

Impermeabilización de Cubiertas Recomendaciones Técnicas

El presente documento tiene por objetivo establecer antecedentes y conceptos generales, parámetros de diseño y especificación de impermeabilización, soluciones y tratamiento de las singularidades en la impermeabilización de cubierta. Se aborda la relevancia del proyecto y especificación de los materiales y tecnologías, la instalación en obra y el uso y mantención que debe existir a través del tiempo. Se ha destinado un capítulo a las patologías y saneamiento, considerando los aspectos ambientales y legales que se deben considerar para esta especialidad.



Impermeabilización de Cubiertas

Recomendaciones Técnicas

MARZO 2017 - NÚMERO 41

IMPERMEABILIZACIÓN DE CUBIERTAS / RECOMENDACIONES TÉCNICAS

 www.cdt.cl





Impermeabilización de Cubiertas - Recomendaciones Técnicas

DOCUMENTO DESARROLLADO POR:

Corporación de Desarrollo Tecnológico

COMITÉ DE REDACCIÓN:

Jorge Adonis (Louisiana Pacific Chile S.A)
Jorge Cholaky (Silicona GE)
Juan Mella (Architeng Group)
Miguel Muñoz (Productos CAVE S.A.)
Pablo Ossandon (CROM-SA)
Antonio Pastor (ASFALTOS CHILENOS S.A.)
Vicky Rojas (VR+ARQ)
Claudia Silva (SIKA S.A. Chile)
Yanina Yurie (DYNAL INDUSTRIAL S.A.)
Aníbal Zúñiga (SHerwin Williams Chile S.A.)

COMITÉ TÉCNICO:

Maria Blender (Secretaría Técnica)
Alejandro Elish (Corporación de Desarrollo Tecnológico)
Mariela Muñoz (Corporación de Desarrollo Tecnológico)

EDICIÓN PERIODÍSTICA:

Área comunicaciones, CDT

DISEÑO:

Paola Femenías

IMPRESIÓN:

Trama Impresores S.A.

ISBN:

Registro de Propiedad Intelectual:
1ª edición, abril 2018, 500 ejemplares
Consulta pública: Septiembre - Octubre 2017

Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT

Marchant Pereira 221 Of.11
Providencia. Santiago de Chile
Fono (56 2) 2718 7500
cdt@cdt.cl/www.cdt.cl

Los contenidos del presente documento consideran el estado actual del arte en la materia al momento de su publicación. CDT no escatima esfuerzos para procurar la calidad de la información presentada en sus documentos técnicos. Sin embargo, advierte que es el usuario quien debe velar porque el personal que va a utilizar la información y recomendaciones entregadas esté adecuadamente calificado en la operación y uso de las técnicas y buenas prácticas descritas en este documento, y que dicho personal sea supervisado por profesionales o técnicos especialmente competentes en estas operaciones o usos. El contenido e información de este documento puede modificarse o actualizarse sin previo aviso. CDT puede efectuar también mejoras y/o cambios en los productos y programas informativos descritos en cualquier momento y sin previo aviso, producto de nuevas técnicas o mayor eficiencia en aplicación de habilidades ya existentes. Sin perjuicio de lo anterior, toda persona que haga uso de este documento, de sus indicaciones, recomendaciones o instrucciones, es personalmente responsable del cumplimiento de todas las medidas de seguridad y prevención de riesgos necesarias frente a las leyes, ordenanzas e instrucciones que las entidades encargadas imparten para prevenir accidentes o enfermedades. Asimismo, el usuario de este documento será responsable del cumplimiento de toda la normativa técnica obligatoria que esté vigente, por sobre la interpretación que pueda derivar de la lectura de este documento.



La Corporación de Desarrollo Tecnológico agradece la colaboración de las siguientes empresas e instituciones en la publicación de este documento técnico.



vickyrojas arquitecta



EMPRESAS ASOCIADAS

• SILICONA GE • ARCHITENG • CROM S.A. • ASFALCHILE • LOUISIANA PACIFIC CHILE S.A. • SHERWIN WILLIAMS • CONSTRUCTORA L Y D S.A.



ADELCHI COLOMBO B.
Presidente

CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO
Cámara Chilena de la Construcción

La Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT, ha definido dentro de sus objetivos estratégicos articular, generar y transferir contenidos técnicos que agreguen valor a la industria de la construcción. Esta tarea es posible con el apoyo de quienes conforman el sector de estudio: proyectistas, proveedores, instaladores, constructoras, entre otras empresas de los diferentes rubros de la industria.

En el desarrollo de este documento técnico participaron profesionales de los diversos ámbitos de la impermeabilización, con una mirada amplia, vanguardista y colaborativa, entiendo que la impermeabilización debe ser comprendida como una especialidad dentro de un proyecto.

Es a partir de esta mirada que, en marzo de 2016 y bajo el alero de la CDT, se constituyó el Grupo Técnico de Impermeabilización de Cubiertas con el objetivo principal de formular un documento, con alternativas y soluciones que den cuenta del avance tecnológico actual y sus aplicaciones en la realidad chilena.

A lo largo de este manual se podrán revisar antecedentes y conceptos generales, con una mirada histórica de esta especialidad. A través del ciclo de vida que se ha establecido, se desarrolla la definición del diseño, la especificación del proyecto, la solución ante determinado sustrato y las singularidades que, sin duda, pueden presentar dificultades futuras. Junto con ello, la instalación, el uso y mantención, las patologías y el saneamiento de estas, son descritas detalladamente, brindando información técnica relevante para la ejecución de esta solución.

Los invitamos a disfrutar de este documento que, sin duda, se constituirá en una importante fuente de referencia para los profesionales del sector construcción, atendiendo al objetivo común: considerar la impermeabilización como una especialidad relevante dentro del proyecto general.

Tabla de Contenidos

1. Antecedentes y Conceptos Generales	12	3. Soluciones de la impermeabilización de la cubierta	49
1.1. Introducción	12	3.1. Sinopsis de las soluciones de impermeabilización de cubierta	49
1.2. Justificación	12	3.2. Sistemas asfálticos	49
1.3. Alcance	14	3.2.1. Sistemas preformados asfálticos	50
1.4. Historia	14	3.2.2. Sistemas líquidos asfálticos	52
1.5. Los desafíos del cambio climático	16	3.3. Sistemas poliméricos	52
2. Parámetros de diseño y especificación de la impermeabilización de la cubierta	17	3.3.1. Membranas (preformados)	53
2.1. Definiciones de cubierta y techumbre	17	3.3.2. Revestimientos poliméricos (líquidos)	56
2.2. Tipologías de techos	17	3.3.3. Epóxicos	60
2.2.1. Tipologías generales	17	3.4. Sistemas en base de minerales	60
2.2.2. Tipología según ubicación de la aislación térmica	19	3.4.1. Cementicos	60
2.3. Elementos básicos de la cubierta plana impermeabilizada	24	3.4.2. Bentonitas	61
2.4. Pendientes	25	3.4.3. Cristalizadores	61
2.4.1. Pendientes mínimas	25	3.5. Comparación de los sistemas de impermeabilización	61
2.4.2. Cálculo y conversión de pendientes	26	3.6. Materiales y capas complementarias	64
2.5. Funciones del techo impermeabilizado	27	3.6.1. Capas separadoras y/o de protección	64
2.5.1. Funciones de la techumbre y de la cubierta	27	3.6.2. Capas de control de la difusión de vapor de agua	64
2.5.2. La (IM)PERMEABILIDAD como función principal de la cubierta	29	3.6.3. Aislantes térmicos	65
2.5.3. Otras funciones básicas de la impermeabilización	33	3.6.4. Revestimientos pesados	66
2.5.4. Funciones adicionales de la impermeabilización expuesta	35	3.6.5. Capas complementarias para techos vegetales	66
2.6. Tolerancias	36	3.7. Nuevas tecnologías	68
2.6.1. Tolerancia dependiente	36	4. Tratamiento de las singularidades de la impermeabilización de cubierta	70
2.6.2. Tolerancia de planeidad	36	4.1. Juntas	70
2.6.3. Resaltes	37	4.1.1. Juntas de dilatación estructurales	70
2.7. Sustratos de hormigón	37	4.1.2. Juntas del soporte base	72
2.7.1. Rugosidad y preparación de superficies de hormigón	37	4.1.3. Juntas de la capa de protección	73
2.7.2. Grietas en sustratos de hormigón	40	4.1.4. Sellos elásticos	73
2.8. Evacuación de agua lluvia	41	4.2. Limatesas y limahoyas	74
2.8.1. Intensidad pluviométrica	42	4.3. Encuentro con paramentos verticales	75
2.8.2. Dimensionado del sistema de evacuación de aguas de lluvias	44	4.3.1. Encuentro con parámetro vertical con coronación	75
		4.3.2. Encuentro con paramento vertical con retranqueo	75
		4.3.3. Encuentro con parámetro vertical con nariz	76
		4.3.4. Encuentro con paramento vertical con perfil de protección	76

4.3.5. En cubiertas ajardinadas	77
4.4. Desagües y canales	77
4.4.1. Desagüe vertical	77
4.4.2. Desagüe horizontal, gárgola o rebosadero	78
4.4.3. Canales integrados	79
4.4.4. Bordes de caída de agua	80
4.4.5. Cortagotera	82
4.5. Anclajes	82
4.6. Ductos, pasadas, chimeneas	84
4.7. Vanos	85
4.8. Rincones y esquinas	85
4.9. Singularidades típicas	86
4.9.1. Detalles constructivos con membrana polimérica preformada	86
4.9.2. Detalles constructivos con membrana asfáltica	87
4.9.3. Detalles constructivos con recubrimientos de aplicación líquida	89
4.10. Malas prácticas	90
5. Proyecto y especificación de la impermeabilización de cubierta	91
5.1. La relevancia del proyecto de impermeabilización	91
5.2. Los especialistas en proyectos de impermeabilización	92
5.3. El desarrollo del proyecto de impermeabilización de cubierta	92
5.4. Input de datos y condiciones previas	93
5.4.1. Información básica del proyecto	93
5.4.2. Criterios de diseño	93
5.4.3. Arquitectura e instalaciones técnicas	94
5.5. Definición de soluciones de impermeabilización	94
5.6. Desarrollo de los documentos del proyecto de impermeabilización de cubierta	95
5.6.1. Planimetría	95
5.6.2. Especificaciones técnicas	95
5.6.3. Cubicación	96
5.6.4. Programación	96
5.7. Asistencia en la ejecución	96

6. La instalación en obra de la impermeabilización de la cubierta	97
6.1. Preparación de la instalación de la impermeabilización de la cubierta	97
6.1.1. Reconocimiento del sistema de impermeabilización a instalar	97
6.1.2. Transporte y almacenaje de materiales	98
6.1.3. Prevención de riesgos	99
6.1.4. Orden y limpieza	100
6.1.5. Condiciones climáticas	100
6.1.6. Herramientas necesarias	101
6.1.7. Preparación de la superficie a impermeabilizar	101
6.2. Instalación de los sistemas asfálticos	103
6.2.1. Sistemas asfálticos adheridos	103
6.2.2. Sistemas asfálticos fijados mecánicamente	105
6.2.3. Sistemas asfálticos líquidos	105
6.3. Instalación de los sistemas poliméricos	106
6.3.1. Sistemas poliméricos preformados adheridos	106
6.3.2. Sistemas poliméricos preformados fijados mecánicamente	106
6.3.3. Sistemas poliméricos líquidos	107
6.4. Instalación de los sistemas en base de minerales	108
6.4.1. Sistemas en base de minerales líquidos	108
6.4.2. Sistemas en base de minerales en la masa	109
6.5. Instalación de capas complementarias y terminaciones	109
6.6. Pruebas en obra	110
6.6.1. Adhesión de sistemas líquidos	110
6.6.2. Adhesión de sistemas preformados	110
6.6.3. Prueba de termofusión y costuras en membranas preformadas	110
6.7. Pruebas de estanqueidad y de localización de fugas	111
6.7.1. Definición del método	111
6.7.2. Inspección visual	111
6.7.3. Pruebas de agua	111
6.7.4. Prueba de agua según guía ASTM D 5957	113
6.7.5. Pruebas tecnológicas	114
6.8. Protocolos en las obras de impermeabilización	115
6.8.1. Protocolo de recepción de superficie	115
6.8.2. Protocolo de chequeo de imprimación	116
6.8.3. Protocolo de ejecución	116

6.8.4. Protocolos de pruebas	117	9.1.5. Ozono troposférico	138
6.9. Entrega y recepción de obras de impermeabilización	117	9.1.6. Low-E	139
7. Uso y mantención de la obra de impermeabilización de cubierta	119	9.2. Contribución a la certificación de sustentabilidad de la edificación	139
7.1. Mantenimiento y potencial de ahorro	119	9.2.1. LEED	139
7.2. Actividades de mantenimiento	120	9.2.2. Certificación de Edificio Sustentable CES	139
7.2.1. Mantenimiento preventivo	121	9.2.3. Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile ECSV	140
7.2.2. Inspección profesional	122	9.3. Gestión y tratamiento de residuos	140
7.2.3. Mantenimiento correctivo	124	10. Aspectos legales	142
7.3. Vida útil y uso de la cubierta impermeabilizada	124	10.1. Responsabilidad civil en la construcción	142
8. Patología y saneamiento de la impermeabilización de cubierta	125	10.1.1. Responsabilidad civil del propietario primer vendedor	142
8.1. Breve introducción a la patología de la construcción	125	10.1.2. Responsabilidades de los profesionales	142
8.2. Patologías de la impermeabilización de la cubierta	126	10.1.3. Recomendaciones Plazos para hacer efectivas las responsabilidades civiles	142
8.2.1. Origen de humedades en la techumbre	126	10.1.4. Jurisprudencia fallida	143
8.2.2. La humedad en el techo con cubierta impermeabilizada	126	10.2. Clasificación de la impermeabilización de la cubierta	143
8.2.3. Filtraciones de agua por fallas en la impermeabilización de la cubierta	129	10.3. Recomendaciones	143
8.2.4. Problemas de humedad en el techo relacionadas con el vapor de agua	130	10.4. Responsabilidad penal	143
8.2.5. Efecto "overcooling"	130	11. Anexos	144
8.3. Estudio de la cubierta defectuosa	131	11.1. Instituciones gremiales internacionales	144
8.3.1. Diagnóstico de problemas de humedad	131	11.2. Normas técnicas	144
8.3.2. Sondeos de inspección	132	11.2.1. Normas chilenas	144
8.4. La solución de la impermeabilización defectuosa	132	11.2.2. Normas internacionales	145
8.4.1. Reparación local	132	11.3. Glosario	147
8.4.2. Re impermeabilización	133	11.4. Unidades de medición	153
8.4.3. Oportunidades de mejoramiento	133	12. Referencias bibliográficas	154
8.4.4. Saneamiento de techos inclinados y de pavimentos	133	Sitios web	154
9. Aspectos ambientales	134		
9.1. Impactos sobre la atmósfera	134		
9.1.1. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	134		
9.1.2. Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	134		
9.1.3. Isla de calor urbano	135		
9.1.4. Cool roof	137		

1. Antecedentes y Conceptos Generales

1.1. INTRODUCCIÓN

A inicios del año 2016 la Corporación de Desarrollo Tecnológico CDT hace un llamado a formar el "Grupo Técnico Impermeabilización de Cubiertas", constituyéndose en marzo del mismo año.

El Grupo Técnico corresponde a un conjunto de profesionales que representan empresas e instituciones. Se unieron al alero de la CDT, con el fin de analizar y proponer recomendaciones relacionadas con la impermeabilización de cubiertas. Además funcionan como Comité Editorial para la elaboración del presente documento técnico.

La estructura de este documento sigue el ciclo de vida de la impermeabilización de la cubierta:

En el **capítulo 1** se pueden encontrar antecedentes y conceptos generales, entre ellos una mirada a la historia y al futuro la impermeabilización de cubiertas.

Los **capítulos 2, 3 y 4** abordan los temas de los parámetros de diseño y especificación, las soluciones de impermeabilización así como del tratamiento de las singularidades. De este modo se entrega la base de conocimiento para el desarrollo del proyecto de impermeabilización y la respectiva especificación técnica, contenida en el **capítulo 5**.

En el **capítulo 6** podrán conocer cómo se realiza las instalaciones en obra, mientras **el capítulo 7 aborda** el uso y la mantención de la impermeabilización de la cubierta.

Los problemas que se pueden presentar durante el proceso de impermeabilización y cómo solucionarlos, es el texto que aborda la **sección 8**, en el tema Patología y saneamiento de la impermeabilización.

Para finalizar, los **capítulos 9 y 10** ofrecen información acerca de los aspectos ambientales y legales.

En el área de los **anexos**, el lector podrá encontrar una sinopsis de instituciones internacionales, de normas técnicas, un glosario de términos técnicos relacionados y así como una recopilación de unidades de medición.

De especial interés para el profesional del área podrán ser las siguientes ayudas y herramientas que intentan facilitar los quehaceres laborales:

- Cap. 2.4 Pendientes.
- Cap. 2.7 Sustratos de hormigón.
- Cap. 2.8 Evacuación de agua lluvia.
- Cap. 6.8 Protocolos en las obras de impermeabilización.
- Tabla 34: Guía para elaborar un Plan de Mantenimiento Preventivo de la impermeabilización de cubierta.

- Tabla 35: Checklist de inspección profesional de la impermeabilización de cubierta.

Cabe destacar que el contenido del documento es netamente técnico y las alternativas y soluciones presentadas responden al avance tecnológico actual y a la realidad chilena. No incluye información comercial, ni publicitaria de productos particulares, ni de empresas.



Ilustración 1. Cubierta plana con impermeabilización asfáltica.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Entre todos los elementos de la edificación, las cubiertas son las que deben resistir los impactos más amplios de la naturaleza. Cambios de temperatura cercanos a los 100 °C durante el año y mayor a 50 °C en un día no son extraños de que sucedan. El sol puede calentar la superficie de techos negros a temperaturas encima de los 80 °C. El calor acelera la degradación fotoquímica de los materiales.

Además las cubiertas son golpeadas por la lluvia, la nieve y el granizo, además de ser atacadas por los contaminantes atmosféricos, como también la erosión, la corrosión, la lluvia ácida, entre otros factores.

Estas exigencias llevan al constante desarrollo y la proliferación de nuevos materiales y sistemas, lo que dificulta la tarea de los proyectistas y los procesos en obra. Muchos materiales sirven para aplicaciones específicas, pero se comportan de forma desastrosa cuando son incorporados en el sistema equivocado.

En la actualidad la aislación térmica es un componente vital de los sistemas de cubiertas, pero tiene como conindicación el aumento de las posibilidades de atrapar humedad en el interior de la construcción. El riesgo de condensación intersticial genera la necesidad de instalar una barrera de vapor, que a su vez puede convertirse en una trampa de humedad, sobre todo cuando previene la difusión de vapor hacia abajo y al interior del edificio, durante épocas calurosas.

Los proyectistas de las cubiertas no deben considerar un componente de forma aislada. Siempre han de analizar su compatibilidad con otros materiales y sus efectos en el sistema como conjunto. Más allá de la importancia de la calidad de un material por sí solo, se encuentra su desempeño e instalación como componente compatible de un sistema integrado.

Las crecientes dimensiones de los techos también son una fuente de problemas. Por el mero tamaño, un techo grande es técnicamente más complejo que un techo pequeño. Esto es porque desde un cierto tamaño se requiere instalar juntas de dilatación. Además, los techos de gran envergadura llevan consigo mayores deformaciones por deflexión, lo que aumenta la probabilidad de encharcamiento.

Las cubiertas de mayor superficie son más susceptibles a un riesgo por drenaje inadecuado, lo que representa una causa importante de fallas en las impermeabilizaciones de techos. Los pozos de agua pueden ocasionar desde el colapso estructural por la sobrecarga de la acumulación de líquidos hasta filtraciones por juntas defectuosas de membranas.

Los expertos en este tema concuerdan que los percances debido al mal diseño junto a la deficiente labor de instalación en obra, representan las principales causas de fallas.

Asimismo recalca la violación de las especificaciones técnicas por parte de los instaladores, que en muchos casos ni siquiera son leídas por estos. Igualmente en la sección de riesgos el consultante podrá conocer tópicos como los errores de diseño, las deficiencias estructurales y las fallas de material.

Las restricciones económicas son otro de los percances que devienen en situaciones indeseadas durante este proceso, puesto que ocasiona trabas al momento de elaborar un proyecto, generando en algunas ocasiones que se obvien etapas dentro del procesos de planificación, y una vez ya en el terreno de trabajo ante el temor de incumplir los lapsos de entrega, se continúa laborando sin que las condiciones idóneas estén dadas.

En Chile, la impermeabilización en caliente en base de bitumen sigue manteniendo su vigencia, principalmente por su ventaja económica.

No obstante actualmente esta técnica comparte el mercado con una creciente gama de membranas de asfaltos modificados, cauchos sintéticos y otros materiales plásticos, tanto líquidos como preformados, entre los que se encuentran el PVC, el poliuretano y el epoxis.

Es de notable consideración la presencia de todos los polímeros termoestables, elaborados con bases orgánicas e inorgánicas, tales como el EPDM y la silicona respectivamente.

Hoy en día Chile representa un proveedor diversificado, aunque en pequeña escala, que cuenta con un número limitado de fabricantes e importadores, así como también proyectistas e instaladores especializados.

Este panorama le permite a la industria nacional de impermeabilización cumplir con las exigencias para proveer de soluciones y sistemas exigidos a nivel internacional en esta materia, ya que cuenta con la calidad de diseño e instalación en obra requerida, aún cuando no existen normas y regulaciones específicas dentro del territorio nacional.

Con esta publicación se busca dar el primer paso que lleve a la difusión de conocimientos claves para que en la construcción de cubiertas, el proceso de impermeabilización se convierta en un componente seguro y durable.



Ilustración 2. Cubierta plana con impermeabilización polimérica líquida.

1.3. ALCANCE

El alcance que de la publicación se extiende a las obras de impermeabilización de cubiertas, tanto en edificaciones nuevas como en las existentes.

El sistema de impermeabilidad de techos tiene como propósito resguardar los ambientes interiores así como de la construcción misma, contra los efectos dañinos y destructivos del agua y de los otros agentes atmosféricos que actúan sobre ésta.

