

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

# TRABAJO FIN DE GRADO

## *PATOLOGÍAS Y SOLUCIONES DE INTERVENCIÓN EN FACHADAS LIGERAS METÁLICAS*

**Alumno/Alumna:** Fernández, García, Patricia

**Director/Directora:** Garmendia, Arrieta, Leire

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 22 de julio de 2019

## ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	4
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. CONTEXTO .....	4
3. OBJETIVOS Y ALCANCE .....	5
4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO .....	6
4.1. Beneficios personales .....	6
4.2. Beneficios técnicos .....	6
5. ESTADO DEL ARTE .....	7
5.1. Introducción a los cerramientos .....	7
5.2. Cerramientos horizontales – Cubiertas .....	7
5.2.1. Clasificación según su comportamiento higrotérmico .....	8
5.2.2. Clasificación según su geometría .....	8
5.3. Cerramientos verticales – Fachadas .....	9
5.3.1. Clasificación según su construcción .....	9
5.3.2. Clasificación según su composición .....	9
5.4. Fachadas pesadas .....	9
5.5. Fachas ligeras .....	10
5.5.1. Clasificación según su construcción .....	11
5.5.2. Clasificación según el tipo arquitectónico .....	11
5.5.3. Clasificación según su tipo de construcción .....	13
5.5.4. Materiales en fachadas ligeras .....	13
8. PATOLOGÍAS Y SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS EN FACHADAS METÁLICAS .....	16
5.6. Lesiones físicas .....	17
5.6.1. Humedades .....	17
5.6.2. Prevención y reparación de las humedades .....	21
5.6.3. Suciedad .....	25
5.6.4. Prevención y reparación de la suciedad .....	32
5.7. Lesiones mecánicas .....	34
5.7.1. Grietas y fisuras .....	35
5.7.2. Prevención y reparación de grietas y fisuras .....	37
5.8. Lesiones químicas .....	39
5.8.1. Oxidación y corrosión .....	39

---

5.8.2. Prevención y reparación de las lesiones por corrosión y oxidación .....	45
9. SELLOS DE CALIDAD.....	48
9.1. Normativa de obligado cumplimiento en fachadas metálicas.....	48
9.1.1. Marcado CE .....	48
9.1.2. CTE .....	51
9.2. Acreditación voluntaria de calidad.....	51
9.2.1. Marca AENOR .....	52
9.2.2. QUALICOAT .....	52
9.2.3. QUALANOD .....	53
9.2.4. QUALISTEELCOAT .....	55
10. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	57
10.1. Fases del proyecto.....	57
10.2. Diagrama de Gantt .....	58
11. DESCARGO DE GASTOS.....	59
12. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNES DE INVESTIGACIÓN.....	61
BIBLIOGRAFÍA .....	62
ANEXOS .....	I
ANEXO I. Características del acero inoxidable empleado en fachadas .....	I
ANEXO II: Tabla de protecciones y acabados recomendados en elementos metálicos .....	II
ANEXO III: Clasificación de los elementos en función de su corrosividad. Sello QUALISTEELCOAT .....	III

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Cubierta plana ( <a href="http://cort.as/-LI2-">http://cort.as/-LI2-</a> ) .....	8
Ilustración 2. Cubierta inclinada ( <a href="http://cort.as/-LI2B">http://cort.as/-LI2B</a> ).....	8
Ilustración 3. Sistema de fachadas pesadas ( <a href="http://cort.as/-LI3F">http://cort.as/-LI3F</a> ) .....	10
Ilustración 4. Sistema de fachadas ligeras ( <a href="http://cort.as/-LI3Z">http://cort.as/-LI3Z</a> ) .....	10
Ilustración 5. Fachada panel (Sánchez-Ostiz Gutiérrez, Fachadas - Cerramientos de edificios, 2011) .....	11
Ilustración 6. Muro cortina (Sánchez-Ostiz Gutiérrez, Fachadas - Cerramientos de edificios, 2011) .....	11
Ilustración 7. Trama vertical (Zamora i Mestre & Calderón, 2015).....	12
Ilustración 8. Vidrio abotonado (Zamora i Mestre & Calderón, 2015) .....	12
Ilustración 9. Silicona estructural (Zamora i Mestre & Calderón, 2015).....	12
Ilustración 10. Vidrio enmarcado (Zamora i Mestre & Calderón, 2015).....	12
Ilustración 11. Trama verical (Zamora i Mestre & Calderón, 2015).....	12
Ilustración 12. Trama horizontal (Zamora i Mestre & Calderón, 2015) .....	12
Ilustración 13. Fachada de cobre en construcción (García Olmos & Pérez Navarro) .....	13
Ilustración 14. Fachada de zinc (Obralia - Quinta metálica).....	14
Ilustración 15. Museo Guggenheim Bilbao con fachada de titanio ( <a href="http://cort.as/-LBxn">http://cort.as/-LBxn</a> ).....	14
Ilustración 16. Hospital San Pedro (Logroño) con fachada de acero inoxidable ( <a href="http://cort.as/-LByj">http://cort.as/-LByj</a> ).....	15
Ilustración 17. Fachada formada por chapas lacadas (Cubiertas del centro, s.f.) .....	15
Ilustración 18. Diagrama del estudio sobre las causas de deterioro en la obras de fábrica. Bélgica 1977-1979 (Soria, y otros, 2006) .....	16
Ilustración 19. Humedades de condensación (Monjo Carrio, 1994) .....	18
Ilustración 20. Rotura por sobretensión y por acción mecánica (Monjo Carrio, 1994) .....	20
Ilustración 21. Reparación de humedades de filtración en paños ciegos porosos (Adell, y otros) .....	21
Ilustración 22. Panel tipo sándwich ( <a href="http://cort.as/-LOsO">http://cort.as/-LOsO</a> ) .....	23
Ilustración 23. Saneamientos para roturas por sobretensión y por acciones mecánicas (Monjo Carrio, 1994).....	24
Ilustración 24. Centro de Innovación empresarial en la Escuela de Administración Iseberg ( <a href="http://cort.as/-LI5-">http://cort.as/-LI5-</a> ) .....	25
Ilustración 25. Interacción agua-fachada (Adell, y otros) .....	26

---

Ilustración 26. Desprendimiento del agua por la fachada para diferentes inclinaciones (Soria, y otros, 2006) .....	29
Ilustración 27. Modelos de suciedad originados por el lavado del agua que escurre sobre la fachada (Adell, y otros) .....	31
Ilustración 28. Discontinuidad en cambios de planos (Monjo Carrio, 1994) .....	33
Ilustración 29. Grietas producidas en la fachada por esfuerzos higrotérmicos (Soria, y otros, 2006) .....	36
Ilustración 30. Juntas de retracción (Adell, y otros) .....	38
Ilustración 31. Estructura metálica afectada por corrosión ( <a href="http://shorturl.at/asDMO">shorturl.at/asDMO</a> ) .....	39
Ilustración 32. Marquesina metálica con signos de oxidación .....	39
Ilustración 33. Corrosión localizada en acero ( <a href="http://cort.as/-LEvI">http://cort.as/-LEvI</a> ).....	41
Ilustración 34. Corrosión por picadura en aluminio (blog, 2016) .....	41
Ilustración 35. Corrosión bajo tensión ( <a href="http://cort.as/-LLBd">http://cort.as/-LLBd</a> ).....	43
Ilustración 36. Ejemplo de marcado CE (ASEFAVE) .....	50
Ilustración 37. Sellado marca AENOR (AENOR, 2011).....	52
Ilustración 38. Sello QUALICOAT (QUALICOAT, s.f.) .....	53
Ilustración 39. Proceso de inspección de los productos licenciables (AEA, s.f.).....	54
Ilustración 40. Empleo de las etiquetas de la marca de calidad (AEA, s.f.).....	55
Ilustración 41. Sello QUALISTEELCOAT (QUALISTEELCOAT, s.f.).....	56
Ilustración 42. Diagrama de Gantt.....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de patologías .....	17
Tabla 2. Resistencia al vapor de agua (Adell, y otros).....	19
Tabla 3. Coeficientes de dilatación lineal térmica de los metales (Monjo Carrio, 1994).....	36
Tabla 4. Resistencia a la corrosión de los recubrimientos galvanizados (METELMEX, s.f.) .....	46
Tabla 5. Tareas diagrama de Gantt.....	58
Tabla 6. Partida de horas internas .....	59
Tabla 7. Partida de amortizaciones.....	60
Tabla 8. Partida de gastos .....	60
Tabla 9. Presupuesto.....	60
Tabla 10. Acero inoxidable empleado en fachadas .....	I
Tabla 11. Protección y acabado de materiales metálicos (Adell, y otros) .....	II
Tabla 12. Clasificación de los elementos en función de su corrosividad (QUALISTEELCOAT, s.f.) .....	III

## TABLA DE ACRÓNIMOS

AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación
CE	Conformidad Europea
CEN	Comité Europeo de Normalización
CPF	Control de producción de fábrica
CTE	Código Técnico de la Edificación
Pv	Presión de vapor
ti	Temperatura interna
tr	Temperatura de rocío

## DATOS BÁSICOS DEL PROYECTO

- **Alumna:** Patricia Fernández García
- **Directora:** Leire Garmendia Arrieta
- **Departamento:** Departamento de Ingeniería Mecánica
- **Título del trabajo:** Patologías y soluciones de intervención en fachadas ligeras metálicas

## RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

- **Resumen:** Ante el desarrollo de nuevos materiales en la industria y su aplicación en la construcción, surgen nuevos tipos de fachadas, como las metálicas, más ligeras y con características de diseño variadas, cuyas patologías son más desconocidas. Este trabajo tiene como objeto la investigación de dichas lesiones, las cuales dependerán de las condiciones atmosféricas, del material y tratamientos empleados o de la exposición de la fachada. Asimismo, se presentarán los diferentes procesos de reparación a llevar a cabo para prevenir o reparar cada tipo de lesión, en función de sus características. Finalmente, se analizan las condiciones a cumplir por las fachadas ligeras, así como la normativa de obligatorio cumplimiento de estas edificaciones y sus acreditaciones voluntarias.

**Palabras clave:** fachadas ligeras, patologías, reparación, normativa, sello de calidad

- **Abstract:** The development of new materials in the industry and their application in the building sector has led to the appearance of new facades, as the metallic ones. These light solutions, with different finishing options, are new building solutions which pathologies are unknown compared to the lesions that take place on heavy buildings. The aim of this report is to analyze the different pathologies that can arise in this kind of buildings, which are dependent on the atmospheric conditions or the metal used. Afterwards, the different repair solutions for each kind of lesion are explained. Likewise, the characteristics that the metallic buildings have to fulfil and the normative, either compulsory and additional ones, are exposed.

**Key words:** light facade, pathology, repair, standards, seal of quality

- **Laburpena:** Material berrien garapenarekin batera industrian eta euren erabilera eraikuntzan, fatxada mota berriak agertzen dira, metalikoak, arinagoak eta patologia ezezaguneko diseinu ezaugarri askotarikoak. Lan honen helburua aipatutako lesioen inbestigazioa da, baldintza atmosferikoen, erabilitako metal motaren eta fatxadaren



esposizioaren menpekoak direnak. Gainera, konpontzen prozesu ezberdinak azalduko dira lesio mota horietako bakoitza saihestu eta konpontzeko, lesio mota bakoitzaren ezaugarrien arabera. Azkenik, fatxada arinek bete beharreko baldintzak eta eraikuntza haun derrigorrezko betetze arauak eta bere borondatezko akreditazioak aztertuko dira.

**Gako hitzak:** Fatxada arinak, patologiak, konponketa, araudia, kalitate zigilua

**Agradecimientos:**

*Este trabajo ha sido realizado en el marco de las actividades del grupo de investigación del Gobierno Vasco IT1314-19*

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se desarrolla el Trabajo de Fin de Grado titulado: “Patologías y soluciones de intervención en fachadas ligeras metálicas” del Grado en Ingeniería en Tecnología Industrial de la Escuela de Ingeniería de Bilbao (EIB). Este trabajo se enmarca dentro de la especialidad de Construcción del departamento de Ingeniería Mecánica.

Dicho estudio consiste en el análisis de diferentes aspectos de las fachadas metálicas, muy empleadas en la actualidad. El desarrollo de esta investigación se lleva a cabo de la siguiente manera.

En primer lugar, se contextualiza el trabajo mediante la explicación de los conocimientos básicos necesarios a cerca de los cerramientos, tanto verticales como horizontales. Asimismo, en esta sección se desarrollan varias clasificaciones de dichos cerramientos, estudiándose más en profundidad las particularidades de las fachadas, caso que ocupa la presente investigación.

A continuación, se presentan diversas patologías que pueden surgir en cerramientos verticales metálicos, para a posteriori plantear las posibles prevenciones a tener en cuenta o reparaciones a llevar a cabo de las mismas.

Posteriormente, se detallan las normativas de obligatorio cumplimiento que deben verificar las fachadas ligeras, así como algunos sellos voluntarios de las fachadas metálicas que certifican la calidad de éstas.

Por último, se presentan las conclusiones extraídas del análisis realizado durante el trabajo.

## 2. CONTEXTO

Con el comienzo de la construcción en la antigüedad, tuvo lugar la creación de las fachadas pesadas, cuyo material principal era la piedra. Sin embargo, con el avance de los años, las técnicas constructivas fueron mejorando y dando lugar a otros materiales como el hormigón y los materiales cerámicos, muy empleados en la actualidad en edificios de viviendas.

Sin embargo, la investigación de las características de materiales, hasta ese momento desconocidos en la construcción, y el afán de mejorar las prestaciones y ligereza de las fachadas dieron lugar a las fachadas ligeras. Este tipo de edificaciones han permitido una mejora de los tiempos en la construcción, así como la realización de diseños más innovadores y vanguardistas. En este tipo de fachadas se pueden encontrar los muros cortina de vidrio, las fachadas mixtas o las fachadas metálicas, objeto de estudio de este trabajo.

Las fachadas metálicas han ido abarcando cada vez más terreno y han sido empleadas cada vez más en edificios con diferentes finalidades, como aeropuertos, hospitales, edificios de oficinas o centros comerciales. Este tipo de edificaciones no se restringen únicamente a obras de nueva construcción, si no que pueden emplearse en obras de rehabilitación, convirtiéndolas en edificaciones versátiles.

Debido a las satisfactorias propiedades que presentan, entre ellas, la resistencia al impacto, la estanqueidad o la durabilidad, resulta de gran interés el estudio de sus prestaciones y patologías de cara al crecimiento de su utilización en la construcción de forma más común.

### 3. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo principal de este trabajo es analizar las diferentes lesiones que pueden originarse en las fachadas metálicas, tanto a nivel superficial como a nivel más interno.

Como objetivos secundarios y derivados del objetivo principal, se plantean:

1. Llevar a cabo un análisis exhaustivo de las patologías y las posibles soluciones a llevar a cabo para su reparación.
2. Examinar no solo las reparaciones, si no las posibles prevenciones a tener en cuenta para evitar la aparición de lesiones.
3. Estudiar las normativas de obligatorio cumplimiento que establecen las características de mínimo cumplimiento por parte de las edificaciones.
4. Establecer los sellos de calidad voluntarios de interés en fachadas metálicas.

## 4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

El desarrollo de esta investigación implica unos beneficios, tanto a nivel personal como a nivel técnico o laboral.

### 4.1. Beneficios personales

En cuanto al ámbito académico, este trabajo permite llevar a cabo un análisis profundo de los conocimientos de construcción, especialmente de los de fachadas. Asimismo, se ponen en práctica algunas de las asignaturas estudiadas a lo largo del grado.

Por una parte, se integran los conocimientos básicos de construcción a cerca de la tipología estructural de las edificaciones y las solicitaciones a las que pueda verse sometida adquiridos en las asignaturas de “Elasticidad y resistencia de materiales” y “Cálculo elástico de sólidos”.

Por otra parte, el trabajo se caracteriza por los materiales empleados, los metales, y los comportamientos de estos ante las diversas condiciones externas a las que son sometidos, entre ellas la corrosión. Por lo que serán necesarios los conceptos de las asignaturas “Fundamentos de Ciencia de Materiales” y “Ciencia e Ingeniería de Materiales” en la que se ampliaron los conocimientos acerca de los comportamientos de los metales.

Cabe mencionar, que se adquirieron nuevos conocimientos en lo relativo a las fachas y en especial las fachadas ligeras y metálicas con el desarrollo del presente documento.

### 4.2. Beneficios técnicos

En lo que al beneficio laboral se refiere, se destaca la elaboración de un trabajo extenso cercano a lo que realmente puede llegar a ser un proyecto de ingeniería.

Por una parte, se requiere la búsqueda de información y bibliografía, adaptando la misma al caso de estudio y obteniendo las conclusiones pertinentes.

Por otra parte, se requiere la planificación de las sesiones de trabajo, estableciendo plazos de entrega, así como la elaboración de un presupuesto desglosado, aspectos que se requerirán al alumno en el futuro laboral.

## 5. ESTADO DEL ARTE

### 5.1. Introducción a los cerramientos

Se define como cerramiento, en base al Código Técnico de la Edificación (CTE), como “Cualquier porción de la envuelta del edificio cuya superficie sea mayor de 0,5 m<sup>2</sup> y separe el interior del edificio del exterior, de un espacio no acondicionado, de un espacio no habitable o de un edificio adyacente. Comprende las cubiertas, suelos, huecos, fachadas y medianeras”. Asimismo, son los responsables de modificar las condiciones exteriores con el propósito de generar otras condiciones interiores y de proteger el edificio de agentes exteriores. Con el objetivo de verificar una cierta habitabilidad y seguridad se deben cumplir las exigencias básicas de seguridad estructural, de seguridad en caso de incendio, de seguridad de utilización y accesibilidad, resistencia y estabilidad, aptitud al servicio, seguridad en caso de incendio, seguridad de utilización y accesibilidad, de salubridad, de protección frente al ruido y de ahorro energético establecidas en el CTE (CTE, s.f.)

Dado que los cerramientos se encuentran en contacto con el exterior, las acciones exteriores pueden clasificarse en naturales o no naturales. En el caso de las acciones naturales, son cambiantes y pueden ser combatidas, por ejemplo, las meteorológicas o las debidas al ruido y el fuego. Por otra parte, las acciones no naturales, se deben a la presencia y las acciones de los seres humanos, entre ellas destacan las debidas al nivel acústico, a la contaminación atmosférica o aquellas que se producen de manera accidental (Sánchez-Ostiz Gutiérrez, Cubiertas, 2002).

Como se ha mencionado en la definición de cerramiento, existen diferentes tipos de cerramientos, sin embargo, este trabajo destacará únicamente los verticales y los horizontales, denominadas fachadas y cubiertas respectivamente. A continuación, se procederá a una introducción de cada una de ellos, profundizando en las fachadas, dado que es el objeto de este trabajo.

### 5.2. Cerramientos horizontales – Cubiertas

Reciben el nombre de cubierta aquellos elementos que componen el cerramiento horizontal o superior de las edificaciones. Midiéndose desde el acabado superior, en contacto con el ambiente, y la superficie inferior del último techo habitable (Sánchez-Ostiz Gutiérrez, Cubiertas, 2002). El objetivo principal de las cubiertas es proteger de agentes externos a las edificaciones, así como proporcionar aislamiento térmico y acústico, debiendo verificar ciertas condiciones o exigencias.

