

Protección de la madera mediante el diseño constructivo

Francisco Arriaga Martitegui y Miguel Esteban Herrero

Introducción

La madera, por su propia naturaleza viva, se relaciona con los elementos que la rodean. En la mayoría de los casos no sufre ningún daño con esta relación, pero en determinadas ocasiones puede servir de alimento para otros organismos vivos (agentes bióticos) o sufrir deterioro por agentes físicos (agentes abióticos). Por ello, en la madera expuesta a determinadas condiciones puede ser necesario disponer de algún medio para garantizar su durabilidad. Algunos de estos medios están basados en la aplicación de productos químicos que la protejan (protección química), pero otros están basados simplemente en el correcto diseño y en la correcta ejecución de los detalles constructivos para preservar a la madera de las condiciones que reducen su durabilidad (protección pasiva).

A menudo es suficiente una protección pasiva bien resuelta, por lo que no siempre será necesario un tratamiento químico. Normalmente donde más indicada está y más eficaz resulta la protección pasiva es en las piezas de madera colocadas a la intemperie, en contacto con los muros o en otros lugares donde existe mayor riesgo y se acumula más humedad.

Como primera pauta para definir los medios de protección necesarios es conveniente conocer la durabilidad natural de la madera. Como su propio nombre indica, la durabilidad natural no es más que la capacidad de una madera para resistir los ataques bióticos o abióticos sin ninguna protección añadida.

La primera diferenciación se encuentra dentro del mismo tronco del árbol entre la madera de albura y

la de duramen. La madera de albura es la última que ha generado el tronco del árbol, más joven y más funcional porque en ella se albergan las células vivas responsables del transporte y almacenamiento de sustancias vitales para el árbol. La madera de duramen se sitúa en el centro del tronco y ha perdido sus funciones vitales, por lo que sirve básicamente para soporte y almacenamiento de sustancias. Las células del duramen han sufrido un proceso físico y químico que las convierte en células más densas y menos vulnerables que las de albura.

Por otro lado no todas las especies tienen la misma durabilidad natural. En España es frecuente la utilización en el exterior de maderas como el iroko o el azobe, que son especies tropicales con una alta durabilidad natural y no necesitan tratamientos protectores especiales. La madera de pino, una de las más utilizadas, resulta medianamente durable, pero con un tratamiento adecuado podemos garantizar una durabilidad suficiente. Sin embargo la madera de abeto (*Picea*), que también es medianamente durable, no admite fácilmente los tratamientos porque no deja que sus células se impregnen con los productos químicos protectores.

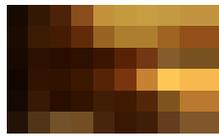
Estos aspectos hay que tenerlos en cuenta a la hora de estudiar la durabilidad de una madera. Pero no se puede olvidar que no todas las situaciones conllevan el mismo riesgo. Parece lógico pensar que una madera colocada en un interior, donde va a estar siempre seca, difícilmente pueda ser atacada por pudriciones. Sin embargo se puede tener la casi total seguridad de que una madera colocada

en el exterior y en contacto con el suelo terminará por pudrirse, por poner un ejemplo. A efectos prácticos, en la normativa actual (UNE EN 335) se han considerado cinco clases de riesgo que contemplan las distintas situaciones a las que puede estar expuesta una madera. Desde un punto de vista de la protección química cada clase de riesgo necesitará unos niveles de protección adecuados, como aparece en la tabla 1 (Peraza S., 1999).

En algunos casos la clase de riesgo puede rebajarse mediante un diseño adecuado de los detalles constructivos. Un caso típico es el del apoyo inferior de los pilares sobre el suelo: si se deja en contacto directo con el suelo se encuentra en una clase de riesgo 4, mientras que con sólo elevar ligeramente la superficie del apoyo podemos reducirlo a una clase de riesgo 3 o, incluso, 2 si se protege adecuadamente. Este sencillo ejemplo revela que existen soluciones económicas que puede ahorrar gastos innecesarios en los costosos tratamientos químicos.

Otro aspecto a tener en cuenta en la fase de diseño es la posibilidad de retener agua en la madera al exterior. Cualquier arista, encuentro entre piezas, vierteaguas mal ejecutado o rincón puede dar origen a la retención de agua y propiciar un ataque, por lo que siempre hay que prever la salida natural del agua que pueda ser retenida.

La testa de las piezas de madera tiene una mayor capacidad de absorción de la humedad, por lo que son puntos que se deben proteger cortándolas en bisel para que viertan el agua, colocando una tapa o forro o



CONSTRUCCION

Tabla 1. Tabla Clases de Riesgo y Tratamientos (de la Norma UNE EN 33)

CLASE DE RIESGO	Exposición humidificación	TIPO DE PROTECCIÓN	PRODUCTO	CANTIDAD	MÉTODO DE APLICACIÓN
TRATAMIENTO 1 Sin contacto con el suelo Bajo cubierta.	NINGUNA	No necesaria	-	-	-
2 Sin contacto con el suelo Bajo cubierta	OCASIONAL	Superficial	Orgánicos Hidrodispersables Productos mixtos - Hidrosolubles	80-120 ml/m ² 80-120 ml/m ² 50 gr/m ² 3,5 kg/m ³	Pincelado Pulverización Inmersión
		Recomendable Media	Orgánicos Hidrodispersables Productos mixtos - Hidrosolubles	250 ml/m ² 250 ml/m ² -	Pinc / Pulv / Inm Pinc / Pulv / Inm
3 Sin contacto con el suelo Al exterior	FRECUENTE	Media	Productos Doble Vacío	3,5-10 Kg/m ³ 5 - 15 Kg/m ³	Inmers. / Autoc. Autoclave
		Recomendable Profunda	Productos mixtos - Hidrosolubles.	3,5-14 Kg/m ³ 25 Kg/m ³	- Autoclave
4 En contacto con el suelo o con el agua dulce	PERMANENTE	Profunda	Creosota Productos mixtos - Hidrosolubles	- 8 - 15 Kg/m ³	- Autoclave
5 En agua salada	PERMANENTE	Profunda	Hidrosolubles	8 - 15 Kg/m ³	Autoclave

de cualquier otra forma.

Desde el punto de vista de la protección pasiva, valorando los posibles costes que pueda suponer, una medida a menudo necesaria consiste en prever la sustitución de piezas. De esta forma se pueden diseñar elementos de protección o con funciones secundarias que preserven la integridad de las piezas principales y que puedan ser fácilmente sustituibles. Incluso a veces se plantean diseños para poder sustituir piezas principales cuando estén dañadas.

El correcto mantenimiento de cualquier elemento de madera es una herramienta esencial para la durabilidad, especialmente cuando existe cierto grado de riesgo. En algún caso se puede llegar a extremos en los que el mantenimiento es un condicionante importante en la vida útil de la construcción. Como ejemplo puede comentarse el caso de una montaña rusa construida con madera,

que se encuentra a la intemperie y está sometida a esfuerzos dinámicos, donde todas las piezas han sido completamente tratadas en profundidad. Para el mantenimiento se requiere un equipo permanente de cuatro personas para efectuar una revisión diaria (apriete de pernos, sustitución de piezas dañadas, etc.). Quizás este sea un caso extremo de esfuerzo de mantenimiento y se puedan encontrar soluciones intermedias que abaraten este coste.

A continuación se tratan algunos de estos detalles agrupados por varios temas, incluyendo dibujos con comentarios en los que se puede entender mejor la filosofía de cada diseño.

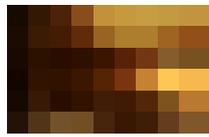
Encuentro de las piezas con el suelo

Una pieza de madera en contacto con el suelo quedaría clasificada como perteneciente a la clase de riesgo 4. La durabilidad de un poste de madera de

conífera sin tratamiento de protección apoyado o empotrado directamente en el suelo es del orden de unos 6 años. Si la madera está tratada adecuadamente su vida se alarga a más de 24 años (Benito, 1960).

Es evidente que una solución más eficaz consiste en que el pilar no entre en contacto con el suelo; la clase de riesgo bajaría, al menos, a la clase 3 y tal vez a la clase 2, y la durabilidad de la pieza sería mucho mayor. Por este motivo, una de las reglas clásicas de la construcción con madera recomienda que exista una separación al suelo de toda pieza de madera de unos 15 a 30 cm. De esta manera se evita el riesgo de pudrición y se dificulta un posible acceso de las termitas; también quedará más protegido de las salpicaduras del agua de lluvia en caso de exteriores.

