(12)	$20 \leq \phi \leq 50 \rightarrow \sigma_{max}(MPa) = 0,0005 \cdot \phi^3 - 0,0399 \cdot \phi^2 + 1,1856 \cdot \phi - 10,487$	142
(13)	$0 \leq \phi \leq 50 \rightarrow u_{max}(mm) = 5 \cdot 10^{-8} \cdot \phi^2 - 2 \cdot 10^{-6} \cdot \phi^2 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot \phi + 0,013194$	142
(14)	$0 \leq t \leq 13 \rightarrow \sigma_{max}(MPa) = 0,01 \cdot t^2 - 0,0137 \cdot t + 0,9631$	145
(15)	$0 \leq t \leq 13 \rightarrow u_{max}(mm) = 1 \cdot 10^{-5} \cdot t^3 - 0,0002 \cdot t^2 + 0,0006 \cdot t + 0,013194$	146
(16)	$0 \leq x \leq 11 \rightarrow \sigma_{max}(MPa) = 0,0021 \cdot x^3 - 0,0266 \cdot x^2 + 0,132 \cdot x + 1,0243$	149
(17)	$0 \leq x \leq 11 \rightarrow u_{max}(mm) = 5 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 - 3 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0,0001 \cdot x + 0,013191$	149