Cabe mencionar que estas pueden clasificarse según diferentes criterios en base a los cuales puede establecerse dicha categorización. Sin embargo, se destacará únicamente la clasificación en base a dos criterios, según la geometría, el más común o general, y según el comportamiento higrotérmico.

### 5.2.1. Clasificación según su comportamiento higrotérmico

Existen dos tipos dentro de esta clasificación, las de cubierta caliente y las de cubierta fría. Las denominadas cubiertas calientes se caracterizan por no tener cámara de aire o tener cámara no ventilada. En el caso de no tener cámara de aire estarán formadas por una sola hoja, sin embargo, si están constituidas por dos hojas, estos formarán una cámara de aire totalmente cerrada. Por otra parte, en el caso de disponer de una cámara de aire ventilada, se tratará de cubiertas frías. En ambos casos, las hojas podrán estar compuestas por una o varias capas de materiales o componentes (Sánchez-Ostiz Gutiérrez, Cubiertas, 2002).

### 5.2.2. Clasificación según su geometría

Como se ha mencionado previamente, atiende a la clasificación más general de las cubiertas, distinguiéndolas en planas e inclinadas. A pesar de lo que su propio nombre indica, las cubiertas planas tienen, por lo general, una cierta pendiente, entre el 1 % y el 5 %, admitiéndose hasta un 15 % de pendiente dependiendo de sus características constructivas (Sánchez-Ostiz Gutiérrez, Cubiertas, 2002). Por otra parte, se distinguen como cubiertas inclinadas a aquellas que poseen una pendiente superior al 5 %, siendo más comunes en áreas con climatología lluviosa por su mejor evacuación del agua. No obstante, actualmente no se trata de un factor decisivo debido a los sistemas de impermeabilización contemporáneos (Trujillo Cebrián, 2000).



Ilustración 1. Cubierta plana (<http://cort.as/-LI2->)



Ilustración 2. Cubierta inclinada (<http://cort.as/-LI2B>)

### 5.3. Cerramientos verticales – Fachadas

Puede definirse como fachada a aquellos elementos verticales que separan el entorno exterior del interior de una edificación.

Al igual que ocurre con las cubiertas, las fachadas pueden clasificarse también en base a distintas condiciones; por ejemplo, en base a la su utilidad, a su comportamiento hidrotérmico, a su construcción o su composición. Dado que el criterio de clasificación según su comportamiento hidrotérmico presenta prácticamente las mismas características que para las cubiertas, no será objeto de análisis en este caso. El estudio se centrará en la clasificación según su construcción y según su composición (Sánchez-Ostiz Gutiérrez, Fachadas - Cerramientos de edificios, 2011).

#### 5.3.1. Clasificación según su construcción

En esta sección, se pueden distinguir dos tipos principales de fachada, las fachadas tradicionales y las fachadas industrializadas. Las primeras se caracterizan por el empleo de técnicas de obras de fábrica compuestas de piezas unidas mediante mortero, mientras que las fachadas industrializadas presentan componentes contemporáneos, fabricados en taller, y montados mediante uniones secas (Sánchez-Ostiz Gutiérrez, Fachadas - Cerramientos de edificios, 2011).

#### 5.3.2. Clasificación según su composición

La elección de los materiales a emplear en la edificación cobra un papel importante, ya que dependiendo del material elegido las características constructivas, con el fin de cumplir los requerimientos del CTE, serán diferentes. Por tanto, pueden destacarse dos grandes grupos: las fachadas ligeras y las fachadas pesadas.

### 5.4. Fachadas pesadas

Se trata de aquellos cerramientos verticales que se caracterizan por estar formadas por materiales pesados, como la piedra, el hormigón o la cerámica, y poseer un considerable espesor. Este tipo de construcciones eran características de épocas pasadas, no obstante, esta condición no implica que este tipo de materiales no se sigan empleando en la época actual (Garí & Soto, 2002).



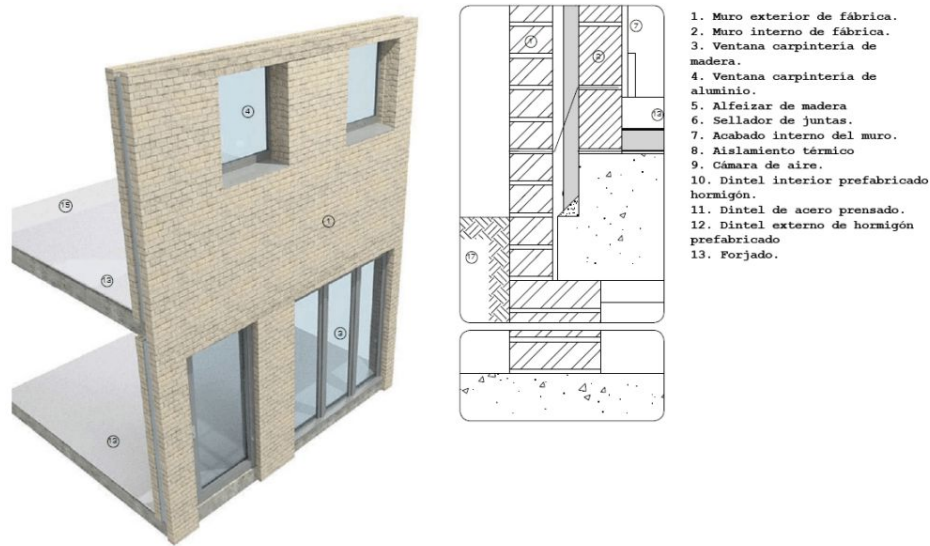


Ilustración 3. Sistema de fachadas pesadas (<http://cort.as/-LI3F>)

### 5.5. Fachas ligeras

El CTE<sup>1</sup> define las fachadas ligeras como “Fachada continua y anclada a una estructura auxiliar, cuya masa por unidad de superficie es menor que 200 kg/m<sup>2</sup>” (CTE, s.f.). Asimismo, estos materiales nunca cumplen una función estructural, si no que forman parte de su envolvente, estando formada estas, por lo general, por una estructura de montantes verticales y otros transversales. (Promateriales).

Este tipo de fachadas, como su propio nombre indica, se caracterizan por su pequeño espesor y su poco peso. Debido a ello, no pueden garantizar un aislamiento eficaz del ruido ni contribuir a la estabilidad de la estructura. Asimismo, esta condición de ligereza implica que generalmente

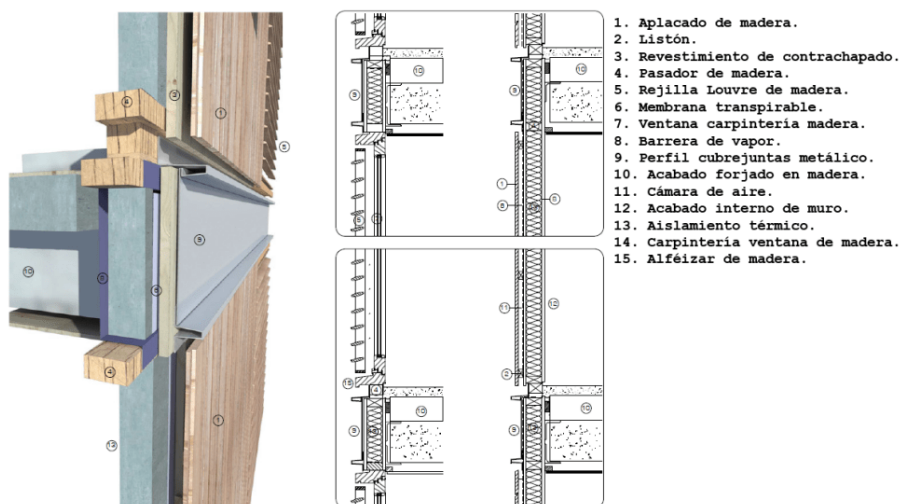


Ilustración 4. Sistema de fachadas ligeras (<http://cort.as/-LI3Z>)

<sup>1</sup> CTE (septiembre 2009) – DB - HR A-6

estén formadas por materiales no tradicionales sustentados por una subestructura o por la estructura resistente del edificio (Sánchez-Ostiz Gutiérrez, Fachadas - Cerramientos de edificios, 2011). A pesar de que se podría dudar de su cumplimiento en cuanto a los requisitos de aislamiento térmico y acústico o de estanqueidad frente al agua, la comercialización de las espumas poliméricas resuelve este problema (Garí & Soto, 2002). Existen múltiples clasificaciones en función de las cuales se pueden catalogar estas fachadas, sin embargo, se destacarán las tres principales: tipo constructivo, tipo arquitectónico y tipo de montaje.

#### 5.5.1. Clasificación según su construcción

Dentro de esta clasificación podemos encontrar dos tipos, basados en la relación constructiva entre la fachada ligera y los forjados de la estructura. La primera de ellas, conocida como muro cortina, se da cuando la fachada auxiliar está suspendida de los forjados y la fachada pasa de forma continua por ellos. Sin embargo, cuando se interrumpe en cada panel, de forma que la fachada se apoya en el forjado, definiendo zonas independientes, se está hablando de las denominadas fachadas panel, siendo ésta la fachada tradicional. En las siguientes ilustraciones (Ilustración 5 y Ilustración 6) se puede apreciar de forma gráfica lo definido.

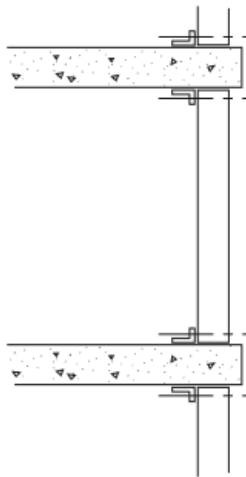


Ilustración 5. Fachada panel  
(Sánchez-Ostiz Gutiérrez,  
Fachadas - Cerramientos de  
edificios, 2011)

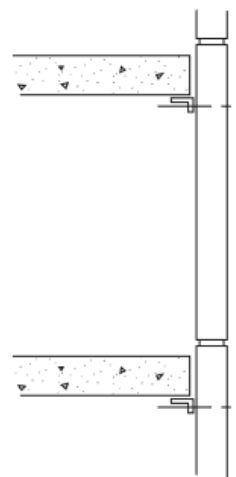


Ilustración 6. Muro cortina  
(Sánchez-Ostiz Gutiérrez,  
Fachadas - Cerramientos  
de edificios, 2011)

#### 5.5.2. Clasificación según el tipo arquitectónico

Las fachadas ligeras presentan una tecnología flexible y completa, lo que permite que adopten diferentes estilos arquitectónicos. Se pueden destacar los siguientes aspectos arquitectónicos:

- *Trama reticular*: se caracteriza por la abundancia de líneas horizontales y verticales debido a módulos muy marcados y a las tapas exteriores.

- *Trama horizontal:* su principal característica es la otorgación de mayor protagonismo visual a la horizontalidad, mediante la utilización de perfiles horizontales de mayor sección con respecto a los verticales.
  - *Trama vertical:* se trata del caso opuesto al presentado en la sección anterior. Pero en este caso, toman el protagonismo los perfiles verticales, creando una sensación de esbeltez.
  - *Silicona estructural:* su característica principal es que las lunas se encuentran pegadas sobre los perfiles mediante silicona estructural; proporcionando, así, un aspecto de inmaterialidad.
  - *Vidrio abotonado:* el vidrio se encuentra sujetado de forma puntual, siendo amarrado a la estructura auxiliar mediante elementos metálicos con forma de araña. Debido a este tipo de sujeción, estas fachadas se caracterizan por proporcionar una gran luminosidad.
- Vidrio enmarcado:* están formadas por retículas de vidrio independientes enmarcadas por un perfil.

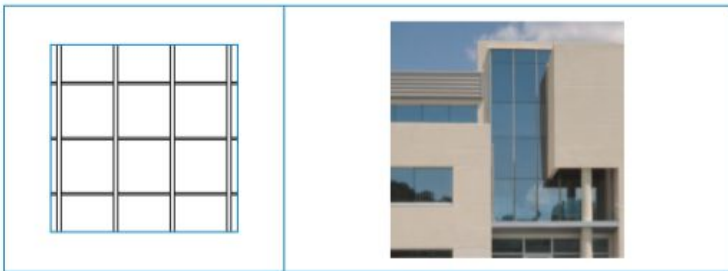


Ilustración 7. Trama vertical (Zamora i Mestre & Calderón, 2015)



Ilustración 8. Vidrio abotonado (Zamora i Mestre & Calderón, 2015)



Ilustración 9. Silicona estructural (Zamora i Mestre & Calderón, 2015)



Ilustración 10. Vidrio enmarcado (Zamora i Mestre & Calderón, 2015)



Ilustración 11. Trama reticular (Zamora i Mestre & Calderón, 2015)

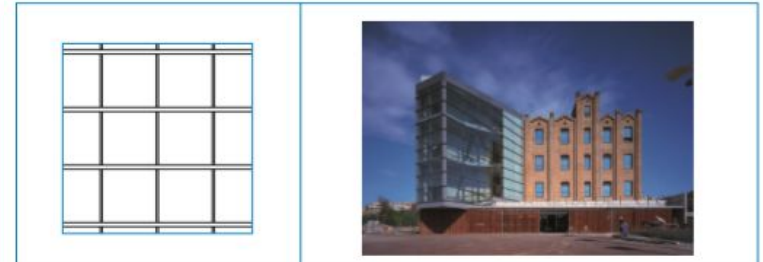


Ilustración 12. Trama horizontal (Zamora i Mestre & Calderón, 2015)

### 5.5.3. Clasificación según su tipo de construcción

En función del proceso seguido para la construcción, la fabricación y el montaje, se pueden destacar tres sistemas. Por una parte, se encuentra el sistema modular, caracterizado por la fabricación de módulos acabados, poseyendo su propio anclaje y siendo constructivamente independientes. El sistema convencional, sin embargo, consiste en fabricar los perfiles montantes y travesaños, así como los elementos de fijación, para posteriormente ensamblar los perfiles en la obra de forma individualizada. Su principal inconveniente es la eficiencia, ya que existen múltiples conexiones y juntas. Finalmente, se puede destacar el sistema semimodular, que es un caso intermedio entre los explicados previamente (Zamora i Mestre & Calderón, 2015).

### 5.5.4. Materiales en fachadas ligeras

Existe una gran variedad de materiales que pueden emplearse para la construcción de estas edificaciones; siempre y cuando cumplan las condiciones de baja densidad y bajo peso, así como la normativa requerida. Entre ellos, se pueden destacar los vidrios, generalmente el material más empleado, algunos metales, como el aluminio, el acero o el titanio, o polímeros como el composite.

Puesto que este trabajo se centra en el análisis de las fachadas metálicas, a continuación, se presentarán algunos de los metales más empleados en fachadas.

#### 5.5.4.1. Cobre

El cobre es el tercer metal más usado en el mundo. Presenta una gran ligereza, alta maleabilidad y ductilidad, además, de ser un metal bastante económico, lo que le convierte en un material ideal para múltiples usos (Raffino, 2018). La mejor característica que presenta el cobre es su gran resistencia a la corrosión y la oxidación, es decir, sigue padeciendo las consecuencias de la



*Ilustración 13. Fachada de cobre en construcción (García Olmos & Pérez Navarro)*

corrosión, pero en una menor escala. Ya que sus características mecánicas no son muy destacables, presenta un bajo límite elástico, en torno a 33 MPa (García Olmos & Pérez Navarro).

#### 5.5.4.2. Zinc

El zinc permite proporcionar buenas propiedades mecánicas y químicas, así como buenos acabados arquitectónicos, teniendo una buena relación calidad-precio (Obralia - Quinta metálica). Además, presenta una buena resistencia mecánica y una buena capacidad de protección, por lo que, se utiliza, principalmente, como galvanizador de otros metales. Por lo general, tiene un buen comportamiento ante los agentes externos, convirtiéndole en un material idóneo en construcción (RecemsA, 2014).

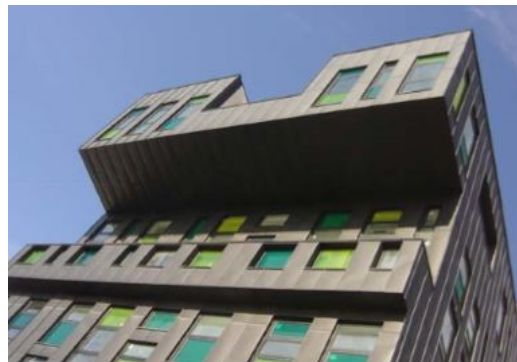


Ilustración 14. Fachada de zinc (Obralia - Quinta metálica)

#### 5.5.4.3. Titanio

El titanio se caracteriza por su dureza y su ligereza, sus hojas son aproximadamente de 1,35-1,8 kg/m<sup>2</sup>, lo que le proporciona una alta relación resistencia/peso (Conejo, s.f.). Asimismo, es capaz de soportar altas temperaturas. Estas características le han convertido en un material empleado en numerosos campos, entre ellos, la construcción (Rocas y minerales, s.f.). A parte de lo mencionado anteriormente, también posee una buena resistencia a la degradación atmosférica y a la corrosión. Cabe mencionar, que el titanio presenta un elevado precio, no obstante, cada vez es más común su empleo en la construcción. Uno de sus aplicaciones más reconocida en fachadas, es el Museo Guggenheim Bilbao diseñado por el arquitecto Frank Gehry.



Ilustración 15. Museo Guggenheim Bilbao con fachada de titanio (<http://cort.as/-LBxn>)



#### 5.5.4.4. Acero inoxidable

Se trata de una aleación de Hierro (Fe) y Carbono (C), con un porcentaje de C inferior al 2%. En algunos casos, a esta aleación pueden añadirse otros como el Cromo (Cr), el Níquel (Ni) o el Manganeso (Mn). En función de si se añaden estos compuestos mencionados y de las cantidades, se podrán establecer distintos tipos de aceros inoxidables y con diferentes propiedades. Además, presenta una alta resistencia a la corrosión, debido a la formación de una capa pasivadora, por lo que no experimentará apenas cambios antes este fenómeno. Sin embargo, como característica general, se puede destacar su elevada resistencia a la corrosión, debido a la formación de una capa pasivadora, así como sus excelentes propiedades mecánicas. En el Anexo I se muestran las principales cualidades del acero inoxidable empleado en fachadas.