¿Qué se entiende aquí por impermeabilización?

Dejar impenetrable contra el agua y los otros agentes atmosféricos, mediante productos o sistemas, tales como recubrimientos o revestimientos, durante su vida útil. (Véase también cap. 2.5.2 La (im)permeabilidad como función principal de la cubierta.

¿Qué se entiende aquí por cubierta?

Las partes y elementos horizontales e inclinados de la envolvente de una edificación que están directamente expuestos a la intemperie. (Véase también cap. 2.1 Definiciones de cubierta y techumbre.)

Esta guía se refiere al ciclo de vida completo de las obras de impermeabilización, considerando diseño y planificación, ejecución, mantenimiento, saneamiento y desarme.

Ofrece una orientación en el estado de arte actual de la construcción profesional en Chile, sin dejar a un lado los desafíos venideros.

El territorio de aplicación son todas las zonas climáticas de Chile.

Para el cliente, arquitecto y constructor en general, esta publicación no reemplazará a la asesoría de un especialista en impermeabilización. En cambio, para todos ellos, estas recomendaciones servirán como introducción sistemática y orientación integral, de modo de que puedan efectuar "buenas prácticas de la impermeabilización de cubiertas".

1.4. HISTORIA

Está documentado que los sumerios, los babilonios y los asirios utilizaron bitumen natural como adhesivo para ladrillos y además como sellante.

Los famosos Jardines Colgantes de Babilonia, considerados una de las Siete Maravillas del Mundo Antiguo en donde la impermeabilización consistió en capas de placas de asfalto, ladrillos y cemento, son un claro ejemplo del empleo de este método.

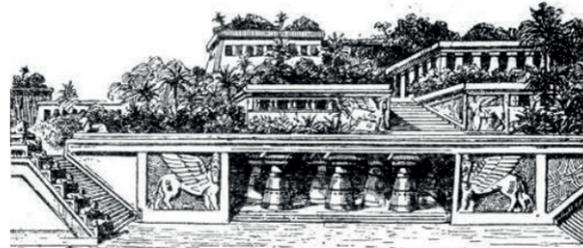


Ilustración 3. Los jardines colgantes de Babilonia. Imagen publicada en 1912 en el diccionario Petit Larousse.
Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ogrody_semiramidy.jpg

En la antigüedad, los griegos perdieron el interés en este material y los romanos no disponían de depósitos naturales de bitumen, es así como el uso del bitumen cayó en el olvido.

Recién en la era de la ilustración y con los viajes de expedición en los siglos XIV y XV, se redescubrió esta mezcla natural y la cultura de las cubiertas ajardinadas llegó primero a Florencia, Roma y Venecia para posteriormente difundirse por toda Europa.

Los techos planos existen en todo el mundo en zonas climáticas secas, pero son propios de la arquitectura egipcia, persa y árabe y muy conocidos de la arquitectura tradicional de las islas griegas.

Con la industrialización en el siglo XIX aparecieron cubiertas de mayor luz y superficie impulsando las cubiertas planas en la construcción industrial. La arquitectura de vanguardia de inicio del siglo XX empezó a utilizar la cubierta plana en la edificación residencial en las zonas de clima húmedo. Después de la segunda guerra mundial, el techo plano se impuso definitivamente en el mundo entero, siendo actualmente el estándar en la construcción.

El empleo de los primeros fieltros asfálticos arenados en cubiertas planas data de los años 1840. En esa oportunidad se utilizó alquitrán, un producto residual de la producción de gas de ciudad y por lo tanto económico. Posteriormente en 1903 se instalaron las primeras tejas asfálticas artesanales en Michigan, EE.UU.

En 1859, cuando se descubrió la primera fuente de petróleo en Pennsylvania, EE.UU. y se construyeron las primeras refinerías, se inició la producción industrial de bitumen. Se descubrió que la destilación de petróleo genera bitumen como residuo, en diferentes cualidades dependiendo del proceso de refinación.

Del año 1888 data la primera patente para un método de ensayo de la dureza del bitumen. La producción industrial permitió la independización de los depósitos naturales y la producción de bitumen de cualquier dureza deseada. El desarrollo de los procesos de fabricación petroquímica preparó el triunfo del bitumen en las cubiertas, indiscutido hasta mediados del siglo XX.



Ilustración 4. Nueva Galería Nacional de Berlín, Alemania, Arquitecto Mies van der Rohe, con impermeabilización asfáltica, 1968.
Fuente: https://de.wikipedia.org/wiki/Flachdach#/media/File:Neue_Nationalgalerie_Berlin_-_von_oben.jpg

Los techos planos impermeabilizados con membranas asfálticas permitieron un nuevo lenguaje de diseño propio al Movimiento Moderno que engendró íconos de la arquitectura como por ejemplo la Nueva Galería Nacional de Berlín, terminada en 1968.

El desarrollo de las resinas epoxi remonta a los años 1930. No obstante, la historia moderna de la impermeabilización de cubierta, empezó al inicio de los años 1950 con las láminas de PIB (Poli-isobutilen). Al comienzo de los años 1960 se instalaron las primeras láminas de PVC (Policloruro de vinilo). A fines de los años 1960 aparecieron el ECB (Etilen-copolimerisato-bitumen) y los cauchos sintéticos.

A fines de los años 1970 se impermeabilizaron las primeras cubiertas con sintéticos líquidos y con membranas de EPDM (Etilen-propilen-dien-terpolimer). Al final de los años 1980, se desarrolló la membrana líquida de poliuretano que sigue siendo la base de la mayoría de las tecnologías actuales de membranas líquidas en frío. Con los años 1990 se introdujeron el TPO (Poliolefin termoplástico) y la poliurea.

Desde entonces los sistemas y materiales de impermeabilización de cubierta están en un constante desarrollo dejando atrás los problemas experimentados al inicio. A modo de ejemplo, los recubrimientos de silicona para techos, que existen desde los años 1960 evolucionaron hacia productos con menor VOC y un contenido de sólidos muy variable. En los últimos 10 años, se desarrolló un recubrimiento de silicona de alto contenido de sólidos, con curado por humedad y monocomponente.

Con el nuevo milenio se abre una gama de nuevos productos basados en la nanotecnología.

Al mismo momento existen nuevos usos de las cubiertas planas, específicamente las instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas, que requieren ser solucionadas no sólo en las edificaciones nuevas pero también sobre techos existentes.



Ilustración 5. Sistema solar térmico sobre cubierta plana impermeabilizada

Al presente no hay límites para el diseño de las cubiertas: El avance de la tecnología y el desarrollo de nuevos materiales ha permitido impermeabilizar superficies de cualquier forma, hasta suprimir la división entre la fachada y el techo.



Ilustración 6. Cubierta del estadio Cowboys Arlington, Texas, EE.UU. con membrana de PVC, 2009.

1.5. LOS DESAFÍOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los informes nacionales sobre los efectos del cambio climático coinciden respecto a las alteraciones climáticas esperadas para el país:

Se experimentará un moderado aumento de temperatura en todo el territorio nacional, con una gradiente de mayor a menor, de norte a sur y de cordillera a mar. Se considera muy probable que la duración, la frecuencia y/o la intensidad de los períodos cálidos o las olas de calor aumenten en casi todas las zonas continentales. Estas podrán verse acentuadas en las ciudades por las características de la urbanización.

En cuanto a las precipitaciones, se proyectan moderadas disminuciones de precipitación, entre el Río Copiapó y el Río Aysén, es decir en la zona que concentra la mayor parte de la población del país. En todo el territorio aumentaría la ocurrencia de eventos de alta precipitación, y a la vez la probabilidad de eventos de sequía.

El aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos de precipitaciones y de temperatura, tales como olas de calor y olas de frío, afectará directamente en los futuros requisitos a las cubiertas.

Estas pueden generar un considerable aporte a la respuesta de las ciudades ante el cambio climático, específicamente pueden:

- Contrarrestar el efecto de isla de calor urbana.
- Retener aguas lluvia para disminuir la presión sobre el alcantarillado urbano.
- Reducir el consumo de energía de los edificios.

Por lo tanto, a futuro, es inminente instalar más "techos verdes". También más "cubiertas frías" donde corresponde por las condiciones locales (véase capítulo 9. Aspectos ambientales).

Al mismo tiempo, las exigencias técnicas a los proyectos de impermeabilización de las cubiertas aumentarán, específicamente en:

- La resistencia de las impermeabilizaciones al estrés térmico.
- El estándar de aislación térmica de los techos.
- La capacidad de los sistemas de evacuación y/o retención de las aguas pluviales.

Esto es un reto para las cubiertas nuevas, y con mayor razón, para las cubiertas existentes.

2. Parámetros de diseño y especificación de la impermeabilización de la cubierta

2.1. DEFINICIONES DE CUBIERTA Y TECHUMBRE

Dada la diversidad de definiciones de los términos relacionados con el techo de una edificación, se definirá aquí el uso de los términos para la presente publicación.

- Techo es un término genérico y cotidiano y puede referirse a la cubierta y a la techumbre.
- La techumbre es la parte superior de la envolvente de una edificación, tanto de recintos cerrados como espacios abiertos. Incluye el cerramiento completo, desde el acabado interior del cielo hasta la superficie exterior de la cubierta. También se habla del complejo techumbre o del sistema de techo.
- La cubierta es el elemento exterior de la techumbre, el que repela la lluvia y resiste a la intemperie. Se apoya en la estructura del techo. En casos excepcionales, la cubierta y la techumbre son idénticas.
- También se considera una cubierta, el techo sobre un subterráneo, aunque esté a nivel de suelo.

En relación con la impermeabilización de cubierta, los balcones representan superficies asimilables, ya que requieren la misma protección.

El siguiente croquis ilustra los términos:

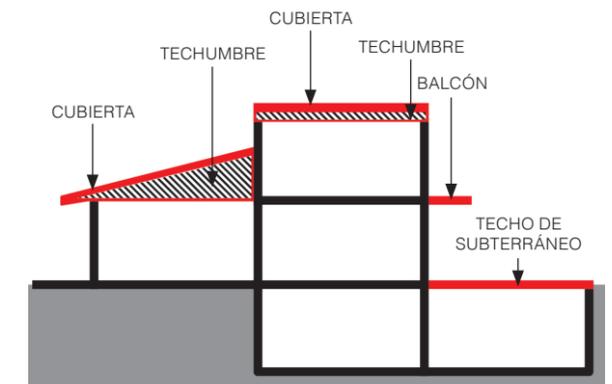


Ilustración 7. Definición cubierta y techumbre. Fuente: María Blender

La impermeabilización de la cubierta puede ser la superficie exterior o bien puede estar ubicada al interior de la cubierta.

La aislación térmica, en su caso, puede ser parte de la cubierta o puede estar ubicada en otra parte de la techumbre.

2.2. TIPOLOGÍAS DE TECHOS

A continuación se presentan las tipologías de techos que son relevantes para la impermeabilización de la cubierta.

Si bien esta publicación está dedicada a las cubiertas impermeabilizadas, se incluyen en este apartado las cubiertas no impermeabilizadas, en aras de la delimitación de los conceptos y de una información completa.

2.2.1. TIPOLOGÍAS GENERALES

2.2.1.1. Tipología según pendiente, solución de impermeabilidad y opciones de vegetación

Una pendiente de 5 grados se considera el límite de pendiente entre techos inclinados y techos planos.

Para las pendientes de la cubierta a impermeabilizar, véase 2.4 Pendientes.

¹ "Cubrimiento" se utiliza aquí como término genérico para todos los revestimientos exteriores de las cubiertas inclinadas, que consisten en elementos de diferente formato, fijados mecánicamente sin ser sellados. Véase la siguiente tipología según terminaciones.

TABLA 1.
TIPOLOGÍA SEGÚN PENDIENTE, SOLUCIÓN DE IMPERMEABILIDAD Y OPCIONES DE VEGETACIÓN

CATEGORÍA	Cubierta inclinada		Cubierta plana			
PENDIENTE	> 5° (8,8 %)		< 5° (8,8 %)			
SOLUCIÓN DE IMPERMEABILIDAD	Cubrimiento ¹ (no sellado) + inclinación	Impermeabilización de cubierta	Impermeabilización de cubierta			
OPCIONES DE VEGETACIÓN	Sin vegetación	Sin vegetación	Vegetación extensiva	Sin vegetación	Vegetación extensiva	Vegetación intensiva

2.2.1.2. Tipología según transitabilidad y terminaciones**TABLA 2.**
TIPOLOGÍA SEGÚN TRANSITABILIDAD Y TERMINACIONES

CATEGORÍA	Cubierta inclinada	Cubierta plana		
TRANSITABILIDAD	No transitable (accesible para mantenimiento)	Transitable solo para mantenimiento	Transitable peatonal	Transitable vehicular
TERMINACIONES TÍPICA	Cubrimientos: <ul style="list-style-type: none"> • Tejado (de arcilla, metal, fibrocemento, tejas, etc.) • Revestimiento de gran formato (metálico o compuesto) • Tejas asfálticas • Re-impermeabilización. • Vegetación 	<ul style="list-style-type: none"> • Impermeabilización • Reimpermeabilización • Acabado de protección • Vegetación 	<ul style="list-style-type: none"> • Impermeabilización • Reimpermeabilización • Baldosas • Cerámica • Gravilla o ripio 	<ul style="list-style-type: none"> • Losa de hormigón • Pavimento de hormigón • Asfalto

Con respecto a los cubrimientos del techo inclinado, cabe mencionar que cada tipo de cubrimiento tiene una inclinación mínima diferente que además del material y los detalles de ejecución, depende de las condiciones de precipitaciones y de viento del lugar.

En el caso de las cubiertas planas es importante considerar que todas son transitables, aunque el tránsito puede limitarse a actividades de mantenimiento.

La re-impermeabilización se refiere a un sistema de impermeabilización utilizado como saneamiento y reparación de una cubierta existente del mismo o de otro material.

2.2.1.3. Tipología según sustrato para la impermeabilización de cubierta

El material de sustrato es decisivo en la elección del sistema de cubierta y de la impermeabilización. En caso de construcciones de madera, por ejemplo, el control de la humedad es crítico en el diseño de la solución constructiva.

Cabe mencionar que en las estructuras de madera y metálicas, con los sustratos típicos correspondientes (OSB, metal) es preciso minimizar las deformaciones por flexión, ya que estas deben ser compensadas por la inclinación de la cubierta.

TABLA 3.
TIPOLOGÍA SEGÚN SUSTRATO PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN DE CUBIERTA

CATEGORÍA	Cubierta inclinada		Cubierta plana			
SUSTRATO TÍPICO DE LA IMPERMEABILIZACIÓN	OSB u otro tablero	Cubrimiento existente	OSB u otro tablero	Losa de hormigón	Cubierta Deck (Metal trapecoide)	Impermeabilización existente

2.2.2. TIPOLOGÍA SEGÚN UBICACIÓN DE LA AISLACIÓN TÉRMICA

Respecto la ubicación de la aislación térmica, se han establecido términos en parte contradictorios, entre la cubierta inclinada y la cubierta plana.

TABLA 4.
TIPOLOGÍA SEGÚN UBICACIÓN DE LA AISLACIÓN TÉRMICA

CATEGORÍA	Cubierta inclinada		Cubierta plana		
TIPOLOGÍA	Techo frío	Techo caliente	Techo frío	Techo caliente también: Techo convencional	Techo invertido
		Con cámara(s) ventilada(s)			
UBICACIÓN DE LA AISLACIÓN TÉRMICA	Debajo del entretecho no calefaccionado, encima del cielorraso (horizontal)	En paralelo con la cubierta, debajo, entremedio o encima de la estructura.	Encima de la estructura, debajo de una cámara ventilada creada mediante estructura secundaria	Encima de la estructura, debajo de la impermeabilización	Encima de la impermeabilización

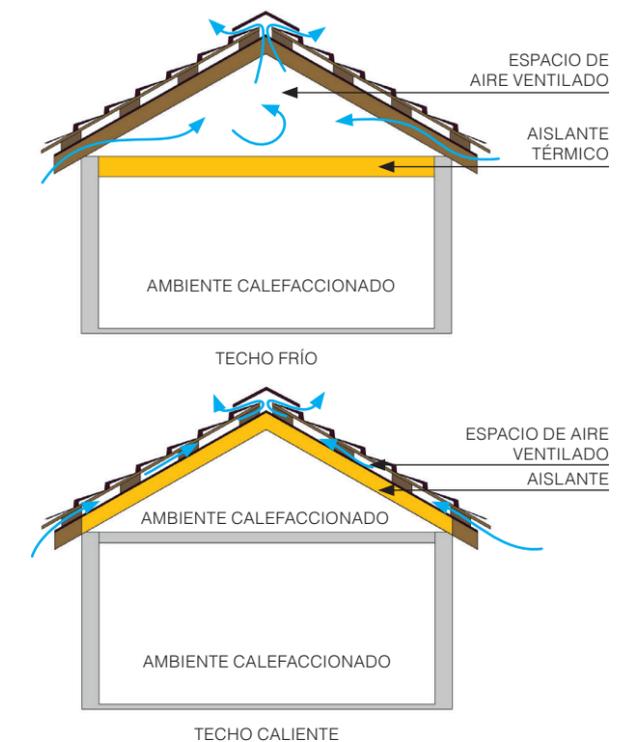
Cubierta inclinada

En la cubierta inclinada, el "techo frío" se refiere a una techumbre, donde la aislación térmica se encuentra a nivel de cielorraso, mientras el entretecho es ventilado desde el exterior.

El "techo caliente" se refiere a los techos donde la aislación térmica sigue la pendiente de la cubierta, por ejemplo, encima de las cerchas o vigas, o entremedio o debajo de vigas, permitiendo usar el entretecho, ático o mansarda como bodega o recinto habitable. Puede o no, incluir una o más cámaras de aire ventiladas, las que se ubican encima de la aislación térmica y debajo del cubrimiento.

La ventilación tiene la función de evacuar pequeñas cantidades de humedad difundida desde el interior, humedad filtrada desde el exterior, así como humedad residual de obra.

Los siguientes dibujos muestran las tipologías de cubierta inclinada.

**Ilustración 8.** "Techo frío" y "Techo caliente" de la cubierta inclinada.
Fuente: María Blender

Cubierta plana

En la cubierta plana se diferencian tres tipologías básicas:

- “Techo frío” con cámara de aire ventilada (similar al “techo caliente con cámara(s) ventilada(s)” de la cubierta inclinada).
- “Techo caliente” o techo convencional, donde la aislación térmica se ubica debajo de la impermeabilización (similar al “techo caliente no ventilado” de la cubierta inclinada).
- “Techo invertido”: Esta configuración se estableció para ciertos usos. Aquí la aislación térmica se ubica encima de la impermeabilización, por el lado “húmedo” de la cubierta.

A continuación se muestran esquemas explicativos de las tipologías de la cubierta plana y se explican sus principales características.

2.2.2.1. Techo frío

El “techo frío” tiene una capa de aire ventilada directamente sobre la aislación térmica. Este diseño es considerado muy seguro en cuanto a la protección de humedades. La humedad difundida del interior y pequeñas humedades infiltradas desde el exterior se evacuan de forma segura a través de la ventilación. Esto requiere un flujo efectivo de aire que no siempre se garantiza, debido a:

- Aperturas de ingreso de aire insuficientes u obstruidas.
- Sección de ventilación insuficiente u obstruida.
- Falta de viento (principal fuerza motriz para la ventilación cruzada).

El techo frío también proporciona una buena protección térmica veraniega gracias a la ventilación.

Es más caro que las construcciones descritas a continuación, debido a la estructura compleja, en particular cuando debe resistir cargas mayores. Además, la altura del complejo techumbre relativamente grande puede ser una desventaja.

No es necesaria una barrera corta vapor. No obstante, una barrera retardante de vapor mejora el balance de humedad gracias a la posibilidad de re-secado.

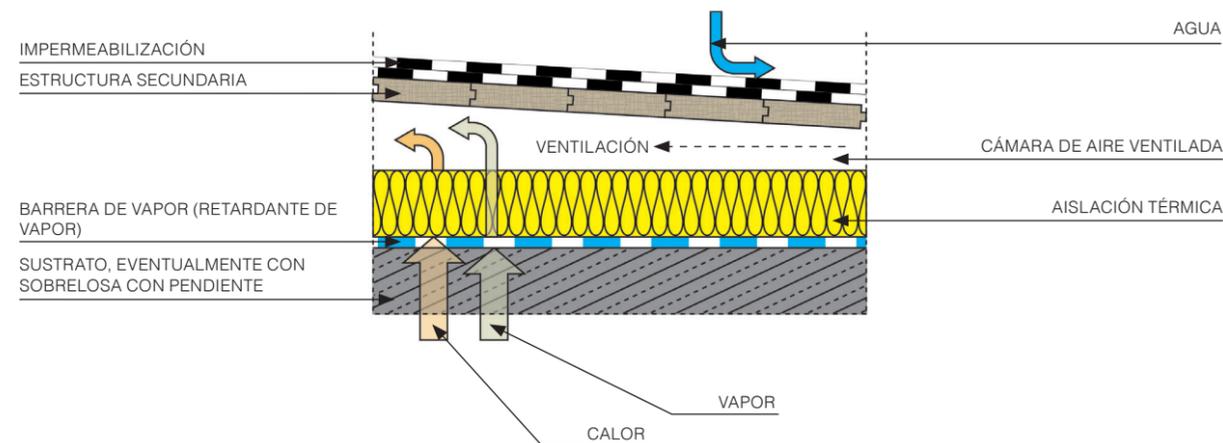


Ilustración 9. Esquema básico de tipología de cubierta plana “techo frío”. Fuente: www.ing-büro-junge.de/html/flachdach.html, traducido y modificado.