Antiguamente esta solución se materializaba normalmente con una basa de piedra; actualmente se recurre a piezas metálicas que quedan ancla-



CONSTRUCCION

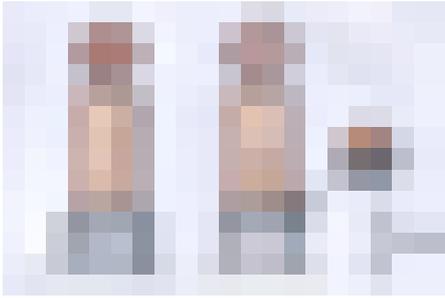


FIGURA 1.- A LA IZQUIERDA LA SOLUCIÓN TRADICIONAL PARA SEPARAR UN PILAR DEL SUELO MEDIANTE UNA BASE DE PIEDRA CON UNA ALTURA DE 15 A 20 CM. A LA DERECHA SE REPRESENTA UNA SOLUCIÓN ACTUAL PARA EL APOYO DE UN PILAR DE MADERA LAMINADA ENCOLADA TORNEADA MEDIANTE UNA BASE DE HORMIGÓN ARMADO; EL ANCLAJE SE REALIZA CON UNA CHAPA INTERNA Y PERNOS OCULTOS. PUEDE OBSERVARSE QUE EL AGUA DE LLUVIA QUE ESCURRE POR LA SUPERFICIE DEL PILAR GOTEA LIBREMENTE AL ENCONTRARSE RETRANQUEADO Y BISELADO EL BORDE DEL ARRANQUE DE HORMIGÓN.

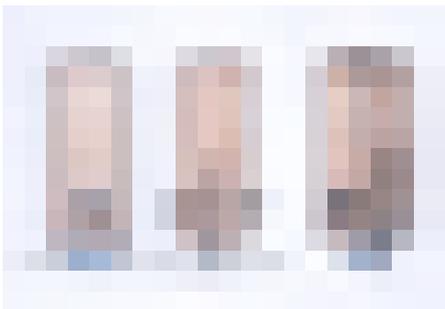


FIGURA 2.- APOYO DE UN PILAR DE MADERA ASERRADA EVITANDO EL CONTACTO CON EL SUELO DE MANERA RADICAL; LA CARGA SE TRANSMITE AL PERNO DE ACERO Y LA PLACA METÁLICA QUEDA ANCLADA A LA CIMENTACIÓN. AQUÍ PRÁCTICAMENTE NO EXISTE POSIBILIDAD DE RETENCIÓN DEL AGUA DE LLUVIA. LA PROTECCIÓN DEL ACERO SERÁ CRÍTICA PARA LA DURABILIDAD DEL CONJUNTO.

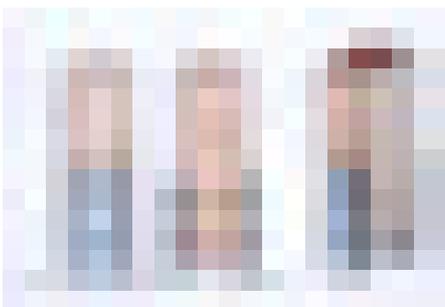


FIGURA 3.- OTRA SOLUCIÓN SIMILAR A LA ANTERIOR CON CHAPAS LATERALES QUE, AL NO QUEDAR OCULTAS, PUEDEN RESULTAR ESTÉTICAMENTE MENOS ADECUADAS.

das a la cimentación. Dentro de estas soluciones existen diversas variantes más o menos ventajosas, como se verá en las figuras. La estrategia fundamental es evitar que el agua de lluvia pueda retenerse en alguna superficie horizontal en contacto con la madera. Este es el motivo por el que las bandejas de apoyo de las piezas suelen quedar retranqueadas con respecto a la sección de la pieza de madera.

Al emplear piezas de acero para llegar a conectar con la cimentación la durabilidad puede quedar comprometida por esta pieza, por lo que deberá protegerse adecuadamente. Al final de este texto se incluyen las ideas principales sobre la corrosión y la protección del acero.

Encuentro de las piezas de madera con los muros

El punto de mayor riesgo para las piezas de madera de la estructura de un edificio es la zona de encuentro con los muros. Esto se debe a que la fábrica puede almacenar el agua procedente tanto de fugas y filtraciones de la cubierta e instalaciones como por capilaridad procedente del suelo.

Este es el caso de los apoyos de las vigas en los muros de fachada, especialmente bajo repisas o balcones, o en las zonas de paso de bajantes y otras canalizaciones húmedas.

En la literatura técnica sobre construcción con madera este tema resulta una preocupación constante desde la antigüedad. La estrategia más acertada se basa en la disposición de un material impermeable en la base de la pieza que evite el posible paso de humedad. Al mismo tiempo se intenta dejar ventilada la zona que envuelve a la pieza embebida en el muro. Algunas propuestas llegan incluso a evitar el apoyo directo mediante dispositivos de vuelos al interior. En las figuras siguientes se incluyen algunos ejemplos de estas soluciones.

Testas expuestas a la intemperie

Un punto crítico de las estructuras de madera colocadas a la intemperie es el

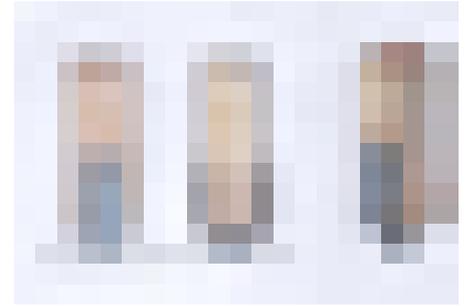


FIGURA 4.- ES UNA SOLUCIÓN SIMILAR A LA ANTERIOR PERO CON UNA BANDEJA PARA MEJORAR EL APOYO DEL PILAR, CON EL INCONVENIENTE DE QUE ALGO DE AGUA SE PUEDE RETENER EN LA BANDEJA.

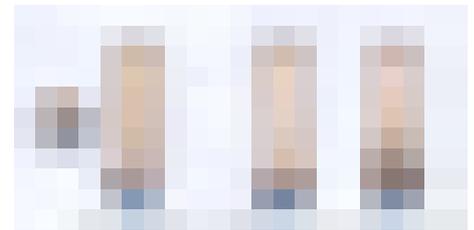


FIGURA 5.- LA COLOCACIÓN DE UNA BANDEJA DE APOYO PUEDE RESOLVERSE DE DISTINTAS MANERAS, PERO SIEMPRE ES CONVENIENTE UN CIERTO RETRANQUEO PARA EVITAR LA RETENCIÓN DEL AGUA. EN CASO CONTRARIO EL AGUA RETENIDA FACILITA LA DEGRADACIÓN POR HONGOS DE LA BASE DEL PILAR.

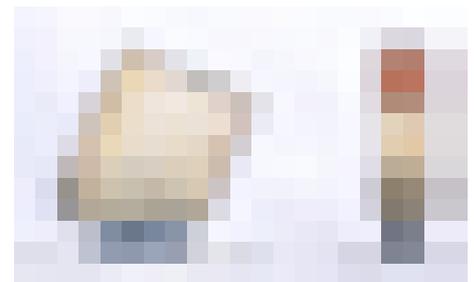
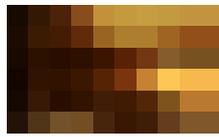


FIGURA 6.- DETALLE DEL APOYO ARTICULADO DE UN ARCO. ESTE APOYO, AUNQUE NO ESTÁ ESPECÍFICAMENTE DISEÑADO PARA EXTERIOR, PERMITE QUE NO SE RETENGA AGUA DURANTE EL MONTAJE SI LA OBRA SE DEMORA UN TIEMPO. LA BANDEJA QUEDA RETRANQUEADA Y NO TAPA TODA LA TESTA. LA OBRA DE LA QUE PROCEDE ESTE DETALLE ES EL MERCADO NACIONAL DE GANADO DE SANTIAGO DE COMPOSTELA, DONDE SE PRODUJO UNA PARALIZACIÓN DE LAS OBRAS Y LA ESTRUCTURA PERMANECIÓ AL EXTERIOR DURANTE UN PERIODO DE TIEMPO EN EL QUE SE PODRÍAN HABER PRODUCIDO DAÑOS SI NO LLEGA A ESTAR CORRECTAMENTE RESUELTO EL HERRAJE (SÁNCHEZ ET AL., 1996).