Ilustración 16. Hospital San Pedro (Logroño) con fachada de acero inoxidable (<http://cort.as/-LByj>)

#### 5.5.4.5. Chapa lacada

Estas chapas están constituidas por materiales metálicos sobre los que se aplican recubrimientos que les proporcionan su color final. Se trata de las chapas más empleadas en la industria debido a su diseño, su resistencia y su versatilidad. Además de estas características presenta otras ventajas más, entre ellas, su resistencia a la corrosión, su resistencia mecánica o su sencillo

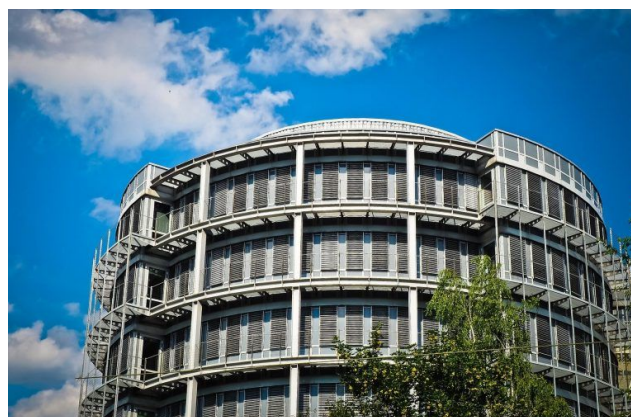


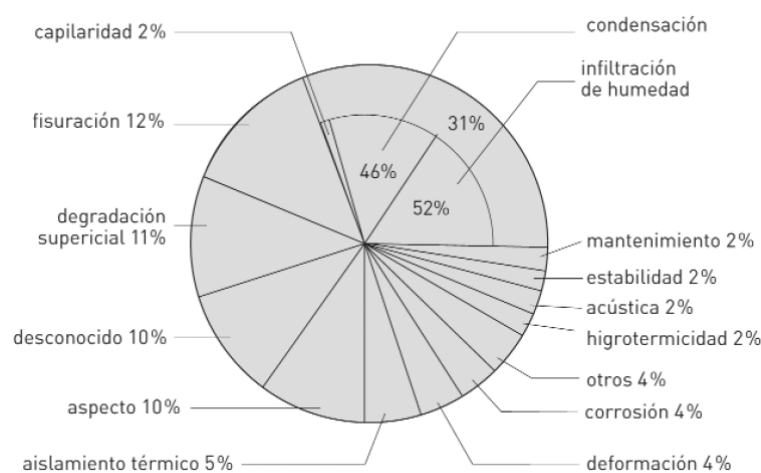
Ilustración 17. Fachada formada por chapas lacadas (Cubiertas del centro, s.f.)

montaje (CDL, s.f.). La textura que presentan estas chapas puede ser de tres tipos: lisa, ondulada o trapezoidal. Las fachadas elaboradas con este material pueden ser muy diversas y con diferentes propiedades. Entre los tipos se encuentran: las fachadas con panel sándwich, las fachadas de chapa galvanizada, las fachadas con chapas microperforadas o las fachadas de chapa colaborante. Las diferencias de precio entre cada tipo de fachada de este material son notorias, siendo las chapas galvanizadas las más económicas y las de paneles sándwich las más caras (Cubiertas del centro, s.f.)

## 8. PATOLOGÍAS Y SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS EN FACHADAS METÁLICAS

Este capítulo tiene como objeto analizar los problemas constructivos o lesiones, conocidos como patologías, que pueden darse en una edificación metálicas; así como, exponer las correspondientes soluciones necesarias para cada patología.

Puesto que las fachadas se encuentran expuestas al exterior, tiene lugar una degradación de estos cerramientos, superponiéndose las causas físico-químicas con las de origen térmico o mecánico (Soria, y otros, 2006). Debido a ello, es necesario un estudio patológico de modo que pueda obtenerse un diagnóstico. El siguiente paso, se corresponde con la anulación de las causas que puedan provocar dichas patologías, para finalmente reparar las lesiones y rehabilitar el edificio (Adell, y otros). A continuación, se presenta un gráfico acerca de las causas principales de deterioro en las obras de fábrica.



*Ilustración 18.* Diagrama del estudio sobre las causas de deterioro en la obras de fábrica. Bélgica 1977-1979 (Soria, y otros, 2006)

Sin embargo, no todas ellas están presentes en las fachadas de carácter metálico. Por ello, y para facilitar el estudio de estas patologías, se clasificarán según su causa en tres grandes grupos: físicas, mecánicas y químicas. A continuación, se muestra una tabla donde aparecen los distintos tipos, así como los diferentes casos que se expondrán a posteriori.

Tabla 1. Tipos de patologías

Tipo	Tipo de lesión
Físicas	- Humedades - Suciedad
Mecánicas	- Grietas y fisuras
Químicas	- Oxidación y corrosión

## 5.6. Lesiones físicas

Se trata de todas aquellas lesiones cuyo origen es de tipo físico, como corrientes de viento o penetraciones de agua, y cuya evolución dependerá, también, de procesos de carácter físico (Monjo Carrio, 1994). Dentro de esta tipología pueden encontrarse diversos casos, como los que se muestran en las siguientes secciones.

### 5.6.1. Humedades

Como se mencionó previamente, los cerramientos actúan como capa protectora frente a agentes externos, sufriendo grandes agresiones físicas. Cuando se dan condiciones meteorológicas de lluvia o casos de humedad relativa, suelen aparecer cantidades incontables de agua en el ambiente, produciendo las lesiones conocidas como humedades. Estas humedades pueden hallarse de distintas maneras, en forma de lámina de agua, en la superficie o en forma de gotas microscópicas. Es conocido, que en épocas de lluvia o altas humedades será inevitable la presencia de humedad, por lo que será aceptable hasta su secado natural. En función de la causa que origina la aparición de la humedad, se puede establecer la siguiente clasificación para las fachadas metálicas.

#### 5.6.1.1. Humedad de filtración

Se produce debido a la filtración de agua hacia al interior de la fachada, pudiendo producir manchas o goteras en la misma. El agua puede penetrar a través de juntas, grietas producidas por otro tipo de lesiones o huecos de unión entre chapa y carpintería. Asimismo, en los encuentros entre dos planos perpendiculares en los que falla el material de sellado, la filtración se facilitará por la junta (Monjo Carrio, 1994).



En los casos en los que exista una presión hidrostática del agua sobre la fachada la filtración se verá aumentada, no obstante, por lo general la filtración aparecerá por la absorción del agua de lluvia sin la presencia de dicha presión. En las situaciones en las que existan plataformas horizontales o ligeramente inclinadas debidas a la geometría de la fachada habrá una mayor acumulación de agua, intensificándose, así, la filtración del agua (Adell, y otros).

A parte de lo mencionado previamente, algunos factores como el coeficiente higroscópico del material o las dificultades que puede imponer el sistema constructivo del cerramiento influenciarán la infiltración. La principal consecuencia de la existencia de humedades en la fachada son las manchas, que pueden aparecer en el exterior de la misma, aunque generalmente lo hacen en el interior del cerramiento (López Rodríguez, Rodríguez Rodríguez, Santa Cruz Astorqui, Torreño Gómez, & Ubeda de Mingo, 2004).

#### 5.6.1.2. Humedad de condensación

Se puede expresar como humedad de condensación a aquellas humedades que se producen debidas a la condensación de agua que tiende a atravesarlos por alcanzar en algún punto la temperatura de saturación o de rocío ( $t_r$ ), que dependerá de la presión del vapor de agua.

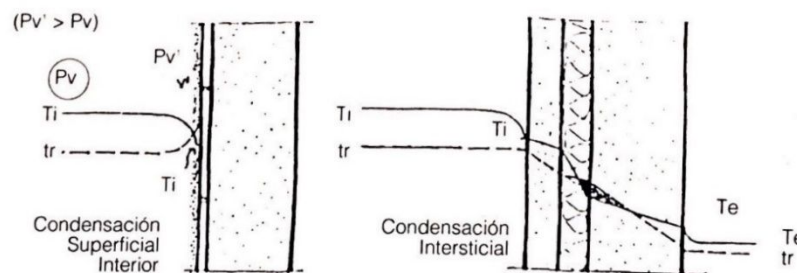


Ilustración 19. Humedades de condensación (Monjo Carrio, 1994)

La fachada actúa como una barrera que complica el equilibrio de presión de vapor deseable a ambos lados. Por ello, y como se observa en la Ilustración 19., aparece una corriente de vapor de agua, dependiente tanto de la presión de vapor como de la permisividad al paso de vapor de agua del material, que irá desde el ambiente de mayor presión al de menor presión (Adell, y otros). Como se ha mencionado, la permisividad dependerá del material del cerramiento; en la siguiente Tabla 2., se muestra la resistencia al vapor de agua de algunos materiales, entre ellos, las hojas de aluminio.

Tabla 2. Resistencia al vapor de agua (Adell, y otros)

Materiales en forma de lámina (1)	Resistencia al vapor (2)	
	MN s/g	mmHg m <sup>2</sup> día/g <sup>2</sup> cm
Hoja de aluminio de 8 micras	4000	347
Lámina de polietileno de 0.05 mm	103	9
Lámina de polietileno de 0.10 mm	230	20
Lámina de poliéster de 25 micras	24	2.08
Papel Kraft con oxiasfalto	9.7	0.84
Papel Kraft	0.43	0.037
Pintura al esmalte	7.5-40	0.65-3.48
Papel vinílico de revestimiento	5.10	0.43-0.86

(1) Pueden considerarse como barreras de vapor aquellos materiales laminares cuya resistencia al vapor está comprendida entre 10 y 230 MN s/g (0.86 y 20 mmHg m<sup>2</sup> día/g)

(2) Es el inverso de la permanencia al vapor

Las consecuencias de las humedades de condensación no son fácilmente detectables, ya que tienden a aparecer tiempo después, cuando se dan lesiones secundarias o manchas en el exterior (Soria, y otros, 2006).

En este fenómeno existen diferentes variantes en función de si se produce en el interior o si se presentan sales higroscópicas en el interior de los poros.

- *Condensación superficial interior*

Cuando la temperatura superficial interior es menor que la temperatura de rocío ( $t_i \leq t_r$ ), tiene lugar una condensación en la cara interior de la fachada. Este caso tendrá lugar generalmente cuando haya grandes aumentos de la presión de vapor. A pesar de ser menos frecuente, también puede suceder cuando la producción de vapor de agua sea más moderada (Monjo Carrio, 1994). La forma de aparición de la misma, dependerá en función de la superficie. Si la superficie es pulida, caso más habitual en metales, se formarán gotas de agua; sin embargo, si es porosa el agua se retendrá en los poros, dando lugar a la formación de una mancha o un desprendimiento de pintura. Por lo general

- *Condensación intersticial*

Se denomina condensación intersticial, cuando el fenómeno de condensación tiene lugar en algún punto del interior del cerramiento y su temperatura es inferior a la de rocío, ocurriendo debido a que el vapor pierde presión cuando atraviesa la fachada. Este tipo de condensación depende de varios factores, entre ellos, la cantidad de vapor de agua que atraviesa el cerramiento, el gradiente de temperatura, la constitución del cerramiento, la disposición de las distintas capas del cerramiento y la permisividad del material, mencionada previamente (Adell, y otros).

Puesto que la temperatura de rocío se da en un punto interior del cerramiento, la detección de la lesión será compleja. Debido a esto, será necesario estudiar los gradientes de temperatura y de los enlaces constructivos. Además, cabe mencionar que en ocasiones pueden confundirse con humedades accidentales, que se estudiarán en la siguiente sección, siendo aún más difícil su detección (Soria, y otros, 2006).

### 5.6.1.3. Humedad accidental

Como su nombre indica, ocurre como consecuencia de causas accidentales, generalmente, roturas de conducciones de agua. Las consecuencias de esta humedad suelen ser visibles, ya que lo hacen como manchas en forma de nube circular o nube alargada. Dependiendo de la causa que ha dado lugar a la aparición de las humedades se pueden destacar tres subtipos.

- *Rotura por sobretensión*

La rotura por sobretensión en las conducciones se debe a cambios dimensionales ocasionados por las variaciones de temperatura sobre estas. Estos cambios de temperatura pueden producir contracciones o dilataciones del material de las conducciones, dando lugar a tensiones de tracción y cortantes respectivamente.

- *Rotura por acción mecánica*

Se debe a acciones puntuales que provocan la rotura de los conductos. Estas acciones pueden deberse tanto a obras de reparación del propio edificio o de su entorno como a movimiento térmicos o elásticos del edificio. En el primer caso pueden producirse golpes de piqueta mientras que en el segundo esfuerzos cortantes como aplastamientos, dando lugar ambos casos a una fractura de las conducciones.

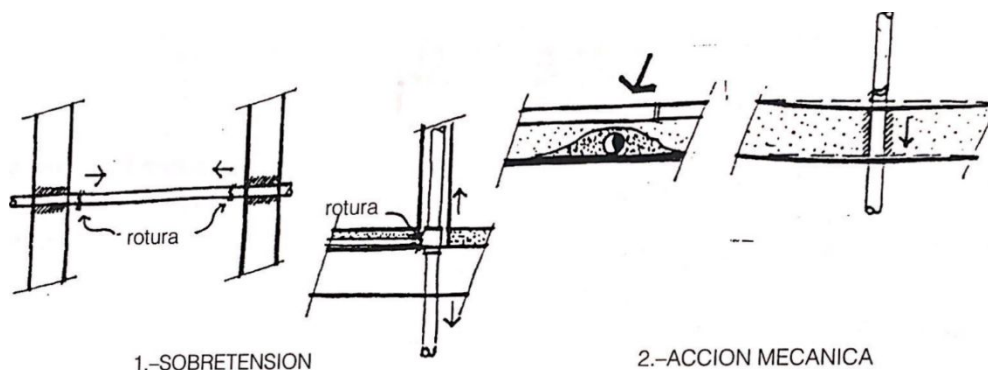


Ilustración 20. Rotura por sobretensión y por acción mecánica (Monjo Carrio, 1994)

- *Corrosión*

Tiene lugar cuando existen conductos metálicos que se ven desgastados como consecuencia de dos factores, el fluido que lo atraviesa o la aparición de pares galvánicos. En el primer caso, la corrosión que se da, es la conocida como corrosión por inmersión, en la que el metal es ionizado por el contacto con el agua. Por otra parte, los pares galvánicos aparecerán bien en la unión con otros elementos metálicos, debidos a alcálisis y ácidos contenidos en el material. Además, si existen humedades sobre la superficie de la conducción, estas facilitarán la propagación de la corrosión, la cual irá disminuyendo la sección del conducto hasta no poder soportar las tensiones presentes, produciendo la rotura de la misma (Monjo Carrio, 1994).

### 5.6.2. Prevención y reparación de las humedades

A continuación, se expondrán las posibles soluciones a las patologías expuestas previamente. En algunos casos, además de actuar sobre dichas patologías también será posible su prevención.

#### 5.6.2.1. Reparación de las humedades de filtración

Las soluciones a aplicar a las humedades de filtración dependerán tanto de la causa que las provoca como de la zona de la fachada en la que se presentan.

En los casos más superficiales podrá resolverse mediante la aplicación de un acabado impermeabilizante que permita respirar al cerramiento. Esta impermeabilización podrá lograrse mediante una pintura hidrófuga de poros abierto, como pinturas a base de siliconas, acrílicas o de silicatos (Monjo Carrio, 1994). La impermeabilización mediante estos tratamientos superficiales deberá permitir la transpiración siendo permeables al vapor del agua, así como seguir a la base en sus movimientos sin producir ningún tipo de fisuras o grietas (López Rodríguez, Rodríguez Rodríguez, Santa Cruz Astorqui, Torreño Gómez, & Ubeda de Mingo, 2004).

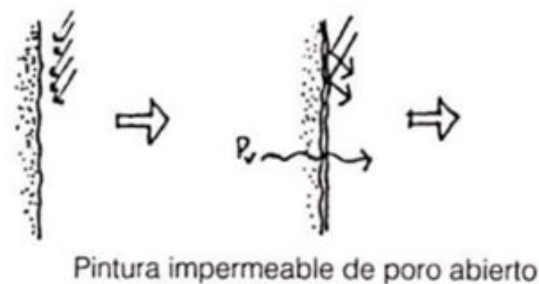


Ilustración 21. Reparación de humedades de filtración en paños ciegos porosos (Adell, y otros)

Estas soluciones suponen una modificación del aspecto inicial de la fachada, por lo que en el caso de que no se desee alterar dicho aspecto, será preferible emplear productos hidrofugantes a base siloxanos, que a pesar de variar el brillo no provocarán un cambio tan notorio.

Otra zona de las fachadas metálicas que tiende a sufrir humedades son las juntas constructivas, ya que favorecen la filtración. La medida a tomar ante las juntas, es su sellado si el elemento se encuentra en buen estado; si el estado es deficiente, deberá demolerse y reconstruirse (Soria, y otros, 2006).

#### 5.6.2.2. *Reparación de las humedades de condensación*

Este tipo de humedades puede ser prevenidas si se consigue establecer el equilibrio higrotérmico necesario. Para ello, sería necesario realizar un control de la humedad relativa, la producción de vapor de agua y su ventilación, así como de la temperatura de las paredes. Otra pauta a tener en cuenta para su prevención, sería acondicionar el coeficiente de transmisión térmica de los elementos con sus posibles puentes térmicos (López Rodríguez, Rodríguez Rodríguez, Santa Cruz Astorqui, Torreño Gómez, & Ubeda de Mingo, 2004).

- *Condensación superficial interior*

Ante este tipo de humedad puede actuarse de dos formas diferentes: preparando la superficie o evitando que haya condensación. Si se decide evitar la condensación, se deberá actuar sobre la temperatura, aumentando la temperatura interior ( $t_i$ ), o sobre la presión, disminuyendo la presión de vapor ( $P_v$ ). La actuación más conveniente para incrementar la temperatura interior es aumentar el coeficiente de aislamiento del cerramiento. Este aumento puede realizarse mediante diversas aplicaciones que se expondrán a continuación.

La primera de ellas, es el empleo de los denominados paneles sándwich, generalmente compuestos por chapas de acero y espuma de poliuretano inyectado. El poliuretano que lleva en su núcleo le confiere un buen aislamiento térmico, además de asegurar la ausencia de puentes térmicos en la chapa, convirtiéndole en un método idóneo para combatir el calor y las humedades. Cabe mencionar, que lo más recomendable sería instalar los paneles sándwich en la misma construcción del edificio (RAI PINTORES, s.f.)

Otra opción en fachadas metálicas, es realizar el aislamiento de la fachada desde el interior. Para ello, se coloca en el espacio intermedio entre fachada y muro portante materiales como el

poliestireno expandido o el poliestireno extruido, lo que permitirá una mejora de su aislamiento térmico.

Por otro lado, si se decide disminuir la presión de vapor, la única manera de hacerlo es disipar dicho vapor mediante ventilación natural o mecánica. La ventilación natural puede obtenerse mediante actuación en carpinterías y sistemas de obstrucción, así como realizando aperturas permanentes. Si se prefiere evitar que se produzca el fenómeno de condensación, se deberá colocar una superficie pulida e impermeable, de modo que no se vea afectada por el agua de condensación y permita su secado y limpieza. Este acabado pulido podrá realizarse mediante la aplicación de un esmalte o revestimiento plástico (Monjo Carrio, 1994).

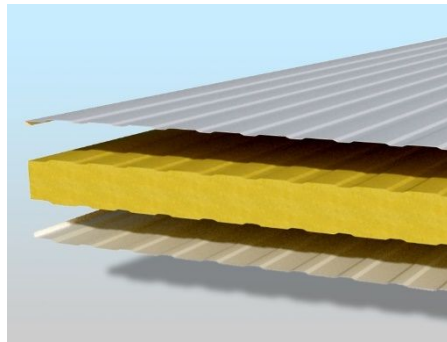


Ilustración 22. Panel tipo sándwich  
(<http://cort.as/-LOsO>)

- *Condensación intersticial*

La medida principal en este caso, es evitar que se alcance la temperatura de rocío en algún punto. Para ello, se podrá actuar aumentando la temperatura en el interior del cerramiento o disminuyendo la temperatura de rocío.