2.2.2.2. Techo caliente sin sobrecarga

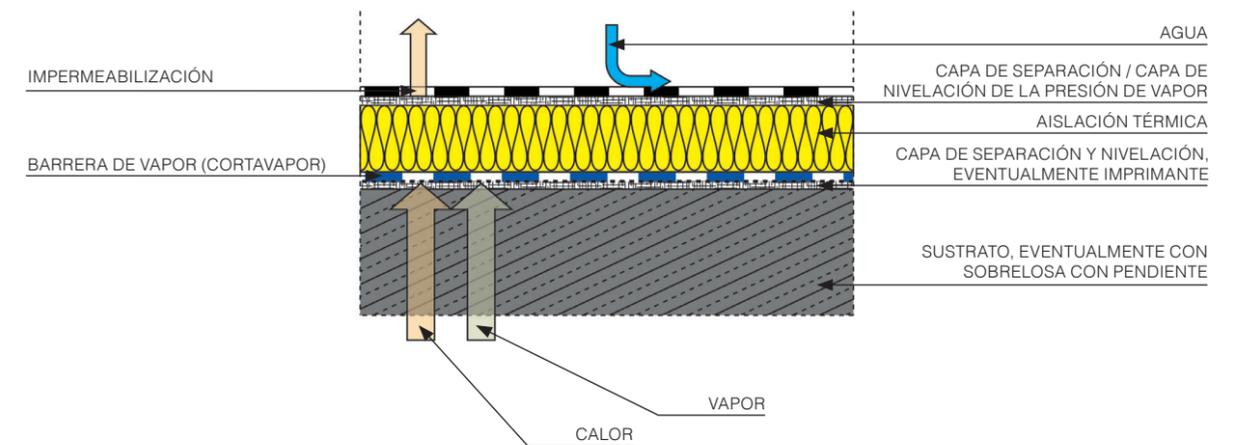


Ilustración 10. Esquema básico de tipología de cubierta plana “techo caliente con impermeabilización expuesta”. Fuente: www.ing-büro-junge.de/html/flachdach.html, traducido y modificado.

En general, esta construcción es más simple que la construcción anterior.

No se debe permitir que humedad ingrese a la construcción, ya que no hay ventilación. Por lo tanto una barrera corta vapor es obligatoria.

Para generar una pendiente en el techo de hormigón, se instala una sobrelosa inclinada o se utilizan paneles de aislación térmica con pendiente integrada. Estos últimos conducen a un ahorro de peso considerable.

Como protección de las cargas de viento por lo general sirve una impermeabilización adherida.

Membranas de impermeabilización abiertas a la difusión, o bien recubrimientos permeables al vapor de agua, mejoran el balance de humedad en la aislación térmica. La impermeabilización debe ser resistente a la radiación UV.

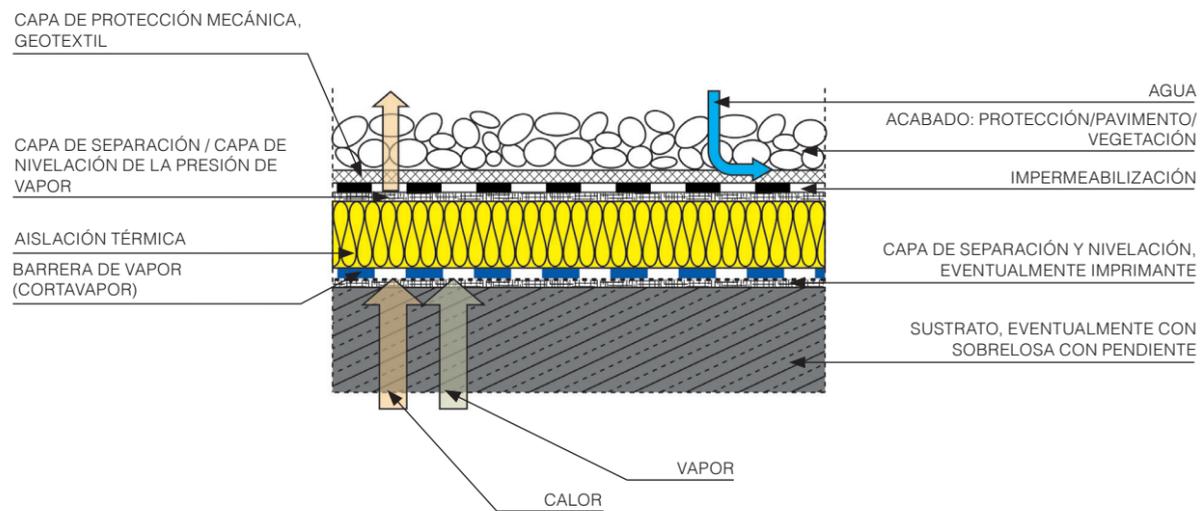
2.2.2.3. Techo caliente con acabado

Ilustración 11. Esquema básico de tipología de cubierta plana "techo caliente con acabado".
Fuente: www.ing-büro-junge.de/html/flachdach.html, traducido y modificado.

El techo caliente con acabado ofrece una mejor protección de la capa impermeabilizante.

El acabado puede consistir en una protección de ripio, en algún pavimento o en vegetación.

El material de aislamiento térmico utilizado debe tener una resistencia mecánica adecuada.

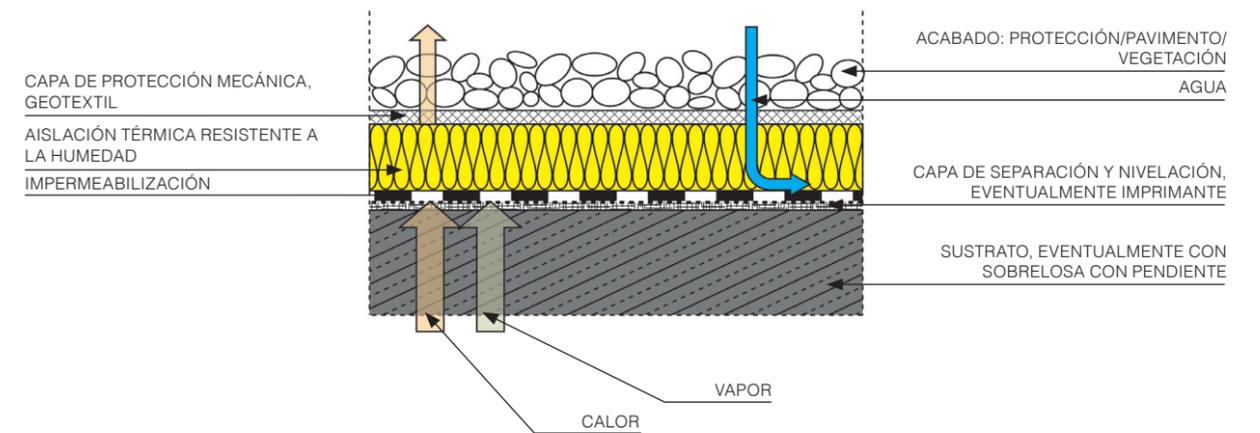
2.2.2.4. Techo invertido

Ilustración 12. Esquema básico de tipología de cubierta plana "techo invertido".
Fuente: www.ing-büro-junge.de/html/flachdach.html, traducido y modificado.

En esta construcción, la aislación térmica que debe ser resistente a la humedad y de poros cerrados, es dispuesta por encima de la impermeabilización. La secuencia de capas se invierte en comparación con los techos convencionales. Se necesita una capa de sobrecarga para evitar la flotación de los paneles aislantes térmicos. Correctamente ejecutado, el techo invertido ofrece varias ventajas con respecto al techo convencional.

- La capa de aislación térmica protege la impermeabilización contra impactos mecánicos, estrés térmico y la radiación UV.
- Una barrera de vapor no es necesaria.
- Debido a que las planchas de aislamiento se instalan sin fijaciones, el desmontaje en general es factible sin problemas y las placas se pueden re-utilizar.
- La pendiente debe generarse en el soporte.

Una desventaja de la cubierta invertida es el costo más alto de la aislación térmica apta para la instalación en el ambiente húmedo. Por lo general se utiliza poliestireno extruido (XPS). A futuro también podría estar disponible el vidrio celular.

En cubiertas invertidas, la evacuación de aguas debería generarse en el geotextil para evitar la pérdida de calor a través del agua corriente. Al calcular el valor U del techo invertido, se utiliza un factor de seguridad sobre la transmitancia térmica, el que puede omitirse eventualmente, si el geotextil es hidrófobo.

La aislación térmica debe ser hidrófoba. La capa aislante se instala en una sola capa machihembrada o de medio machihembrado.

Los acabados deben ser abiertos a la difusión.

Esta forma de cubierta es particularmente resistente a la presión y muy adecuada para pavimentos y para techos vegetales.

En EE. UU. el techo invertido también es llamado IRMA "Inverted roof membrane assembly" ("Ensamblaje de membrana invertida") o PMR "protected membrane roof" (techo de membrana protegido).

2.3. ELEMENTOS BÁSICOS DE LA CUBIERTA PLANA IMPERMEABILIZADA

La cubierta constituye el primer elemento del sistema de evacuación de aguas pluviales.

La cubierta plana tiene una, dos o más aguas. Las aguas son los planos o superficies inclinadas por donde escurre el agua. También se llaman vertientes.

La cumbrera es la parte más alta de la cubierta. Es la línea horizontal superior que se forma por la intersección de dos planos inclinados del techo.

La limatesa es la línea alta de quiebre entre dos planos, representando una línea divisoria de las aguas.

La limahoya o limatón es la línea baja de quiebre entre dos vertientes, donde se junta y corre el agua. Tiene una pendiente inferior a aquella de las vertientes. Además, la parte inferior de la limahoya recibe una cantidad de agua considerablemente mayor que las otras partes de la cubierta. Por lo tanto constituye un punto crítico de la impermeabilización.

Una cubierta puede tener bordes elevados en el perímetro. Si el borde sirve de baranda, también se llama antepecho. La parte superior del borde es la coronación.

El agua es conducida vía limahoyas y canales o canalones integrados en la impermeabilización, o bien en canaletas de otra materialidad. Evacua mediante gárgolas y vierteaguas o bajadas de aguas lluvia, o bien, cae libremente por la orilla de la cubierta.

También existen sumideros o bien desagües, que pueden ser puntuales o lineales, que reciben las aguas para evacuarlas hacia bajadas de aguas lluvia ubicadas en el interior de la edificación. La unión entre cubierta y sumidero igualmente es un punto crítico, por la alta carga de agua que recibe.

Estos elementos se muestran en el siguiente gráfico:

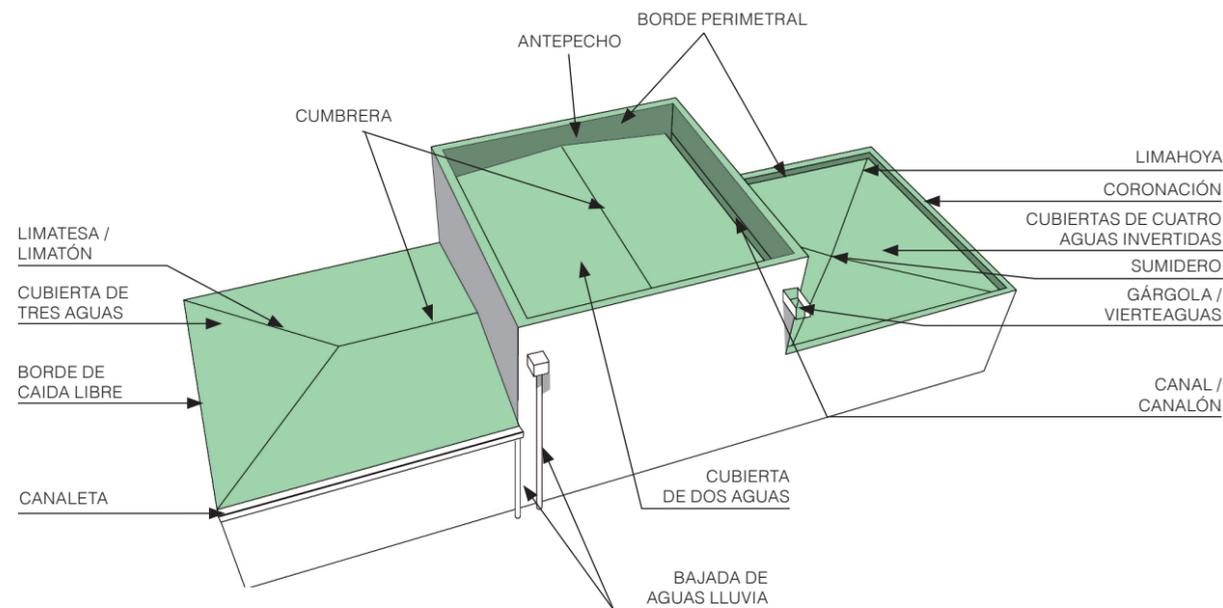


Ilustración 13. Elementos básicos de la cubierta plana.

Fuente: María Blender

2.4. PENDIENTES

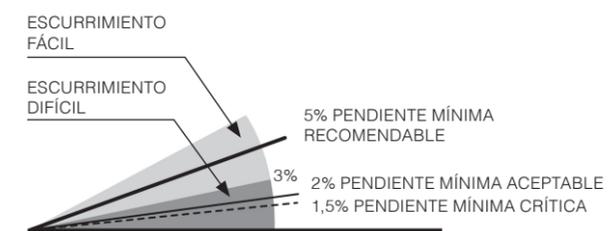
2.4.1. PENDIENTES MÍNIMAS

Investigaciones demuestran que la pendiente de la cubierta es un factor decisivo para la vida útil de la impermeabilización.

Acumulaciones de suciedades que se mantienen permanentemente húmedas y que son frecuentes en las cubiertas de pendientes bajas, aceleran el proceso de degradación de los materiales.

Las pendientes de las vertientes, las limahoyas y de los canales de agua de lluvia se determinan en función de los materiales y sistemas de impermeabilización, de la zona climática y de los usos de la cubierta.

La siguiente figura muestra las pendientes mínimas referenciales.



Nota: Los ángulos son exagerados

Ilustración 14. Pendientes mínimas referenciales.

Fuente: María Blender

Como pendiente mínima para cubiertas a impermeabilizar se considera generalmente 2 % (correspondiente a 1,2 grados). No obstante, en ocasiones se indica 1,5 % lo que debe considerarse como caso crítico que únicamente es aplicable en cubiertas donde no se prevén desviaciones de la inclinación dadas por el diseño, tales como:

- Deformaciones de la cubierta por deflexión de la estructura.
- Presencia de limahoyas (en la limahoya entre dos aguas con pendiente de 2 %, la inclinación se reduce necesariamente a 1,4 %, o bien a 1 % entre vertientes con una inclinación de 1,5 %).

A una pendiente de 2 %, el desagüe efectivo de la cubierta se ve entorpecido además por los siguientes factores que por lo tanto deben ser considerados en el diseño de la superficie de la cubierta:

- Tolerancias de la pendiente y de la planeidad.
- Sectores gruesos que se generan en los traslapes de las membranas.
- Desniveles accidentales en el recubrimiento.
- Ensuciamiento.

Con inclinaciones muy bajas, la lluvia no evacua rápidamente. Si el agua se empoza, incluso desperfectos mínimos pueden llevar a la penetración de grandes cantidades de agua causando daños considerables.

El escurrimiento del agua sobre superficies inclinadas se genera cuando se acumula una cierta cantidad de agua. Por ejemplo, en una superficie de vidrio con una inclinación de 2 %, gotas de agua permanecen estáticas, debido a los efectos de cohesión y adhesión. Las gotas comienzan a escurrir por la pendiente, recién cuando la cantidad de agua genera una presión estática suficientemente grande para que logre superar las fuerzas de la adhesión.

Esto sucede más rápido en superficies hidrófobas que se caracterizan por una baja adhesión entre la superficie y el agua, en comparación con las superficies hidrófilas donde se tiende a generar un film de agua. El comportamiento de secado también difiere según grado de hidrofobicidad.

Para un desagüe eficaz del agua, se requiere una pendiente de al menos 3 %. Sin embargo, lo más recomendable son pendientes de al menos 5 %. De esta manera, el agua no se mantiene en la superficie, y se previene el crecimiento de algas y plantas.

En general se puede decir que, más juntas y uniones hay en la impermeabilización, mayor debe ser la pendiente. Una impermeabilización sin costuras en la superficie puede ejecutarse con una pendiente baja, y una inclinación de 5 % sería perfecta. En cambio, para las membranas que tienen que ser soldadas en el techo, la pendiente absolutamente mínima debería ser 5 % y se recomienda una pendiente ligeramente superior.

No obstante, en casos especiales y dependiendo del tipo de la impermeabilización, se pueden realizar cubiertas sin pendiente.

2.4.2. CÁLCULO Y CONVERSIÓN DE PENDIENTES

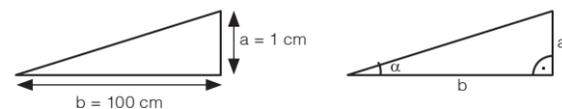
Para facilitar el trabajo con las pendientes, la figura a continuación muestra las ecuaciones relacionadas con la pendiente y la tabla de conversión permite convertir las inclinaciones de grados a porcientos y viceversa.

$$\text{PENDIENTE } [\%] = (a/b) \cdot 100$$

1 cm = pendiente 1%

$$\text{ÁNGULO } \alpha [^\circ] = \tan^{-1} (a/b)$$

$$\tan \alpha = b/a$$



Nota: \tan^{-1} representa la arcotangente. Otras formas de expresarla son: \arctan , atan , \tan^{-1}

Ilustración 15. Cálculo de la pendiente en porcientos y en grados.
Fuente: María Blender

TABLA 5.
CONVERSIÓN DE PENDIENTES

GRADOS → PORCIENTOS Y CENTÍMETROS			PORCIENTOS → CENTÍMETROS Y GRADOS		
[°]	[%]	Altura en centímetros (a) por 1 metro de distancia (b)	[%]	Altura en centímetros (a) por 1 metro de distancia (b)	[°]
0,5°	0,87 %	0,87 cm	1 %	1,0 cm	0,57°
1°	1,75 %	1,75 cm	1,5 %	1,5 cm	0,86°
1,5°	2,62 %	2,62 cm	2 %	2,0 cm	1,15°
2°	3,49 %	3,49 cm	2,5 %	2,5 cm	1,43°
2,5°	4,37 %	4,37 cm	3 %	3,0 cm	1,72°
3°	5,24 %	5,24 cm	4 %	4,0 cm	2,29°
3,5°	6,12 %	6,12 cm	5 %	5,0 cm	2,86°
4°	6,99 %	6,99 cm	6 %	6,0 cm	3,43°
4,5°	7,67 %	7,87 cm	7 %	7,0 cm	4,00°
5°	8,75 %	8,75 cm	8 %	8,0 cm	4,57°
45°	100 %	100 cm	100 %	100 cm	45°

2.5. FUNCIONES DEL TECHO IMPERMEABILIZADO

Existen muchos aspectos que influyen a la hora de elegir un sistema de impermeabilización así como en el diseño de la cubierta y de las singularidades.

A continuación se presentan las funciones que debe cumplir el techo impermeabilizado, diferenciadas en funciones de la techumbre, de la cubierta y de la impermeabilización misma.

2.5.1. FUNCIONES DE LA TECHUMBRE Y DE LA CUBIERTA

2.5.1.1. Funciones generales

Cerramiento

La techumbre constituye una parte de la envolvente de la edificación, siendo el cerramiento superior que frecuentemente es interrumpido por perforaciones con ductos de clima y de alcantarillado, así como por salidas a la cubierta y elementos de luz. Estos constituyen singularidades que requieren un tratamiento específico de la impermeabilización.

Estabilidad estructural

La estructura del techo forma parte del sistema estructural de la edificación. Para la elección del sistema de impermeabilización son relevantes la materialidad del soporte y las deformaciones esperadas de la estructura del techo, así como las otras cargas tales como viento y nieve y sobrecargas de uso.

Protección térmica

La techumbre debe proveer la protección térmica según normativa vigente, o superior según determinación del proyecto. La Reglamentación Térmica vigente en Chile define los estándares mínimos de transmitancia térmica para viviendas. Frecuentemente es utilizada como base para usos no residenciales. A tener presente, los Planes de Descontaminación Atmosférica que están vigentes al momento de la publicación del presente manual en algunas zonas del sur de Chile, definen exigencias mayores que la Reglamentación Térmica.

Protección higrótérmica del complejo techumbre

La protección de la construcción misma del techo de los efectos de la humedad es tratada en el capítulo 8, referente a la Patología y saneamiento de la impermeabilización de cubierta.

Protección del fuego

La protección al fuego mínima que deben cumplir las techumbres, está establecida en la Ordenanza general de urbanismos y construcciones (OGUC).

Véase también cap. 2.5.3.2 Comportamiento ante fuego.

Protección acústica

El techo debe proporcionar la protección acústica según normativa vigente, o superior a ella, tal como se determina en el diseño. La OGUC define los estándares mínimos para viviendas.

Constructabilidad

La constructabilidad se refiere a la facilidad y eficiencia con las que se puede construir el techo. Mientras más construible sea, menos incierto será su costo, y menos imprevistos aparecerán en el curso de la ejecución. Un prerrequisito para una alta constructabilidad es una planificación completa y coordinada.

Mantenibilidad

La mantenibilidad se refiere a la facilidad y eficiencia con la que se puede mantener el techo, considerando las actividades de mantención preventiva y correctiva. Mientras más mantenible sea el techo, más bajo serán los costos de mantenimiento. De esta manera, el diseño de la techumbre no sólo influye en el costo de construcción pero también en los costos durante toda su vida útil.

Durabilidad y vida útil

La durabilidad de una edificación se planea en forma de la vida útil de diseño. El tiempo útil de una techumbre se puede definir como el periodo en el que funcione adecuadamente bajo condiciones operativas y requisitos de desempeño específico, por ejemplo, condiciones climáticas dadas y uso normal según diseño.

En general, los edificios se planean para una vida útil de 30 o 50 años. No obstante, existen en el mercado sistemas de impermeabilización de cubierta con una vida útil de 20 años o menos.

Véase al respecto el capítulo a continuación así como capítulo 7.1 Mantenimiento y potencial de ahorro.

2.5.1.2. Períodos de retorno de cargas y solicitaciones

Las cargas o solicitaciones que actúan sobre los techos, tales como vientos, precipitaciones y terremotos, son definidas en función de los períodos de retorno, es decir, en función de la ocurrencia conforme a las estadísticas de mediciones realizadas durante muchos años. Se habla por ejemplo de la "lluvia de 50 años" o de la "tormenta con período de retorno de 100 años".