CONSTRUCCION



FIGURA 7.- EN LA CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL ES FRECUENTE EL EMPLEO DE LA GRAVA Y LA PIEDRA COMO ELEMENTO INTERMEDIO ENTRE EL SUELO Y LA MADERA. EN LA CONSTRUCCIÓN JAPONESA, COMO SOLUCIÓN MÁS DURADERA QUE EL EMPOTRAMIENTO DIRECTO DEL PILAR EN EL SUELO, SE RECURRÍA A APOYAR EL SOPORTE SOBRE UNA BASE DE PIEDRA (REALIZANDO UN CONTACTO ÍNTIMO ENTRE LA MADERA Y LA PIEDRA AL RECORTAR EL NEGATIVO DE LA FORMA DE LA PIEDRA EN LA MADERA). ESTA PIEDRA DESCANSA SOBRE EL FIRME A TRAVÉS DE OTRAS PIEDRAS MENORES, FIGURA A (BENEDETTI, 1991). CON LA MISMA FILOSOFÍA, LA SOLUCIÓN PARA EL APOYO DE UN DURMIENTE QUE SIRVE DE ARRANQUE A LOS PIES DERECHOS SE REALIZABA A TRAVÉS DE PIEDRAS QUE EVITAN EL CONTACTO DIRECTO CON EL TERRENO, FIGURA B. EN LA CONSTRUCCIÓN ACTUAL DE ENTRAMADO LIGERO SE ENCUENTRAN SOLUCIONES QUE TAMBIÉN EMPLEAN UNA BASE DE GRAVA COMPACTADA PARA EL DESCANSO DE UN DURMIENTE DE MADERA TRATADA SOBRE EL QUE ARRANCA EL MURO ENTRAMADO; ESTA SOLUCIÓN SE UTILIZA EN LUGARES DE CLIMA MUY FRÍO DONDE NO ES POSIBLE EL HORMIGONADO (SHERWOOD, 1990).



FIGURA 8.- ES BUENA PRÁCTICA COLOCAR UNA FRANJA DE GRAVA O GRAVILLA QUE RODEA EL EDIFICIO PARA EVITAR EL SALPICADO DEL AGUA DE LLUVIA DIRECTA Y DEL ALERO SOBRE LAS PARTES BAJAS DE LAS PIEZAS DE MADERA EN LA FACHADA. AL MISMO TIEMPO CUMPLE LAS FUNCIONES DE DRENAJE PARA EL AGUA DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.

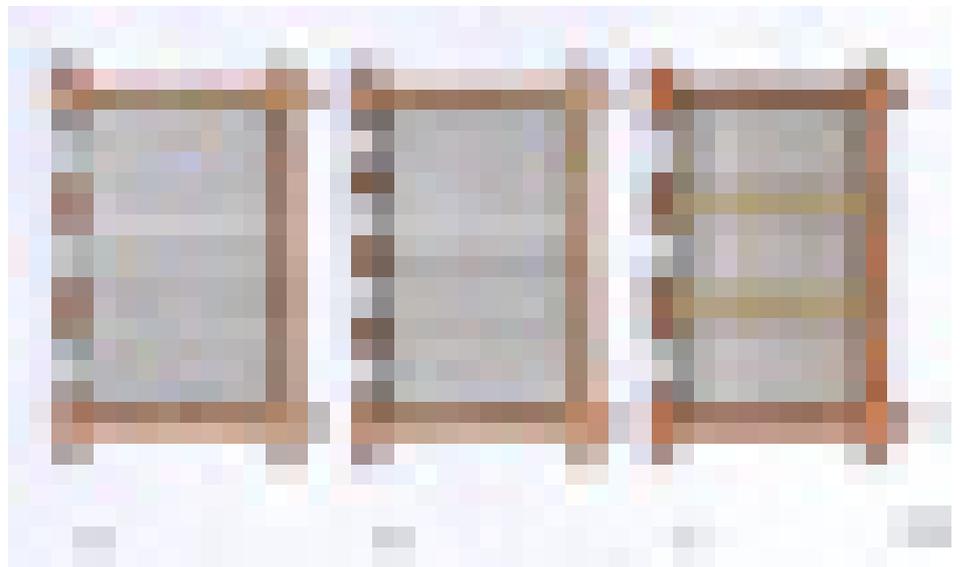
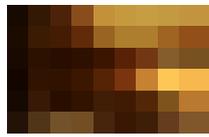


FIGURA 9.- EL PROBLEMA DE LA PUDRICIÓN DE LAS CABEZAS DE LAS VIGAS DE FORJADO HA SIDO UNA PREOCUPACIÓN CONSTANTE EN LOS TRATADOS DE CONSTRUCCIÓN. LA SOLUCIÓN MÁS SIMPLE, FIGURA A, CON UN ÚNICO ORDEN DE VIGUETAS QUE TIENEN UN EXTREMO APOYADO SOBRE EL MURO DE FACHADA CON MAYOR RIESGO DE HUMEDAD ES LA SITUACIÓN MÁS DESFAVORABLE. UNA OPCIÓN PARA MEJORAR LA SITUACIÓN CONSISTE EN EMBROCHALAR AQUELLAS VIGUETAS QUE NO APOYAN SOBRE MACHONES CIEGOS DEL MURO, FIGURA B; SIN EMBARGO, PRESENTA EL INCONVENIENTE DE SOBRECARGAR LAS PIEZAS QUE SE ENCARGAN DE LA TRANSMISIÓN DE LA CARGA AL MURO. ANTIGUAMENTE, EN TRATADOS DE CONSTRUCCIÓN DEL SIGLO XVIII (ARRIAGA, 1998), SE RECONOCIÓ COMO MEJOR PRÁCTICA CONSTRUCTIVA EL DISEÑO DE FORJADOS CON DOS FAMILIAS: UNA DE VIGAS PRINCIPALES QUE APOYAN EN LOS MUROS EN LAS ZONAS CIEGAS SIN HUECOS Y CUIDANDO EL DISEÑO DEL APOYO, Y LA SEGUNDA FAMILIA DE VIGUETAS TRANSVERSALES APOYADAS SOBRE LAS VIGAS SIN PREOCUPACIÓN SOBRE LA POSIBILIDAD DE HUMECTACIÓN DE SUS CABEZAS, FIGURA C.

de las testas expuestas, ya que es la zona por donde más humedad puede quedar retenida. Las superficies al hilo (radiales o tangenciales), sin embargo, absorben mucha menos humedad.

Tanto en las testas del extremo de piezas verticales (pilares, soportes verticales de vallas, etc.) como horizontales (vigas en voladizo, tabloncillos de solera de una pasarela, etc.) pueden disponerse distintos sistemas que impidan el acceso del agua o que permitan su rápida evacuación. Existen muy variadas soluciones para la protección de testas, como pueden ser unos sencillos cortes oblicuos, unas tapas de madera o de chapa, forros superiores ventilados y goterones.

El diseño tradicional de las ménsulas y canecillos incluye una serie de cortes que actúan como goterones evitando que el agua escurra hacia el muro.



CONSTRUCCION



FIGURA 10.- COMO SE HA COMENTADO, EL MAYOR RIESGO DE PUDRICIÓN EN LAS CABEZAS DE LAS VIGAS DE LOS FORJADOS SE DA EN LOS APOYOS SOBRE MUROS DE FACHADA; ÉSTOS PUEDEN RETENER MÁS HUMEDAD DEBIDA AL AGUA DE LLUVIA Y PRINCIPALMENTE SI EXISTEN REPISAS DE BALCONES O CORNISAS DE FACHADA. SI SON INTERIORES LO NORMAL ES QUE NO ESTÉN DAÑADOS. EN ALGUNOS CASOS SE LLEGA A PREFERIR UNA LUZ MAYOR PARA LAS VIGAS CON TAL DE TENER APOYOS EN MUROS INTERIORES SECOS, COMO SE DESCRIBE EN EL EDIFICIO DEL INSTITUTO JACINTO VERDAGUER (ARRIAGA, 1988).

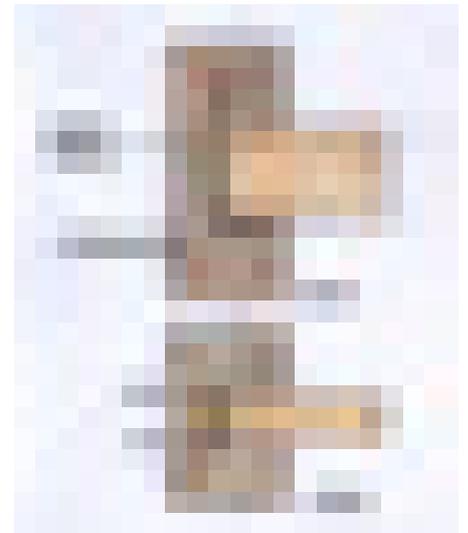


FIGURA 11.- EL APOYO DE UNA VIGA SOBRE UN MURO DEBE CUMPLIR UNAS CONDICIONES MÍNIMAS DE PROTECCIÓN PASIVA. LA PRIMERA DE ELLAS ES IMPERMEABILIZAR LA BASE DE LA VIGA MEDIANTE ALGÚN MATERIAL INTERMEDIO. ANTIGUAMENTE SE USABA LA BASE DE PEZ, ACTUALMENTE SE UTILIZAN MATERIALES ASFÁLTICOS O PLÁSTICOS, O CHAPAS METÁLICAS DE PLOMO O DE ACERO (LA PEZ ES UN DERIVADO POR DESTILACIÓN DE LAS TREMENTINAS IMPURAS DE COLOR OSCURO). EL DURMIENTE COMO PIEZA INTERMEDIA TAMBIÉN ES POSIBLE, AUNQUE NO SUELE CITARSE EN LA BIBLIOGRAFÍA SOBRE FORJADOS DE MADERA PROBABLEMENTE PARA NO DEBILITAR EL MURO EN LAS PLANTAS INTERMEDIAS. SIN EMBARGO EL DURMIENTE ES MUY FRECUENTE EN LAS CORONACIONES DE LOS MUROS. EN LA TESTA Y EN TODOS LOS BORDES DEBERÁ DEJARSE UN ESPACIO DE VENTILACIÓN DE 15 A 30 MM. EN EL FONDO SE DEBE COLOCAR UN MATERIAL AISLANTE TÉRMICO CON EL FIN DE EVITAR LA FORMACIÓN DE CONDENSACIONES EN ESE PUNTO QUE ESTÁ MÁS CERCA DE LA CARA FRÍA Y PUEDE CONSTITUIR UN PUENTE TÉRMICO. ESTAS SOLUCIONES PARECEN ESPECIALMENTE INDICADAS EN MUROS EXTERIORES O CERCA DE ZONAS DE PASO DE INSTALACIONES, EN LOS MUROS SECOS NO SON NECESARIAS ESTE TIPO DE SOLUCIONES.