Si el objetivo es aumentar la temperatura, será necesario incrementar el coeficiente de aislamiento también. Para ello, podrá llevarse a cabo uno de los procedimientos expuestos en el apartado anterior.

En cambio, si se decide disminuir la temperatura de rocío, lo que implicará una disminución de la presión de vapor, se podrá aumentar la ventilación o emplear barreras de vapor. El aumento de ventilación implicará los mismos sistemas que en el caso anterior, por lo que no se procederá a su explicación. Por otra parte, la barrera de vapor puede lograrse mediante la adición de un acabado impermeable interior, como algunos tipos de papeles y acabados plásticos o planchas de cartón yeso con laminados vinílicos (Monjo Carrio, 1994).

### 5.6.2.3. Reparación de las humedades accidentales

El saneamiento de las humedades variará en función de la causa que lo han producido. Se trata de una reparación sencilla, ya que únicamente serán necesarias unas pocas medidas.

- *Rotura por sobretensión*

Si la causa principal es que no existe suficiente espacio entre el tubo y la sujeción que deje el suficiente espacio para su contracción y su dilatación, la medida a tomar será la introducción de la holgura suficiente entre los mismos. Dicha holgura, si la sujeción es continua, se podrá lograr mediante una coquilla continua, bien de espuma plástica, como el PVC, o bien mediante fibra de vidrio. En el caso de que la sujeción sea puntual, la coquilla se limitará únicamente a ese punto, pudiéndose recurrir a pasatubos (Adell, y otros).

- *Rotura por acción mecánica*

La forma de saneamiento en este caso es similar a la del caso anterior, ya que el objetivo principal es conseguir holgura entre tubo y sujeción. Si las acciones a las que se ven sometidas son debidas al uso, será necesaria una protección mediante elementos rígidos. Si, por el contrario, el conducto se encuentra por el pavimento, lo más adecuado será el uso de tubos o semitubos de acero (Monjo Carrio, 1994).

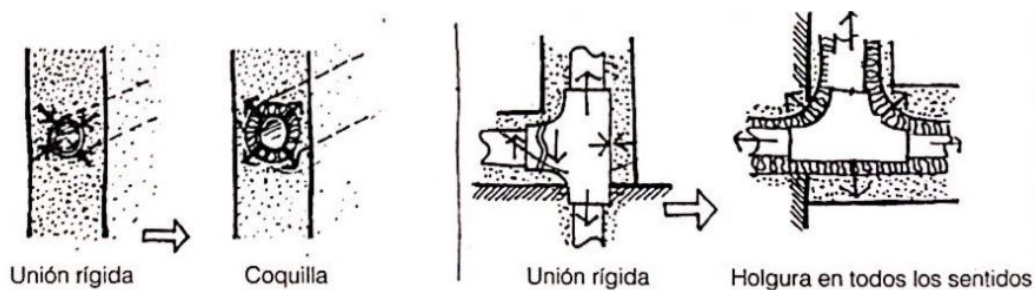


Ilustración 23. Saneamientos para roturas por sobretensión y por acciones mecánicas (Monjo Carrio, 1994)

- *Corrosión*

Para realizar el saneamiento de esta patología, será necesario un estudio previo del tipo de corrosión al que se ve sometido el conducto. Una vez identificado se pueden dar dos casos diferentes. Por una parte, la corrosión puede darse en la superficie exterior de la tubería debido a la acumulación de humedad; siendo necesaria una limpieza total de la superficie y la implantación de coquilla protectoras para su reparación. Si la corrosión se presenta como consecuencia del líquido que almacena la tubería, se deberá proceder a un cambio completo de todos los conductos. En el caso de que la corrosión se produzca como consecuencia del contacto entre dos elementos metálicos, la introducción de un manguito aislante podrá eliminar dicha



corrosión. Otra opción aplicable sería el cambio del conducto por otro de otro material metálico o de un material plástico (Monjo Carrio, 1994).

### 5.6.3. Suciedad

La suciedad en las fachadas puede definirse como la acumulación de partículas, principalmente en los edificios urbanos, en la superficie de los edificios o en los poros superficiales de los mismos. Las causas de la aparición de estas partículas dañinas, pueden deberse a causas naturales o bien a causas artificiales. Aquellas cuyo origen es natural, se deben principalmente a los procesos de los vegetales, por ejemplo, el polen de las flores y las semillas. Sin embargo, las debidas a fuentes urbanas, como el tráfico, e industriales, se denominan de origen artificial (Monjo Carrio, 1994).

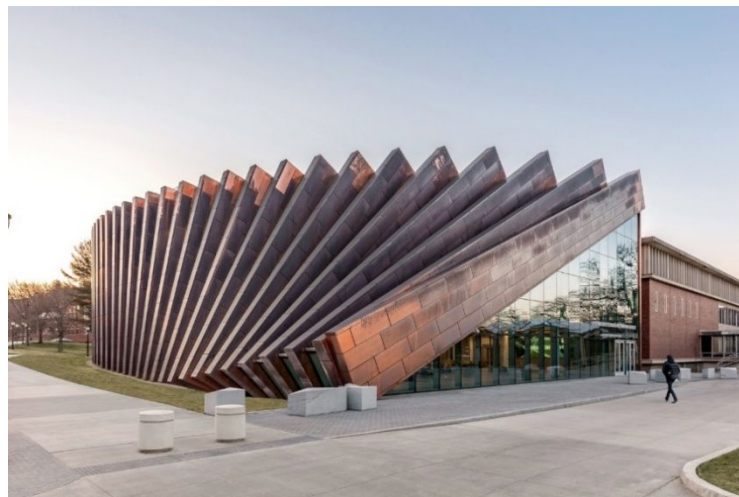
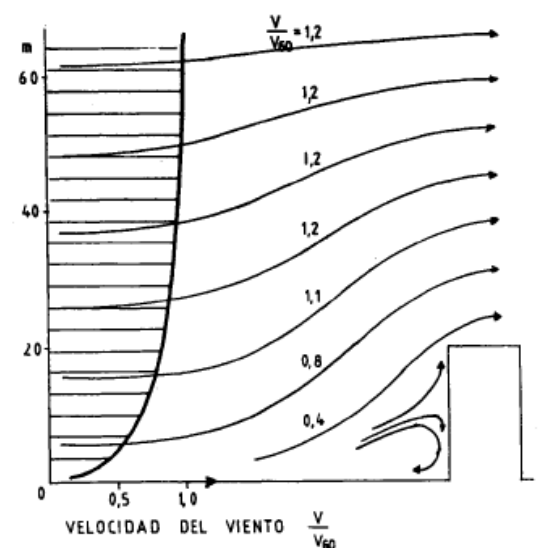


Ilustración 24. Centro de Innovación empresarial en la Escuela de Administración Iseberg (<http://cort.as/-LI5->)

Como puede observarse en la Ilustración 24. el ensuciamiento en fachadas metálicas provocará una variación en su color. Esta modificación, vendrá determinada por el tipo de material metálico escogido, en el caso del cobre, por ejemplo, este suele tender hacia un color verdoso.

#### Agentes naturales que influyen en el ensuciamiento de fachadas

Se pueden destacar una serie de factores que afectan en el transporte de los contaminantes y el ensuciamiento de las edificaciones.





Uno de ellos es el viento, el cual transporta una gran cantidad de contaminantes y varía su efecto en función de la velocidad, como se muestra en la imagen derecha. Además, cabe mencionar que los efectos del viento suelen ser mayores en las zonas más expuestas de las fachadas, como, por ejemplo: esquinas laterales o parte superior (León Vallejo).

Las partículas orgánicas o inorgánicas presentes en el aire que actúan como contaminantes se denominarán de diferente manera según su tamaño y su origen. Si su diámetro de encuentra entre 0,0001 y 0,1  $\mu\text{m}$ , se tratará de aerosoles, mientras que, si su diámetro es mayor y se encuentra entre 0,1 y 1000  $\mu\text{m}$ , se denominarán polvo atmosférico. En cuanto a su origen, podrán ser de origen natural, el poder ensuciante no será muy elevado, o de origen artificial, las cuales presentan un gran poder ensuciante, colores pardo, gris o negro, y diámetros superiores a 20  $\mu\text{m}$  (Larrauri Gil, Losada Rodríguez, Rojí Chandro, Cuadrado Rojo, & Carbajal de la Red, 2009).

Otro factor importante, es el agua. Al igual que el aire, el agua arrastra una gran cantidad de partículas contaminantes, pudiéndose producir dicha deposición mediante el agua de lluvia o el agua de condensación.

La deposición del agua de lluvia sobre la fachada tiene lugar de la siguiente forma:

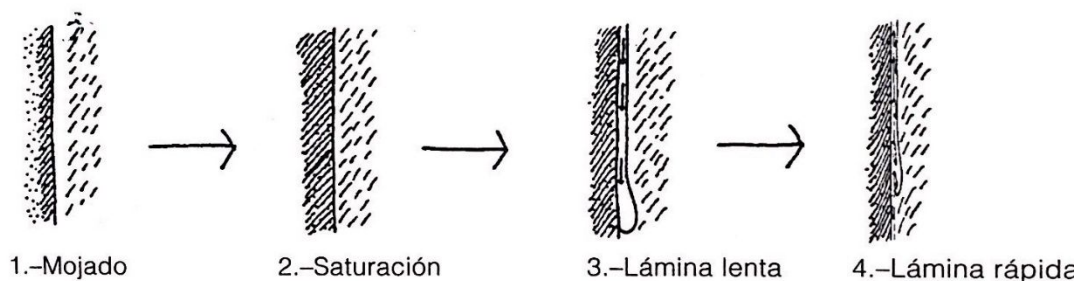


Ilustración 25. Interacción agua-fachada (Adell, y otros)

En la primera fase, las gotas caen y mojan paulatinamente la fachada, de modo que el agua se va absorbiendo en los poros de la edificación en función del coeficiente de succión del material. Posteriormente, se alcanza un punto en el que no es posible que penetre más agua en el material, provocando una saturación superficial del mismo. Debido a esto, el agua comienza a resbalar por la fachada formando una lámina de agua que succionará el agua absorbida previamente por los poros, lo que estimulará el arrastre de las partículas ensuciantes que habían penetrado hacia el exterior (Monjo Carrio, 1994). La velocidad a la que esta agua desciende por la fachada dependerá del espesor de la lámina de agua formada. En materiales menos porosos,

como los metálicos, la capacidad de absorción de agua será menor y, por lo tanto, saturará antes, dando lugar capas de agua más gruesas y que descienden a menor velocidad.

Por otra parte, las altas temperaturas tienden a favorecer la contaminación y por ende el ensuciamiento. Es el caso del agua de condensación, que se presenta en climatologías con una humedad relativa alta; lo que conduce a una mayor deposición e incremento de adsorción de partículas en la edificación. En estos casos, el agua tiende a acumularse en las fachadas hasta llegar a su punto de rocío y saturarse (Monjo Carrio, 1994). En comparación con el caso anterior, el agua suele pasar por las fases de mojado y saturación, pero por lo general no alcanza la lámina, provocando que no se dé la fase de limpieza, pero sí la de ensuciamiento. Cabe destacar, que en comparación con unas condiciones de menor humedad, pero mismas condiciones de exposición y generación de contaminantes, el agua de condensación presenta una mayor capa de ensuciamiento (León Vallejo).

#### Agentes debidos a la fachada que afectan a su ensuciamiento

A diferencia del agua y el viento, son los únicos agentes sobre los que se puede actuar con el fin de evitar las consecuencias que producen. Para su análisis, será necesario conocer el coeficiente de absorción superficial del material, al igual que su textura, su color y la existencia de discontinuidades (Adell, y otros).

- *Textura superficial*

Se caracteriza por ser una superficie lisa y compacta. La compactidad es un factor importante a la hora del análisis, ya que si el material es más compacto la lámina de agua aparecerá rápidamente y las fases de mojado y saturación tendrán una menor duración, existiendo, por tanto, una mayor limpieza y un menor depósito de partículas (Larrauri Gil, Losada Rodríguez, Rojí Chandro, Cuadrado Rojo, & Carbajal de la Red, 2009). Sin embargo, las superficies compactas presentan el inconveniente de aumentar las posibilidades de aparición de churretones blancos, concepto que se explicará más adelante. Si la superficie es más porosa y absorbente, el efecto de lámina será menor y habrá mayor tiempo hasta su saturación, teniendo, por ende, menor capacidad de limpieza y mayor depósito de partículas. Esta característica presenta la ventaja de que se disminuye la aparición de churretones aportando uniformidad al ensuciamiento.

Existen tres características que se exponen a continuación.

- *Textura lisa*

Puede definirse como la superficie que se obtiene por el uso de materiales compactos y con superficies planas. Dentro de esta tipología se pueden destacar dos variantes: lisa pulida y lisa desbastada.

La textura lisa pulida está conformada por materiales muy compactos y tratamiento superficiales de pulido. Esta textura dificulta el depósito de partículas contaminantes, que sólo lo podrán hacer por atracción electrostática entre partícula y fachada. Así mismo, facilita el lavado, ya que adquiere gran velocidad con mucha potencia limpiadora.

Por otra parte, se encuentra la textura lisa desbastada, la cual está formada por materiales cuya compacidad es variable y tienen un tratamiento superficial de alisado sin pulir. El tamaño aproximado de su rugosidad está alrededor de 1 mm, y, por tanto, la superficie de contacto en la que se produce el depósito de partículas será mayor y su lavado más complejo.

- *Color*

La variación de color es un claro indicador de la presencia de suciedad en una fachada, puesto que es fácilmente detectable a simple vista. El ensuciamiento, en este caso, será mayor cuanto mayor sea la diferencia entre el color de la fachada y el color de las partículas ensuciantes.

Por lo general, el color de las partículas más contaminantes varía entre los colores pardo y negro, pasando por la gama de grises. No obstante, el color obtenido tras el ensuciamiento variará en función de material de la fachada. Dado que el caso de estudio son las fachadas metálicas, su gama será similar a la que presentan las pinturas, es decir, varían en una gama completa de colores (Monjo Carrio, 1994).

- *Geometría de la fachada*

Se trata de uno de los factores más importantes, ya que condiciona las posibilidades de depósito de las partículas y determina la posibilidad y forma final del lavado diferencial. Es por ello, que se analizarán a continuación las diferentes inclinaciones, ángulos posibles y relieves.

- *Inclinación con respecto a la horizontal*

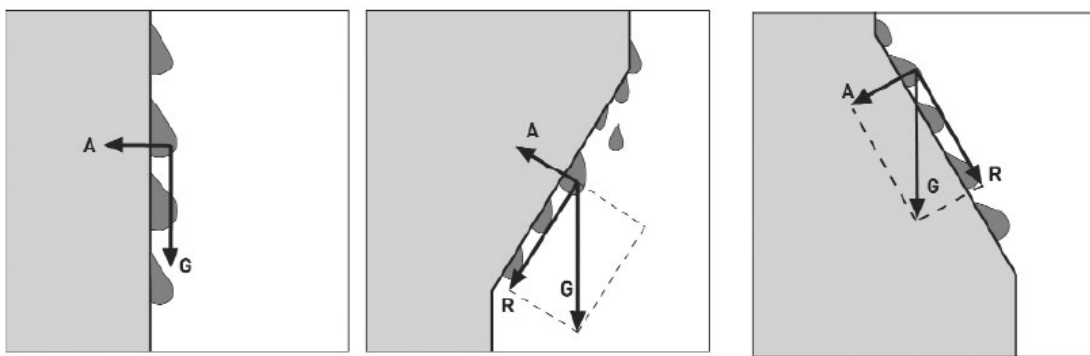
Existen tres tipologías que se expondrán a continuación: plano inclinado hacia arriba, plano vertical y plano inclinado hacia abajo.

El plano inclinado hacia arriba presenta una plataforma extensa para el depósito por gravedad, siendo mayor el depósito de partículas e implicando un ensuciamiento en

seco. Además, su geometría dificulta el movimiento de la lámina de agua, lo que provoca que el efecto limpiador sea pequeño. No obstante, en función de su nivel de exposición la incidencia de la lluvia de forma perpendicular sobre la fachada puede provocar un aumento de su limpieza.

En el caso de los planos verticales, su interacción con las partículas depende únicamente de la textura superficial del paño. Cabe mencionar, que cobra gran importancia la anchura y longitud del paño, puesto que los paños altos y esbeltos tienden a concentrar la lámina de agua en el centro, produciendo churretones difícilmente controlables; mientras que, en los paños anchos y cortos la distribución de la lámina es irregular y con múltiples churretones.

Por último, en los planos inclinados la deposición de partículas se producirá por efectos foréticos y su intensidad disminuirá, disminuyendo, también, su fuerza limpiadora.



**A:** fuerza de adherencia [fuerza molecular o tensión superficial]  
**G:** peso de la gota o partícula  
**R:** resultante de  $G+A$  que vence el rozamiento y avanza

*Ilustración 26. Desprendimiento del agua por la fachada para diferentes inclinaciones (Soria, y otros, 2006)*

- **Ángulos diedros verticales**

Los diversos ángulos que presentan las fachadas son de gran importancia, ya que pueden favorecer el ensuciamiento de la misma. Cabe mencionar dos tipos de estas: los rincones y las esquinas.

Los rincones constituyen aquellas áreas que presentan una menor exposición, y por tanto, un menor grado de limpieza y mayor ensuciamiento.

En cambio, las esquinas presentan características totalmente opuestas a los rincones. Su exposición a los agentes externos es mayor, y, por ende, su limpieza también es mayor.

- **Relieves de fachada**

Pueden establecerse como relieves todo tipo de molduras longitudinales, tanto verticales como horizontales. Su clasificación puede realizarse en tres tipos.

En primer lugar, pueden resaltarse las molduras horizontales que producen plataformas horizontales continuas, en las cuales el depósito de partículas es más sencillo. Debido a esto, aparecen diversos churretones incontrolados.

Las molduras verticales también facilitan la concentración de suciedad o de limpieza mediante rincones y esquinas.

Finalmente, los relieves puntuales se dan en determinadas zonas de la fachada, favoreciendo ciertas plataformas de depósito muy localizadas y provocando, por tanto, alteraciones en la escorrentía de la lámina de agua (Monjo Carrio, 1994).

### Tipos de procesos patológicos

El ensuciamiento puede darse mediante dos procesos diferentes que se presentan a continuación.

- *Ensuciamiento por depósito de partículas*

Se debe a la deposición de la de los agentes contaminantes sobre la superficie de la edificación, deposición superficial, o en el interior de los poros de la misma, deposición interna. La evolución de este ensuciamiento dependerá de algunos condicionantes como la geometría de la fachada, la compacidad de los materiales o el tamaño de las partículas.

La deposición superficial suele darse cuando la superficie de la fachada está seca y las condiciones atmosféricas son de calma, quedando adherida la partícula por gravedad, por atracción electrostática o por atracción molecular. La adherencia por atracción molecular es la que presenta mayores inconvenientes, ya que esta puede estimular una interacción molecular llegando a obtener enlaces químicos de mayor resistencia. Sin embargo, la unión de la adherencia por gravedad y atracción electrostática puede eliminarse fácilmente gracias a la lluvia o el viento (Monjo Carrio, 1994).