Cuando se diseña una obra en ingeniería, se define el período de retorno que se considera para las cargas o solicitaciones que se utilizan en el proceso de cálculo. Dicho de otro modo, se define la probabilidad que dichas cargas o solicitaciones ocurran durante un lapso de años, lo cual determina el riesgo de la obra.

La siguiente tabla indica la probabilidad (R) con que un suceso con período de retorno específico (T) ocurra dentro de una vida útil definida (N). Con otras palabras, define cuál es el riesgo, o factor de seguridad, asociado. Se entiende que una obra más segura requiere una mayor inversión.

2.5.1.3. Usos según proyecto

El proyecto arquitectónico determina los usos de la cubierta, tales como terraza, piscina, tránsito peatonal o vehicular, vegetación extensiva o intensiva, instalaciones técnicas de clima o de energía solar, o incluso un helipuerto.

En los edificios comerciales e industriales se instalan la mayoría de los equipos técnicos en la cubierta, por ejemplo ductos y equipos aire acondicionado, torres de enfriamiento, bandejas eléctricas, letreros, lucernarios para captar luz natural, etc. La mayoría de ellos son modificados conforme van cambiando las necesidades de los usuarios de los locales inferiores.

Se debe considerar las condiciones reales de servicio, por ejemplo, el tránsito peatonal debe considerar el uso de tacos y bastones puntuados, incluso a temperaturas ambientales extremas, mientras el tránsito peatonal para mantención puede suponer calzado de trabajo.

El empleo como terraza debe considerar entre otros, el deslice de elementos pesados sobre la superficie, la operación de parrillas de asado, la caída de brasa y de grasa caliente, el uso de detergentes, abrasivos y desinfectantes varios. En techos verdes siempre hay que contar con semillas de vuelo de plantas con raíces agresivas.

Cada cubierta debe ser accesible, de forma segura, para la instalación de la impermeabilización y las otras partes de la cubierta, para las actividades de mantenimiento, así como para los usos según diseño.

La cubierta representa la "quinta fachada" de la edificación y por lo tanto tiene que cumplir con aspectos estéticos, de diseño y arquitectura, según el proyecto.

En todo caso es recomendable considerar modificaciones e intervenciones a futuro. Una cubierta con un diseño flexible y adaptable podrá responder mejor a los requisitos cambiantes venideros.



Ilustración 16. Cubierta con terraza ajardinada

2.5.2. LA (IM)PERMEABILIDAD COMO FUNCIÓN PRINCIPAL DE LA CUBIERTA**2.5.2.1. Permeabilidad y porosidad**

La calidad que le entrega el nombre a la impermeabilización, y que representa su principal tarea, es técnicamente y físicamente compleja, debido al comportamiento excepcional de la sustancia en cuestión: el agua, o bien la humedad en forma de agua líquida y de vapor de agua.

La permeabilidad o impermeabilidad respectivamente, a la humedad de un material de construcción depende principalmente de su porosidad, tanto del tamaño de los poros como de la estructura porosa.

- Los materiales que sólo contienen poros cerrados y aislados se comportan como materiales sin poros y son impermeables al agua y al vapor, como por ejemplo el cristal o los metales.

- Los materiales con poros abiertos e interconectados muestran un comportamiento higroscópico que depende en primera instancia del tamaño de los orificios. La mayoría de los materiales de construcción muestra alguna estructura de poros interconectados.

- **Microporos:** Son aquellos con un diámetro menor a 1 nm. Sólo permiten la entrada de moléculas de agua individuales (con un tamaño de aproximadamente 0,28 nm), es decir son permeables al vapor de agua.
- **Poros capilares:** Con un tamaño entre 0,01 y 10 µm aproximadamente, favorecen el transporte capilar de agua líquida. Entran también gotitas finas de agua con un diámetro de 1 µm (por ejemplo, como una niebla).
- **Macroporos:** También llamados poros de aire, tienen un diámetro mayor a 0,1 mm aproximadamente y son demasiado grandes para que se pueden desarrollar fuerzas capilares. Estos poros solamente se llenan por presión con agua líquida.

Así que si algo se llama impermeable al agua, difiere mucho de ser impermeable al vapor de agua.

Materiales con poros capilares absorben agua, similar a una esponja. La absorción puede aumentar o disminuir, dependiendo de las características de la superficie: las capas hidrófobas reducen la absorción, mientras las superficies hidrófilas la pueden reforzar.

De los materiales que se utilizan para la impermeabilización de la cubierta, se espera que no tengan una estructura de poros capilares o macro poros conectados. No obstante puede ser deseable una micro porosidad que permite la difusión de vapor de agua.

La penetración de agua frecuentemente se genera en las uniones del material impermeabilizante donde se puede presentar la porosidad no deseada, debido a imperfecciones en la adhesión entre diferentes piezas.

El espesor del material no es primordial para la calidad de la porosidad. Siempre se requiere un cierto espesor mínimo, que depende del material y de la forma de fijación, entre muchos otros factores, para facilitar la trabajabilidad y la fabricación de encuentros y uniones materiales que sean durables en las condiciones y por la vida útil dada.

Lo que comúnmente se denomina impermeabilidad al agua, técnicamente se describe como resistencia al empozamiento de agua y como resistencia a la absorción de agua, factores que se presentan a continuación.

TABLA 6.
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA SEGÚN PERÍODO DE RETORNO DE CARGAS Y SOLICITACIONES Y LA VIDA ÚTIL

VIDA ÚTIL (N)	PERÍODO DE RETORNO DE CARGAS Y SOLICITACIONES (T)			
	10 años	20 años	50 años	100 años
	Riesgo (R) según fórmula $R = 1 - (1 - 1/T)^N$			
20 años	88%	64%	33%	18%
30 años	96%	79%	45%	26%
40 años	98,5%	87%	55%	33%
50 años	99,5%	92%	64%	39%
100 años	99,99%	99,4%	87%	63%

Cabe mencionar que “impermeable” en la construcción siempre significa “suficientemente impermeable para el caso”, considerando que en la construcción la impermeabilidad absoluta no existe.

2.5.2.2. Resistencia a la absorción de agua

El grado de absorción de agua se refiere al efecto del agua sin presión estática.

Los valores que se determinan en los ensayos de absorción de agua se utilizan para evaluar el efecto protector de lluvia de una capa superficial.

Para la realización de ensayos de absorción capilar según Norma UNE-EN ISO 15148:2002, tras secar la muestra y pesarla, se coloca parcialmente inmersa en agua (entre 1- 5 mm). Una vez colocada la muestra en contacto con el agua, la muestra comienza a absorber el agua por capilaridad. Mediante sucesivas pesadas se obtiene el incremento del contenido de agua en la muestra a lo largo del tiempo. La cantidad de agua absorbida es una medida de la absorción de agua.

TABLA 7. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN CAPILAR DE AGUA DE LOS MATERIALES DE ACUERDO A NORMA DIN 4108

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE AGUA W [kg/(m ² ·h ^{0,5})]	COMPORTAMIENTO ANTE AGUA
w > 2	Muy absorbente
0,5 < w ≤ 2,0	Absorción reducida
0,001 < w ≤ 0,5	Hidrófugo
w ≤ 0,001	Impermeable al agua

2.5.2.3. Grado de penetración de agua

Para la medición la penetración de agua in situ existe un dispositivo sencillo, el “tubo Karsten”. Es un dispositivo de medición no destructiva que permite determinar el grado de absorción de agua y de la permeabilidad al agua de superficies.

Hay dos tipos, para superficies verticales y horizontales. Se utiliza para estucos y otras superficies tales como hormigón.

El principio de ensayo es simple: El tubo de ensayo se instala sobre la superficie de prueba generando un sello con masilla o plastilina, luego se introduce agua al cilindro y este ejerce una presión en la superficie.

Se puede observar si el nivel de agua disminuye y con qué velocidad, lo que permite sacar conclusiones sobre la capacidad de absorción de agua y la permeabilidad de la superficie.

2.5.2.4. Resistencia al empozamiento



Ilustración 17. Tubo Karsten para ensayo de la penetración de agua.

La resistencia al empozamiento se refiere a la resistencia del sistema de impermeabilización al paso de agua bajo presión hidrostática.

El grado de resistencia de los diferentes sistemas difiere bastante y depende de la composición del sistema impermeabilizante así como de la calidad de las uniones en caso de existir.

Siempre se pretende prevenir el empozamiento de agua en la superficie de la cubierta mediante un diseño adecuado de pendientes. No obstante es difícil lograr que no se acumule agua aunque sea en pequeños charcos. En el mejor de los casos, esta agua se evapora, es decir la poza desaparece secándose.



Ilustración 18. Cubierta con agua empozada sobre impermeabilización líquida

La acumulación de agua sobre la impermeabilización es especialmente peligrosa, cuando sucede debajo de terminaciones o acabados, en lugares no accesibles y sin ventilación, por ejemplo en caso de la inexistencia de una capa drenante o la configuración errónea del sistema de cubierta.

También sumideros tapados o la falta de aseo pueden causar el estancamiento de agua provocando daños a corto o mediano plazo.



Ilustración 19. Ensayo simple de resistencia al agua empozada

Existen diferentes formas de evaluar la resistencia al agua empozada. La imagen anterior muestra una prueba sencilla con una muestra de membrana. La silicona de la imagen resiste hasta ocho meses.

La NCh3304:2014 especifica los procedimientos para determinar la “estanqueidad al agua” de probetas de láminas bituminosas, plásticas y de caucho destinadas a la impermeabilización de cubierta.

En el caso de los recubrimientos de techos, de aplicación líquida, la norma de referencia es la ASTM D6083 - 97a Standard Specification for Liquid Applied Acrylic Coating Used in Roofing (Especificación estándar para el revestimiento de acrílico aplicado líquido usado en la cubierta).

Aunque esta regla fue implementada para las pinturas elastoméricas acrílicas, en la realidad actualmente se aplican para medir la resistencia al agua empozada de todos los recubrimientos líquidos para techos (acrílicos, poliuretanos, siliconas, híbridos, etc.).

Los métodos de ensayo indicados en la ASTM D6083 están descritos en las normas ASTM D1653, ASTM D471, ASTM C794, que se detallan en el capítulo Normas.

Entre ellos, la norma ASTM D7281-07 “Standard Test Method for Determining Water Migration Resistance Through Roof” (Método estándar para determinar la resistencia a la migración de agua por el techo) detalla un método para determinar la resistencia al empozamiento que es aplicable a todo tipo de membranas.

Se utilizan muestras con una unión típica que son primero sometidos a un procedimiento estandarizado de envejecimiento y posteriormente a una prueba de filtración de agua con una columna de agua de 152 mm. Se considera aprobado cuando no se muestra ninguna señal de fuga de agua durante el periodo de prueba de siete días.

Entre las soluciones líquidas de impermeabilización de cubiertas existen las resinas epóxicas, poliaspárticas, poliureas y siliconas que soportan la inmersión continua y por ende el empozamiento de agua.

2.5.2.5. Permeabilidad al vapor de agua

Respecto la permeabilidad al vapor de agua, la norma chilena Nch1980 incluye una clasificación del comportamiento de los materiales. No obstante, en el mercado se utilizan en la actualidad principalmente dos normas internacionales para la clasificación de los productos.

Las clasificaciones y unidades respectivas que son difíciles de homologar o convertir una en otra, se detallan a continuación.

NCh1980:1988 Determinación de la ocurrencia de condensaciones intersticiales**TABLA 8.**
CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A NCH1980:1988

RESISTENCIA A LA DIFUSIÓN DE VAPOR DE AGUA	> 230 MN·s/g	> 10 MN·s/g < 230 MN·s/g	< 10 MN·s/g
CLASE	Cortavapor	Barrera de vapor	-

La norma diferencia entre la resistencia, medida en MN·s/g, y la resistividad que se mide en MN·s/(g·m) e incluye listados con los valores para diferentes materiales de construcción.

Norma ISO 12572:2002 Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios. Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua.**TABLA 9.**
CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A NORMA ISO 12572:2002

VALOR s_d	≥ 1.500 m	> 0,5 m < 1.500 m	$\leq 0,5$ m
GRADO DE APERTURA A LA DIFUSIÓN	Resistente a la difusión	Retardante de la difusión	Abierto a la difusión

En este sistema, la barrera de vapor se caracteriza mediante el espesor de la capa de aire equivalente a la difusión del vapor, el valor s_d . Esto es el espesor de la capa de aire que tiene la misma resistencia a la difusión de vapor de agua que la correspondiente capa de dicho material con un determinado espesor d y con un factor de resistencia a la difusión μ dados, siendo $s_d = \mu \cdot d$ [m].

Norma ASTM E 96**TABLA 10.**
CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A NORMA ASTM E 96

PERMEANCIA AL VAPOR DE AGUA	$\leq 0,1$ perm	$\leq 1,0$ perm > 0,1 perm	< 10 perm > 1,0 perm	> 10 perms
CLASE	I Impermeable	II Semi-impermeable	III Semi-permeable	Permeable

"Perm" es una unidad de permeabilidad o de transmisión de vapor de agua, dado un cierta diferencia entre las presiones parciales entre las caras de un material o una membrana. El perm de los EE. UU. se define como 1 grano de vapor de agua por hora, por pie cuadrado y por pulgada de mercurio.

Además existe la norma ISO 15106 que define diferentes métodos de "Determinación de la tasa de transmisión de vapor de agua" para películas y láminas de plástico (ver capítulo Normas).

Los sistemas de impermeabilización de cubierta en general son altamente resistentes a la difusión de vapor de agua. No obstante existen sistemas, especialmente líquidos poliméricos, que según su formulación ofrecen un cierto grado de permeabilidad al vapor de agua.

2.5.3. OTRAS FUNCIONES BÁSICAS DE LA IMPERMEABILIZACIÓN**2.5.3.1. Resistencia a las fuerzas del viento**

Sobre cada cubierta plana actúan fuerzas del viento. Estas cargas de viento resultan de factores naturales, tales como velocidad y dirección del viento, así como las características de la cubierta, tales como altitud, forma, dimensiones y superficies.

Las cargas de viento causan presión y succión e incluso fuerzas ligeras de fricción. En casos especiales, por ejemplo, cuando la edificación es parcialmente abierta, incluso se puede desarrollar una presión interna. La fricción se produce en paralelo con la superficie del techo, la presión y la succión perpendicular a la cubierta plana.

Para asegurar un techo plano contra las fuerzas del viento, se debe calcular la presión del viento. Si el valor calculado es positivo, la carga del viento es realmente una presión, en cambio si el resultado es un valor negativo, se trata de succión del viento.

En techos planos, por lo general hay una succión mucho más alta que la presión del viento, por lo que toda la estructura de techo plano debe estar asegurada contra elevación.

Las cargas de viento se calculan de acuerdo a la NCh 432.

2.5.3.2. Comportamiento ante fuego

Según origen de los productos y materiales importados, su comportamiento ante fuego se clasifica de acuerdo a diferentes normas. A continuación las normas más importantes.

Norma europea EN 13501-1

La norma europea EN 13501-1 entrega clasificaciones de la reacción al fuego de los materiales de construcción las que se reproduce en las siguientes tablas.

La clasificación de un material se indica con el formato "B-s2, d2".

TABLA 11.
CLASIFICACIÓN DE LA REACCIÓN AL FUEGO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN SEGÚN NORMA EN 13501-1

CLASE	INTERPRETACIÓN
A1, A2	No combustible. Sin contribución al fuego
B	Combustible. Contribución muy limitada al fuego
C	Combustible. Contribución limitada al fuego
D	Combustible. Contribución media al fuego
E	Combustible. Contribución alta al fuego
F	Sin clasificar. Sin comportamiento determinado

TABLA 12.
CLASIFICACIONES ADICIONALES DE LA REACCIÓN AL FUEGO SEGÚN LA NORMA EUROPEA EN 13501-1

CLASIFICACIÓN ADICIONAL PARA PRODUCCIÓN DE HUMO		CLASIFICACIÓN ADICIONAL PARA GOTAS/PARTÍCULAS EN LLAMAS	
s3	No se requiere ninguna limitación de la producción de humo	d2	No hay limitaciones
s2	La producción total de humo, así como la velocidad de aumento de la producción de humo están limitadas	d1	No se producen gotas/partículas en llamas con persistencia superior a un período dado
s1	Se satisfacen criterios más estrictos que las de la clase s2	d0	No se producen gotas/partículas en llamas

Normas estadounidenses

A continuación se presentan las dos normas técnicas más utilizadas en EE.UU. para clasificar el comportamiento al fuego de los recubrimientos de techo, en relación a las características de los materiales, como de las cubiertas expuestas al fuego:

La norma ASTM E84 - Método de ensayo de las características de combustión de superficie de los materiales de construcción - se utiliza para medir y describir la respuesta de los materiales, productos o ensambles al calor y a la llama en condiciones controladas, pero no incorpora por sí misma todos los factores requeridos para la evaluación del riesgo de incendio de los materiales y productos bajo las condiciones reales de incendio.

Los índices de propagación de llama y de desarrollo de humo obtenidos por la prueba ASTM E 84 son utilizados por las agencias reguladoras en la aceptación de materiales para diversas aplicaciones.

Esta norma clasifica a los materiales en tres clases de acuerdo al valor de sus índices adimensionales:

- **Clase A:** Índice de propagación de la llama 0-25; Índice de desarrollo de humo 0-450.
- **Clase B:** Índice de propagación de la llama 26-75; Índice de desarrollo de humo 0-450.
- **Clase C:** Índice de propagación de la llama 76-200; Índice de desarrollado por el humo 0-450.

La norma UL 790 - Norma de métodos de ensayo para pruebas de incendio en cubiertas - define la medición de las características relativas al fuego de las cubiertas expuestas a fuentes simuladas de incendios procedentes del exterior de un edificio en el que se instalan los revestimientos. Son aplicables a los revestimientos de cubierta destinados a ser instalados en cubiertas combustibles o no combustibles.

Clasifica los techos en tres clases:

- **Clase A:** Techos que resisten exposiciones a fuego severo.
- **Clase B:** Techos que resisten exposiciones a fuego moderado.
- **Clase C:** Techos que resisten exposiciones a fuego pequeño.

2.5.3.3. Resistencia al estrés térmico

El estrés térmico es el estrés causado por las diferencias de temperatura o por las diferencias en la expansión térmica.

La impermeabilización debe resistir no sólo las temperaturas ambientales más extremas del lugar, sino también las temperaturas mínimas y máximas que adquiere la impermeabilización misma debido a las condiciones de tiempo y de clima. Estas pueden considerablemente superar o caer por debajo de las temperaturas del aire exterior. Véase efecto overcooling (sobreenfriamiento) y efecto isla de calor (capítulos 8.2.5 y 9.1.3).

En relación con el cambio climático, se esperan a futuro temperaturas más extremas, lo que debería considerarse al proyectar impermeabilizaciones pensadas para los próximos 30 o 50 años.

2.5.3.4. Absorción de las dilataciones y deformaciones de cubierta

Todos los materiales se expanden y se contraen con los cambios de temperatura, por ello los elementos de la envolvente (como la cubierta) se diseñan para absorber las dilataciones inducidas por las variaciones de temperatura.

Dichas dilataciones dependen de las diferencias de temperatura superficial (que dependen significativamente del color del sustrato), del tamaño del elemento y del coeficiente de dilatación lineal (que es un parámetro propio de cada materialidad), según se indica en el siguiente cuadro:

TABLA 13.
COEFICIENTE DE DILATACIÓN PARA MATERIALES SELECCIONADOS

MATERIAL	COEFICIENTE DE DILATACIÓN
Acero	10 a 17 x 10 ⁻⁶
Hormigón	9 a 13 x 10 ⁻⁶
PVC	80 x 10 ⁻⁶
Policarbonato	68 x 10 ⁻⁶

Por tanto, proveer una capacidad de movimiento es clave en el diseño de los sistemas de cubierta, sobre todo en los techos metálicos de color oscuro (que absorben más calor, y elevan las temperaturas). Esos movimientos son causados no solamente por los cambios de temperatura, sino también por la acción del viento, de la gravedad, por las sobrecargas de uso, etc.

Se puede decir que el problema de proveer una capacidad de movimiento se reduce al problema de diseño de juntas, porque es justamente allí donde el movimiento debe ser absorbido. Es un principio básico entonces que el funcionamiento exitoso de un sistema de cubierta de grandes deformaciones reside en el correcto diseño de sus juntas.

Lo anterior no significa necesariamente que si se usan elementos más largos, entonces al haber menos juntas el problema se resuelve automáticamente, por el contrario, la experiencia indica que la presencia de elementos más grandes requerirá que cada junta pueda absorber mucho más movimiento, lo cual tiende a complicar el diseño de las mismas.

Dilatación no solo hace referencia al aumento de tamaño de un cuerpo. Pudiendo aumentar su longitud, su ancho, su volumen o cualquier otra proporción volumétrica.

Los diferentes tipos de dilataciones pueden suceder de forma aislada y también de forma combinada:

- **Dilatación térmica:** Es un proceso que se realiza como reacción a los cambios de temperaturas, según corresponda en un material sólido este se contrae o se expande.
- **Dilataciones mecánicas:** Por efectos de movimientos sísmicos los materiales se ven sometidos a dilataciones en su volumen.
- **Dilataciones superficiales:** Aquellas que provocan que el material sólo cambie su estado en cierto porcentaje y no en su totalidad.

- **Dilatación volumétrica:** Según los materiales estos pueden sufrir alteraciones volumétricas internas.

2.5.4. FUNCIONES ADICIONALES DE LA IMPERMEABILIZACIÓN EXPUESTA

2.5.4.1. Resistencia a los agentes atmosféricos

La impermeabilización expuesta debe resistir a los efectos de los agentes atmosféricos presentes y posibles, entre ellos:

- Radiación UV.
- Salinidad del aire (en el borde costero).
- Granizo.
- Ozono troposférico.