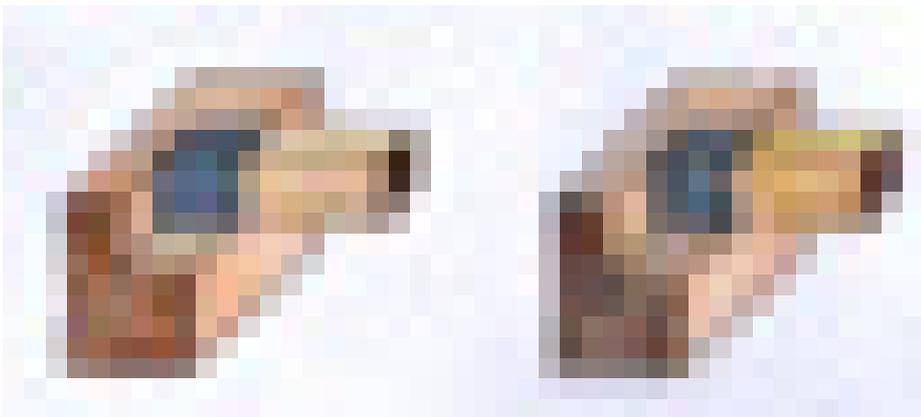
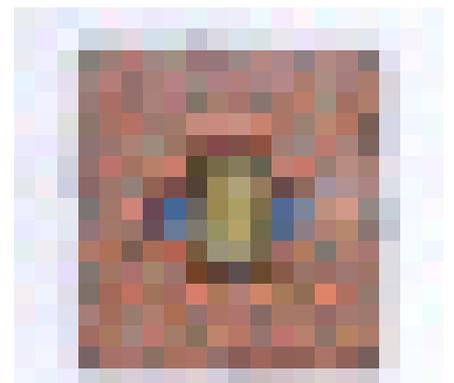


FIGURA 12.- UNA SOLUCIÓN QUE PERMITE VENTILAR EL PERÍMETRO DE LA VIGA EN EL INTERIOR DEL MURO SIN PERDER LA FIJACIÓN CON LA FÁBRICA CONSISTE EN COLOCAR UNA CHAPA PLEGADA QUE ENVUELVE LA CABEZA DE LA VIGA (FRICK-KNÖLL, 1953).

FIGURA 13.- UNA SOLUCIÓN PARA IMPEDIR EL ACCESO DE LA HUMEDAD A LA MADERA CONSISTE EN ENVOLVER LA CABEZA DE LA VIGA CON UN CARTÓN EMBREADO O TELA ASFÁLTICA. ESTO SÓLO PUEDE HACERSE SI LA MADERA ESTÁ SECA A LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO DE SERVICIO. SI ESTUVIERA HÚMEDA O PUDIERA HUMEDECERSE POR AMBIENTE INTERIOR, POR EJEMPLO EN UN BAÑO O COCINA CON FUERTES HUMEDADES AMBIENTALES, LA MADERA AUMENTARÍA PELIGROSAMENTE SU CONTENIDO DE HUMEDAD Y TENDRÍA CIERTA DIFICULTAD PARA SECARSE, POR LO QUE ESTA SOLUCIÓN PODRÍA LLEGAR A SER CONTRAPRODUENTE.

FIGURA 14.- UNA MANERA DE DEJAR VENTILADA LA CABEZA DE LA VIGA ES ACODALARLA CON ALGUNOS LADRILLOS DEL MURO, DEJANDO OTROS SIN PONER O CORTADOS PARA DEJAR HUECOS DE SEPARACIÓN (FRICK-KNÖLL, 1953 Y BARBEROT, 1946).



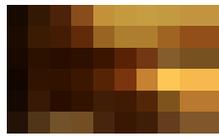


FIGURA 17.- SE PUEDEN PONER ALGUNAS MÉNSULAS DISTANCIADAS Y DISPONER UNA CARRERA DE MADERA QUE RECIBA LAS CABEZAS DE LAS VIGAS. A MENUDO SE ENCUENTRA ESTA SOLUCIÓN EN OBRAS ANTIGUAS COMO UNA REPARACIÓN A UN PROBLEMA ANTERIOR DE PUDRICIÓN EN LAS CABEZAS DE LAS VIGAS.



FIGURA 18.- EN ALGUNOS EDIFICIOS SE RECURRE A ESCALONAR EL MURO ADELGAZÁNDOLO EN LAS PLANTAS SUPERIORES PARA QUE LA MADERA TENGA MENOS SUPERFICIES OCULTAS POR LA FÁBRICA Y QUEDE SENSIBLEMENTE MEJORADA LA VENTILACIÓN.



FIGURA 16.- PUEDE COLOCARSE UNA MÉNSULA DE PIEDRA PARA EVITAR ENTRAR DENTRO DEL MURO (BARBEROT, 1921). ESTA SOLUCIÓN TIENE EL INCONVENIENTE DE QUE LA REACCIÓN DE CARGA DE LA VIGA SOBRE EL MURO QUEDA DESCENTRADA RESPECTO AL EJE DEL MURO.

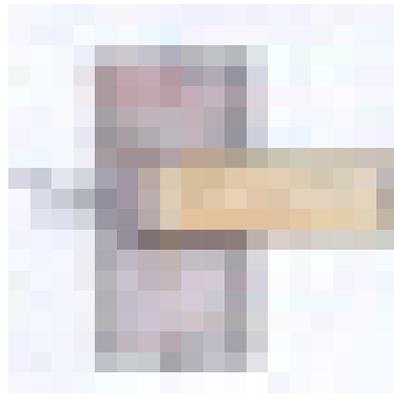


FIGURA 15.- EN ALGUNOS LIBROS ANTIGUOS SE RECOMENDABA INCLUSO LA VENTILACIÓN AL EXTERIOR CON UN ORIFICIO PROTEGIDO CON UNA REJILLA (BARBEROT, 1921).

Piezas expuestas a la intemperie

La exposición de piezas de madera colocadas a la intemperie puede dar lugar a todo tipo de circunstancias y situaciones en las que será necesario disponer medidas de protección para evitar las distintas patologías a las que puede dar lugar, tanto de origen biótico por la acumulación de humedad como por los fenómenos de hinchazón y merma o de apertura de fendas.

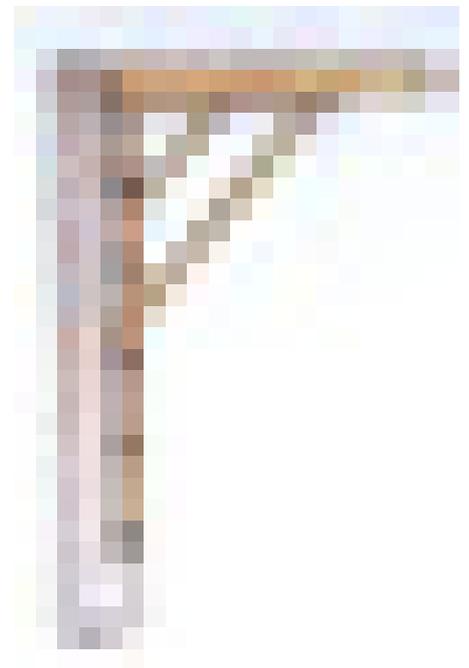
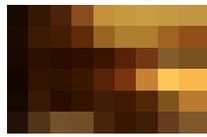


FIGURA 19.- EN ALGUNAS CONSTRUCCIONES ANTIGUAS (ARRIAGA, 1990) LA FILOSOFÍA DE SEPARAR DE LOS MUROS LOS ELEMENTOS DE MADERA SE EXTIENDE A CASI TODO EL ENTRAMADO. LOS ENTRAMADOS DE SUJECCIÓN DE LA CUBIERTA SE APOYAN EN ESCALONES DEL MURO Y SU DURABILIDAD ESTÁ GARANTIZADA.