Por otra parte, cuando la superficie se encuentra húmeda, las partículas se depositan en el interior de los poros del material por adsorción o tensión superficial. Este caso presenta un gran inconveniente, ya que cuando se dan épocas secas el agua se evapora, y, por lo tanto, la suciedad queda dentro de los poros (Soria, y otros, 2006).

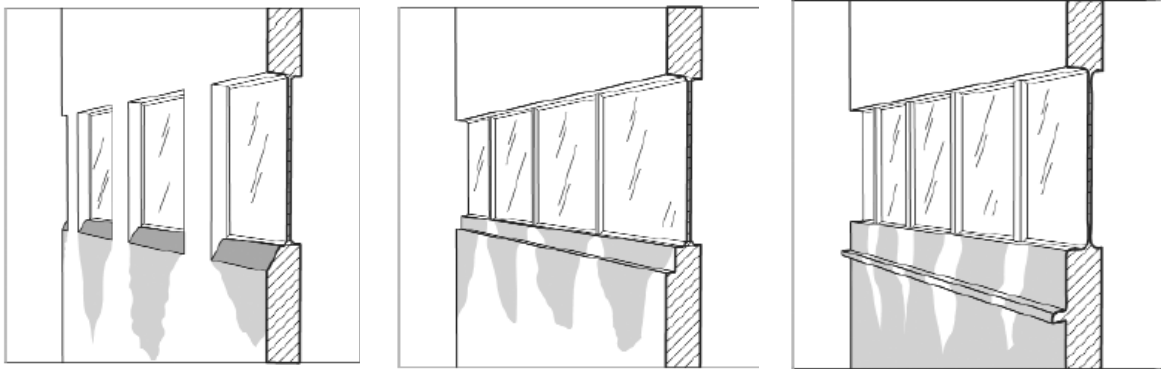


Ilustración 27. Modelos de suciedad originados por el lavado del agua que escurre sobre la fachada (Adell, y otros)

- **Ensuciamiento por lavado diferencial**

Por lo general, las fachadas presentan relieves o resaltos en las mismas que provocan unas distorsiones en el recorrido de la lámina de agua, como cambios de velocidad y concentraciones de chorreo. Los efectos producidos por la interacción agua-fachada son desiguales, y dependerán de la fase de deposición del agua sobre la fachada que se alcance. Si se llega únicamente a la fase de saturación, el ensuciamiento será por depósito interno. Mientras que si se alcanza la fase de lámina se puede llegar a producir un lavado de la superficie; no obstante, los efectos provocados por la interacción del agua con la fachada son desiguales, lo que provoca que los lavados de la misma sean también desiguales (Soria, y otros, 2006).

El lavado diferencial se caracteriza por la aparición de los denominados churretones, cuyas características dependerán de la intensidad y dirección de la lluvia, la estructura porosa del material o la textura y geometría de la fachada. Pueden destacarse dos tipos de churretones:

1. **Churretón limpio o blanco:** tiene lugar cuando la lámina de agua se concentra a una determinada velocidad de forma que se evite que llegue a incidir en el poro superficial o extrayendo la partícula ya depositada.
2. **Churretón sucio o negro:** se debe a una concentración de depósito interno. Este depósito interno se produce como consecuencia del arrastre de partículas por una capa de agua lenta que favorecerá el mojado y saturación de los poros superficiales

#### 5.6.4. Prevención y reparación de la suciedad

Dado que los agentes a los que se ven sometidas las fachadas son agentes naturales, provenientes del agua o del viento, su eliminación no es posible. Sin embargo, en algunos casos se podrá actuar de modo que se puedan reparar dichas lesiones. Los métodos de saneamiento a emplear, se expondrán en función del proceso que ha dado lugar al ensuciamiento.

##### 5.6.4.1. *Reparación y prevención del ensuciamiento por depósito de partículas*

La prevención constituye un paso muy importante, ya que si se realiza correctamente evitará la correspondiente reparación posterior. Teniendo en cuenta que el ensuciamiento es inevitable, dado que es imposible eliminar las partículas contaminantes, los principales objetivos para la prevención de este tipo de suciedad serán disminuir el depósito de partículas y su adhesión, así como disimular la apariencia de este depósito. Para ello se tendrán en cuenta la textura, la geometría y el color.

En cuanto a la textura, lo más recomendable es emplear texturas lisas y pulidas que permitan evacuar la gran mayoría de dicha suciedad. Por otro lado, las geometrías planas son las más idóneas, ya que proporcionarán una mayor uniformidad del ensuciamiento y por ende una menor apreciación del mismo. Por último, las fachadas de colores oscuros disimularán mejor el depósito de partículas, puesto que el contraste será menor que en las fachadas de colores claros (Monjo Carrio, 1994).

Sin embargo, en ocasiones es inevitable el saneamiento de los cerramientos, realizándose en el caso del ensuciamiento por depósito de partículas mediante limpieza. Esta limpieza podrá llevarse a cabo mediante diversas técnicas.

Cabe mencionar, que todo proceso de limpieza está constituido por dos etapas, una primera de desprendimiento de la suciedad y una segunda de evacuación de la suciedad. Una de estas técnicas es el lavado o lavado natural, que consiste en una limpieza mediante agua natural, con el menor contenido posible en sales, pulverizada sobre la fachada (Soria, y otros, 2006). A parte de la pulverización, será necesario un cepillado suave que facilite el arrastre de la suciedad. En algunas ocasiones dependiendo de la adhesión de las partículas, este cepillado podrá ser sustituido por el lanzamiento a presión o por la abundancia.

Otra opción, es la limpieza química, la cual será viable en casos de adhesión molecular de las partículas o cuando resulte complicado eliminar la suciedad de los poros. Esto conllevará a un control de la acidez del líquido y de la superficie a tratar antes del tratamiento (Adell, y otros).. Después de dejar actuar la solución durante un par de minutos, dependiendo del grado de

arranque pretendido, se procede arrojar agua limpia que elimine los restos de disolvente. Finalmente, se realiza un secado acelerado mediante aire caliente o esponja (Soria, y otros, 2006).

#### 5.6.4.2. *Prevención y reparación del ensuciamiento por lavado diferencial*

En este caso, también puede hablarse de unas pautas de prevención. El principal objetivo en este caso, es la eliminación los churretones limpios y sucios mediante un control de la escorrentía del agua de lámina. Para la prevención de esta tipología, únicamente se tendrán en cuenta la textura y la geometría.

En cuanto a la textura, lo más idóneo en las zonas más protegidas serán texturas lisas y pulidas que permitan una limpieza sencilla. Sin embargo, en aquellas zonas de protección menor, será recomendable que las texturas presenten una rugosidad alta o rayada, que permitirá romper la continuación del churretón.

En fachadas metálicas, que por lo general no presentan salientes, la geometría no afectará en gran medida. No obstante, se valorará el caso en el que debido al diseño de la fachada existan planos inclinados, ya que podría darse en alguna ocasión. Los principales aspectos a tener en cuenta en planos inclinados deberán ser: su inclinación, el paso de unos a otros y su situación relativa. Si la inclinación es hacia arriba esta deberá ser la máxima posible, puesto que le permitirá percibir menor depósito de partículas. En cuanto a la situación relativa entre planos, se deberán diseñar sus laterales de forma que la lámina de agua se evacue por el borde frontal donde la discontinuidad está garantizada (Monjo Carrio, 1994).

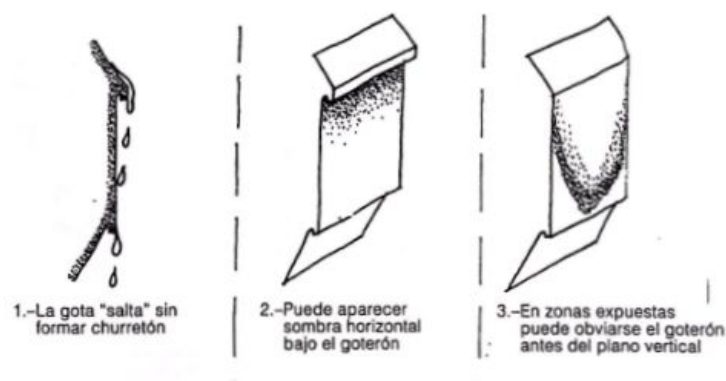


Ilustración 28. Discontinuidad en cambios de planos (Monjo Carrio, 1994)

Finalmente, se puede destacar en ambos tipos de ensuciamiento el método de limpieza mecánica. Este método no suele ser recomendable debido a su agresividad, ya que al realizarse se elimina una capa superficial del material mediante herramientas manuales o discos abrasivos. Sin embargo, dicha agresividad dependerá del grado de abrasión de los paramentos y del grado



de erosión de los substratos (Adell, y otros). Dentro de esta tipología existen varios métodos de limpieza, entre ellos: los manuales, los abrasivos lanzados en seco o los abrasivos lanzados con agua.

El primero de ellos, sólo es recomendable aplicarlo en casos puntuales, puesto que se basa en rascar la superficie punzonando las zonas más afectadas mediante cepillos o discos abrasivos. Si se arroja un chorro de material granuloso que produce un desplazamiento y un arranque de las partículas ensuciantes, se trata del método de abrasivos lanzados en seco. A parte del inconveniente principal de los métodos mecánicos, este presenta, además, la desventaja de que puede eliminar parte del material sano, especialmente en materiales blandos. Finalmente, los abrasivos lanzados con agua, se basan en la proyección de una mezcla de agua y material granuloso abrasivo, como la arena con proyección húmeda, a una presión entre 1 a 3 atm. Cabe destacar, que este último método es algo menos agresivo, ya que el agua atenúa el impacto (Soria, y otros, 2006).

### 5.7. Lesiones mecánicas

Las lesiones de tipo mecánico suelen presentarse y desarrollarse, principalmente, mediante la aparición de grietas y fisuras en la estructura. Sin embargo, existe otra lesión más desconocida pero que también puede presentarse, como los desprendimientos. Sin embargo, este último no suele presentarse en fachadas de carácter metálico. Se debe recordar, que al tratarse de fachadas ligeras estas no están diseñadas con el objetivo de soportar cargas estructurales. Además, las propiedades de los materiales se han analizado a temperatura ambiente y con condiciones estables, no obstante, en la realidad puede ocurrir que las condiciones a las que estén sometidos no sean tan favorables, y, por lo tanto, puede variar la resistencia mecánica de los metales.

A continuación, se analizarán las lesiones considerando las diferentes causas que provocan la aparición de las patologías constructivas. Cabe mencionar que, por lo general, las causas no son individuales ni fácilmente identificables, no obstante, para el análisis se asumirán como independientes.

### 5.7.1. Grietas y fisuras

Las grietas y las fisuras se abordarán de forma conjunta, puesto que las diferencias entre ambas son mínimas.

Las grietas y las fisuras se diferencian por su tamaño, ya que cuando la lesión se encuentra entre unas micras y dos milímetros se considera fisura; mientras que para valores superiores a esta medida se les denomina grietas (Soria, y otros, 2006). Asimismo, se pueden diferenciar en base a otras características, definiéndose las grietas como aberturas que afectan a todo el espesor, mientras que las fisuras afectan únicamente de manera superficial al elemento. Este tipo de lesiones son bastante comunes en cualquier edificación, esto se debe, principalmente, a que se trata de elementos superficiales colocados verticalmente, lo que favorece la aparición de las grietas o fisuras. Asimismo, se trata de elementos poco preparados para resistir esfuerzos de tracción (Adell, y otros).

La manifestación de la aparición de esta sintomatología dependerá del tipo de edificación a estudiar, en las estructuras portantes aparecerán con un cierto retraso, mientras que, en las estructuras no portantes, el caso de estudio, serán fácilmente identificables. A pesar de ello, determinar las causas que han producido dichas grietas o fisuras no es sencillo, siendo necesario estudiar la evolución de la lesión.

Se establecerán dos distinciones en base a las causas directas de aparición de la lesión.

#### 5.7.1.1. *Movimientos higrotérmicos*

Las variaciones de temperatura y humedad afectan de forma considerable en el comportamiento de una estructura, variando en función de la época del año y la localización del edificio. Debido a su exposición al medio, las fachadas se ven afectadas por estas variaciones de temperatura y humedad; sobre todo, las orientadas al oeste y al sur, ya que se encuentran expuestas a mayores dilataciones (Soria, y otros, 2006). Cuando se debe a dilataciones y contracciones, por lo general, las fachadas no portantes y la estructura se comportan como un solo elemento, aunque sus movimientos son muy diferentes. Como consecuencia de su forma constructiva, las fachadas ligeras percibirán contracciones y dilataciones en toda su intensidad.

Como puede observarse en la Tabla 3. los metales presentan un coeficiente de dilatación elevado, lo que implica que, en comparación con otros materiales, la dilatación del material será mayor. Esto provocará la aparición de grietas que se producirán como consecuencia de la aparición de esfuerzos horizontales, ya que los esfuerzos verticales se verán contrarrestados por

el propio peso del cerramiento (Adell, y otros). Cabe mencionar que cuando las variaciones de temperatura sean negativas en vez de una dilatación se producirá una contracción.

Tabla 3. Coeficientes de dilatación lineal térmica de los metales (Monjo Carrio, 1994)

Coeficientes de dilatación lineal térmica ( $\times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ )		
METALES	Aluminio y aleaciones	23,5
	Latón	18,0
	Bronce	19,8
	Cobre	16,9
	Hierro fundido	10,6
	Plomo	28,6
	Acero inoxidable	17,3
	Acero dulce	12,1

En casos como el de las fachadas metálicas, en el que el cerramiento es una pared envolvente de poco espesor, el problema será más grave. Esto se debe a que la rotura térmica se produce por tracción pura en la dirección de la hilada, ocasionándose en la junta vertical. Debido a la discontinuidad existente en los huecos de ventanas, estas serán áreas bastante sensibles, ya que las tensiones se acumularán en las esquinas de las mismas (Soria, y otros, 2006).

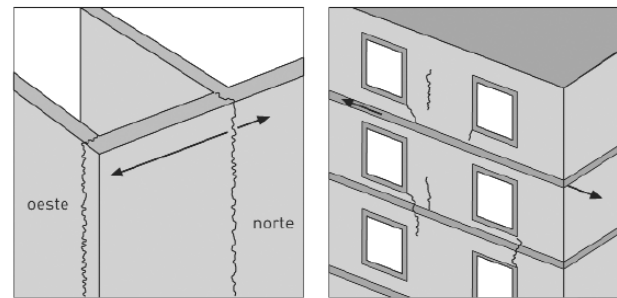


Ilustración 29. Grietas producidas en la fachada por esfuerzos higrotérmicos (Soria, y otros, 2006)

Por otra parte, las variaciones en la temperatura también darán lugar a una alteración del contenido de humedad que afectará a la fachada. En materiales porosos, la humectación del mismo dará lugar a la aparición de fisuras. Las lesiones originadas suelen ser localizadas y en forma vertical, debidas a la dirección vertical de los esfuerzos de tracción por contracción, estando separadas entre 20 y 50 cm (Monjo Carrio, 1994).

#### 5.7.1.2. Deficiencias de proyecto

En el proceso de diseño de la fachada pueden existir algunos errores de proyecto que darán lugar a la aparición de fisuras en la misma. A continuación, se destacarán algunos de los más comunes en fachadas y en particular en fachadas metálicas.

### Uniones constructivas mal resueltas

Dado que la construcción constituye un proceso de unión de diferentes elementos, será necesario garantizar la correcta unión de dichos elementos, con el fin de obtener un resultado óptimo. En ocasiones ocurre, que al diseñar el elemento constructivo no se tiene en cuenta la yuxtaposición de dos elementos de distinto material por suponer que el acabado superficial conseguirá que trabajen como un único material; sin embargo, esto no es posible.

Uno de estos casos, se da en la unión en un mismo plano de un elemento estructural y un cerramiento. Las grietas producidas en este caso son bastante limpias y coinciden con la junta constructiva que lo provoca.

En otras situaciones, la unión entre elemento estructural y fachada es correcta, no obstante, no pueden evitar la acción de uno sobre otro debido a la falta de independencia entre ellos, lo que da lugar a la aparición de fisuras.

Estas uniones mal resueltas no solo se dan en uniones entre elemento estructural y cerramiento, también pueden tener lugar en uniones entre dos elementos del cerramiento, cuando uno de ellos dilata sobre el otro, provocando la aparición de grietas (Adell, y otros).

### Cerramientos excesivamente débiles

Los cerramientos se ven sometidos a esfuerzos de tracción y a esfuerzos cortantes como se analizó previamente, dando lugar a grandes lesiones. Estos esfuerzos no son siempre evitables, sin embargo, cuanto más débil sea el cerramiento, más se acentuarán las consecuencias. El diseño de cerramientos muy delgados y de gran longitud, darán lugar a grietas que estarán en función de la causa directa. Es decir, si se trata de flechas, por ejemplo, se originarán arcos de descarga o grietas horizontales.

#### 5.8.2. Prevención y reparación de grietas y fisuras

En esta sección se destacarán los métodos a emplear con el objetivo de prevenir o reparar las lesiones en el caso de que ya se hayan producido. Estas directrices dependerán de las causas que originen dichas lesiones. Las formas de saneamiento y prevención de las lesiones variarán en función de las causas que las producen, para abordar este aspecto se separarán en dos grupos: esfuerzos higrotérmicos y deficiencias de proyecto.

##### 5.8.2.1. Esfuerzos higrotérmicos

La actuación ante este tipo de esfuerzos es algo más compleja, ya que no es posible actuar directamente sobre los cambios de temperatura que experimentan las fachadas. Por ende, la

prevención o reparación de las lesiones producidas por esta causa se basará en la introducción de juntas de retracción y en la independencia entre cerramiento y estructura.

La independencia entre estructura y cerramiento es sencilla de conseguir en edificaciones de nueva construcción, no siéndolo tanto en edificios ya construidos (Adell, y otros).

Las juntas de la estructura de las que disponen los cerramientos para su dilatación y contracción no son suficientes en algunos casos, siendo necesaria la introducción de juntas de retracción. Por lo general, las zonas donde deben introducirse estas juntas de retracción suelen venir indicadas por la propia grieta, pudiendo utilizarse ésta para marcar la junta en esa zona. Sin embargo, si existen grietas poco definidas y en cantidad la junta de retracción deberá marcarse independientemente de las grietas (Soria, y otros, 2006). La distancia entre las juntas dependerá de algunos factores, como el coeficiente de dilatación, de la orientación de la fachada y del diseño de la fachada, debiendo limitarse el movimiento máximo a 5mm. Si se decide reparar las grietas y fisuras sin recurrir a la introducción de juntas de retracción, debe tenerse en cuenta que es probable que dichas lesiones vuelvan a presentarse.