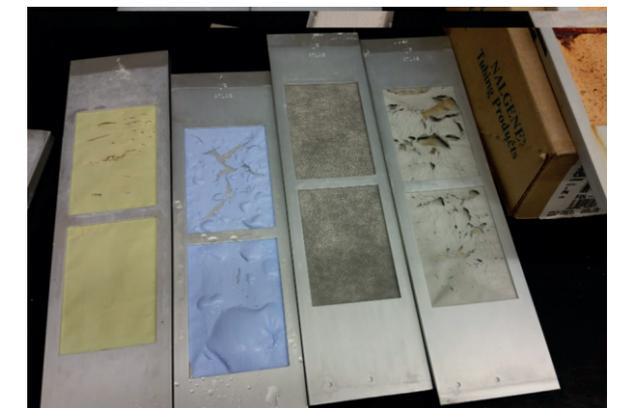


Ilustración 20. Recubrimientos líquidos en un estudio de envejecimiento acelerado.

Los materiales y sistemas se someten a estudios de envejecimiento acelerado para verificar su desempeño en la resistencia al envejecimiento.

Chile se caracteriza por tener niveles de radiación solar elevada, lo cual hace que la exposición de los materiales de cubierta queden sometidos, durante su vida útil, a una degradación muy significativa debido a la radiación UV y a los agentes atmosféricos. De modo que resulta de mucho interés conocer cuál es el desempeño de los materiales de techo ante la exposición atmosférica exterior.

En las normas ASTM hay dos estándares técnicos que son muy usados para ensayar la resistencia de los materiales (ASTM D4798) y para medir el desempeño de los mismos (ASTM D6694). Como referencia, es importante considerar que hay recubrimientos poliméricos que pueden llegar a más de 21.000 horas de exposición acelerada de calor y UV (QUV), mientras que otros no superan las 3.000 a 4.000 horas de resistencia.

2.5.4.2. Durabilidad de aspecto y color

La impermeabilización expuesta y visible, debe cumplir con los requerimientos estéticos según los criterios de diseño. La gran mayoría de las cubiertas tienen una función técnica, es decir, cumplen principalmente con criterios funcionales. Sin embargo, existen edificios donde los clientes solicitan cumplir también con requisitos estéticos.

Respecto a los colores, es sabido que la retención de color de un recubrimiento líquido queda determinada, en primer lugar, por la naturaleza de los pigmentos de color que se emplee. Así es como los pigmentos orgánicos (usados en los colores más brillantes) tienen una tendencia a mostrar una mayor pérdida de retención de color que las pinturas inorgánicas.

Pero en segundo nivel, el desempeño en la retención de color también queda definido por la naturaleza química del polímero de base del recubrimiento líquido. Consecuentemente, aquellos polímeros inorgánicos que usen pigmentos inorgánicos van a exhibir una mayor resistencia a los agentes atmosféricos, incluyendo la exposición al sol y a la lluvia.

Los epóxicos y poliureas aromáticas, por ejemplo, sufren des pigmentación cuando se exponen a luz solar, por lo que para solucionar este problema se pueden utilizar poliureas aspárticas y poliuretanos con resistencia UV como capa de terminación o simplemente utilizar una poliurea alifática o una silicona.

Finalmente cabe recordar que un proyecto de impermeabilización completo que provee soluciones de detalle para todas las singularidades existentes en la cubierta, reducirá las reparaciones improvisadas en obra y será un importante aporte a un aspecto ordenado y cuidado del techo.

TABLA 14.
TOLERANCIAS PERMISIBLES DE TERMINACIÓN SUPERFICIAL DE LOSAS SEGÚN CLASIFICACIÓN

LONGITUD DE LA REGLA L	$L \leq 1,5 \text{ m}$	$1,5 \text{ m} < L \leq 3 \text{ m}$	$3 \text{ m} < L \leq 6 \text{ m}$	$L > 6 \text{ m}$	RESALTES EN EL MISMO PLANO
Grado 5	3 mm	5 mm	7 mm	10 mm	2 mm
Grado 6	4 mm	7 mm	10 mm	15 mm	3 mm

2.6. TOLERANCIAS

Las pendientes, la planeidad y la rugosidad de las cubiertas son relevantes para la correcta evacuación de aguas y la prevención del empozamiento de agua.

Especialmente las pendientes bajas requieren tolerancias limitadas. Por lo tanto, se recomienda establecer, en las especificaciones técnicas de la impermeabilización de cubierta, las tolerancias permisibles y la forma de verificación.

2.6.1. TOLERANCIA DEPENDIENTE

El Manual de Tolerancias para Edificaciones, 2a Edición 2013, CDT, es un documento chileno referido a las tolerancias en la construcción. De acuerdo a esta guía, son permisibles las variaciones de la pendiente respecto de lo especificado de $\pm 0,5 \%$.

Esta tolerancia es aplicable tanto a las vertientes como a las limahoyas.

La medición puede realizarse con nivel topográfico o con nivel laser.

2.6.2. TOLERANCIA DE PLANEIDAD

En el Manual de Tolerancias para Edificaciones antes mencionado, las partidas relacionadas con la impermeabilización de cubiertas contenidas en el manual, son las losas de hormigón y los revestimientos cerámicos. Para estos últimos se recomienda consultar directamente la fuente.

Para losas de hormigón armado, colado in situ, como elemento estructural para todo tipo edificaciones, el manual define las tolerancias aceptables de planeidad de piso que se reproducen en la siguiente tabla:

Para estas tolerancias existen dos clases:

- Grado cinco corresponde a losas o radieres destinados a ser cubierto directamente con un revestimiento o dejado a la vista afinada.
- Grado seis corresponde a losas o radieres sin recubrimiento y sin afinado.

Las tolerancias de planeidad aplicables al sistema de impermeabilización en cuestión deberían ser consultadas o verificadas con el fabricante. Los valores de la tabla anterior pueden servir de referencia.

Para resaltes véase el cap. 2.6.3.

Verificación con reglas

Para la determinación de la planeidad de losas, se recomienda seguir la siguiente instrucción extraída a la norma suiza SIA 414:

Los puntos de inicio y final de las mediciones pueden ser elegidos libremente. Las mediciones se realizan con la ayuda de reglas de diferentes longitudes, específicamente de 0,4 m, 1 m, 2 m o 4 m. Las reglas se colocan en los puntos altos. De manera que se pueden medir las depresiones con una regla graduada, con una cuña de medición o de otra forma. Se medirá sólo desviaciones negativas. No se pueden hacer mediciones en los extremos salientes de las reglas de medición.

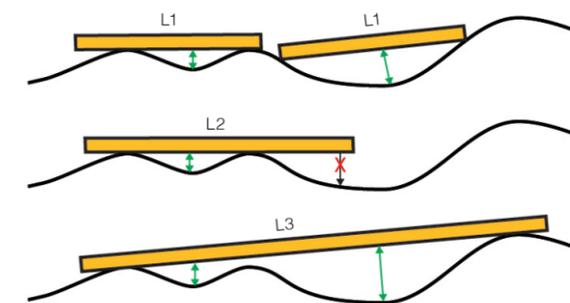


Ilustración 21. Verificación de la planeidad de superficies con reglas de diferente largo

Verificación con nivel topográfico

En superficies de mayor tamaño se puede utilizar el nivel topográfico o el nivel laser.

2.6.3. RESALTES

Un resalte es una parte que sobresale de una superficie. Dependiendo de las características del sistema de impermeabilización, la altura máxima permitida para el resalte de un sustrato de cubierta podrá variar.

En efecto, típicamente los sistemas de membranas prefabricadas más rígidas van a requerir una altura pequeña del resalte para evitar daños y/o punzonamiento de la membrana.

Frecuentemente se limita la altura de resaltes a 1 mm. Mientras que en los recubrimientos elastoméricos líquidos, el resalte puede tener cualquier altura máxima, bastando que el recubrimiento encapsule adecuadamente todo el resalte, con los espesores secos mínimos exigidos.

Debido a que cada sistema posee propiedades diferentes, se debe consultar y verificar con el fabricante del producto o sistema los resaltes máximos aplicables.

2.7. SUSTRATOS DE HORMIGÓN

2.7.1. RUGOSIDAD Y PREPARACIÓN DE SUPERFICIES DE HORMIGÓN

La rugosidad de una superficie se puede definir como el conjunto de irregularidades o asperezas de la superficie respecto a otra idealmente lisa.

Respecto a la rugosidad de un sustrato de hormigón, por lo general se trabaja con la Guía No. 310.2R-2013 del Instituto Internacional de Reparación de Concreto, ICRI, llamado también "Manual ICRI".

A continuación se reproducen los perfiles de superficie definidos en este manual, así como los tipos de recubrimientos aplicables en función de los perfiles especificados. Los perfiles de superficie se denominan "Concrete Surface Profile" (CSP) ("Perfil de la superficie de hormigón") y están numerados de 1 hasta 10. El objetivo es utilizarlos en las especificaciones técnicas.

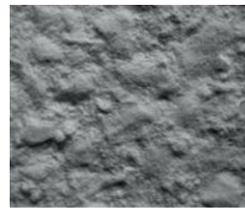
El método de verificación es visual.

**CSP 1**

Texturizado al ácido

**CSP 2**

Pulido

**CSP 3**

Chorreado abrasivo suave

**CSP 4**

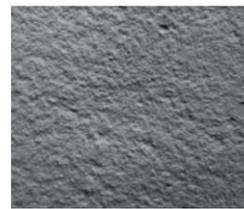
Escarificación suave

**CSP 5**

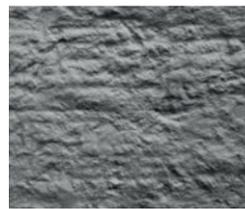
Chorreado abrasivo mediano

**CSP 6**

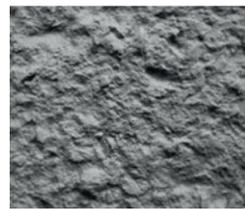
Escarificación mediana

**CSP 7**

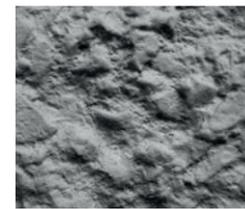
Chorreado abrasivo pesado

**CSP 8**

Debastado

**CSP 9**

Escarificación - rotomartillado

**CSP 10**Rotomartillo seguido por
chorreado abrasivo

Cada tipo de recubrimiento requiere una calidad mínima del sustrato que permite instalarlo de forma correcta. La siguiente tabla servirá de referencia para la especificación de la calidad superficial a esperar en función del espesor del recubrimiento a instalar.

TABLA 15.
SISTEMAS DE PROTECCIÓN EN FUNCIÓN DEL PERFIL DE LA SUPERFICIE DE HORMIGÓN SEGÚN MANUAL ICRI

TIPO DE RECUBRIMIENTO	PERFIL DE SUPERFICIE DE HORMIGÓN									
	CSP1	CSP2	CSP3	CSP4	CSP5	CSP6	CSP7	CSP8	CSP9	CSP10
Sellantes 0 - 0,075 mm / 0 - 3 mils										
Película delgada 0,01 - 0,025 mm / 4 - 10 mils										
Película 0,025 - 1,0 mm / 10 - 40 mils										
Recubrimiento autonivelante 1,2 - 3 mm / 50 mil - 1/8 pulgada										
Recubrimiento polimérico 3 - 6 mm / 1/8 - 1/4 pulgada										
Revestimientos y materiales de reparación > 6 mm / > 1/4 pulgada										

Ilustración 22. Perfiles de superficie de hormigón según Manual ICRI

La siguiente tabla resume las técnicas de preparación de la superficie de hormigón en función del perfil de superficie.

TABLA 16.
MÉTODOS DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIES DE HORMIGÓN DE ACUERDO A LOS PERFILES SEGÚN MANUAL ICRI

MÉTODO DE PREPARACIÓN	PERFIL DE SUPERFICIE DE HORMIGÓN									
	CSP1	CSP2	CSP3	CSP4	CSP5	CSP6	CSP7	CSP8	CSP9	CSP10
Fregado con detergente										
Hidrolavado a baja presión										
Pulido										
Ácido										
Raspado de aguja										
Chorro abrasivo										
Arenado										
Chorro de agua a alta y muy alta presión										
Escarificación										
Retardador de superficie para materiales cementosos recién colocados										
Rotomartillado										
Desbaste										
Rotomartillo demoledor										

2.7.2. GRIETAS EN SUSTRATOS DE HORMIGÓN

Una grieta es la total o parcial separación del hormigón en dos o más partes, producto de una fractura o quebramiento del material, provocada por tensiones superiores a su resistencia.

Las causas del agrietamiento del hormigón pueden ser de tipo:

- **Químicas.**
 - Cambios derivados por la hidratación del cemento.
 - Reacciones químicas entre el cemento y los agregados.
 - Oxidación del acero de refuerzo.
- **Físicas, por acción de cargas externas a la estructura.**
 - Expansiones y contracciones.
 - Esfuerzos de compresión.
 - Esfuerzos de tensión.

Clasificación de las grietas

Dependiendo del estado del hormigón, es posible clasificar las grietas en los siguientes principales tipos:

- **Estado fresco.**
 - Contracción plástica, debido a la pérdida rápida por evaporación.
 - Asentamiento plástico, por efecto de la gravedad y/o pérdida de humedad excesiva.

- **Estado endurecido.**

• Crazeo, finas aberturas en el hormigón debido a:

- Curado deficiente.
- Retirar súbitamente el curado.
- Pulido excesivo de la superficie.
- Contracción por secado (o retracción hidráulica), es una pérdida gradual de agua por evaporación y por hidratación, que depende de:
 - Humedad relativa.
 - Temperatura.
 - Superficie expuesta.
- Temperatura; el hormigón se expande y se contrae por efecto de la temperatura, para lo cual se debe evitar:
 - La contracción térmica excesiva debido a gradientes de temperatura diarios o estacionales.
 - La falta de acero de refuerzo.
 - La ausencia de juntas.
- Estructurales en el caso de losas, algunas causas que pueden dar origen al agrietamiento son:
 - Grieta por discontinuidad/irregularidad de la losa o por falta de acero perpendicular.
 - Grieta por curado inadecuado.
 - Grieta por descimbrado temprano y mal apuntalamiento.

Valores admisibles de las grietas

En las recomendaciones de diferentes estándares técnicos, se indican diferentes valores admisibles para grietas las que se resumen en la siguiente tabla.

TABLA 17.
RECOPIACIÓN DE ANCHOS MÁXIMOS PERMISIBLES DE GRIETAS EN HORMIGÓN SEGÚN DIFERENTES FUENTES

FUENTE (INVESTIGADOR, REGLAMENTO)	CONDICIONES DE EXPOSICIÓN	ANCHOS MÁXIMOS PERMISIBLES DE GRIETAS EN mm
Brice	Severa	0,10
	Agresiva	0,20
	Normal	0,30
Rusch	Agresiva (agua salada)	0,20
	Normal	0,12 - 0,3
Efsen	Severa o agresiva	0,05 - 0,15
	Normal (exterior)	0,15 - 0,25
	Normal (interior)	0,25 - 0,35
Reglamento ACI 318-09	Exterior	0,33
	Interior	0,40
Eurocódigo EC2	Normales	0,30
CFE (Manual de Diseño de Obras Civiles, Comisión Federal de Electricidad, México)	Interior	0,30
	Agresivo	0,20
	Agresivos cuando se requiere impermeabilidad	0,10
	Cargas accidentales	0,40
Comité ACI 224	Aire seco o membrana protectora	0,40
	Aire húmedo, contacto con el suelo	0,30
	Productos químicos descongelantes	0,18
	Agua del mar, mojado y secado alternado	0,15
	Estructuras para almacenamiento de agua	0,10
NTC 04	Según las condiciones de exposición	0,20 - 0,40

Cabe mencionar que los valores recomendados por Cemex son compatibles con los criterios definidos en el documento del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, ICH, llamado: Especificación Técnica ET 001-05, Fisuras No Estructurales en Muros de Hormigón Armado.

La facilidad de escurrimiento por los planos que componen la superficie de la impermeabilización, hasta la entrega en los desagües, depende de las siguientes características:

- Propiedades de las superficies: planeidad, rugosidad, grado de hidrofobicidad.
- Pendientes (véase cap. 2.4.1 Pendientes mínimas).
- Diseño y detalles de las singularidades incluyendo los desagües (sumideros y gárgolas).
- Cantidad y dimensión de los desagües.

El sistema de evacuación de aguas pluviales de la edificación consiste en sumideros, gárgolas, bajadas y otros elementos.

Su capacidad debe estar acorde a la carga instantánea máxima de agua caída que se puede esperar durante la vida útil del sistema.

2.8. EVACUACIÓN DE AGUA LLUVIA

La impermeabilización es el elemento primario del sistema de recolección y evacuación de aguas pluviales. El agua recibida debe escurrir con facilidad y seguridad por los elementos conductores, que son las limahoyas y los canales o canalones integrados, a los desagües, es decir los sumideros y las gárgolas, y a las canaletas sobrepuestas o simplemente al borde libre de la cubierta. Estos elementos se muestran en Ilustración 13: Elementos básicos de la cubierta plana (Gráfico: Blender).

2.8.1. INTENSIDAD PLUVIOMÉTRICA

Para Chile existen datos de la intensidad pluviométrica publicados en el año 1994. Se trata de valores máximos (en mm) por 24 horas para 10 años de retorno y para las localidades más importantes del país.

Los valores estadísticos permiten el cálculo de la caída de lluvia instantánea en mm durante un lapso de una hora y en cinco minutos respectivamente, y por diferentes períodos de retorno. La lluvia instantánea es decisiva para el dimensionado del sistema de evacuación de aguas pluviales en edificios. Los valores de precipitación anual y en 24 horas, así con las cargas instantáneas, se reproducen en las siguientes tablas.

TABLA 18.
PRECIPITACIONES EN LAS PRINCIPALES CIUDADES DE CHILE

REGIÓN	CIUDAD	ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN [mm]	
			PROMEDIO ANUAL	MÁXIMA EN 24 HORAS PARA PERÍODO DE RETORNO 10 AÑOS
I	Arica	Chacalluta DMC	1	2
	Iquique	Cavanca	1	2
II	Antofagasta	U. Norte	5	7
	Calama	DMC	4	10
III	Copiapó	DMC-DGA	10	25
	Vallenar	DMC	31	33
V	La Serena	DMC	84	60
	Ovalle	Aeródromo	114	70
	Illapel	DOS DMC	177	78
V	Valparaíso	Pta. Ángeles	389	83
	Los Andes	DMC	261	83
	San Antonio	San Antonio	494	87
R. M.	Santiago	Quinta Normal	300	71
VI	Rancagua	DMC	406	69
VII	Talca	San Luis	647	93
	Curicó	Gral. Freire	717	114
	Linares	DOS	895	123
	Constitución	Constitución	755	120
VIII	Concepción	Concepción	1162	105
	Chillán	Chillán	1080	107
IX	Temuco	Maquehue	1217	82
X	Puerto Montt	Puerto Montt	1811	82
	Valdivia	Pichoy	2307	103
	Ancud	Ancud	2965	118
XI	Castro	Castro	1886	89
	Puerto Cisne	Puerto Cisne	3939	123
	Coyhaique	Tte. Vidal	1190	68
	Puerto Aysén	DGA	2803	173
XII	Chile Chico	Chile Chico	355	45
	Punta Arenas	Naval	423	54
	Puerto Williams	Puerto Williams	575	64

Fuente: Cálculo en base de los datos y formulas publicados en: Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos - Guía de Diseño, 1994, Capítulo 3. Marco Geográfico. www.minvu.gob.cl/opensite_des_20070404114325_20070317115825.aspx

TABLA 19.
LLUVIA DE DISEÑO PARA LAS PRINCIPALES CIUDADES DE CHILE, PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO Y DURACIONES, EN mm

REGIÓN	CIUDAD	ESTACIÓN	DURACIÓN 1 HORA				DURACIÓN 5 MINUTOS				
			PERÍODO DE RETORNO T AÑOS								
			10	20	50	100	10	20	50	100	
I	Arica	Chacalluta DMC	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
	Iquique	Cavanca	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
II	Antofagasta	U. Norte	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
	Calama	DMC	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
III	Copiapó	DMC-DGA	4	5	7	8	1	2	2	3	3
	Vallenar	DMC	5	7	8	10	2	2	3	3	3
V	La Serena	DMC	10	12	14	16	3	4	4	5	5
	Ovalle	Aeródromo	12	15	20	24	4	5	6	7	7
V	Illapel	DOS DMC	13	15	19	22	4	5	6	7	7
	Valparaíso	Pta. Ángeles	13	15	18	20	4	5	6	6	6
	Los Andes	DMC	15	17	21	23	5	5	6	7	7
R. M.	San Antonio	San Antonio	13	16	19	21	4	5	6	7	7
R. M.	Santiago	Quinta Normal	12	15	18	20	4	5	6	6	6
VI	Rancagua	DMC	9	10	12	13	3	3	4	4	4
VII	Talca	San Luis	12	14	16	18	4	4	5	6	6
	Curicó	Gral. Freire	15	17	20	22	5	5	6	7	7
	Linares	DOS	16	19	22	24	5	6	7	7	7
	Constitución	Constitución	25	28	33	37	8	9	10	11	11
VIII	Concepción	Concepción	22	25	29	32	7	8	9	10	10
	Chillán	Chillán	20	22	25	27	6	7	8	8	8
IX	Temuco	Maquehue	17	19	22	24	5	6	7	7	7
X	Puerto Montt	Puerto Montt	14	16	18	19	4	5	5	6	6
	Valdivia	Pichoy	18	20	22	24	6	6	7	8	8
	Ancud	Ancud	25	28	32	35	8	9	10	11	11
XI	Castro	Castro	19	21	24	27	6	7	8	8	8
	Puerto Cisne	Puerto Cisne	26	29	34	37	8	9	10	11	11
	Coyhaique	Tte. Vidal	14	16	19	20	4	5	6	6	6
	Puerto Aysén	DGA	36	41	47	52	11	13	15	16	16
XII	Chile Chico	Chile Chico	9	11	12	14	3	3	4	4	4
	Punta Arenas	Naval	11	13	15	16	3	4	5	5	5
	Puerto Williams	Puerto Williams	13	15	17	19	4	5	5	6	6

Fuente: Cálculo en base de los datos y formulas publicados en: Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos - Guía de Diseño, 1994, Capítulo 3. Marco Geográfico. www.minvu.gob.cl/opensite_des_20070404114325_20070317115825.aspx

2.8.2. DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN DE AGUAS DE LLUVIAS

En Chile no se dispone de normas o recomendaciones nacionales referidas al dimensionado de los sistemas de evacuación de aguas pluviales en las edificaciones.