FIGURA 20.- EN LA CORONACIÓN DE LOS MUROS ES IMPORTANTE QUE A PARTIR DE UN PLANO LA FÁBRICA DEJE LUGAR A LAS SOLUCIONES CON MADERA PARA QUE QUEDA COMPLETAMENTE VENTILADA. EN CASO DE FALLO DE LA IMPERMEABILIZACIÓN, COSA QUE ANTES O DESPUÉS PUEDE SUCEDER EN CUALQUIER CUBIERTA, EL AGUA QUE PUEDA ESCURRIR POR EL FALDÓN Y LLEGAR AL ENCUENTRO CON LOS MUROS PODRÁ SECARSE FÁCIL Y RÁPIDAMENTE SIN ACUMULARSE DURANTE LARGOS PERIODOS DE TIEMPO SOBRE LA MADERA. EN LA FIGURA APARECE UNA SOLUCIÓN CLÁSICA DE ALERO CON CANECILLOS.



CONSTRUCCION

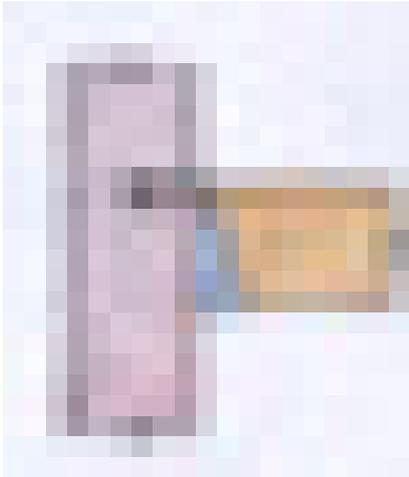


FIGURA 21.- CON EL OBJETO DE MANTENER LA CABEZA DE LA VIGA FUERA DEL MURO SE ENCUENTRA LA POSIBILIDAD DE UTILIZAR UN HERRAJE DE CUELQUE. PRESENTA EL INCONVENIENTE DE DESCENTRAR LA CARGA EN EL MURO. ESTA SOLUCIÓN SE ENCUENTRA CITADA EN VARIAS PUBLICACIONES BRITÁNICAS PERO RARA VEZ EN LA REALIDAD.



FIGURA 22.- ESTA SOLUCIÓN HA SIDO UTILIZADA EN LA RESTAURACIÓN DE UN EDIFICIO ANTIGUO EN ITALIA. CONSISTE EN VIGAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA CON UN FORJADO DE CHAPA Y HORMIGÓN ARMADO COLABORANTES. EL APOYO SE REALIZA SOBRE UNA MÉNSULA METÁLICA ANCLADA AL MURO. LA CAPA DE HORMIGÓN TAMBIÉN SE ANCLA EN EL MURO YA QUE SE BUSCA CONECTAR LOS MUROS ENTRE SÍ PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO FRENTE AL SISMO.

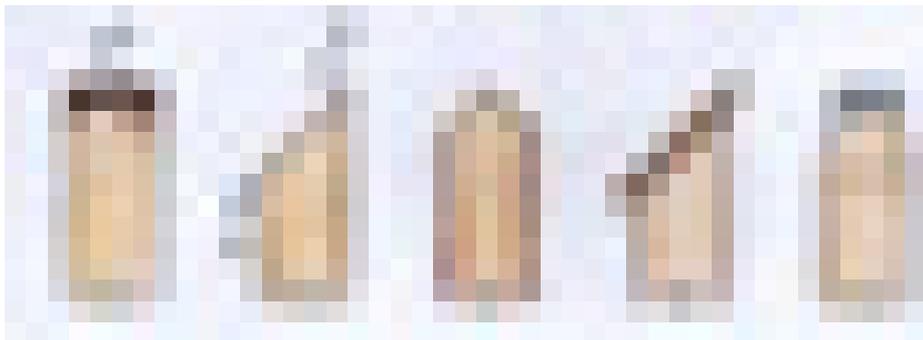


FIGURA 23.- PARA EVITAR QUE LA TESTA DE UNA PIZA VERTICAL A LA INTEMPERIE RETENGA EL AGUA ES CONVENIENTE REALIZAR UN CORTE OBLICUO O DOS. MEJOR AÚN SI SE PONE UNA TAPA DE MADERA QUE PUEDE REPONERSE CUANDO SE DETERIORE. OTRA PROTECCIÓN PUEDE SER UN CAPERUZÓN DE CHAPA DE CINCO U OTRO MATERIAL, AUNQUE AL FINAL TAMBIÉN SE DETERIORARÁ.

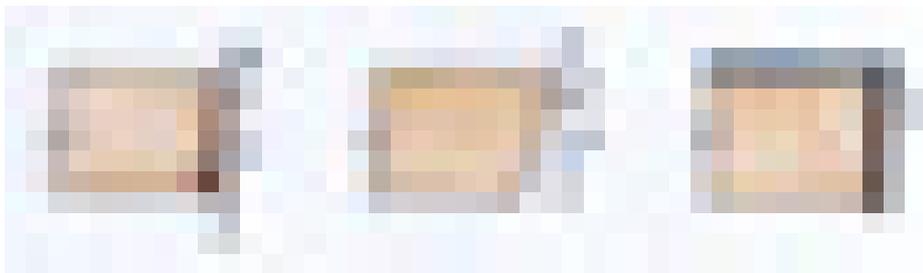


FIGURA 24.- UNA TESTA DE UNA PIEZA HORIZONTAL A LA INTEMPERIE RETENDRÁ ALGO DE AGUA Y SE FENDARÁ Y AGRIETARÁ CON EL TIEMPO. UN MEJORA SENCILLA CONSISTE EN HACER EL CORTE LIGERAMENTE OBLICUO PARA EVITAR EN PARTE EL AGUA DE LA LLUVIA. TAMBIÉN PUEDE PROTEGERSE CON UNA PIEZA DE MADERA O VIERTEAGUAS METÁLICO Y CON UN GOTERÓN.



FIGURA 25.- UNA PIEZA DE MADERA LAMINADA ENCOLADA VUELA UN POCO DESDE EL APOYO Y DEJA EXPUESTA LA TESTA AL AGUA DE LLUVIA. A MENUDO, POR RAZONES DE DISEÑO SE PREFIERE DEJAR VISTA LA TESTA DE LA PIEZA, PERO HABRÍA QUE PENSAR QUE ES UNA ZONA QUE QUEDARÍA MUY EXPUESTA A LA DEGRADACIÓN. EN LA SOLUCIÓN DE LA FIGURA LA TESTA HA SIDO PROTEGIDA CON UNA TABLA DE MADERA DE FRONDOSA TROPICAL MUY DURABLE PARA EVITAR QUE EL AGUA DE LLUVIA Y LA RADIACIÓN SOLAR LLEGUEN A LA VIGA Y SE PRODUZCA UN RÁPIDO DETERIORO. DE TODAS FORMAS ES INEVITABLE QUE TAMBIÉN LA TABLA PROTECTORA SE DEGRADE CON EL TIEMPO Y PUEDA LLEGAR A MOJARSE LA TESTA DE LA VIGA, POR LO QUE TENDRÁ QUE SER REPUESTA. EN CUALQUIER CASO LA DURABILIDAD DE LA PIEZA ESTRUCTURAL PRINCIPAL QUEDA GARANTIZADA.

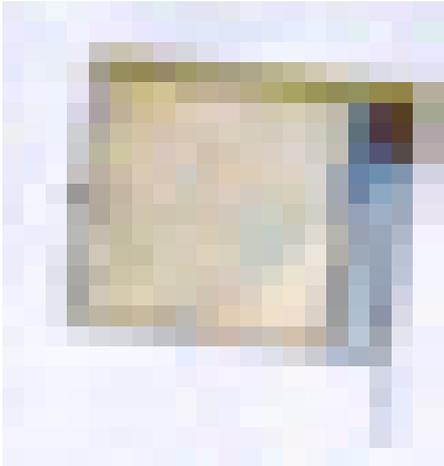
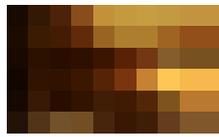


FIGURA 26.- OTRA SOLUCIÓN DE PROTECCIÓN DE LA TESTA DEL EXTREMO DE UNA PIEZA DE MADERA LAMINADA CON UNA CHAPA DE ACERO PINTADA QUE ENVUELVE UN PEQUEÑO TRAMO DE LA PIEZA.
FIGURA 26.- OTRA SOLUCIÓN DE PROTECCIÓN DE LA TESTA DEL EXTREMO DE UNA PIEZA DE MADERA LAMINADA CON UNA CHAPA DE ACERO PINTADA QUE ENVUELVE UN PEQUEÑO TRAMO DE LA PIEZA.