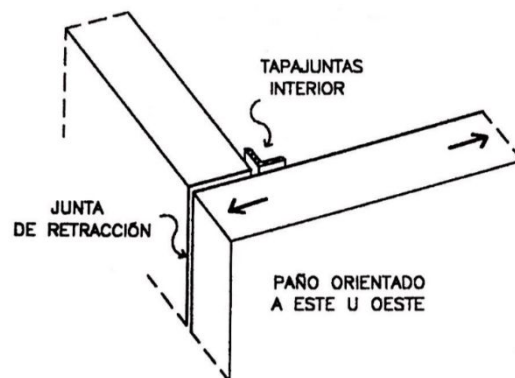


Ilustración 30. Juntas de retracción (Adell, y otros)

#### 5.8.2.2. Deficiencias de proyecto

Se trata una de las causas en las que es posible la actuación directa para su reparación. Al igual que se hizo al plantear las patologías, para la reparación se separará en dos causas principales: uniones constructivas deficientes y debilidad de los cerramientos.

La deficiencia de las uniones constructivas podrá deberse a dos causas. La primera de ellas es la yuxtaposición incorrecta de distintos elementos, que se basa en tratar de unir forzosamente dos elementos. El saneamiento consistirá en recuperar la independencia de ambos elementos, para lo cual será necesario marcar la junta constructiva para su posterior sellado o tapado. Si por el

contrario existe una falta de independencia entre elementos ajenos, se deberá rehacer el cerramiento y hacer patente aún más dicha independencia.

Por último, si la causa de las grietas o fisuras es la debilidad del cerramiento, la reparación deberá consistir en un reforzamiento del mismo o una sustitución de los elementos debilitados (Monjo Carrio, 1994).

## 5.8. Lesiones químicas

Como su propio nombre indica, se deben a causas patológicas cuyo origen es de carácter químico. Estas causas químicas se deben principalmente a reacciones entre los materiales de las edificaciones y los elementos atmosféricos, a productos contaminantes o a la aparición de organismos vivos.

### 5.8.1. Oxidación y corrosión

La causa principal de estas lesiones es una reacción química, y a pesar de que parezcan semejantes, existen ciertas diferencias entre ambas.

Por una parte, la oxidación se da cuando un metal o un no metal cede electrones, en este caso, por la reacción con el oxígeno presente en el aire (De arquitectura, s.f.). Como consecuencia de esta reacción química, se forma una capa de material en el metal, la cual será más o menos compacta dependiendo del metal que se trate. Por ejemplo, en el caso del hierro y sus aleaciones la capa formada es porosa y frágil, facilitando la propagación de la oxidación debido a la acumulación de agua y suciedad. Sin embargo, si el metal empleado es el zinc, el cobre o el aluminio, la capa de material es mucho más compacta y actúa como protección para evitar que el metal siga oxidándose (Monjo Carrio, 1994).

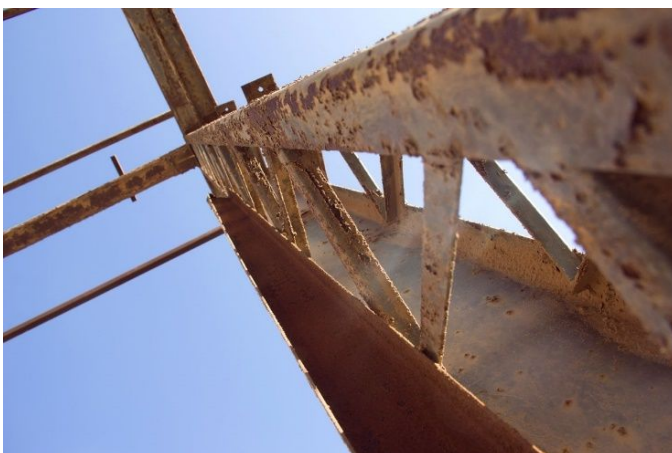


Ilustración 31. Estructura metálica afectada por corrosión ([shorturl.at/asDMO](http://shorturl.at/asDMO))



Ilustración 32. Marquesina metálica con signos de oxidación

A diferencia de la oxidación, la corrosión constituye el deterioro del metal como consecuencia de un ataque electroquímico, que implica la presencia de un electrolito conductor, pudiendo llegar a producir su rotura. Algunos factores como el contacto de diferentes metales, la presencia de humedades o de una atmósfera favorecerán la agravación de la corrosión. Además, en los metales, mencionados previamente, que presentan una capa protectora, el avance de la corrosión será lento, mientras que en los metales férricos será más rápida.

Debido a las perjudiciales consecuencias que provoca la corrosión, se procederá a ahondar en los diferentes tipos de esta y en cómo afectan a las fachadas metálicas. A continuación, se clasifican los diferentes tipos de corrosión en función de la forma de ataque, el mecanismo y el medio.

#### 5.8.1.1. Clasificación según el proceso o forma de ataque

- *Corrosión uniforme y galvánica*

Es la forma más común de corrosión y se caracteriza porque aparece de forma homogénea sobre toda la superficie del material, existiendo una relación entre su magnitud, la pérdida de material y la reducción del espesor. Además, es el tipo de corrosión más perjudicial, puesto que es la que mayores pérdidas provoca, presentándose mayoritariamente en materiales ferrosos no aleados. Sin embargo, es fácilmente predecible y controlable.

Cuando dos metales diferentes se ponen en contacto empleando un electrolito que actuará como solución conductora, se da la corrosión galvánica. Entre ambos metales existe una diferencia de potencial eléctrico, la cual dependerá de los materiales empleados y de la solución conductora escogida. Cuanto mayor sea la diferencia de potencial, mayores serán las posibilidades de que se dé la corrosión en el material, además, únicamente se corroerá uno de los metales, el metal activo (Catarina).

- *Corrosión localizada*

En este caso, la corrosión aparece en zonas del metal concretas y determinadas por la naturaleza o la geometría del material. Al contrario que en el caso anterior, es difícilmente detectable, y por lo tanto, potencialmente peligrosa. Por lo general, se encuentra en aleaciones que presentan distintas fases (Salazar-Jiménez, 2015). Asimismo, suele considerarse un caso intermedio entre la corrosión uniforme y la corrosión por picadura.





Ilustración 33. Corrosión localizada en acero (<http://cort.as/-LEvl>)

- *Corrosión por picadura*

Se trata de un ataque que sólo aparecerá en ciertas zonas del material y no superando las picaduras los 1 o 2 mm<sup>2</sup>. Sin embargo, este tipo de corrosión se propaga relativamente rápido hacia el interior del material, debido a la elevada velocidad de corrosión en las zonas perjudicadas (Soria, y otros, 2006).

Debido al pequeño diámetro de los agujeros producidos por este tipo de corrosión, esta es difícilmente detectable. Esto constituye un gran problema, puesto que, a pesar de que pueda requerir meses o años para perforar una sección metálica, puede que este tipo de corrosión no es detectable hasta la rotura final. Es por ello, que se trata de un tipo de corrosión muy destructivo, especialmente en estructuras (Materiales, s.f.).



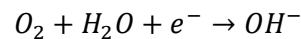
Ilustración 34. Corrosión por picadura en aluminio (blog, 2016)

Por lo general, y salvo que actúen iones sulfato, los casos de corrosión por picaduras en fachadas metálicas se deben a la presencia de iones cloruro. Estos iones cloruro son los responsables de que, en muchas ocasiones, lo que comienza como una corrosión por aireación diferencial, que se da cuando existe una diferencia de potencial entre dos secciones de un mismo elemento metálico, finalice como una corrosión por picadura (García Olmos & Pérez Navarro).

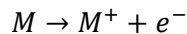


- *Corrosión en resquicio*

Existen ciertas zonas del material en las que la llegada de oxígeno es difícil, como uniones entre elementos, a las que se denomina resquicios. Debido a esta condición, la renovación del medio corrosivo está limitada por los mecanismos de difusión y, por tanto, será más compleja (Soria, y otros, 2006). En este caso, la aireación diferencial es la responsable de activar la corrosión. En la zona más cercana al exterior, el oxígeno se difunde en el agua participando en la siguiente reacción catódica.



Lo que provoca que en las zonas internas del resquicio se consuma la siguiente reacción anódica de disolución del metal



Debido a esto, la corrosión se intensificará en algunas zonas específicas. Asimismo, las consecuencias de la corrosión se pueden ver potenciadas por la existencia de iones cloruro en el resquicio (García Olmos & Pérez Navarro).

- *Corrosión intergranular*

Es frecuente en aleaciones en las que la unión entre los metales no se ha finalizado, encontrándose el ataque en los límites de grano del material. Si la corrosión del metal se produce uniformemente, los límites de grano son ligeramente más reactivos que la matriz. Sin embargo, en otras condiciones los límites de grano pueden ser muy reactivos, llegando a generar una pérdida de resistencia en el material y una desintegración de los bordes (UPV, s.f.). A pesar de que puede ocurrir en cualquier aleación, generalmente se origina en los aceros inoxidable.

- *Corrosión bajo tensión*

Como su propio nombre indica, tiene lugar cuando se somete al metal a una tensión mecánica, en este caso de tracción, y está en contacto con un medio agresivo que produce la corrosión del metal. Se manifiesta mediante la aparición de grietas o fisuras que avanzan en la dirección de aplicación de tensión, siendo los valores aproximados de las velocidades de propagación entre 2 o 3 mm/horas. Si la tensión aplicada en vez de tracción es cíclica, las características serán las mismas que en el caso anterior, pero se denominará corrosión de fatiga (Soria, y otros, 2006).

Además, si la temperatura es elevada el proceso de corrosión se verá acelerado. Por último, cabe resaltar, que no afecta a metales puros, si no, únicamente, a aleaciones metálicas<sup>2</sup>.



Ilustración 35. Corrosión bajo tensión (<http://cort.as/-LLBd>)

- *Corrosión por inmersión*

Se trata de una corrosión en la que el metal es ionizado por su contacto con el agua, lo que dará lugar a la aparición de una capa de hidróxido. Esta capa de hidróxido depende de la acidez de la solución, es decir de su pH, lo que puede provocar una pérdida de material al disolverse esta. A pesar de que se presente fundamentalmente en metales que se encuentran sumergidos, también podrá presentarse en fachadas (Adell, y otros).

#### 5.8.1.2. *Clasificación según el medio*

Dependiendo del medio con el que se encuentra en contacto el metal, las damnificaciones por corrosión variarán. Se destacarán cinco tipos de corrosión en base a los medios: corrosión directa, corrosión en contacto con agua dulce, corrosión atmosférica, corrosión marina y corrosión de los terrenos.

- *Corrosión directa*

Cuando el material se ve sometido a gases y vapores calientes a altas temperaturas, no es posible que aparezca una capa de humedad en la superficie, lo que provoca la aparición de una corrosión denominada corrosión directa. El mecanismo de actuación se basa en una reacción química heterogénea entre la superficie del metal y un gas agresivo, lo que da lugar a la formación de una película de óxido (Soria, y otros, 2006).

- *Corrosión atmosférica*

Es uno de los tipos de corrosión más comunes, y tiene lugar cuando el material se pone en contacto con el aire a temperatura ambiente y en unas condiciones de humedad, lluvia, rocío o niebla. En temporadas de ausencia de lluvias o nieblas con humedades inferiores al 20-30 % el

---

<sup>2</sup> Apuntes corrosión y materiales resistentes a la corrosión de la asignatura "Materiales Estructurales: Comportamiento en Servicio y Mecánica de la fractura"

desgaste del material se producirá por corrosión directa. Para poder considerar que se trata de corrosión atmosférica, la humedad relativa (HR) deberá ser superior al 40-50 % (Soria, y otros, 2006). La velocidad de la corrosión dependerá del tiempo que la superficie permanece humedecida, denominado tiempo de humectación (THD). Cabe destacar que la presencia de contaminantes en la atmósfera, así como la velocidad y dirección del viento, favorecerá el aumento de la velocidad, y, por ende, la propagación de la corrosión en el material (Chico, De la fuente, & Morcillo).

- *Corrosión en contacto con agua dulce*

Por lo general, suele existir una relación entre la velocidad de corrosión y la concentración de O<sub>2</sub> presente. Sin embargo, en ocasiones, cuando la concentración es elevada, las consecuencias serán más agresivas en el material, pudiendo producirse el fenómeno de pasivación, que producirá una capa protectora. Para poder establecer una clasificación en función de la agresividad se emplea la siguiente ecuación.

$$IS = pH_{real} - pH_{saturación}$$

Donde al término IS se denomina índice de saturación. Si el índice de saturación es positivo existirá una sobresaturación de CaCO<sub>3</sub> en el agua y, por ende, habrá tendencia a que tenga lugar la pasivación. Sin embargo, si es negativo se tratará de un agua agresiva. Asimismo, la presencia de dióxido de carbono u otras sales en el agua puede ser de gran ayuda en la determinación de su agresividad (Soria, y otros, 2006).

- *Corrosión marina*

Se produce cuando el metal se encuentra bajo una atmósfera marina, la cual acelerará la corrosión del material. Esto se debe a que en este tipo de atmósferas existe una gran cantidad de iones cloruro, que al depositarse sobre el metal aumentan la conductividad del electrolito, la formación de productos de corrosión solubles o la rotura de películas pasivantes (Chico, Otero, Mariaca, & Morcillo). Además, se pueden desarrollar la mayoría de los tipos de corrosión, agravando más las consecuencias. Algunos de estos tipos de corrosión que pueden producirse son: corrosión generalizada, por aireación diferencial, por picaduras o bajo tensión (Soria, y otros, 2006).

### 5.8.2. Prevención y reparación de las lesiones por corrosión y oxidación

Antes de realizar la prevención o posterior reparación de las superficies, primero se debe identificar el tipo de corrosión y en el material en el que se está dando, ya que dependiendo del metal en el que tenga lugar será más o menos agresiva. A continuación, se expondrá el procedimiento a proseguir para reparar las lesiones debidas a algunos de los tipos de corrosión vistos previamente.

- *Corrosión por oxidación*

Una vez observado el estado y avance de la corrosión, si esta es aún leve y el metal es recuperable, se procederá a su limpieza. Esta limpieza puede realizarse mediante métodos mecánicos o mediante métodos químicos.

Los procedimientos mecánicos más comunes son mediante cepillado o chorreado, aunque también existe otro método conocido como limpieza con llama. El cepillado es un proceso más manual que se lleva a cabo mediante cepillos metálicos. Debido a su alcance limitado es conveniente emplearlo en casos sencillos y cuando la profundidad de corrosión es pequeña (Monjo Carrio, 1994). Por otra parte, la limpieza con llama se basa en el empleo de un soplete oxiacetilénico a gran velocidad y altas temperaturas que provocará el desprendimiento del óxido como consecuencia de la diferencia de los coeficientes de dilatación. Por último, la limpieza por chorreado abrasivo, es un tratamiento más agresivo pero que tiene mayor alcance, por lo que es recomendable para superficies amplias o geometrías complicadas. Consiste en la proyección de pequeñas partículas de material abrasivo, como arena fina o viruta de acero, de forma que la capa de óxido y la cascarilla queden separadas de la superficie. Cabe mencionar, que el posterior pintado de la superficie deberá realizarse rápidamente, a fin de evitar que se vuelva a oxidar de nuevo (Soria, y otros, 2006).

La limpieza basada en métodos químicos puede realizarse mediante una limpieza con disolventes o mediante tratamientos de conversión química. Dentro de la limpieza con disolventes pueden destacarse varios tipos en función del tipo de disolvente empleado. El primero de ellos, conocido como limpieza por emulsión, emplea un disolvente orgánico, como por ejemplo el queroseno, en combinación con un agente emulsionante de modo que al diluirse en agua conformen un medio de limpieza. También pueden emplearse disolventes alcalinos, desde los propios alcalinos hasta detergentes, o disolventes ácidos combinados con alcoholes y agentes humectantes. Finalmente, los disolventes más empleados son los orgánicos, a pesar de su inflamabilidad y su toxicidad. Cabe mencionar, que cuando se trata de ciertas superficies de

acero pueden aplicarse los decapados químicos, que se basan en la aplicación de productos químicos que descompongan óxido metálico por brocha o aerosol. Estos productos químicos convierten la capa de óxido en una superficie porosa que se puede eliminar fácilmente mediante cepillado o raspado (Monjo Carrio, 1994).

Tras la limpieza es necesario aplicar una protección que evite la producción de corrosión en un futuro, existiendo sistemas de protección muy variados. Dado que la elección de los protectores dependerá del tipo de material a tratar, se van a destacar los dos sistemas más generales: la protección “in situ” y la protección en taller. La primera se basa en la aplicación de líquidos mediante brocha o pistola, encontrándose dentro de esta tipología los inhibidores. Estos inhibidores son sustancias que al aplicarse en bajas concentraciones al medio pasivan las superficies metálicas<sup>3</sup>.

Por otro lado, la protección en taller únicamente será viable cuando el elemento pueda desmontarse. En este caso, pueden destacarse varias protecciones, aunque solamente se destacarán las tres más comunes.

1. *Galvanizado por inmersión en caliente*: adhiere capas de zinc que actúan como protectoras. Como el propio nombre indica, se basa en la inmersión, lo que asegura un reparto uniforme de los elementos metálicos en un baño de metal fundido conformado mayoritariamente por zinc que protegerá al metal (METELMEX, s.f.). En la Tabla 4. se muestra la resistencia aproximada de los recubrimientos.

Tabla 4. Resistencia a la corrosión de los recubrimientos galvanizados (METELMEX, s.f.)

Espesor del recubrimiento		Número de años en promedio de duración hasta que aparece una oxidación de 5% sobre la superficie de acero			
Milésimas de pulgadas	gr/m <sup>2</sup>	Rural	Marina	Urbana	Industrial
1.5 a 3.0	269 a 557	17 - 35	12-20	10-15	4-8
3.1 a 4.7	558 a 884	35 - 50	20 - 35	15 - 25	8-12
4.8 a 7.8	885 a 1400	50 - 57	35 - 50	25 - 40	12-25

2. *Metalización*: se trata de un recubrimiento de zinc, aluminio y/o acero inoxidable. Consiste en la deposición de un material metálico o no metálico a emplear como revestimiento en estado fundido o semifundido sobre el metal base, depositándose el material mediante una corriente de gas o de aire (Sergabi, s.f.).

<sup>3</sup> Apuntes corrosión y materiales resistentes a la corrosión de la asignatura “Materiales Estructurales: Comportamiento en Servicio y Mecánica de la fractura”

3. *Tratamientos químicos*: consiste la transformación química del metal afectado de forma que se convierta en más resistente ante la corrosión. Dos sistemas a mencionar son la fosfatación, empleado generalmente en aceros, y la protalización, de uso común en el aluminio y en el cinc (Monjo Carrio, 1994).

Si tras la protección el acabado no es el deseado, pueden aplicarse pinturas elásticas y resistentes a la intemperie, que deberán renovarse con periodicidad. Por último, si la corrosión se encuentra muy avanzada y ha dañado en exceso el elemento, se deberá proceder a su sustitución. En el Anexo II. se muestra una tabla con las protecciones y acabados recomendados en elementos metálicos.

- *Corrosión por par galvánico*

La principal medida que se debe tomar, siempre que sea posible, a la hora de reparar metales con este tipo de corrosión es la sustitución del mismo por otro que no produzca par galvánico. Además, se pondrá un material de P.V.C o neopreno entre ambos, con el fin del evitar dicho par galvánico. Si el metal no se encuentra lo suficientemente dañado y el par galvánico se da entre un material metálico y otro no metálico, podrá aplicarse una limpieza con su posterior protección, como se expuso anteriormente.