Por lo tanto se ofrece a continuación dos opciones de dimensionado, primero el dimensionado orientativo, basado en canales y bajadas de hojalata de zinc, y segundo una norma para el cálculo detallado basado en la intensidad pluviométrica local.

2.8.2.1. Dimensionado orientativo de canales

El tamaño de la canaleta debe estar en relación con la superficie de cubierta que desagua.

Para los canales se calcula la sección efectiva, es decir aquella que se puede llenar de agua.

Como superficie a desaguar se contabiliza la proyección horizontal de las vertientes del techo.

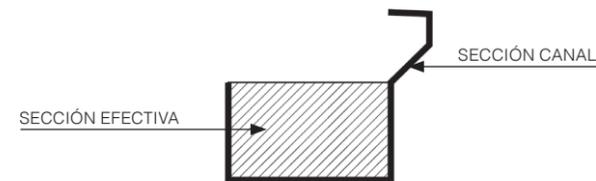


Ilustración 23. Sección efectiva de canal de hojalata

TABLA 20. VALORES ORIENTATIVOS PARA DIMENSIONADO DE CANALES DE AGUAS LLUVIAS

SECCIÓN ÚTIL DEL CANAL	PENDIENTE DEL CANAL
0,8 cm ² por cada m ² de cubierta	0,7 a 1,0 %

Dimensión de la canal

Para canaletas exteriores, se calcula una sección de 0,8 cm² por cada m² de cubierta.

Pendiente de la canal

La pendiente más usual es entre 0,7 a 1 cm por cada metro lineal.

Las canaletas con menos pendiente por lo general se ven mejor que las de inclinación mayor. Pero son más eficientes las de mayor inclinación.

La pendiente de la canaleta deberá conducir hacia la bajada más cercana.

Cálculo orientativo

Para un cálculo más específico, la siguiente tabla relaciona la sección útil mínima de los canales con su pendiente y la superficie a desaguar en proyección horizontal.

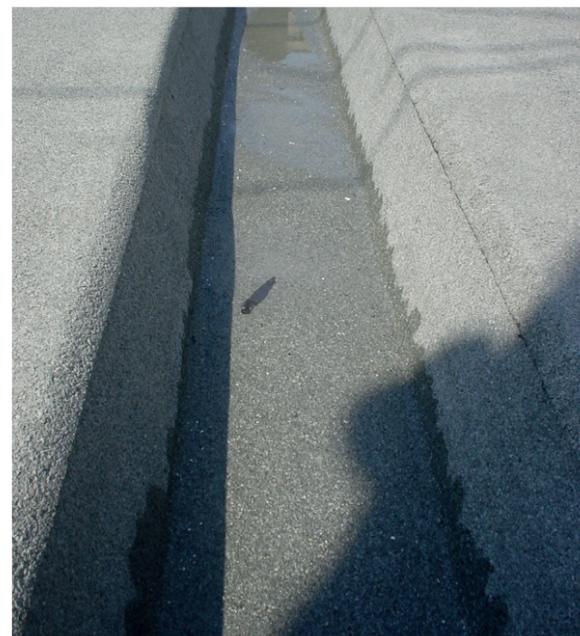


Ilustración 24. Canal de evacuación de agua lluvia en membrana asfáltica

TABLA 21. SECCIÓN ÚTIL MÍNIMA DE LOS CANALES (REDONDOS, CUADRADOS O MOLDURADOS) EN FUNCIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA CUBIERTA

SUPERFICIE ÚTIL EN PROYECCIÓN HORIZONTAL [m ²]	SECCIÓN [cm ²]							
	Pendiente del canalón [mm/m]							
	<1	2	3	5	7	10	15	20
20	65	50	45	35	30	30	25	20
30	85	70	60	50	45	40	35	30
40	105	80	70	60	55	50	40	35
50	120	95	85	70	65	55	50	45
60	140	110	95	80	70	60	55	50
70	155	120	105	90	80	70	60	55
80	170	135	115	95	85	75	65	60
90	185	145	125	100	95	85	70	65
100	200	155	135	115	100	90	80	70
110	215	170	145	120	110	95	85	75
120	230	180	155	130	115	100	90	80
130	240	190	165	135	120	105	95	85
140	255	200	170	145	130	115	100	90
150	265	210	180	150	135	120	105	95
160	280	220	190	160	140	125	110	100
170	290	230	200	165	145	130	115	100
180	305	240	205	170	150	135	120	105
200	330	255	220	185	165	145	125	115
250	385	300	260	215	190	170	145	135
300	440	340	295	245	220	195	165	150
350	490	380	330	275	245	215	185	170
400	540	420	365	305	270	235	205	185
450	585	460	395	330	290	255	225	200
500	635	490	425	355	315	275	240	215
600	720	560	485	405	360	315	275	245
700	805	630	540	450	400	350	305	275
800	890	690	595	495	440	385	335	305
900	965	750	650	540	480	420	365	330

2.8.2.2. Dimensionado orientativo de bajadas

Al igual que las canales, el tamaño de su sección debe estar relacionado con la superficie de cubierta que desagua.

TABLA 22.
VALORES ORIENTATIVOS PARA DIMENSIONADO DE BAJADAS DE AGUAS LLUVIAS

SECCIÓN ÚTIL DE LA BAJADA	SUPERFICIE DE CUBIERTA QUE SE DESAGUA CON 1 BAJADA
0,7 cm ² por cada m ² de cubierta	65 m ²

Lo más frecuente es considerar 0,7 cm² de sección por cada m² de cubierta.

Normalmente, una bajada sirve para evacuar aproximadamente 65 m² de superficie de techo.

Aunque lo normal es que vayan en los extremos de las canales, las bajadas pueden instalarse en cualquier punto a lo largo del recorrido de una canal.

El número de bajadas necesarias dependerá de la pendiente de la canal; por corta que ésta sea, necesitará tener al menos una.

Cuando la pendiente es poca, una bajada cada cinco o seis metros de canal puede ser suficiente. Si la pendiente es mayor, se considera una cada 9 o 10 metros.

En zonas de pocas lluvias, necesitará menos bajadas que en las muy lluviosas.

Para un cálculo más específico, el cuadro a continuación indica los diámetros mínimos de los bajantes en función de la proyección horizontal de la superficie. El cuadro se ha establecido admitiendo una precipitación máxima de tres litros por minuto y por metro cuadrado.

TABLA 23.
DIÁMETROS INTERIOR MÍNIMO DE LOS BAJANTES EN FUNCIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA CUBIERTA

DIÁMETRO INTERIOR DE LOS BAJANTES [mm]	SUPERFICIE ÚTIL EN PROYECCIÓN HORIZONTAL [m ²]
60	40
70	55
80	71
90	91
100	113
110	136
120	161
130	190
140	220
150	253
160	287

2.8.2.3. Cálculo detallado de canales y bajadas

Para cubiertas de mayor envergadura y con sumideros interiores se recomienda consultar el Código Técnico español de Evacuación de Aguas.

Es parte del Documento Básico Salubridad (DBHS) donde el capítulo 4.2 se refiere al Dimensionado de la red de evacuación de aguas pluviales. Está disponible para descargar en www.codigotecnico.org.

2.8.2.4. Consideraciones complementarias y recomendaciones

En cubiertas planas con impermeabilización, además del dimensionado de cantidades y secciones de elementos de evacuación de aguas se recomienda considerar lo siguiente:

- Para una instalación fácil y segura de los diferentes elementos, estos deben tener dimensiones adecuadas para los trabajos necesarios.

- Los elementos deben ser accesibles y fáciles de limpiar y mantener durante la vida útil.
- Un dimensionado "generoso" facilitará contener y desaguar sin problemas las lluvias venideras.
- Techos sobre aceras no deben verter sus aguas sobre ellas, se deberán conducir las aguas mediante bajadas y canales por debajo de las aceras.
- Las cubiertas de elementos salientes pueden evacuar las aguas sobre la acera siempre que no lo concentren en un sólo punto.
- Los sumideros y receptores de aguas lluvias deben ser considerados en materiales anticorrosivos.
- Se recomienda que los sumideros tengan rejillas integradas para evitar el paso de materiales mayores por las bajadas de aguas, lo que puede producir acumulación y obstrucción de estas.

En la planificación del sistema de evacuación de aguas pluviales se debe considerar las características como dimensión y pendiente, de cada uno de los elementos del sistema de evacuación.

Son parte de la impermeabilización:

- Los conductores de agua: Las limahoyas y los canales integrados. Su dimensionado puede orientarse en el dimensionado de canaletas perimetrales.
- Las uniones con gárgolas que entregan el agua a los vierteaguas y a las bajadas.
- Las uniones con los sumideros puntuales o lineales. Estos representan singularidades críticas debido a los riesgos asociados a fallas.

Desagüe de emergencia

Las cubiertas con borde perimetral y/o con sumideros conductores a bajadas en el interior del edificio necesitan desagües de emergencia, también llamados despiches. Estos deben prevenir con seguridad:

- La acumulación de agua más allá de la capacidad de la cubierta y del sistema de evacuación de AA. LL.
- Entrada de agua lluvia a las puertas de salida a la cubierta y a otras aperturas.
- Sobrecarga del sistema de bajadas al interior del edificio.

Por lo general se trata de tubos vierteaguas horizontales que botan el agua directamente al exterior. No deberían botar el agua a superficies sensibles (por ejemplo escaleras).

En el caso de canaletas perimetrales, en una situación de emergencia el agua simplemente rebosa la canaleta.

Como criterio de cálculo se puede aplicar la norma alemana que exige dimensionar el sistema de evacuación regular para lluvias con un período de retorno de 10 años (correspondiente a la capacidad del alcantarillado de aguas pluviales), mientras las descargas de emergencia deben estar preparadas para una lluvia con período de retorno de 100 años.



Ilustración 25. Desagüe con bajada y desagüe de emergencia
Fuente: Maria Blender

Coefficiente de desagüe

Según norma alemana DIN 1986, se puede aplicar un coeficiente de desagüe de agua pluvial para superficies techadas ajardinadas. La siguiente tabla muestra los coeficientes C publicados en la directiva gremial para techos planos. Por ejemplo, en el caso de una cubierta ajardinada con una pendiente de hasta 5 % y un espesor del sustrato de 5 cm, el caudal de desagüe es el 60 % de la lluvia caída y el 40 % queda retenido en la cubierta vegetal para ser desaguada con posterioridad o se evapora².

TABLA 24.
COEFICIENTES DE DESAGÜE DE AGUA PLUVIAL C SEGÚN DIRECTIVA ALEMANA PARA CUBIERTAS VEGETALES

ESPESOR DEL SUSTRATO	PENDIENTE DE LA CUBIERTA	
	HASTA 5° (HASTA 8,8%)	MAYOR A 5° (MAYOR A 8,8%)
>50 cm	0,1	
25 a 50 cm	0,2	
15 a 25 cm	0,3	
10 a 15 cm	0,4	0,5
6 a 10 cm	0,5	0,6
4 a 6 cm	0,6	0,7
2 a 4 cm	0,7	0,8

Factores de seguridad

De acuerdo a la norma alemana DIN EN 12056-3 Ítem 4.2.2 y Anexo D, se requieren factores de seguridad en aquellos casos donde no se dispone de valores de intensidad pluviométrica estadística, lo que es el caso en Chile. Se entiende que los sistemas de evacuación de AA. LL. de edificios con usos sensibles requieren mayores seguridades que las canaletas exteriores de casas.

Para los diferentes grados de resguardo, la norma entrega los factores de seguridad que se representan en la tabla a continuación. Cabe señalar que estos factores se multiplican con la carga de agua lluvia en litros/(s-ha) que no es equivalente a la precipitación en mm.

TABLA 25.
FACTORES DE SEGURIDAD DE ACUERDO A NORMA DIN EN 12056-3

SITUACIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD
Canaleta exterior	1
Canaleta exterior; agua rebasado causa molestias (por ejemplo acceso)	1,5
Canaleta interior	2
Riesgo de falla del sistema en caso de tapadura o lluvia intensa	2
Canaleta interior, protección especial requerida (por ejemplo hospital, museo)	3

Recomendación final

A futuro se esperan eventos de precipitaciones más intensas a causa del cambio climático. Por lo tanto se recomienda un dimensionado conservador de los sistemas de evacuación de aguas lluvia, considerando amplios factores de seguridad.

3. Soluciones de la impermeabilización de la cubierta

3.1. SINOPSIS DE LAS SOLUCIONES DE IMPERMEABILIZACIÓN DE CUBIERTA

En el mercado están disponibles muchas formulaciones diferentes de impermeabilizaciones de cubiertas, y en general pueden ser apropiadas para ser instaladas en una gran diversidad de sistemas de techos.

El conocimiento de la naturaleza química y de las propiedades de los recubrimientos resulta indispensable para poder elaborar una adecuada especificación técnica, pero también para asegurar un correcto desempeño del techo durante la vida útil de servicio. Es así como una de las primeras preguntas que se debe resolver es: ¿Cuál es el recubrimiento más apropiado para cada tipo de sustrato de techo?

En términos muy generales, se puede decir que cualquier tipo de recubrimiento podría ser usado en casi la gran mayoría de sustratos, pero será necesario incorporar detalles específicos que tengan en cuenta la naturaleza química del recubrimiento, así como sus propiedades y desempeños.

Los recubrimientos de techo en general están divididos en tres grandes clases de materiales:

- Recubrimientos de naturaleza asfáltica, que pueden ser base solvente o emulsiones base agua. Pueden ser negros o aluminizados. Ellos resultan adecuados para ser usados en climas agresivos y fríos.
- Recubrimientos a base de polímeros. Incluye por un lado todas las membranas o impermeabilizaciones preformadas, y por el otro lado las pinturas o impermeabilizaciones líquidas.
- Sistemas en base de minerales, tales como cementicos y bentónicos.

Estas se muestran en la siguiente figura.



Ilustración 26. Clasificación principal de sistemas de impermeabilización de cubiertas según materialidad

Desde el punto de vista de la calidad de los materiales, es importante usar productos que cumplan con los estándares de materiales de las normas chilenas. Pero en ausencia de ellas, el profesional competente se debería referir a los estándares técnicos homologados internacionalmente como: ASTM e ISO, evitando así el simple uso de información de los fabricantes conforme a protocolos internos de cada empresa.

3.2. SISTEMAS ASFÁLTICOS

Los productos impermeabilizantes asfálticos, pertenecen a una amplia gama de productos de impermeabilizantes para construcción. Son fabricados con un mastico asfáltico y diversas bases como solventes, agua, papel fieltro. Pueden ser preformados o líquidos, aplicados en frío o en caliente, en todo tipo de superficies.

La aplicación de sistemas asfálticos, con técnicas sencillas, sin necesidad de medios sofisticados de instalación, y bajos costos, conforman hoy la mayor cuota de superficie instalada en Chile, frente a otras tecnologías.

El siguiente gráfico muestra la tipología de sistemas asfálticos.

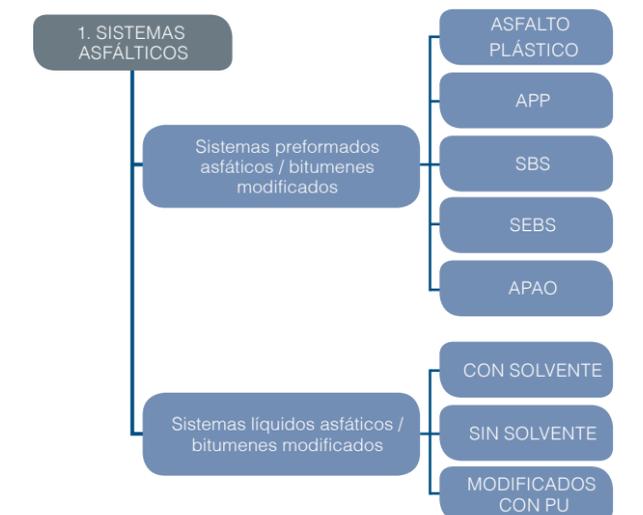


Ilustración 27. Clasificación de sistemas asfálticos

² Fuente: Deutsches Dachdeckerhandwerk: Regeln für Abdichtungen - mit Flachdachrichtlinie. 2016

3.2.1. SISTEMAS PREFORMADOS ASFÁLTICOS

Asfalto es un material cementoso café oscuro a negro en que los constituyentes predominantes son bitúmenes que se encuentran al natural, o se procesan con el petróleo o se modifican con polímeros.

Una membrana asfáltica es un producto impermeabilizante prefabricado y constituido por un mastic de asfalto modificado más una armadura de refuerzo que le aporta las propiedades mecánicas. Sobre su cara superior y como elemento de terminación y protección, podemos encontrar membranas con polietilenos, granos de pizarra coloreada o arenas, aluminio o geotextil. Su cara inferior está recubierta por una capa de polietileno para evitar su contaminación y facilitar su manejo.

El mastic modificado es una masa asfáltica a la cual se le incorpora un agente modificador, un polímero, con el fin de modificar sus características reológicas, obteniendo con ello una gran resistencia térmica y un aumento de la resistencia a las deformaciones. Los polímeros son muchos en el mercado, dentro de ellos los más comunes pueden ser plastómeros (APP), elastómeros (SBS), copolímeros hidrogenados (SEBS), polipropilenos (APAO) entre otros.

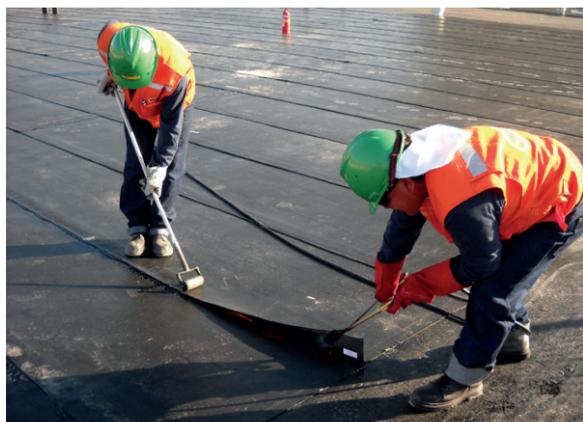


Ilustración 28. Instalación de una membrana asfáltica

3.2.1.1. Asfalto plástico

Una membrana asfáltica con asfalto plástico es aquella cuyo mastic ha sido obtenido en forma natural o modificado a través de procesos de oxidación y posteriormente la adición de agentes que cambian levemente sus características reológicas, obteniéndose con esto un asfalto con un bajo comportamiento frente a solicitaciones de tracción y elongación, y con un rango de temperaturas muy estrecho. Cabe destacar que el asfalto plástico es un material de baja confiabilidad e inapropiado para las condiciones climáticas de Chile.

Las membranas se pueden fabricar en distintos espesores y de varios tipos, para atender a las diversas solicitaciones de cada obra.

Usos

- Se pueden aplicar en distintos tipos de cubiertas con distintos soportes.
- Cubiertas con las pendientes adecuadas y correcta evacuación de aguas.

Ventajas

- Producto preelaborado.
- Maleable y de gran flexibilidad que se adapta a las distintas formas de superficies.
- Prolongada vida útil por su composición química.
- Buena elongación permite movimientos o asentamientos diferenciales sin perder sus propiedades hidráulicas.
- Fácil y rápida instalación que reduce costos.
- Mínima infraestructura de instalación.
- Fácil transporte.
- Resiste los cambios bruscos de temperatura.

3.2.1.2. Sistemas asfálticos modificados con APP

Una membrana asfáltica plastomérica es una membrana cuyo mastic ha sido modificado con plastómeros del tipo APP (polipropileno atáctico), obteniéndose mejor comportamiento del asfalto frente a solicitaciones de elongación y ampliando su rango de temperaturas haciéndolo más eficiente a las altas temperaturas.

Las membranas se pueden fabricar en distintos espesores, y diversas terminaciones, para atender a las varias solicitudes de cada obra.

Usos

- Se pueden aplicar en distintos tipos de cubiertas con diferentes soportes.

- Cubiertas con las pendientes adecuadas y correcta evacuación de aguas.
- Resistente a altas temperaturas hasta 150°C, especiales para ser utilizadas en zonas centro norte, zonas cálidas.

Ventajas

- Producto preelaborado, listo para aplicar sobre previa imprimación.
- No requiere tratamiento de microfisuras.
- Maleable y de gran flexibilidad que se adapta a las distintas formas de superficies.
- Prolongada vida útil por su composición química.
- Buena elongación permite movimientos o asentamientos diferenciales sin perder sus propiedades hidráulicas.
- Fácil y rápida instalación que reduce costos.
- Mínima infraestructura de instalación.
- Fácil transporte.
- Resiste los cambios bruscos de temperatura.

3.2.1.3. Sistemas asfálticos modificados con SBS

Una membrana asfáltica elastomérica es una membrana cuyo mastic ha sido modificado con elastómeros del tipo SBS (estireno-butadieno-estireno), obteniéndose mejor comportamiento del asfalto frente a altas solicitaciones de tracción y elongación, ampliando así su rango de temperaturas haciéndolo más apto para las bajas temperaturas.

Las membranas se pueden fabricar en distintos espesores, y diversas terminaciones, para atender a las diversas necesidades de cada obra.

Usos

- Se pueden aplicar en distintos tipos de cubiertas con distintos soportes.
- Cubiertas con las pendientes adecuadas y correcta evacuación de aguas.
- Resistente a bajas temperaturas hasta -25 °C, especiales para ser utilizadas en zonas sur, extremo sur, zonas frías.

Ventajas

- Producto preelaborado, listo para aplicar sobre previa imprimación.
- No requiere tratamiento de microfisuras.
- Maleable y de gran flexibilidad que se adapta a las distintas formas de superficies.
- Prolongada vida útil por su composición química.
- Buena elongación permite movimientos o asentamientos diferenciales sin perder sus propiedades hidráulicas.

- Fácil y rápida instalación que reduce costos.
- Mínima infraestructura de instalación.
- Cómodo transporte.
- Resiste los cambios bruscos de temperatura.