Protección con cubierta, fachada y otras piezas de fácil sustitución

Algunas de las medidas constructivas más eficaces consisten en la colocación de una cubierta o de una fachada para proteger a la estructura del agua



FIGURA 27.- EN ESTA FIGURA APARECE UN PAR DE CUBIERTA QUE VUELA SOBREPASANDO EL ALERO. LA ZONA QUE SOBRESALE LLEVA UNA CUBIERTA O VIERTEGUAS EN LA CARA SUPERIOR, FABRICADO CON EL MISMO MATERIAL QUE LA CUBIERTA. ADEMÁS SE HA COLOCADO UN GOTERÓN AL FINAL PARA EVITAR QUE EL AGUA ESCURRA POR LA TESTA.

de lluvia o de otros elementos de protección que puedan ser fácilmente sustituibles.

Este es el caso de muchas pasarelas de madera construidas en el centro y norte de Europa en las que se coloca

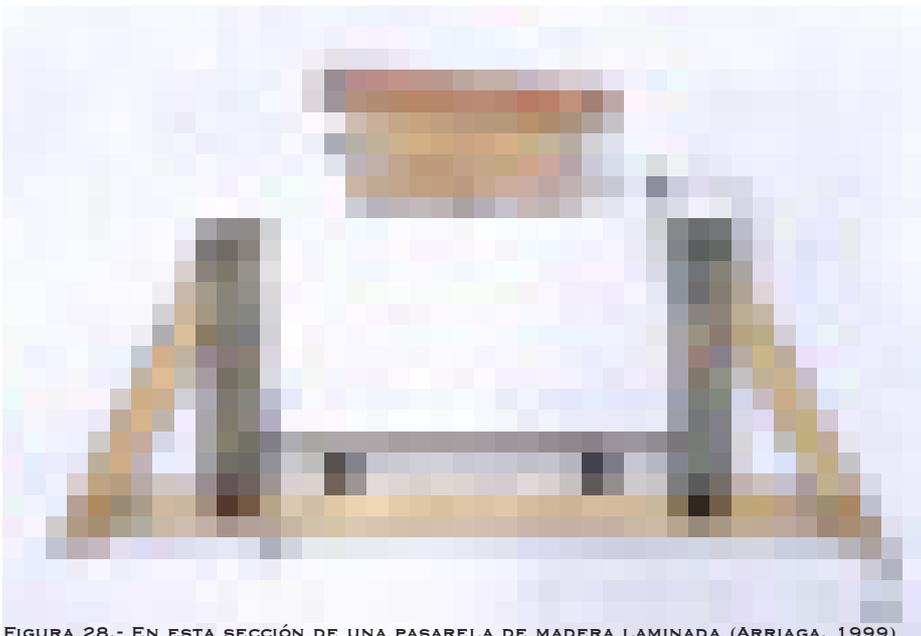


FIGURA 28.- EN ESTA SECCIÓN DE UNA PASARELA DE MADERA LAMINADA (ARRIAGA, 1999) SE PUEDEN OBSERVAR TRES DETALLES DE INTERÉS: EL PRIMERO ES LA SOLUCIÓN DE LAS TORNAPUNTAS PARA EVITAR EL VUELCO DE LA VIGA QUE SOBREPASAN Y PROTEGEN LA TESTA DE LOS TRAVESAÑOS HORIZONTALES. DE ESTA FORMA EL AGUA ESCURRE Y NO MOJA LA TESTA DEL TRAVESAÑO. OTRO DETALLE ES LA PIEZA DE MADERA QUE HACE DE PASAMANOS DE LA PASARELA Y DE VIERTEGUAS CON GOTERONES. ESTA PIEZA PUEDE REPONERSE CUANDO SE DETERIORE. FINALMENTE, PUEDE VERSE QUE LOS LARGUEROS DE APOYO DEL ENTABLADO DEL SUELO ESTÁN SEPARADOS DE LAS VIGAS E INCLUSO EL ENTABLADO NO LLEGA A HACER CONTACTO. ESTO PERMITE LA HUIDA FÁCIL DEL AGUA DE LLUVIA.

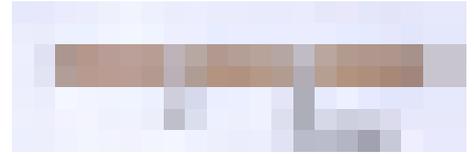


FIGURA 29.- EN LA COLOCACIÓN DE UN ENTABLADO AL EXTERIOR DEBE DEJARSE UNA HOLGURA ENTRE LAS TABLAS QUE SEA SUFICIENTE PARA PERMITIR LA HINCHAZÓN DE LA MADERA CUANDO SE HUMEDezca, Y TAMBIÉN QUE DEJE CAER EL AGUA DE LA LLUVIA Y EL BARRO QUE SE FORMA CUANDO LLUEVE. NORMALMENTE ESTA HOLGURA ES DE 6 A 12 MM.



FIGURA 30.- LA POSICIÓN CORRECTA DE UNA TABLA DE CORTE TANGENCIAL CUANDO SE DISPONE AL EXTERIOR ES LA QUE DEJA LAS FENDAS DE SECADO HACIA ABAJO Y NO RETIENE POR TANTO EL AGUA DE LLUVIA. ES DECIR CON EL CORAZÓN, QUE ADEMÁS ES LA ZONA MÁS DURABLE, HACIA ARRIBA.

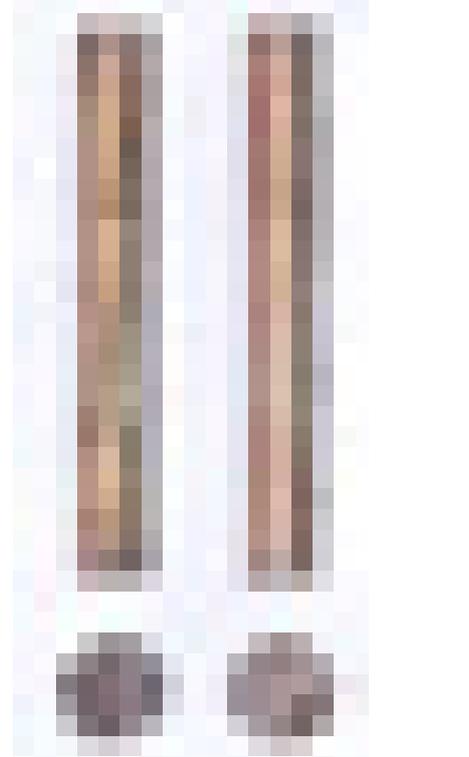
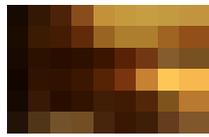


FIGURA 31.- PARA EVITAR LA FORMACIÓN IRREGULAR Y GENERALIZADA DE FENDAS EN LOS ROLLIZOS SE SUELEN REALIZAR UNAS RANURAS LONGITUDINALES EN EL PERÍMETRO PARA PROVOCAR QUE SE FORMEN EN ESAS LÍNEAS Y NO SEAN TAN VISIBLES. ESTA SOLUCIÓN ES MUY UTILIZADA POR LOS FABRICANTES DE MOBILIARIO PARA PARQUES Y JARDINES CUANDO EMPLEAN MADERA CILINDRADA.



CONSTRUCCION

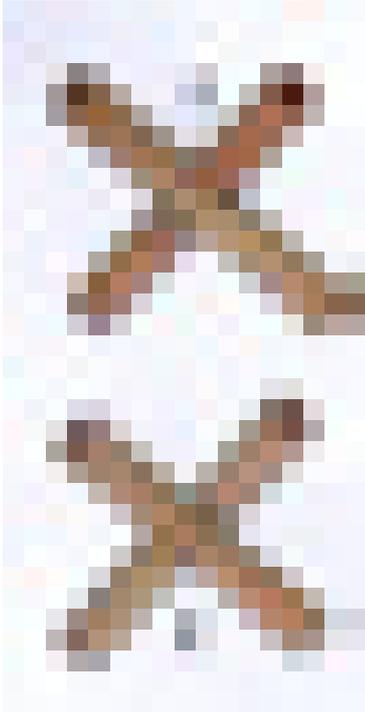


FIGURA 32.- EL ENCUENTRO ENTRE DOS PIEZAS AL EXTERIOR TENDRÁ MÁS DURABILIDAD SI SE CRUZAN Y NO HAY ARISTAS O ENSAMBLES QUE PERMITIRÍAN LA RETENCIÓN DEL AGUA DE LLUVIA.

con cubierta. El alero de la cubierta debe ser suficientemente largo para proteger de la lluvia toda la altura de la pasarela o, si no es así, se añade un entablado a modo de fachada para proteger la parte baja.