- *Corrosión intergranular*

Existen dos causas que pueden dar lugar a este tipo de corrosión y sus consecuentes lesiones, sobre las que se operará para la reparación de ellas. La primera es la falta de aleación, característica principal de este tipo de corrosión, cuya única solución es la sustitución del elemento. La segunda causa es la penetración de humedad, que actúa como electrolito, en los poros. Para la reparación en este caso existen dos alternativas, la localización del origen de la humedad con el objetivo de evitarla o sellar el elemento metálico para protegerlo ante las humedades. El sellado consiste en un proceso de limpieza y un proceso posterior de protección como los explicados previamente.

- *Corrosión por inmersión*

En esta tipología, además de evitar el contacto entre agua y metal mediante un proceso de protección, se deberán aplicar otras protecciones adicionales. Por lo general, y debido a la agresividad de este tipo de corrosión, los elementos no son recuperables, teniendo que proceder a su sustitución. Una vez sustituidos los elementos hay que garantizar que el agua no llegue a zonas ocultas, para lo que se empleará un sellado o un tapajuntas. En el caso, muy poco

probable, de que el elemento sea recuperable la protección deberá ser impermeable, lo cual se logra mediante cauchos sintéticos o productos bituminosos (Monjo Carrio, 1994).

## 9. SELLOS DE CALIDAD

En los últimos años se han dado numerosos cambios en el sector de la construcción, dando lugar a la aparición de nuevos materiales en las fachadas y, por consiguiente, al desarrollo de las fachadas metálicas. Sin embargo, esto nos abstiene a las fachadas ligeras de tener que cumplir una serie de normas y criterios de calidad. La entidad encargada de llevar a cabo la normalización a nivel europeo es el Comité Europeo de Normalización (CEN), cuyo objetivo es proporcionar una infraestructura eficiente, así como el mantenimiento y distribución de unos sistemas estándares. En España, el organismo encargado de dicha normalización es AENOR, que se encarga de la normalización y certificación de la calidad y la competitividad.

Como se mencionó en el inicio, las edificaciones deben cumplir una serie de requisitos esenciales para poder garantizar un grado de fiabilidad. Estos requisitos deberán ser comprobados y su cumplimiento se establece mediante una serie de certificaciones, tanto obligatorias como opcionales (ASEFAVE).

### 9.1. Normativa de obligado cumplimiento en fachadas metálicas

La normativa obligatoria viene establecida por el mercado CE y por el CTE.

#### 9.1.1. Mercado CE

Como menciona AENOR, “El mercado CE asegura la libre circulación de productos de construcción en el Mercado Europeo<sup>4</sup>”, constituyendo uno de los sellos de calidad obligatorios en fachadas metálicas.

Las características obligatorias requeridas, y que por lo tanto aparecerán en el mercado CE, son las siguientes:

- Reacción al fuego
- Resistencia al fuego
- Propagación del fuego
- Estanquidad al agua
- Resistencia al peso propio
- Resistencia a la carga de viento

---

<sup>4</sup> (Mercado CE de productos de construcción, s.f.)

- Resistencia al impacto
- Resistencia al choque térmico
- Resistencia a las cargas horizontales
- Permeabilidad al aire
- Transmitancia térmica
- Atenuación al ruido aéreo

Las características adicionales que no figuran en el CE, pero que podrán ser solicitadas por la legislación nacional, autonómica o local son:

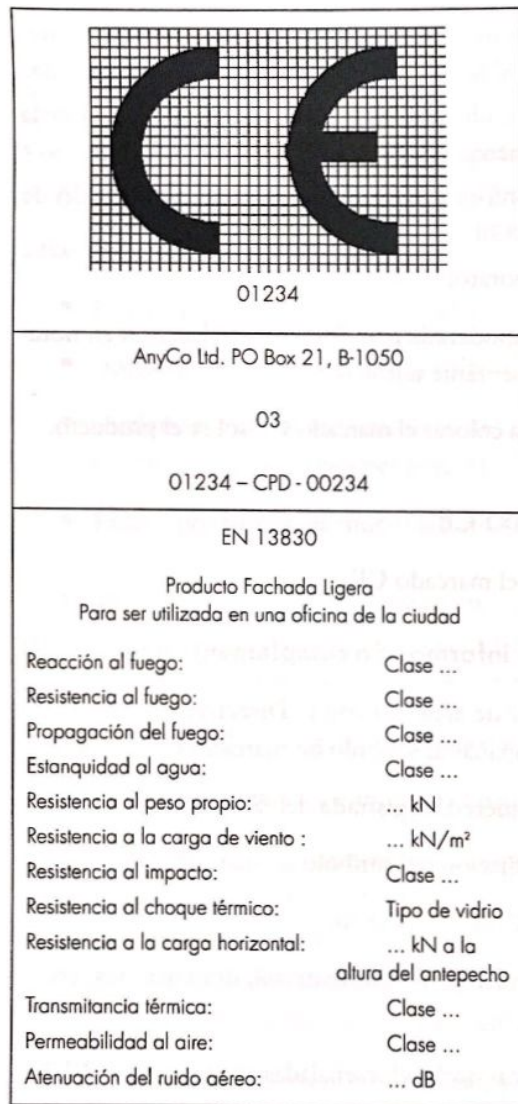
- Equipotencialidad
- Resistencia al choque sísmico
- Movimiento del edificio y térmico

Para valorar la conformidad de tipo en fachadas ligeras, se emplea el siguiente sistema.

- *Ensayo inicial de tipo de producto*: se lleva a cabo por organismos notificados que verifican su aptitud. En él se establece mediante ensayos y cálculos si se cumplen las características obligatorias establecidas previamente.
- *Control de producción de fábrica (CPF)*: es realizado por los fabricantes mediante procedimientos documentados, inspecciones, ensayos regulares o valoraciones y el uso de los resultados para llevar un control de los materiales o componentes que entran en el proceso de producción.

Asimismo, todos los productos que hayan superado favorablemente esta valoración, deberán llevar fijado el marcado CE.





*Ilustración 36. Ejemplo de marcado CE (ASEFAVE)*

Además, de lo establecido en el ejemplo de la Ilustración 36., los sellos CE deberán venir acompañados de la siguiente información (ASEFAVE):

- Nombre y dirección registrada del fabricante
- Últimos dos dígitos del año en el que se fijó el marcado CE
- Número de la norma europea
- Descripción del producto
- Información sobre las características obligatorias
- Si procede, número de identificación del organismo de certificación
- Si es relevante, número de certificado

### 9.1.2. CTE

Como se establece en la página web del CTE: “El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE)”<sup>5</sup>. Estas exigencias básicas deberán verificarse en el proyecto, en el proceso de construcción, en el mantenimiento y en la conservación de las edificaciones, pudiendo aplicarse tanto a obras de nueva construcción como edificios existentes.

La normativa del CTE se distribuye en varios grupos, que constituyen las características que se deben verificar. Estas particularidades son: seguridad estructural, seguridad en caso de incendio, ahorro de energía, seguridad de utilización y accesibilidad, protección frente al ruido y salubridad.

Las exigencias establecidas por el CTE vendrán definidas en el proyecto a entregar. Es decir, dicho proyecto definirá con precisión las características de la edificación, de modo que se compruebe que se cumplen los requisitos básicos exigidos por el CTE. Esta descripción deberá llevar adjuntada la siguiente información (ASEFAVE):

- Las características técnicas mínimas a verificar por los productos, equipos y sistemas que conformen la edificación. Asimismo, también deberán aparecer las condiciones de suministro, las garantías de calidad y el control de recepción a realizar
- Las características técnicas de cada unidad de obra, indicando las condiciones necesarias para llevar a cabo la ejecución y las verificaciones y controles necesarios, de modo que pueda comprobarse lo indicado en el proyecto.
- Las verificaciones y pruebas de servicio que deben realizarse para comprobar las prestaciones finales del edificio.
- Las instrucciones de uso y de mantenimiento de la edificación terminada, de conformidad con las especificaciones de CTE y la normativa de aplicación.

### 9.2. Acreditación voluntaria de calidad

Además de la normativa de obligado cumplimiento, existen certificados de calidad, extendidos por entidades reconocidas, que verifican la calidad del trabajo llevado a cabo, proporcionando una garantía de la calidad del producto. Estos organismos establecen sus propios reglamentos y exigencias, pero siempre serán mayores que las exigidas por el CTE.

---

<sup>5</sup> Página web CTE: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte/menu-presentacion.html>

Asimismo, no se asegura únicamente la calidad actual, si no, que se confirma que las prestaciones se mantendrán en el tiempo. Estos sellos voluntarios variarán en función de los materiales empleado y del tipo de construcción. En el caso de las fachadas metálicas se encuentran las siguientes.

### 9.2.1. Marca AENOR

Este sello verifica el cumplimiento de los requerimientos obligatorios, así como algunas características opcionales. Además, su principal objetivo es destacar la prueba de calidad del producto, dar confianza al constructor y el arquitecto, conceder una garantía al usuario y facilitar la labor de control de materiales de obra.

Para el otorgamiento de esta marca de calidad deberá seguirse el proceso que se expone a continuación:

1. Solicitud de concesión del certificado AENOR
2. *Análisis documental*: donde el experto, en este caso en fachadas ligeras, evaluará la documentación técnica aportada
3. *Centro de fabricación*: se procederá una visita a las instalaciones, en el que los inspectores de AENOR realizarán los trabajos oportunos
4. *Ensayos*: una vez realizados los trabajos anteriores y escogidas algunas muestras, estas últimas serán enviadas al laboratorio, donde se llevarán a cabo las probetas de ensayo
5. *Valoración de los trabajos*: se resolverá la solicitud, concediendo el sello de calidad en el caso de que sea favorable

La validez del sello AENOR es de 5 años, en los cuales se realizarán actividades y visitas de seguimiento. El sellado con el logotipo de AENOR de la Ilustración 37. Deberá ser incluido en la documentación del producto (AENOR, 2011).

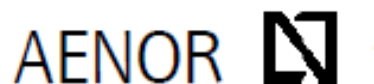


Ilustración 37. Sellado marca AENOR (AENOR, 2011)

### 9.2.2. QUALICOAT

Se trata de una norma europea que certifica la calidad del lacado de aluminio según las especificaciones técnicas establecidas. Por ello, todos aquellos elementos que presenten la marca QUALICOAT, deberán utilizar únicamente materiales de recubrimiento y de conversión

química aprobados por QUALICOAT (QUALICOAT, s.f.). Asimismo, dentro de QUALICOAT se pueden encontrar otras dos certificaciones, una para acabados decorativos, QUALIDECO, y otro para lacados cerca de ambientes marinos, SEASIDE.

Para expedir la marca y garantizar que se cumplen las condiciones exigidas, el laboratorio acreditado DECOTEC realiza inspecciones a las plantas lacadoras, llevando a cabo ensayos de los diferentes productos.

1. *Estado del aluminio:* como punto de partida, el aluminio empleado deberá contar con la calidad exigida para poder llevar a cabo los procesos de recubrimientos, es decir, no podrá presentar síntomas de corrosión, ni tampoco contaminantes.
2. *Recubrimientos:* los revestimientos empleados deberán estar certificados con la marca QUALICOAT, como se mencionó previamente. Para la acreditación de los recubrimientos, estos se verán sometidos a unos ensayos específicos como la indentación, ensayos de brillo o de impacto.
3. *Control de productos terminados:* una vez finalizados, los productos se volverán a someter a ensayos que verifiquen y aprueben los materiales de recubrimiento. Entre dichas pruebas pueden destacarse el análisis de la adherencia, la resistencia a las atmósferas húmedas o los ensayos de envejecimiento acelerado.

Los productos que cumplan los requisitos establecidos, llevarán un sello como el mostrado en la Ilustración 38.



Ilustración 38. Sello QUALICOAT (QUALICOAT, s.f.)

### 9.2.3. QUALANOD

Se trata de un sello de calidad para los materiales utilizados en la edificación, entre ellos el aluminio. QUALANOD analiza y garantiza los requisitos que deben ser cumplidos para asegurar la calidad del aluminio anodizado. Asimismo, estas especificaciones tienen como objeto establecer las condiciones necesarias para el anodizado con ácido sulfúrico. Cabe destacar que la licencia que se expida especifica los productos licenciados, existiendo los siguientes:

anodizado arquitectural, anonizado industrial, anonizado decorativo y anonizado duro<sup>6</sup> (AEA, s.f.).

1. *Inspecciones:* en estas visitas los inspectores identificarán las no conformidades o problemas y se realizarán mediante el esquema mostrado en la Ilustración 39. Las especificaciones a verificar variarán en función del tipo de anodizado. El inspector podrá llevar a cabo algunos ensayos, entre ellos, la medida del espesor o pruebas de resistencia a la abrasión de la superficie.

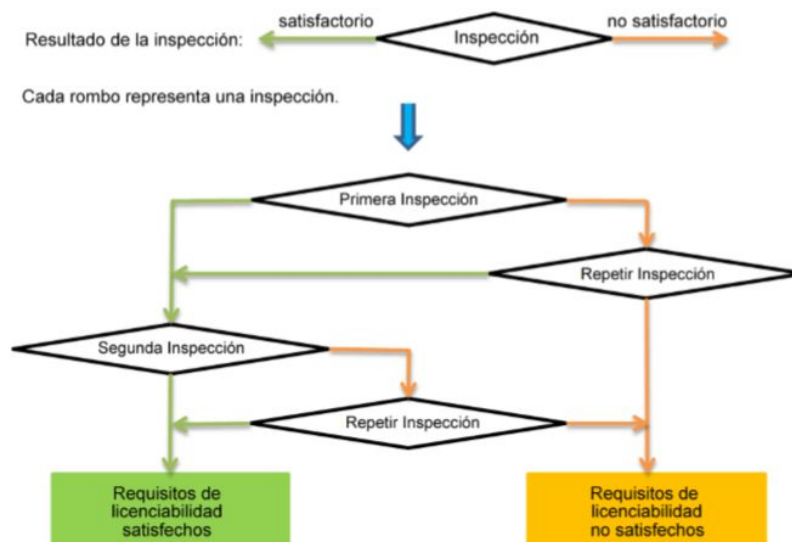


Ilustración 39. Proceso de inspección de los productos licenciados (AEA, s.f.)

2. *Evaluación de los resultados:* el personal encargado de llevar a cabo la inspección evaluará los resultados obtenidos durante la misma y decidirá si estos son satisfactorios o no.
3. Si la evaluación es favorable, se procederá a la aprobación de la licencia

<sup>6</sup> Acceso a las directrices de la Marca de Calidad QUALANOD para el Anodizado del Aluminio en medio sulfúrico: [https://www.asoc-aluminio.es/support/pdf/qualanod/Directrices\\_QND%20Ed\\_2019.pdf](https://www.asoc-aluminio.es/support/pdf/qualanod/Directrices_QND%20Ed_2019.pdf)



Ilustración 40. Empleo de las etiquetas de la marca de calidad (AEA, s.f.)

#### 9.2.4. QUALISTEELCOAT

QUALISTEELCOAT es una marca que garantiza la calidad y el cumplimiento de las exigencias del lacado, revestimiento y pinturas orgánicas sobre el acero, siendo su principal objetivo la protección ante la corrosión. Aquellos elementos que presenten el sello de la marca, deberán llevar acabados certificados y aprobados por QUALISTEELCOAT. Además de garantizar protección ante la corrosión, la certificación de la marca asegura requisitos de aspectos mecánicos y resistencia a la intemperie. Para la expedición de la licencia se llevarán a cabo inspecciones y ensayos de los elementos, como evaluaciones de la adhesión, de las condiciones de cocción o pruebas de resistencia al impacto (QUALISTEELCOAT, s.f.)

A diferencia de los casos anteriores, las empresas que quieran obtener una licencia de QUALISTEELCOAT, deberán definir previamente algunos aspectos, entre ellos, la categoría de corrosividad deseada, el sistema de recubrimiento utilizado para dicha corrosividad o trabajar con materiales aprobados por QUALISTEELCOAT. La corrosividad de cada elemento se clasifica en función de sus características en las categorías especificadas en la Tabla 12. del Anexo III<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Acceso directrices marca QUALISTEELCOAT: [https://www.asoc-aluminio.es/support/pdf/qualisteelcoat/QUALISTEELCOAT\\_4\\_1\\_eng.pdf](https://www.asoc-aluminio.es/support/pdf/qualisteelcoat/QUALISTEELCOAT_4_1_eng.pdf)

Una vez establecidos estos conceptos, se procederá a la inspección, en la que se analizarán los siguientes aspectos.

1. Se comprobará que los equipos de laboratorio funcionan correctamente, verificándose los resultados de medición
2. Comprobación del proceso de tratamiento previo y del proceso de recubrimiento, así como de la maquinaria empleada para ello
3. Se verificará el control interno y que la planta de recubrimiento mantenga los registros requeridos
4. Verificación de la capacidad de los empleados de control interno y de responsable de calidad
5. *Evaluación final para la concesión del sello:* se evaluarán los resultados obtenidos durante la inspección para su adjudicación



*Ilustración 41. Sello QUALISTEELCOAT (QUALISTEELCOAT, s.f.)*

## 10. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

A continuación, se exponen las diferentes fases que se han llevado a cabo durante la realización del trabajo, así como la duración de estas.

### 10.1. Fases del proyecto

- **INICIO DEL PROYECTO**

Tras la presentación de las propuestas del TFG y la solicitud de los seis temas de mayor interés por parte de la alumna, es asignado un tema de la especialidad de construcción. Tras comentar las posibles propuestas de proyecto a desarrollar entre alumna y tutora, el 28/01/2019 es adjudicado el presente tema del TFG. Asimismo, durante las charlas posteriores se definen los contenidos y tareas a desarrollar en el trabajo

- **BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN**

Una vez conocida la temática del proyecto, comienza la recopilación de bibliografía e información útil en la que poder apoyarse para redactar tanto el estado del arte como la idea principal del trabajo. Esta búsqueda de información se lleva a cabo hasta la finalización del proyecto, empleándose para la bibliografía tanto libros como documentos web.

- **DESARROLLO DEL TRABAJO**

A continuación, se desarrollan las ideas y conceptos establecidos en el índice con la consiguiente adaptación de la información encontrada a las fachadas metálicas. Asimismo, se investiga a cerca de los sellos de calidad aplicables sobre los metales y este tipo de fachadas.

- **CORRECCIÓN DEL TRABAJO**

Tras la revisión del documento enviado, la alumna recibe una corrección del documento por parte de la tutora y realiza los cambios indicados.

### **DEFINICIÓN DE HITOS**

A lo largo del proyecto, se definen tres hitos que permiten conocer que las tareas establecidas inicialmente han sido cumplidas.

- **HITO 1: PROYECTO DEFINIDO**

Garantiza que se han prefijado unos objetivos y tareas a desarrollar durante la elaboración del trabajo.



- **HITO 2: REVISIÓN DE ENTREGA**

La tutora comprueba que lo llevado a cabo hasta el momento es correcto y que el enfoque dado al proyecto es el preestablecido.

- **HITO 3: VALIDACIÓN DE TRABAJO FINAL**

Tras la revisión de las correcciones oportunas por parte de la alumna, la tutora comprueba que las modificaciones acordadas están resueltas y son correctas.