3.2.1.4. Sistemas asfálticos modificados con SEBS

SEBS es un copolímero hidrogenado, específicamente es estireno-etileno/butileno-estireno. Es un material de alta flexibilidad, resistencia mecánicamente y a la temperatura, que lo hace adecuado para muchas aplicaciones, desde productos de higiene personal y equipo deportivo hasta componentes electrónicos y partes de vehículo. Su empleo en la impermeabilización de cubiertas es limitado en Chile.

Las membranas se pueden fabricar en distintos espesores, y diversas terminaciones, para atender a las diversas solicitudes de cada obra.

Usos

- Se pueden aplicar en distintos tipos de cubiertas con distintos soportes.
- Cubiertas con las pendientes adecuadas y correcta evacuación de aguas.
- Resistente a bajas temperaturas hasta -25 °C, especiales para ser utilizadas en zonas sur, extremo sur, zonas frías.

Ventajas

- Producto preelaborado, listo para aplicar sobre previa imprimación.
- No requiere tratamiento de microfisuras.
- Maleable y de gran flexibilidad que se adapta a las distintas formas de superficies.
- Prolongada vida útil por su composición química.
- Buena elongación permite movimientos o asentamientos diferenciales sin perder sus propiedades hidráulicas.
- Fácil y rápida instalación que reduce costos.
- Mínima infraestructura de instalación.
- Factible transporte.
- Resiste los cambios bruscos de temperatura.

3.2.1.5. Sistemas asfálticos modificados con APAO

APAO (alfaolefina polivinílica amorfa) es un copolímero amorfo del propileno y el etileno. Como modificante del asfalto otorga mejoras en las propiedades de las membranas. Alta resistencia térmica, buena flexibilidad a baja temperatura, buena resistencia de agua, a la oxidación y estabilidad ultravioleta, presenta una excelente compatibilidad con casi todas las clases de asfaltos y con membranas del tipo SBS, EVA, EPDM, etc.

3.3. SISTEMAS POLIMÉRICOS

Los sistemas impermeabilizantes poliméricos son productos de origen natural, sintético, orgánico o inorgánico. La tecnología, existente hace más que medio siglo, al comienzo únicamente era conocida por unos pocos profesionales. Sin embargo hoy forman parte importante de las soluciones de impermeabilización.

Existen soluciones preformadas (conocidos como membranas) y sistemas líquidos (formando lo que se conoce como "membrana líquida"), además de los sistemas epóxicos.

El siguiente gráfico resume los principales sistemas poliméricos.

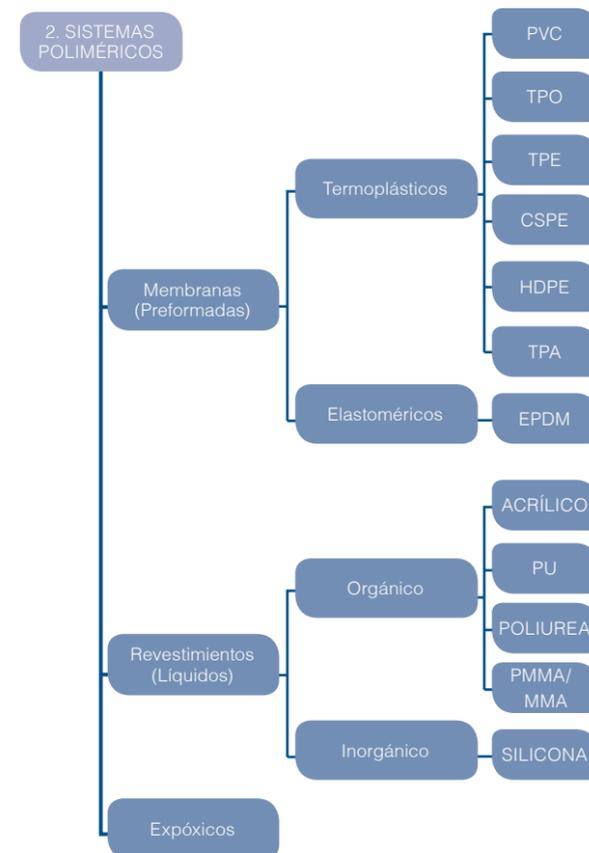


Ilustración 29. Clasificación de sistemas poliméricos

Las membranas se pueden fabricar en distintos espesores, y diversas terminaciones, para atender a las diversas solicitudes de cada obra.

Usos

- Se pueden aplicar en distintos tipos de cubiertas con distintos soportes.
- Cubiertas con las pendientes adecuadas y correcta evacuación de aguas.
- Resistente a bajas temperaturas hasta -25 °C, especiales para ser utilizadas en zonas sur, extremo sur, zonas frías.

Ventajas

- Producto preelaborado, listo para aplicar sobre previa imprimación.
- No requiere tratamiento de microfisuras.
- Maleable y de gran flexibilidad que se adapta a las distintas formas de superficies.
- Prolongada vida útil por su composición química.
- Buena elongación permite movimientos o asentamientos diferenciales sin perder sus propiedades hidráulicas.
- Fácil y rápida instalación, con lo cual se reducen los costos.
- Mínima infraestructura de instalación.
- Fácil transporte.
- Resiste los cambios bruscos de temperatura.

3.2.2. SISTEMAS LÍQUIDOS ASFÁLTICOS

Son sistemas impermeabilizantes asfálticos "in situ", se aplican en estado líquido, ya sea en frío o en caliente, en varias manos según sea la recomendación del proveedor y entrecruzados con refuerzos de geotextil en todos los puntos singulares.

Se encuentran con base solvente o en base a agua, y modificados con poliuretanos.

Para su aplicación la superficie se debe encontrar libre de polvo, seca, sin aceites, ni protuberancias mayores a 1 mm, sin grietas y las fisuras deben ser tratadas.

Siguiendo las indicaciones se imprima según el tipo de sustrato que se requiere impermeabilizar, luego se aplica la cantidad de manos de revestimiento hasta lograr los kilos que debe contemplar la solución final. Cada sistema da respuesta a diferentes requerimientos.

3.3.1. MEMBRANAS (PREFORMADOS)

3.3.1.1. PVC

Las membranas de PVC se fabrican a partir de un compuesto básico de policloruro de vinilo, al que se le suman aditivos plastificantes y estabilizadores. El resultado es una resina con la cual se elaboran las membranas flexibles, resistentes a la radiación ultravioleta y, además, con resistencia química que permite su utilización para la impermeabilización de tanques, piscinas, cubiertas y lagos artificiales, entre otros.

Están reforzadas con fibras, dimensionalmente estables. Se unen entre sí a base de soldadura por aire caliente. Los productos antiguos frecuentemente fallan debido al endurecimiento, problema que está superado por los productos nuevos.

Los sistemas utilizados en PVC pueden ser instalados de manera flotante con fijación mecánica y termosoldado en los traslajos o en algunos casos completamente adheridos.

Uso

En la impermeabilización de cubierta, las láminas de PVC se utilizan según sus terminaciones y tipos de refuerzo:

- Cubiertas inclinadas y planas.
- Cubiertas deck con fijación mecánica.

Ventajas

- Rapidez y facilidad de instalación.
- Gran estabilidad dimensional.
- Elevada resistencia a la tracción.
- Gran resistencia al desgarro.
- Excelente flexibilidad.
- Buena resistencia a la putrefacción, envejecimiento natural, intemperie, radiaciones ultravioletas.
- Resistente al fuego.

Desventajas

- Riesgos típicos de falla por soldadura incorrecta de las uniones.
- Incompatibilidad con algunos materiales.



Ilustración 30. Instalación de una membrana de PVC

3.3.1.2. TPO

Es una lámina a base de poliolefina termoplástica TPO termosoldable, fabricada mediante un proceso de polimerización avanzada y reforzada con una armadura de malla de fibra de poliéster, que combina la flexibilidad del etileno-propileno (EP) con la capacidad de termosoldado del polipropileno.

Las poliolefinas son termoplásticos semicristalinos que poseen una alta estabilidad química. Las membranas de impermeabilización a base de TPO poseen un excelente perfil ecológico, excelente resistencia a la radiación UV y al ozono, son compatibles con aceites, poliestireno y productos bituminosos.

Destaca por la alta duración y resistencia, especialmente a los vientos fuertes, el granizo y la perforación de raíces.

Algunos productos cuentan con certificación LEED gracias a su aporte a la reducción del efecto isla de calor y también al contenido de material reciclado y/o con la certificación Energy Star.

Se pueden encontrar láminas de TPO que se instalan fijadas mecánicamente y/o completamente adheridas.



Ilustración 31. Instalación de una membrana TPO en superficie horizontal y vertical.

Usos

- Destinada principalmente a impermeabilización de cubiertas del tipo deck.
- Cubiertas planas e inclinadas de edificación.

Ventajas

- Elevada resistencia al punzonamiento mecánico y de raíces.

- Excelente comportamiento a bajas temperaturas.
- Elevada resistencia química a los ácidos y las bases.
- Buena resistencia al calor, los rayos UV, el ozono y la oxidación.
- Compatible sobre soportes bituminosos y aislamientos de EPS y de XPS.

Desventajas

- Combustible, baja resistencia al fuego.

3.3.1.3. TPE

Los elastómeros termoplásticos (TPE), a veces llamados cauchos termoplásticos, son una clase de copolímeros o una mezcla física de polímeros (usualmente un plástico y un caucho) los cuales se comportan con las mismas propiedades de los termoplásticos y de los elastómeros.

Mientras que la mayoría de los elastómeros son termoestables, los termoplásticos son, en contraste, relativamente fáciles de moldear por los métodos habituales de transformación, como por ejemplo, por moldeo por inyección.

Los elastómeros termoplásticos muestran las ventajas típicas de ambos materiales. La diferencia principal entre elastómeros termoestables y elastómeros termoplásticos es el tipo de reticulación en sus estructuras. De hecho, la reticulación es un factor crítico estructural que contribuye a impartir altas propiedades elásticas. Además de usar en su forma básica, los TPE son ampliamente utilizados para modificar las propiedades de los termoplásticos rígidos, por lo general la mejora de la resistencia al impacto. Esto es bastante común que los materiales laminados y TPE de moldeo generales.

No fue sino hasta la década de 1950, cuando los polímeros termoplásticos de poliuretano llegaron a estar disponible, que convirtió a los TPE en una realidad comercial. El uso mundial de TPE (680.000 toneladas/año en 1990) creció en un orden del 9% anual. A partir de 1990 comenzaron a utilizarse en aplicaciones de cubierta a modo de membrana expuesta.

Uso

Las membranas de TPE son usadas casi exclusivamente en aplicaciones de cubierta:

- Cubiertas no transitables comerciales e industriales.
- Cubiertas residenciales son menos habituales.
- Al ser químicamente inerte puede adherirse sobre bitumen entre otros sustratos típicos.
- Aptas para ser fijadas por adhesivo o mecánicamente con anclajes.

Ventajas

- Alta resistencia a perforación.
- Elevadas propiedades de elongación.
- Mantiene flexibilidad a muy bajas temperaturas hasta menos 50°C.
- Fácil de soldar incluso años después de ser instalada.
- Larga vida útil aporta beneficios medioambientales a largo plazo.

Desventajas

- Riesgos típicos de falla por soldadura incorrecta de las uniones.
- Pobre resistencia química y al calor.
- Factores térmicos durante la instalación pueden dejar pliegues.
- Cuando TPE se funde a temperatura elevada por encima de lo especificado pierden su comportamiento elástico.

3.3.1.4. CSPE

CSPE (polietileno clorosulfonado), más popularmente conocido como Hypalon®, es una membrana blindada, termosoldable, a base de caucho sintético.

Es de naturaleza termoplástica, lo que permite que sea soldada con aire caliente. Después de la instalación y la exposición al medio ambiente, los componentes de polímero de reticulación individual de la membrana forma un material de caucho asintético altamente estable. Una vez curado a su resistencia a la rotura muestra poco cambio en la extensibilidad y proporciona alta resistencia a una amplia gama de productos químicos.

Las membranas de CSPE son ideales para aplicaciones comerciales, industriales e institucionales, especialmente cuando se requiere una fuerte resistencia química.

El material está disponible habitualmente en blanco y gris claro, espesores típicos de 45 milésimas de pulgada (1.14mm) y 60 milésimas de pulgada (1,52) en rollos de diversos anchos.

Uso

Las membranas de CSPE son usadas casi exclusivamente en aplicaciones de cubierta:

- Cubiertas no transitables comerciales e industriales.
- Aptas para ser fijadas mediante adhesivo o mecánicamente con anclajes.

Ventajas

- Acepta movimiento del techo.
- Tolera choque térmico.
- Se pega usando calor del aire caliente o adhesivo de contacto.

Se puede utilizar en una variedad de configuraciones de sistema de techo de una sola capa.

Desventajas

- Riesgos típicos de falla por soldadura incorrecta de las uniones.
- Requiere drenaje positivo. Pendiente mínima de 4%.
- No está diseñada para funcionar bajo condiciones de inundación permanente.
- Requiere accesorios mecánicos para fijación perimetral.

3.3.1.5. TPA

Tri-Polímero de la Aleación (TPA) son sistemas termoplásticos para cubiertas compuestos de una aleación elastomérica de tres polímeros basados en Elvaloy® con CPE y PVC además de un refuerzo de poliéster de gama alta. Están libres de asbesto, son livianas y de color blanco principalmente de modo que pueden cumplir las directrices de normas de eficiencia energética del tipo Energy Star.

Las membranas de TPA son utilizadas como impermeabilización de cubiertas no transitables. Soportan el movimiento del sustrato y los choques térmicos. Pueden ser implementadas en una variedad de configuraciones y dado que suelen presentarse en grandes formatos la cantidad de juntas es reducida. Estas juntas son ejecutadas por fusión con aire caliente y no requieren uso de pegamentos.

Uso

Los sistemas de cubierta de TPA incluyen, pero no se limitan a las siguientes aplicaciones:

- Cubiertas totalmente adheridas.
- Cubiertas fijadas mecánicamente.
- Cubiertas lastrado.
- Cubiertas vegetales.
- Sistemas IRMA (sistemas de cubierta invertida).

Ventajas

- Excelente resistencia a exposición al fuego.
- Resiste exposición al aceite, combustible de avión, grasa y lluvia ácida así como detergentes comunes.
- Permite cortar y reparar la membrana de manera indefinida.
- Rollos anchos permite menor cantidad de costuras.
- Superficie blanca ayuda a reducir el consumo de energía.
- Ofrecen décadas de vida útil sin alterar su flexibilidad.

Desventajas

- Coeficiente de reflectancia solar disminuye con el tiempo.
- Se requiere de limpieza y aseo periódico para asegurar máxima reflectancia.
- Requiere de inspecciones y reparaciones periódicas.
- Sustratos con asfalto o alquitrán deben asilarse del contacto directo con la membrana para evitar manchado.

3.3.1.6. EPDM

EPDM es una membrana elastomérica de etileno propileno dieno monómero. No posee armadura.

Hay dos formas de instalación, el primero, de forma flotante siendo fijada mecánicamente en los extremos mediante un sistema de sujeción, y el segundo, fijada mediante adhesivo de contacto.

Se distingue de otras membranas por la adaptación a la forma requerida, la alta duración y resistencia, el bajo peso y la facilidad y rapidez de la instalación.

Es especialmente apto para cubiertas irregulares, planos o inclinados, sin restricción.

Usos

- Cubiertas deck.
- Cubiertas invertidas.
- Cubiertas con terminación de pavimentos.

Ventajas

- Fácil instalación y rapidez.
- Resistencia a radiación y UV.
- Elevada estabilidad dimensional.
- Buena resistencia al envejecimiento.



Ilustración 32. Cubierta con membrana de EPDM

3.3.2. REVESTIMIENTOS POLIMÉRICOS (LÍQUIDOS)

3.3.2.1. Recubrimiento elastomérico acrílico

Los recubrimientos, o pinturas, elastoméricos acrílicos son fabricados usando componentes químicos similares a los colores acrílicos para aplicaciones exteriores de muros residenciales y comerciales.

En su composición química usualmente se usan acrílicos 100 %, sin embargo también se utilizan acrílicos modificados con SBS (de menor calidad, y típico para muros) u otros, de modo que su desempeño presenta gran variación entre los diversos sistemas.

Después de su proceso de curado forma una película en la medida que el agua se evapora.

En relación a sus propiedades mecánicas y elásticas, generalmente presentan un desempeño altamente elástico, junto con una adecuada resistencia a tracción y dureza superficial (shore A). Su resistencia a la radiación UV y a los agentes atmosféricos varía con la tecnología empleada.

Los acrílicos exhiben un rango muy amplio de temperaturas de aplicación. En el caso de temperaturas altas se llegan a los mismos valores que la silicona. Sin embargo, para bajas temperaturas se limita de 5 a 10 °C (no se pueden aplicar o almacenar en temperatura bajo cero, dado que son base agua). El tiempo de espera requerido entre manos del acrílico varía de 12 a 24 horas.

Los rendimientos de aplicación varían ampliamente dependiendo del producto específico. El rango de viscosidad de estos recubrimientos puede oscilar ampliamente, de 8.000 a 25.000 cps.

El rango de vida útil de servicio varía con la tecnología y con el espesor seco; desde 1 a 15 años (en general, para obtener el desempeño más elevado requiere el uso de un espesor seco de aplicación de +30 mils (750 micrones) aproximadamente.

Uso

Las resinas acrílicas han sido usadas por más de 50 años en techos en una gran variedad de edificios y una amplia gama de sustratos.

Ventajas

- La adhesión y compatibilidad a la mayoría de sustratos de techos es excelente. Sin embargo, requiere primer para su aplicación en metal, pero normalmente no para hormigón o asfalto.
- Presenta beneficios para el contratista, dado que su aplicación con spray o roller es fácil y rápida, además resulta fácil de limpiar (base agua).

- Los beneficios para el dueño: Bajo costo con muchos años de duración, además puede permitir un ahorro energético de hasta un 35% en verano. Se evita el retiro del techo existente.

Desventajas

- La gran mayoría de los acrílicos no pasa el ensayo de empozamiento de agua de la norma ASTM, por ello estos recubrimientos no son recomendables para techos con zonas con pendientes de <5 %.
- Los valores de permeancia típicamente tienen un rango de 5 a 15 perms.
- Dado que su cadena polimérica principal (con enlaces de moléculas de carbono) es sensible a la radiación UV, el acrílico presentará entizamiento con los años.
- Los acrílicos de menor calidad se endurecen y se fragilizan con el paso del tiempo. Típicamente las pinturas 100 % acrílicas de alto desempeño en USA pierden aproximadamente 1 mil (25 micrones) por año en un ambiente moderado.



Ilustración 33. Instalación de una membrana líquida acrílica

3.3.2.2. Poliuretano

Dentro de la gama de membranas líquidas se encuentra una variedad de membranas en base a poliuretano. Dentro de sus propiedades se destaca una gran resistencia a la elongación y la facilidad para ser aplicadas en frío dejando superficies impermeabilizadas libres de juntas y adheridas al 100 % del sustrato.

Dentro de esta gama se encuentran versiones modificadas con asfalto, versiones base acuosa y versiones de cura rápida entre otras. También se puede distinguir membranas de poliuretano de uno o dos componentes.

Mientras que algunas se aplican con paleta de goma y rodillo otras pueden ser sprayadas formando una capa de espesor de entre 1 y 2 mm. Se adhiere a la superficie sin refuerzos físicos del tipo textil o fibras, gracias a sus componentes, que le brindan elasticidad y flexibilidad.

Su aplicación tanto vertical como horizontal puede lograrse en una o varias capas, y si bien un imprimante mejora el performance suele no ser imprescindible. También existen membranas de poliuretano blanco, que se caracteriza por ser una impermeabilizante monocomponentes de alta elasticidad y resistente a los rayos UV.

Se aplica en cubiertas, tanto nuevas como en rehabilitación; con muchos detalles; con una geometría compleja y accesibilidad limitada. También el mercado ofrece membranas líquidas de poliuretano con tecnología que aceleran el proceso de curado, permitiendo resistencia a la lluvia después de 10min de ser aplicada (20 °C, 50 % humedad relativa) y un curado total a las siete horas.

Uso

Las membranas y sistemas de membrana de poliuretano pueden ser implementadas sobre sustratos estables y sólidos tales como hormigón, albañilerías, madera y metal. Existe una variedad de imprimantes específicos para promover la adherencia a diversos sustratos incluyendo sustratos no porosos como metal y plásticos.

- Cubiertas planas de viviendas.
- Cubiertas comerciales.
- Cubiertas habitables y peatonales transitables.
- Cubiertas mecánicas y áreas de mantenimiento.
- Cubiertas transitables vehiculares.

Ventajas

- Adherencia al 100 % del sustrato.
- Permite cubiertas libres de juntas y uniones.

- Fácil instalación con las herramientas comunes.
- Versiones UV resistente.
- Versiones que pueden aportar a proyectos sustentables por composición o reflectividad.

Desventajas

- Para una misma aplicación existen productos de baja calidad en composición y propiedades.
- Existe el riesgo de ser aplicada en un espesor menor al recomendado.
- Altamente sensible a la calidad del sustrato incluyendo humedad y contaminación.

3.3.2.3. Poliurea

Las poliureas son una familia de polímeros sintéticos que se obtienen de la reacción de un diisocianato con una diamina, es una reacción de polimerización por condensación similar a la del poliuretano. A diferencia de este, la Poliurea puede alcanzar grandes elongaciones y resistencia a la abrasión.

Las poliureas pueden ser clasificadas en alifáticas o aromáticas según sea su estructura química. Mientras que una poliurea aromática es de menor costo, presenta decoloración frente a la radiación UV y es más rígida por la naturaleza de los anillos aromáticos; la poliurea alifática es de mayor precio, pero ofrece resistencia a la radiación UV.

Una gran propiedad que poseen las poliureas es el rápido curado. La mayoría puede hacerlo en menos de un minuto, incluso en segundos. Esto representa una gran ventaja en casos en que el retorno a servicio debe ser rápido.