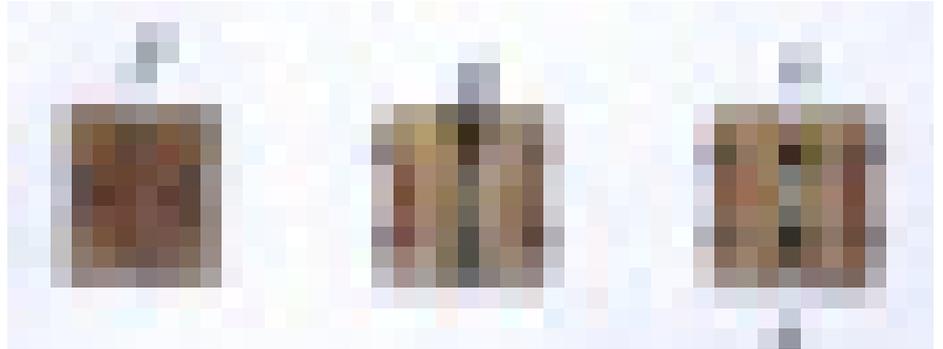
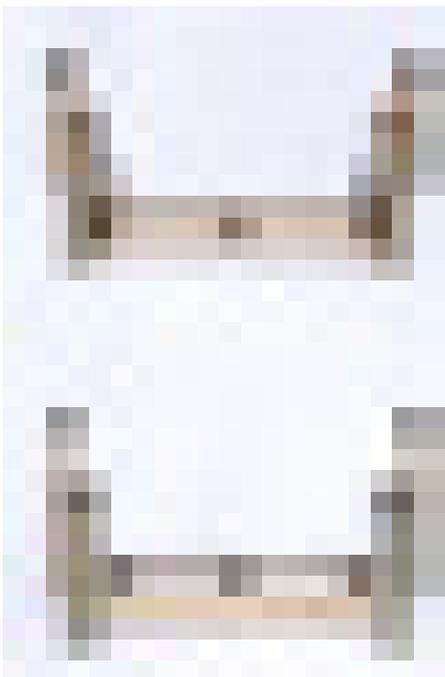


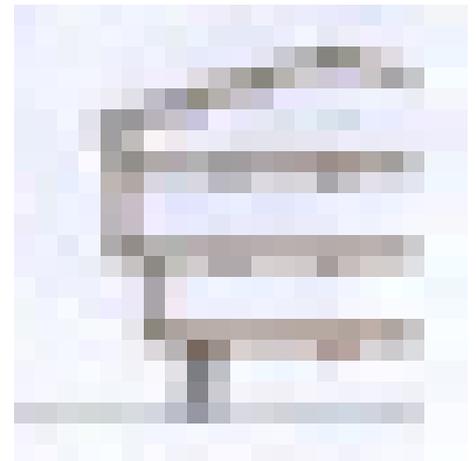
FIGURA 33.- UNA PIEZA DE GRAN ESCUADRÍA SIEMPRE TENDERÁ A AGRIETARSE. SI ESTA PIEZA ESTÁ COLOCADA EN POSICIÓN HORIZONTAL LAS FENDAS SE CONVIERTEN EN VÍAS DE ENTRADA Y RETENCIÓN DE AGUA. LA MISMA SECCIÓN RESISTENTE SE PUEDE CONSEGUIR JUNTANDO DOS PIEZAS, FORMANDO UNA SECCIÓN COMPUESTA CON DOS MEDIAS SECCIONES. LAS PIEZAS DE MENOR GROSOR SON MÁS FÁCILES DE ENCONTRAR EN EL MERCADO Y ADEMÁS PRODUCEN MENOS FENDAS. LA SECCIÓN DOBLE SERÁ AÚN MÁS DURABLE SI SE DISPONEN AMBAS PIEZAS CON UNA SEPARACIÓN INTERMEDIA QUE PERMITA LA EVACUACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA Y LA VENTILACIÓN DE LAS SUPERFICIES. ESTE DISEÑO ERA MUY FRECUENTE EN EL DISEÑO DE PUENTES DE MADERA ANTIGUOS.

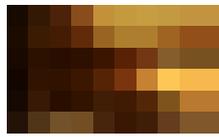


FIGURA 35.- EJEMPLO DE UNA PASARELA CON CUBIERTA CUYO VUELO ES SUFICIENTE PARA PROTEGER TODA LA ESTRUCTURA. NORMALMENTE ES SUFICIENTE CON UN ÁNGULO DE 60 GRADOS PARA GARANTIZAR LA PROTECCIÓN. SI EL ALERO DE LA CUBIERTA ES MENOR SE PUEDE PROTEGER HASTA LA BARÁNDILLA CON EL VUELO Y DESPUÉS DISPONER OTRO SISTEMAS PARA PROTEGER LA PARTE BAJA COMO PUEDE SER UN ENTABLADO DE MADERA QUE PUEDE SUSTITUIRSE CON FACILIDAD (ARRIAGA, 1997).

FIGURA 34.- UNO LOS DEFECTO DE DISEÑO TÍPICO EN PASARELAS DE MADERA AL EXTERIOR SIN TECHO APARECE EN ESTA FIGURA: LOS LARGUEROS DE LOS EXTREMOS PEGADOS A LAS VIGAS PRINCIPALES SON MÁS FÁCILES DE COLOCAR PERO RETIENEN EL AGUA DE LLUVIA Y ACELERAN EL DETERIORO DE LA VIGA Y EL LARGUERO. LA SOLUCIÓN, SIMILAR A LA PLANTEADA EN LA FIGURA 28, ES SEPARAR ALGO LOS LARGUEROS EXTREMOS PARA QUE EL AGUA SALGA CON FACILIDAD.

FIGURA 36.- SOLUCIÓN TRADICIONAL DE PROTECCIÓN DE LAS FACHADAS Y ESTRUCTURAS DE MADERA CON VUELOS SUCCESIVOS. ESTA SOLUCIÓN ERA EMPLEADA EN LA ÉPOCA MEDIEVAL. ESTE DIBUJO ESTÁ BASADO EN UNA PUBLICACIÓN SOBRE LA CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL DE SALAMANCA (GONZÁLEZ I., 1945).

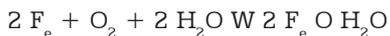




La corrosión del acero y los métodos de protección

La corrosión

La corrosión del hierro y de los aceros es el proceso de transformación en óxidos de hierro hidratados en contacto con el oxígeno y la humedad presentes en el ambiente. La reacción química que tiene lugar es la siguiente:



El hierro se encuentra en la naturaleza, como la mayoría de los metales, en forma de óxidos o sulfuros. Para la obtención del metal es necesario el aporte de una gran cantidad de energía, por lo que el material se encuentra en situación inestable y tiende a recuperar su estado original.

Los óxidos generados en la corrosión ocupan un volumen muy superior al inicial, que se puede estimar en 10 veces el volumen original. Este hecho permite evaluar de manera aproximada la pérdida de sección que sufre la pieza.

Este proceso de transformación es superficial, de manera que el metal que se encuentra debajo de la capa oxidada mantiene intactas sus propiedades. La pérdida de espesor que sufre el acero es muy variable en función del tipo de acero y del ambiente en el que se encuentre, figura 37 (Martínez, R, 1984, Salmon, 1996). Así un acero estructural al carbono en una atmósfera urbana e industrial de tipo moderado pierde aproximadamente 0,25 mm en los 10 primeros años.

Generalmente este proceso de corrosión consecuencia de la reacción con el medio ambiente (líquido o gaseoso) se denomina corrosión química. Existe otro tipo de corrosión, que se denomina corrosión electroquímica, que se origina como consecuencia de la existencia de corrientes eléctricas entre dos zonas del metal con diferentes potenciales puestos en contacto a través del medio. El metal se disuelve en las regiones anódicas en forma de

iones hidratados.

La corrosión electroquímica es más peligrosa ya que no se depositan los productos de la corrosión como ocurre en la química, que ejercen cierta protección al formar una capa porosa.

Protección contra la corrosión

Para la protección del acero frente a la corrosión existen varios procedimientos. A continuación se describen los más habituales (ATEG, 1979).

a) Recubrimiento con pinturas

El recubrimiento con pintura sigue la estrategia de interponer una capa superficial que aisle el metal del medio ambiente para impedir la corrosión. La pintura deberá poseer ciertas características para cumplir su misión: buena adherencia sobre el metal, mínima porosidad, baja permeabilidad al oxígeno y a la humedad y una elevada resistencia al agrietamiento con el paso del tiempo. Uno de los puntos débiles es que los golpes pueden dejar al descubierto la superficie del metal e iniciarse el proceso de corrosión puntualmente. En general la duración de las pinturas no suele superar en el mejor de los casos los 20 años, precisando un

mantenimiento, que en algunos casos puede resultar costoso por la dificultad del tratamiento y repintado de superficies de difícil acceso.

b) Recubrimiento metálicos

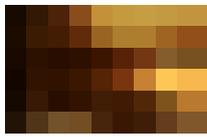
La protección del acero con recubrimientos metálicos (como el magnesio, el aluminio, el cadmio y el cinc) es el sistema más eficaz a escala industrial. De estos metales el cinc es el más adecuado por razones técnicas y económicas. Existen diversos métodos para recubrir con cinc el hierro y el acero de los que los principales son la galvanización electrolítica, la metalización y el galvanizado en caliente. El grado de protección es función del espesor del recubrimiento que se expresa en general en micrómetros o en su masa por unidad de superficie equivalente en gr/m^2 .