- **HITO 4: FIN DEL PROYECTO Y ENTREGA DE DOCUMENTACIÓN**

Se finaliza el trabajo de fin de grado y se entrega.

## 10.2. Diagrama de Gantt

En este apartado y mediante el diagrama de Gantt se puede ver de forma más clara lo explicado en el apartado anterior.

Tabla 5. Tareas diagrama de Gantt

Tarea	Duración	Fecha de inicio	Fecha de finalización
Propuestas TFG	6 días	02/10/18	09/10/18
Asignación del trabajo	4 días	15/10/18	18/10/18
Definición de índice de contenidos	0 días	28/01/19	28/01/19
Definición de tareas	0 días	28/01/19	28/01/19
Estado del arte	15 días	15/04/19	30/04/19
<b>Desarrollo del trabajo</b>	<b>62 días</b>	<b>19/04/19</b>	<b>15/07/19</b>
Lesiones físicas	19 días	19/04/19	15/05/19
Lesiones mecánicas	19 días	15/05/19	10/06/19
Lesiones químicas	16 días	10/06/19	01/07/19
Normativa de obligatorio cumplimiento	5 días	09/07/19	15/07/19
Sellos voluntarios	2 días	11/07/19	12/07/19
Corrección del trabajo	4 días	15/07/19	18/07/19
Validación del trabajo final	0 días	18/07/19	18/07/19
Entrega de documentación	0 días	19/07/19	19/07/19

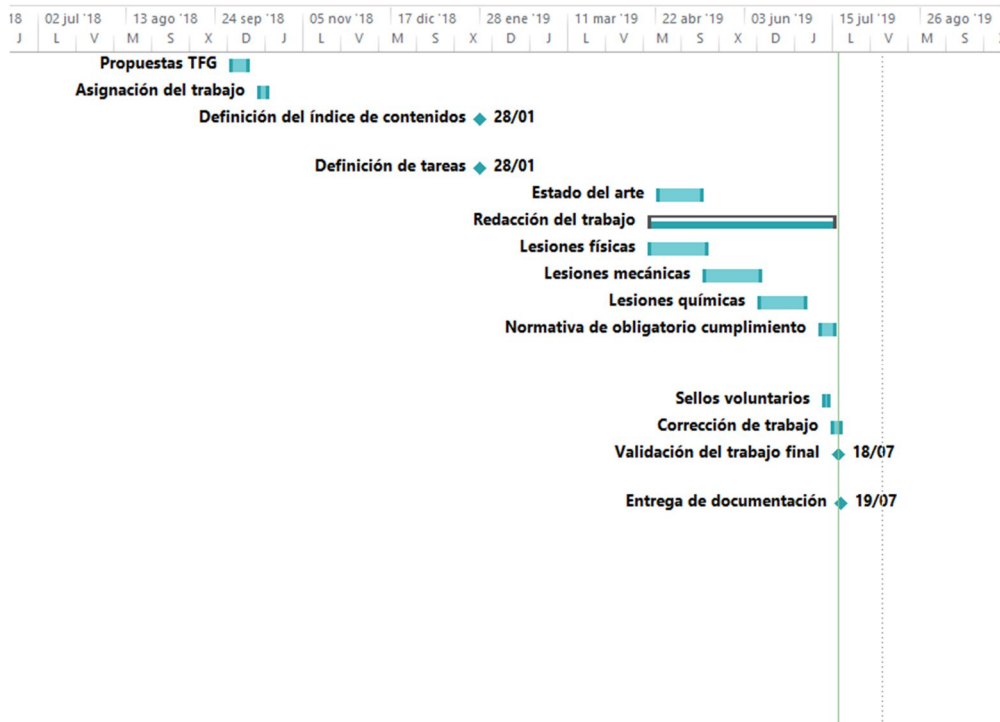


Ilustración 42. Diagrama de Gantt

## 11. DESCARGO DE GASTOS

- HORAS INTERNAS**

Tabla 6. Partida de horas internas

	Horas empleadas	Coste unitario	Coste total
Ingeniero Junior	200 h	25 €/h	5.000 €
Director del proyecto	20 h	50 €/h	1.000 €
<b>Total</b>			<b>6.000 €</b>

- **AMORTIZACIONES**

*Tabla 7. Partida de amortizaciones*

	Precio inicial	Vida útil	Utilización en el proyecto	Amortización
Ordenador personal	1.300 €	3 años	3 meses	108,33 €
Licencia Office	130 €	1 año	3 meses	32,50 €
<b>Total</b>				<b>140,83 €</b>

- **FUNGIBLES**

*Tabla 8. Partida de gastos*

	Coste
Libros	80 €
<b>Total</b>	<b>80 €</b>

- **RESUMEN DE GASTOS**

*Tabla 9. Presupuesto*

CONCEPTO	COSTE
Horas internas	6.000,00 €
Amortizaciones	140,83 €
Gastos	80,00 €
Costes indirectos (10 %)	622,08 €
IVA (21 %)	1.437,01 €
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>8279,92 €</b>

## 12. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La investigación realizada en el presente proyecto verifica los beneficios que presentan las fachadas metálicas frente a las soluciones más convencionales, principalmente fachadas portantes. Entre estas características positivas, destacan su durabilidad, su buen aislamiento y su fácil instalación debido a que se trata de una solución industrializada y ligera. Asimismo, debido a las características que presentan los metales y el tipo constructivo de las fachadas metálicas, únicamente como envolventes sin soportar ningún tipo de cargas, estos cerramientos tienden a presentar menos lesiones, y, por ende, se emplearán menos acciones de reparación, convirtiendo a este tipo de cerramientos en una buena alternativa frente a las soluciones convencionales.

No obstante, cabe destacar que los metales presentan un precio más elevado que el hormigón o el ladrillo, lo que provoca que los materiales metálicos tiendan a emplearse en edificaciones más concretas y no de un modo habitual como los materiales mencionados. Asimismo, la existencia de unos sellos de calidad, que suelen presentar muchas empresas de la industria, y que a pesar de ser voluntarios conviene poseer para convencer a constructores y promotores de la calidad de los productos y facilitar su introducción en el mercado de forma que se garanticen las cualidades establecidas, impone una inversión económica mayor.

Además, cabe resaltar que los sellos de calidad analizados verifican la calidad de cada placa de material, pero no contemplan los posibles fallos durante el montaje, que podrían dar lugar a lesiones en la fachada.

Como futuras líneas de investigación, se podría plantear un análisis más exhaustivo de las patologías en función del material metálico empleado, así como de sus soluciones de intervención, puesto que las prestaciones que presenta cada tipo de metal difieren bastante unas de otras. El comportamiento de los materiales ante los agentes externos también varía, siendo de utilidad su análisis junto con la característica anterior. Por último, y puesto que los agentes contaminantes son los principales causantes de patologías en fachadas metálicas, resultaría de gran interés la afección de estos, con el aumento de la contaminación, sobre este tipo de edificaciones, especialmente en áreas contaminadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adell, J. M., Del Águila, A., Barahonda, C., Carbonell, M., Galindo, P., García, S., . . . De Villanueva, F. (s.f.). *Patologías y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas. Tomo 4*. Madrid: Munilla-Lería.
- AEA. (s.f.). *QUALANOD*. Obtenido de Información QUALANOD: <https://www.asoc-aluminio.es/marcas-de-calidad/qualanod>
- AENOR. (2011). *Reglamento particular de la Marca AENOR para fachadas ligeras*.
- ASEFAVE. (s.f.). *Manual de producto - Fachadas ligeras*. Madrid: AENOR.
- blog, I. m. (2016). *Corrosión por picadura - Ingeniería mecánica*. Obtenido de <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2016/06/corrosion-por-picadura.html>
- Catarina. (s.f.). *Capítulo I. Fundamentos básicos sobre corrosión*. Obtenido de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/mgd/hernandez\\_m\\_js/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgd/hernandez_m_js/capitulo1.pdf)
- CDL. (s.f.). Obtenido de Chapas para fachadas y cubiertas: <https://www.cdl.es/productos-servicios/chapas-para-fachadas-y-cubiertas/>
- Chico, B., De la fuente, D., & Morcillo, M. (s.f.). *Corrosión atmosférica de metales en condiciones climáticas extremas*. Obtenido de ReseachGate: [https://www.researchgate.net/publication/238689045\\_Corrosion\\_atmosferica\\_de\\_metales\\_en\\_condiciones\\_climaticas\\_extremas](https://www.researchgate.net/publication/238689045_Corrosion_atmosferica_de_metales_en_condiciones_climaticas_extremas)
- Chico, B., Otero, E., Mariaca, L., & Morcillo, M. (s.f.). La corrosión en atmósferas marinas. Efecto de la distancia a la costa. *Revista de Metalurgia*, 4.
- Conejo, C. (s.f.). *F3 ARQUITECTURA*. Obtenido de TITANIO Y CONSTRUCCIÓN: [https://www.f3arquitectura.es/mies\\_portfolio/titanio/](https://www.f3arquitectura.es/mies_portfolio/titanio/)
- CTE. (s.f.). *CTE*. Obtenido de <https://www.codigotecnico.org/>
- Cubiertas del centro*. (s.f.). Obtenido de Los mejores revestimientos y fachadas de chapa: tipos, precios y dónde comprarlos
- De arkitektura*. (s.f.). Obtenido de <http://dearkitektura.blogspot.com/2011/12/que-es-la-oxidacion-de-los-metales-la.html>
- García Olmos, F., & Pérez Navarro, J. (s.f.). *Manual prevención de fallos - Corrosión metálica en construcción*. Murcia: Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de la Región de Murcia.
- Garí, J., & Soto, S. (2002). *Cerramiento verticales - fachadas*. Barcelona: Grupo editorial ceac.
- Larrauri Gil, M., Losada Rodríguez, R., Rojí Chandro, E., Cuadrado Rojo, J., & Carbajal de la Red, N. (2009). *EDIFICACIÓN: Normativa, Forjados, Soleras, Fachadas, Cubiertas y Patología de Cerramientos*. Bilbao: Publicaciones - Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- León Vallejo, F. J. (s.f.). *Informes de la construcción*. Obtenido de Ensuciamiento de fachadas pétreas por la contaminación atmosférica:

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1469/2363>

López Rodríguez, F., Rodríguez Rodríguez, V., Santa Cruz Astorqui, J., Torreño Gómez, I., & Ubeda de Mingo, P. (2004). *Edificación UPM*. Obtenido de Manual de Patología de la Edificación - TOMO 3: [https://www.edificacion.upm.es/personales/santacruz-old/Docencia/cursos/ManualPatologiaEdificacion\\_Tomo-3.pdf](https://www.edificacion.upm.es/personales/santacruz-old/Docencia/cursos/ManualPatologiaEdificacion_Tomo-3.pdf)

*Marcado CE de productos de construcción*. (s.f.). Obtenido de AENOR: <https://www.aenor.com/certificacion/marcado-ce/productos-de-construccion>

Mas Tomás, Á. (s.f.). *Cerramientos de Obra de Fábrica. Diseño y Tipología*. Valencia: Universidad Politécncia de Valencia.

*Materiales*. (s.f.). 4.3. *Corrosión por picadura*. Obtenido de [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12\\_4\\_3.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_4_3.html)

METELMEX. (s.f.). *Galvanizado por inmersión en caliente*. Obtenido de <https://www.metelmex.com/es/industrial/hot-dip-galvanizing-galvanizado-por-inmersion-en-caliente/>

Monjo Carrio, J. (1994). *Patologías de cerramientos y acabados arquitectónicos*. Madrid: Munillaloría.

*Obralia - Quinta metálica*. (s.f.). Obtenido de Revestimientos metálicos: <https://www.obralia.com/dir/minisites/catalogos/141180/catalogo.pdf>

*Promateriales*. (s.f.). Obtenido de <https://promateriales.com/pdf/PM64-07.pdf>

QUALICOAT. (s.f.). *QUALICOAT*. Obtenido de Información QUALICOAT.

QUALISTEELCOAT. (s.f.). *QUALISTEELCOAT*. Obtenido de <https://www.qualisteelcoat.net/>

*Quinta metálica*. (s.f.). Obtenido de Acero inoxidable: <http://www.quintametalica.com/acero.php>

Raffino, M. E. (11 de Diciembre de 2018). *Concepto.de*. Obtenido de Condept de cobre: <https://concepto.de/cobre/>

RAI PINTORES. (s.f.). Obtenido de ¿QUÉ ES Y PARA QUE SIRVE EL PANEL SANDWICH?: <http://www.raipintores.com/blog/panel-sandwich>

RecemsA. (2014). Obtenido de ¿Sabías que el zinc es un gran protector del metal?: <https://www.elchatarro.com/el-zinc-es-protector-del-metal/>

*Rocas y minerales*. (s.f.). Obtenido de Titanio: <https://www.rocasym minerales.net/titanio/>

Salazar-Jiménez, J. A. (2015). *Scielo*. Obtenido de Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica) : <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v28n3/0379-3982-tem-28-03-00127.pdf>

Sánchez-Ostiz Gutiérrez, A. (2002). *Cubiertas*. Madrid: CIE Inversiones Editoriales DOSSAT 2000.

- Sánchez-Ostiz Gutiérrez, A. (2011). *Fachadas - Cerramientos de edificios*. Madrid: Cie Inversiones Editoriales Dossat 2000 SL.
- Sergabi. (s.f.). Obtenido de Metalización: <http://www.sergabi.com/metalizacion/>
- Soria, V., Verrumo, S., Muñinos, I., Margareto, E., Jacobovich, A., Geler, L., & Moreno, A. (2006). *Enciclopedia Broto de Patologías de la Construcción*. . Barcelona: Links.
- Trujillo Cebrián, J. J. (2000). *Ejecución de faldones en cubiertas: operaciones auxiliares de albañilería de fábricas y cubiertas (UF0642)*. Málaga: IC Editorial.
- UPV. (s.f.). 4.5. *Corrosión intergranular*. Obtenido de [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12\\_4\\_5.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_4_5.html)
- Zamora i Mestre, J. L., & Calderón, J. M. (2015). *DISEÑO DE FACHADAS LIGERAS - Manual de introducción al proyecto arquitectónico*. Barcelona.

## ANEXOS

### ANEXO I. Características del acero inoxidable empleado en fachadas

Tabla 10. Acero inoxidable empleado en fachadas

Espesor en j. alzada / j. plana* para cubierta:	0,5 a 0,6mm
Espesor en junta alzada / j. plana para fachada	0,5 a 0,6mm
Espesor en paneles de fachada o paneles casete	0,6 a 0,8mm
Dimensiones máximas	Ancho 1250mm, largo no limitado
Peso específico	7,9kg / dm <sup>3</sup>
Peso instalado en cubierta o fachada en junta alzada / junta plana	4,4kg (0,5mm), 5,28kg (0,6mm),
Punto de fusión	1450°C
Dilatación térmica	1,6mm / m / 100°C
Resistencia a la tracción	600N/mm <sup>2</sup>
Normativa de fabricación (aleaciones)	EN 14404 (AISI 316L) EN 14307 (AISI 304L)



ANEXO II: Tabla de protecciones y acabados recomendados en elementos metálicos

Tabla 11. Protección y acabado de materiales metálicos (Adell, y otros)

Mateiral	Preparación	Protección	Acabado
GENERAL		Reubrimiento por una capa protectora no metálica <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinturas y barnices</li> <li>• Lacas y esmaltes cocidos</li> <li>• Productos bituminosos</li> <li>• Revestimientos de caucho natural o sintético</li> <li>• Esmalte vitrificados</li> <li>• Productos anti-orin</li> </ul> Recubrimiento por una capa protectora metálica <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metal de revestimiento electronegativo con respecto al protegido</li> <li>• Metal de revestimiento electronegativo con respecto al protegido</li> <li>• Metales utilizados</li> </ul> De bajo punto de fusión: plomo, estaño, cadmio, zinc. Ligeros: aluminio <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipos de revestimiento</li> </ul> Por vía húmeda: desplazamiento electrodepósito Por temple Inmersión en el metal del recubrimiento Por metalización Aportación por fusión mediante soplete o arco Proyectando sobre la pieza gotitas de metal de recubrimiento fundido Por placado Laminación conjunta y en caliente del metal base y el recubrimiento Por cementación Proyectado sobre el metal base un chorro de metal de reubrimiento fundido	
		Protección por tratamientos químicos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fosfatación</li> <li>• Protalización</li> </ul> Protección por tratamientos anódicos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se emplean para el aluminio; formación de una película de alúmina muy resistente y de fácil limpieza</li> </ul>	
HIERRO Y ACERO	Decapado <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chorro de arena</li> <li>• Limpieza con cepillo met.</li> <li>• Decapado químico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imprimación anticorrosiva</li> <li>• Metalización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinturas plásticas, el aceite, de alumiinio bituminosas, etc.</li> <li>• Sobre acero metalizado no es necesaria otra protección, salvo casos particulares o condicionantes estéticos</li> </ul>
ZINC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Después de un buen desengrasado de la superficie se le aplica una "imprimación de limpieza"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imprimación para metales no féreos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinturas al silicato, plásticas, al aluminio</li> <li>• En atmósferas industriales: esmaltes sintéticos, pinturas epoxi, de poliuretano</li> </ul>
ALUMINIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suave lijado</li> <li>• Inmersión en baños de fórmulas diversas para formar una buena superficie de agarre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imprimación de limpieza</li> <li>• Protección anódica y otras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinturas gliceroftálicas, de aluminio, plásticas</li> <li>• En atmósferas industriales: esmaltes, sintéticos, pinturas epoxi, de poliuretano</li> </ul>
PLOMO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desengrasado y limpieza a fondo, seguidos de lijado de la superficie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imprimación para metales no féreos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinturas al silicato, plásticas, al aluminio</li> <li>• En atmósferas industriales: esmaltes sintéticos, pinturas epoxi, de poliuretano</li> </ul>
COBRE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza a fondo y lijado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mano de imprim. para met. no fér.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando se quiera mantener el brillo metálico una vez preparada la superficie, se barniza</li> </ul>

## ANEXO III: Clasificación de los elementos en función de su corrosividad. Sello QUALISTEELCOAT

Tabla 12. Clasificación de los elementos en función de su corrosividad (QUALISTEELCOAT, s.f.)

Corrosivity category	Examples for typical ambient conditions in a moderate climate	
	exterior	Interior
<b>C1</b> very low		heated buildings with clean atmospheres, e.g. offices, shops, schools, hotels.
<b>C2</b> low	atmosphere with low level of pollution; mostly rural areas	unheated buildings where condensation may occur, e.g. depots, sports halls.
<b>C3</b> medium	urban and industrial atmospheres, moderate sulphur dioxide pollution; coastal areas with low salinity	production rooms with high humidity and some air pollution, e.g. food processing plants, laundries, breweries, dairies
<b>C4</b> high	industrial areas and coastal areas with moderate salinity	chemical plants, swimming pools, coastal ship- and boatyards
<b>C5</b> very high	industrial areas with high humidity and aggressive atmosphere and coastal areas with high salinity	buildings and areas with almost permanent condensation and with high pollution
<b>CX</b> extreme	Offshore areas with high salinity and industrial areas with extreme humidity and aggressive atmosphere and subtropical and tropical atmospheres	Industrial areas with extreme humidity and aggressive atmosphere