Galvanización electrolítica (o electrodeposición)

El espesor máximo de recubrimiento que se consigue con este procedimiento es de 20 μm (140 gr/m^2). Se emplea en el tratamiento de piezas, generalmente pequeñas, que no vayan a estar a la intemperie o en contacto con la humedad.



FIGURA 37. COMPORTAMIENTO FRENTE A LA CORROSIÓN DE DIFERENTES ACEROS.



CONSTRUCCION

Metalización con cinc (o cincado por proyección)

En teoría este procedimiento permite obtener cualquier espesor de recubrimiento pero en la práctica aparece una limitación debida a la pérdida de adherencia en gruesos espesores. Normalmente se utiliza para la protección de piezas de tamaño muy grande (chimeneas de barcos, piezas de puentes, etc.) que no pueden galvanizarse en caliente por sus elevadas dimensiones.

Galvanización en caliente

Este procedimiento consiste en la introducción de las piezas en una cuba llena de cinc fundido. Su campo de aplicación abarca desde la tornillería hasta piezas de 30 m de longitud. Permite obtener espesores desde los 40 :m (280 gr/m²) hasta los 160 :m (1.200 gr/m²) en función del tipo de acero y el espesor de las piezas.

Para el tratamiento de chapas y alambres de acero se emplea el tratamiento en continuo que aporta menor espesor de recubrimiento, pero tiene la ventaja de que con menor espesor se favorece la plasticidad y permite operaciones de deformación en frío (doblado, estirado, laminado, embutición, etc.) sin el agrietamiento del recubrimiento. Otros tipos de piezas se tratan mediante el proceso discontinuo, alcanzando mayor espesor de recubrimiento.

Los recubrimientos galvanizados tienen la ventaja de estar unidos metalúrgicamente al acero de base, lo que les confiere una gran adherencia. Forma varias capas de aleaciones de hierro y cinc con una dureza superior a la del acero, y la capa más externa de cinc es más blanda; esta constitución permite el amortiguamiento de los golpes y resistencia a la abrasión.

La corrosión del cinc es mucho más lenta que la del hierro debido a que en contacto con el aire y el agua se recubre rápidamente de una película superficial muy estable e insoluble de carbonatos básicos de cinc, que

impiden el avance de la corrosión. En caso de un golpe o arañazo que deje al descubierto alguna zona del acero base, la corrosión se orienta hacia el recubrimiento y los productos de la corrosión de mayor volumen pueden llegar a taponar las zonas que estaban al descubierto.

Pinturas de polvo de cinc:

Son pinturas pigmentadas que contienen polvo de cinc de forma que tras su aplicación y secado forman un recubrimiento conductor de la electricidad. El espesor que se alcanza es de 10 a 20 :m (capa delgada), 40 a 80 :m (capa normal) y de 60 a 120 :m (capa gruesa).

Recubrimientos con polvo de cinc (plaqueado mecánico y sherardización):

Procedimiento para el tratamiento de piezas pequeñas que consiste en la obtención de depósitos de cinc o de aleaciones de Zn/Fe mediante el tratamiento con polvo de cinc en tambores giratorios, a temperaturas inferiores a la de fusión del cinc.

c) Sistema mixto (dúplex)

El sistema Dúplex es una combinación de dos métodos de protección: galvanizado y revestimiento con pinturas. Se emplean cuando se requiere una protección muy eficaz frente a la corrosión. Consiste en la aplicación de una o varias capas de pintura sobre un recubrimiento galvanizado.

Su duración es muy superior a la suma de las duraciones independientes de ambos sistemas de protección. Se estima entre 1,5 y 2,5 veces mayor que la suma. Desde el punto de vista del acabado presenta la ventaja de permitir color.

Las pinturas tienen normalmente poros y microgrietas. Si se aplican directamente sobre el acero, el óxido de hierro que se forma bajo la capa de pintura tiende a aumentar las grietas, lo que facilita la entrada de la humedad. El aumento de volumen de la

oxidación genera tensiones que llegan a levantar la capa de pintura.

Sin embargo, cuando la pintura se aplica sobre un galvanizado, este fenómeno da lugar a productos de corrosión de cinc que son insolubles, compactos y adherentes. Como consecuencia taponan las grietas y aumentan la vida de la pintura.

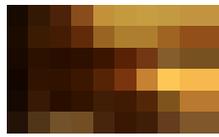
d) Aceros con resistencia mejorada a la corrosión o aceros patinables
Son aceros en los que en su composición se han incluido pequeños porcentajes de cobre, fósforo, cromo o níquel, con la finalidad de disminuir su sensibilidad al ambiente manteniendo las demás propiedades.

La adición de cobre mejora la resistencia a la corrosión atmosférica mediante la formación de una capa de óxido de hierro enriquecido en cobre, muy adherente y compacta y poco permeable, que impide al cabo de unos meses que la oxidación avance hacia las capas más profundas. En estructuras de este tipo de acero puede prescindirse de la aplicación de otros elementos de protección (Ensidesa, 1990).

d) Acero inoxidable

El acero inoxidable se caracteriza por su resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y posibilidades de acabado, por lo que resulta especialmente adecuado como material de acabado cuidado y decorativo.

El tipo de acero más utilizado es el F-3507 (AISI-302) conocido comúnmente como acero 18-8, debido a su contenido medio de carbono (18 %) y de níquel (8 %). También se utiliza el F-3504 (AISI-34) con mejores características de soldabilidad, o el F-3517 (AISI-301), variante del anterior. En ambientes muy agresivos (marino e industrial) es más aconsejable el acero F-3534 (AISI-316), que contiene adiciones de molibdeno. El F-3113, acero ferrítico con aleación de cromo (17 %) es más económico que los anteriores, pero con menor resistencia a la corrosión (Ensidesa, 1990).



Bibliografía

- Arriaga, F. (1988).** Análisis de la estructura de madera del Instituto Jacinto Verdaguer. AITIM nE 131. Págs. 31-40.
- Arriaga, F. (1990).** Santuario de la Antigua en Zumárraga. AITIM nE 142. Págs. 52-54.
- Arriaga, F. (1997).** Pasarela peatonal en Stuttgart. AITIM nE 188. Pág. 51.
- Arriaga, F. (1998).** La carpintería en el Tratado de Arquitectura Civil de Benito Bails. AITIM nE 191. Págs. 33-48.
- Arriaga, F. (1999).** Pasarelas de madera laminada encolada. AITIM nE 197. Págs. 35-40.
- ATEG - Asociación Técnica Española de Galvanización (1979).** Oxidación - Corrosión. Galvanización en caliente. Madrid. 16 págs.
- Barberot, E. (1921).** Tratado práctico de edificación. Editorial Gustavo Gili, Barcelona. 829 págs.
- Barberot, E. (1946).** Tratado práctico de carpintería. Editorial Gustavo Gili, Barcelona. 832 págs.
- Benedetti, C. y Bacigalupi, V. (1991).** Legno architettura. Il futuro della tradizione. Edizioni Kappa. Roma. 406 págs.
- Benito Martínez, J. (1960).** Estado actual de la industria española de la impregnación de maderas. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias.
- Cámara, A. (1972).** Apuntes de construcción III: primera parte Construcción con Madera. Curso de 1972-73. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- Ensidesa (1990).** Acero para estructuras de edificación. Valores estáticos. Estructuras elementales. Empresa Nacional Siderúrgica, S.A. Madrid. 918 págs.
- Frick-Knöll, O. (1953).** Construcción en madera. Editorial Labor S.A. Argentina. 272 págs.
- González Iglesias, L. (1945).** La casa albercana. 2ª edición facsímil de 1982. Ediciones Universidad de Salamanca. 112 págs, aprox.
- Martínez Lasheras, R. (1984).** Patología de las estructuras metálicas y mixtas. Curso de Rehabilitación. Vol. 5 La estructura. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.
- Peraza Sánchez, F., Arriaga, F. Bobadilla, I. y García, F. (1999).** La elección del tratamiento de madera y su control de calidad. AITIM n° 201. Págs. 61 - 72.
- Salmon, C.G. y Johnson, J.E. (1996).** Steel structures. Harper Collins College Publishers. 1024 págs.
- Sánchez, A. y Arriaga, F. (1996).** Madera laminada encolada en exposición a la intemperie. Experiencias en el Mercado Nacional de Ganado de Santiago de Compostela. AITIM nE 182. Págs. 71-75.
- Sherwodd, G.E., y Stroh, R.C. (1990).** Wood-frame house construction. Dover Publications, New York. 260 págs.