Los productos de poliurea son altamente impermeables, forman una membrana compacta sin uniones, 100 % sólidos (sin solventes), evitando que se filtre la humedad o agentes corrosivos, y pueden aplicarse incluso en temperaturas extremas: desde -28 °C a +121 °C y con alta humedad relativa, además, son productos elastoméricos: pueden estirarse hasta un 500 % y luego volver a su estado natural sin sufrir deformaciones.

De esta forma se evita la aparición de grietas por la contracción y dilatación del sustrato, y pueden puentear grietas existentes de hasta 3 mm.

3.3.2.4. Recubrimiento elastomérico de silicona

Los recubrimientos elastoméricos de silicona son fabricadas usando los mismos componentes y base química de los selladores de silicona; los cuales son utilizados desde hace más de 50 años en los muros cortina y fachadas de miles de edificios monumentales en todo el mundo.

La primera aplicación de recubrimiento de silicona para techo se presentó en 1964, durante la Feria Mundial de New York. Los recubrimientos de silicona tienden a ser los sistemas líquidos más elásticos, durante la vida útil de servicio, que existen, además presentan adecuados valores de resistencia a tracción y dureza superficial (en shore A).

Las siliconas curan en base a humedad, a diferencia de otros sistemas que se secan durante el proceso de curado (los componentes se evaporan de la película húmeda).

Debido a la naturaleza inorgánica de la silicona, ella puede superar pruebas de envejecimiento acelerado (ASTM D4798) de más de 13.000 horas de exposición QUV (calor más radiación UV), que difícilmente es alcanzable por otros sistemas.

Presenta rangos de temperatura para aplicación muy amplios. En efecto, con temperaturas frías llega a $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ para spray y $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ para rodillo. Con temperaturas altas se puede aplicar con cualquier temperatura en spray, y con rodillo tiene límites de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ en metal y $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ en no-metal.

El tiempo de espera requerido entre manos de silicona (dos a seis horas) es más reducido que los acrílicos y poliuretanos (12 a 24 horas).

El rendimiento de aplicación es típicamente $1,64\text{ m}^2/\text{L}$ ($1,26\text{ m}^2/\text{kg}$) a $2,73\text{ m}^2/\text{L}$ ($2,10\text{ m}^2/\text{kg}$), que dependerá del espesor seco aplicado y del contenido de sólidos de la pintura.

Rango de vida útil de servicio: casi la totalidad de las siliconas mantienen sus propiedades durante 20 años en ambientes agresivos, en techos de pendiente baja (o, cero).

Uso

- Hoy en día se recomienda para una gran variedad de edificios comerciales, industriales, y una amplia gama de sustratos, casi sin restricción.
- El principal uso es la re-impermeabilización de cubiertas existentes.

Ventajas

- Las siliconas son muy estables a la radiación UV y a los agentes atmosféricos.
- Su resistencia al empozamiento de agua es excepcional. Sin embargo se recomienda siempre retirar el agua empozada antes de la instalación del recubrimiento de silicona.
- La adhesión y la compatibilidad a la mayoría de sustratos de techos es excelente.
- Presenta beneficios para el contratista, dado que ofrece una solución de techo de gran duración, puede ser aplicado con 1 mano, sin necesidad de primer, y es casi independiente de las condiciones de instalación (temperatura, lluvia), etc.

- El dueño se ve beneficiado porque es un techo de gran duración, evita el retiro de techo existente, no requiere un instalador especializado y es fácil de instalar correctamente.
- Permite alcanzar ahorro de energía de hasta un 35% en verano, etc.

Desventajas

- El recubrimiento de silicona está recomendado para techos que tienen exigencias de tráfico de mantenimiento y peatonal. No se recomienda para tráfico abrasivo o vehicular.



Ilustración 34. Cubierta con recubrimiento de silicona

3.3.2.5. MMA

Los sistemas de Metacrilato de Metilo (MMA) corresponden a esquemas de membranas líquidas para impermeabilización de estructuras y cubiertas.

Las membranas de MMA se pueden clasificar en la familia de "resinas reactivas". Las resinas de metacrilato generalmente constan de dos componentes, una resina líquida y un iniciador "endurecedor en polvo". Los dos componentes se mezclan en el sitio de construcción y la membrana en estado líquido es aplicada a la superficie. El líquido pasa por un periodo de inhibición (15 min aprox.) y luego cambia su estado físico a sólido, es decir, que se cura, a través de una reacción química exotérmica llamada polimerización.

Las resinas de MMA se caracterizan principalmente por su rápida cura y por emitir un olor fuerte durante su proceso de cura.

Uso

Los sistemas de membranas y resinas líquidas de MMA incluyen, pero no se limitan a las siguientes aplicaciones:

- Cubiertas planas transitables.
- Cubiertas de estacionamientos.
- Cubiertas expuestas.
- Cubiertas no expuestas.

Ventajas

- Presentan una excepcional dureza superficial siendo más resistentes a la abrasión que otras membranas de aplicación líquida.
- Rápida cura y puesta en servicio en muy poco tiempo (cerca de una hora).
- Excelente resistencia a químicos, combustibles y aceites.
- Adhiere a la mayoría de los materiales usados en construcción.
- Libre de juntas y uniones.
- Adhieren al 100 % del sustrato y se adaptan a singularidades.

Desventajas

- Requiere de una instalación excepcionalmente rápida.
- Requiere de condiciones de ventilación adecuadas durante instalación.
- Puede ser nocivo para la salud si se inhalan sus gases por periodos prolongados.
- En recintos cerrados se requiere ventilación forzada durante su instalación.

3.3.2.6. PMMA

El Polimetilmetacrilato (PMMA) es un polímero sintético de metacrilato de metilo y gránulos o láminas de plásticos.

Se utiliza en forma líquida, mediante la incorporación de una fibra de poliéster intercalada entre dos capas de resina de PMMA, creando una membrana in situ reforzada.

Usos

- Aplicaciones de cubiertas transitables y no transitables.

Ventajas

- Resistencia al impacto.
- Buen aislante térmico y acústico.
- Resistente a la intemperie y rayos UV.

- Elevada dureza.
- Resistente a alcalinos.
- Rápida curación.
- Gran resistencia a punzonamiento.

Desventajas

- Se raya fácilmente por lo que se debe cubrir (se repara muy fácilmente con una pasta de pulir).
- De fácil combustión, no se apaga al ser retirado del fuego. Sus gases tienen olor afrutado y crepita al arder. No produce ningún gas tóxico al arder por lo que lo podemos considerar un producto muy seguro para elementos próximos a las personas.

3.3.2.7. Revestimientos nano-cerámicos

Los revestimientos nano-cerámicos se caracterizan por el aditivo nano -cerámico y pueden ser compuestos de uretano o acrílico u otra base acuosa. Contienen millones de micro y/o nano esferas de un material cerámico.

A saber, un micrómetro [μm] es la millonésima parte de un metro, mientras un nanómetro [nm] es un milmillonésimo metro. Las partículas cerámicas tienen entonces tamaños en el rango de 10-3 a 10-6 milímetros, pueden contener diferentes componentes cerámicos y resisten altas temperaturas sin absorber calor.

Existen pinturas y membranas nano-cerámicas para diferentes aplicaciones. Su efecto difiere según material de sustrato y según composición específica del producto, y en palabras generales, modifica el comportamiento higr-térmico de la superficie tratada así como sus propiedades ópticas y térmicas.

En cubiertas, el efecto genera beneficios tanto para la cubierta misma y el edificio así como para el clima del ambiente que lo rodea:

- La cubierta mantiene temperaturas superficiales más bajas, en comparación con cubiertas convencionales, lo que reduce el estrés térmico de la construcción y las ganancias térmicas solares que llevan al sobrecalentamiento veraniego, aportando a una mayor durabilidad de la construcción y ahorros en la energía requerida para la refrigeración.
- La alta reflexión de la luz solar, no sólo en la región visible del espectro electromagnético, sino especialmente la radiación infrarroja, en combinación con el aumento de la emisividad térmica, caracteriza un cubierta tipo "cool roof" que aporta en verano a la reducción de las temperaturas del aire sobre la cubierta así como en su alrededor y representa una técnica efectiva de combate del efecto de "isla de calor urbano". Véase también capítulo 9 Aspectos ambientales.

Estos beneficios se observan solamente en climas calurosos y en edificaciones que requieren más refrigeración que calefacción. En zonas climáticas frías y húmedas, la instalación de un "cool roof" (Techo fresco) puede causar problemas por condensación y por la tardanza de los procesos de secado, así como el aumento de costos de calefacción.

La aplicación de los revestimientos nano-cerámicos depende de la base química del producto. Bases acuosas en general son fáciles de aplicar.

3.3.3. EPÓXICOS

Una resina epoxi o poliepóxido es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o "endurecedor". Las resinas epoxi más frecuentes son producto de una reacción entre epoclorohidrina y bisfenol A.

Gracias a sus propiedades anticorrosivas, los revestimientos epóxicos que por naturaleza son más bien rígidos, tienen muchos usos en diferentes industrias.

Para su aplicación como impermeabilizante, se requiere que sean flexibles, especialmente para puentear grietas. Cuando los epóxicos están a la intemperie, debe aplicarse una capa de terminación que sea resistente a los rayos ultravioleta, ya que en general los epóxicos se decoloran o amarillean ante la presencia de la luz solar.

Se aplican por ejemplo sobre hormigón, en superficies con muchas grietas y juntas mayores, puede reforzarse con malla de fibra de vidrio.

3.4. SISTEMAS EN BASE DE MINERALES

Los sistemas basados en minerales son variados y sus usos dependen de la solución constructiva que se requiera. Existen impermeabilizantes compuestos por cementos Portland mezclados con arena sílica y químicos especiales, también bentonitas que son arcillas de origen volcánico, y cementicos, a los que se suman los sistemas cristalizadores.

La siguiente imagen muestra este grupo de sistemas de impermeabilización.

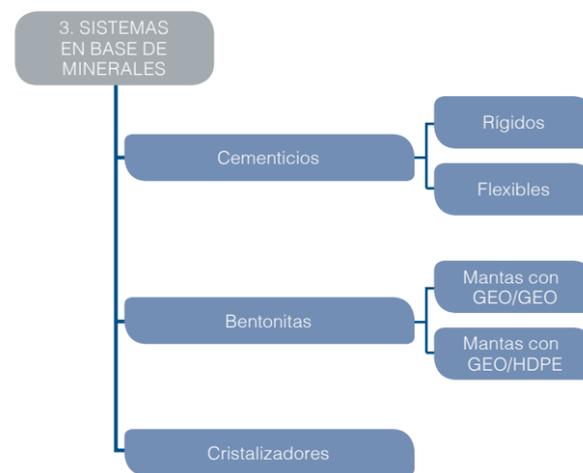


Ilustración 35. Clasificación de sistemas basados en minerales

En la impermeabilización de cubiertas, el uso de estos sistemas se limita a situaciones muy específicas. Las bentonitas y los cristalizadores no se pueden utilizar como terminación de cubiertas.

3.4.1. CEMENTICOS

Los recubrimientos de tipo cementicos se pueden dividir en dos grupos: Los que son rígidos y los que son flexibles. Los del tipo rígido son morteros que tienen adiciones que logran cerrar su matriz aumentando la compacidad de este logrando así la impermeabilidad, este tipo de recubrimiento no es recomendable. En cambio los recubrimientos cementicos flexibles son en general un mortero con adiciones de elastómeros los cuales le otorgan alguna capacidad de deformación.

Esta capacidad de deformación depende directamente del elastómero utilizado. Este tipo de recubrimiento se puede utilizar en cubiertas de pequeña a medianas magnitudes y que tengan deformaciones controladas.

El desempeño presenta grandes variaciones entre los diversos sistemas comercializadas, por lo general tienen una buena resistencia a la radiación UV.

Pueden ser monocomponentes o bicomponentes, son de fácil y rápida aplicación, fácil de limpiar (base agua), versátil cuando se combina con refuerzos de geotextil logrando una instalación de bajo costo.

Usos

- Puede utilizarse expuesto, como mortero de protección para revestir losas de hormigón en cubierta (tránsito ocasional).
- Puede utilizarse bajo revestimiento final (cerámica, baldosa, porcelanato).

Ventajas

- Resistente a presiones negativas y positivas.
- Fácil aplicación.
- Se puede pintar sobre él.
- Resistencia mecánica.

Desventajas

- Baja resistencia al tránsito peatonal.
- En cubiertas expuestas, espesor mínimo de aplicación 4mm.

3.4.2. BENTONITAS

La bentonita (ceniza volcánica cristalizada después de una dispersión en agua salada) tiene incorporada no sólo sodio sino también una carga iónica adquirida después de su dispersión, que le entregan propiedades hidrofílicas especiales que las hacen potencialmente muy efectivas para ser usadas como barreras definitivas en la protección de elementos contra la presencia de fluidos, principalmente el agua.

Las membranas bentoníticas consisten en bentonita sódica granular encapsulada en dos paños que pueden ser: lámina de polietileno de alta densidad, tejido de polipropileno, o bien geotextiles no tejidos de polipropileno.

Uso

Las membranas de bentonita son especificadas normalmente para instalación bajo nivel de suelo, pero excepcionalmente pueden ser utilizadas en cubiertas con el debido confinamiento.

Ventajas

- Excelente comportamiento ante altas presiones hidrostáticas.
- Autorreparativa, la bentonita cuando se hidrata puede sellar perforaciones y cortes en el manto.
- Instalación en frío, no requiere equipos especiales.
- Uniones se tratan con simple traslapo o cintas adhesivas según tipo.
- Recomendable para cubiertas de estructuras de ingeniería enterradas y cubiertas de túneles.

Desventajas

- Requiere confinamiento adecuado para un correcto desempeño.

- Se debe mantener seca durante la construcción.
- Puede permitir paso de cierta cantidad de agua a la estructura mientras reacciona.
- No es recomendable para cubiertas de edificios.

3.4.3. CRISTALIZADORES

La tecnología de cristalización se basa en formar cristales en los interiores de capilares de hormigones lo que hace posible una buena impermeabilización tanto positiva como negativa. Protege el hormigón por penetración capilar y cristalización, con sus químicos activos penetra en el hormigón y forma cristales en todas las fisuras de hasta 0,4 mm de espesor.

Se utiliza como aditivo en la masa del hormigón, ya sea en planta o en obra.

Uso

En la impermeabilización de la cubierta, se utiliza como técnica complementaria, o bien de preparación o reparación de sustrato.

Ventajas

- Reduce tiempos de ejecución.
- Impide paso de agua en fisuras no mayores a 0,4 mm.
- Soporta cargas de columna de agua positiva y negativas.
- Extiende la vida útil del hormigón y la enfierradura del edificio.

Desventajas

- No es suficiente como impermeabilizante ante fisuras mayores a 0,4 mm.
- Difícil de controlar aplicación.

3.5. COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE IMPERMEABILIZACIÓN

Después de enumerar cada uno de los sistemas de impermeabilización de cubierta disponibles, es útil resumir los sistemas más utilizados y sus principales características de instalación, así como las aplicaciones que se pueden recomendar generalmente.

La tabla a continuación entrega una lista de las aplicaciones referenciales, que son válidos y recomendables en la mayoría de los casos. No obstante siempre es necesario confirmar la información con el fabricante del sistema preferido para el caso.

3.6. MATERIALES Y CAPAS COMPLEMENTARIAS

3.6.1. CAPAS SEPARADORAS Y/O DE PROTECCIÓN

Según composición de la construcción de la cubierta, pueden ser necesarias una o varias capas interfaces, para cumplir diferentes funciones de separación y/o de protección, a saber:

- Compensar movimientos entre capas.
- Reducir las tensiones y los movimientos del sustrato.
- Separar en caso de incompatibilidad material de dos capas o sistemas.
- Proteger la impermeabilización, la aislación térmica u otra capa contra impactos mecánicos y/o químicos desde el sustrato.
- Protección mecánica, protege de las presiones y tensiones causadas por aristas y objetos punzantes.

Según sistema de cubierta, podrían requerirse funciones adicionales, tales como:

- Filtración y drenaje de agua.
- Proveer una superficie adherente para la impermeabilización.
- Nivelación de sustratos o superficies muy irregulares.
- Compensación de la presión de vapor de agua.

En la mayoría de los casos se eligen geotextiles en diferentes materialidades y presentaciones, típicamente geotextiles no tejidos, fabricados a base de fibra de poliéster de 200 o 300 g/m², ligados mecánicamente mediante agujeteado sin aplicación de ligantes químicos, presiones o calor.



Ilustración 36. Diferentes tipos de geotextiles.
Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geotextile-GSI.JPG>

3.6.2. CAPAS DE CONTROL DE LA DIFUSIÓN DE VAPOR DE AGUA

Una barrera de vapor, como término genérico, es una capa continua y hermética con una alta resistencia a la difusión de vapor de agua. Se diferencia entre láminas "cortavapor" y "retardante de vapor", según el grado de permeabilidad al vapor de agua. Véase capítulo 2.5.2.5 Permeabilidad al vapor de agua.

En la construcción en general, se instala por la cara interior del aislante térmico para controlar el ingreso de vapor de agua desde el interior del edificio al material aislante. Principalmente se utiliza en construcciones de tabiquería así como en techumbres de estructura metálica y de madera. En construcciones sólidas, el hormigón o el estuco de cemento igualmente conforman una barrera retardante de vapor.

Como regla general se establece que la permeabilidad al vapor de agua de un elemento constructivo de envolvente, debe ser mayor por el interior que por el exterior, o bien la permeabilidad debe disminuir desde el interior hacia el exterior.

El objetivo es garantizar que el vapor de agua que puede penetrar el elemento constructivo puede salir hacia el exterior.

Construcciones abiertas a la difusión de vapor de agua, popularmente se llaman "respirables".

Todas las capas tipo barrera de vapor deben ser continuas y herméticas, es decir selladas contra el paso de aire, ya que la convección de aire es capaz de transportar mucho más humedad y calor que la difusión.

Las cubiertas impermeabilizadas representan un caso especial en cuanto a control de vapor de agua, debido a que muchos sustratos así como sistemas de impermeabilización son altamente impermeables al vapor de agua.

A continuación se describen algunos materiales típicos con una función específica relacionada con la difusión de vapor de agua.

3.6.2.1. Barrera de vapor

Algunas construcciones de techumbres requieren la instalación de una barrera de vapor por el interior de la aislación térmica. Esta siempre debe ser hermética y sellada, en todas las uniones entre sí y con otros materiales y elementos tales como tubos, cañerías y estructuras que la traspasan, así como marcos de ventanas y puertas.

Es oportuno proteger la capa barrera de vapor contra posibles daños que podrían ocurrir durante la obra y durante el uso de edificación.

En los casos donde la barrera de vapor se encuentra directamente encima (o detrás) del revestimiento interior, una estrategia efectiva es la instalación de un listoneado adicional que conforma un "espacio de instalaciones" y que sirve para las instalaciones eléctricas previniendo la perforación de la barrera de vapor para pasar ductos eléctricos.

Barrera de vapor de polietileno

Láminas de polietileno de baja densidad, genéricas, de aproximadamente 250 µm de espesor, representan las barreras retardantes de vapor más utilizadas en la actualidad.

Existen también productos de marca específicos con permeabilidad al vapor de agua determinada y certificada.

Fieltros y láminas aluminizadas

Todas las láminas metálicas y metalizadas representan capas con una muy alta resistencia a la difusión de vapor de agua, es decir son barreras cortavapor.

Frecuentemente se utilizan como barrera radiante, especialmente en construcciones industriales. En este caso se debe considerar su efecto cortavapor.

3.6.2.2. Membrana hidrófuga

En algunos detalles de la cubierta impermeabilizada se podrá requerir una membrana hidrófuga para generar una barrera contra el viento y la humedad del exterior.

Fieltros asfálticos

Los tradicionales fieltros asfálticos son medianamente permeables al vapor de agua y por lo tanto se utilizan por la cara exterior de la aislación térmica, típicamente en la construcción de tabiquería debajo del revestimiento exterior, tanto en fachadas como en la cubierta.

Cumplen con la función de "barrera hidrófuga" impidiendo la entrada de viento y humedad desde el exterior.

Se recomienda el uso de fieltro de 15 libras/m² con textura crepé por la mejor trabajabilidad.

Membranas hidrófugas tecnológicas

En la actualidad ganan importancia los productos tecnológicos. Generalmente son membranas de polietileno y/o de polipropileno de alta densidad, tejidos no tejidos, que se caracterizan por una muy alta permeabilidad al vapor de agua y una alta repelencia al agua.

Protegen las construcciones de muros y cubiertas inclinadas contra el viento y la penetración de agua del exterior, y al mismo tiempo, permiten la salida de vapor de agua.

Ofrecen muchas ventajas, especialmente los formatos grandes, la resistencia a la tracción y al desgarro así como la buena trabajabilidad.

3.6.3. AISLANTES TÉRMICOS

Productos aislantes térmicos para cubiertas deben ser resistentes a cambios de temperaturas, dimensionalmente estables y compatibles con los materiales que los rodean.

Además, deben tener suficiente resistencia a la compresión para asegurar que las deformaciones no tengan efectos adversos sobre la impermeabilización. La densidad de un material aislante influye mucho en las propiedades de resistencia, pero el espesor también puede tener un efecto.

Si se instala la impermeabilización encima de la capa aislante térmica, este debe ser apto como sustrato de la impermeabilización y compatible con eventuales capas separadoras y/o protectoras.

Dependiendo del tipo de instalación de la impermeabilización, se requiere una suficiente resistencia al impacto de calor. Es que la temperatura que afecta un material aislante térmico puede tener un considerable impacto en su estabilidad, especialmente en caso de los productos termoplásticos como las espumas de poliestireno.

De gran importancia son el comportamiento ante fuego, la transmitancia de calor y la absorción de agua.



Ilustración 37. Instalación de aislamiento térmico PIR

En Chile, los productos de aislamiento térmico de mayor uso en cubiertas son los siguientes:

- **Poliestireno expandido EPS;** densidad recomendada 30 kg/m³, densidades menores no presentan suficiente resistencia mecánica y a la absorción de agua.
- **Poliestireno extruido XPS,** con densidad de 30 kg/m³, gran resistencia mecánica por m² y mínima absorción de agua.
- **Lana mineral,** en placas de alta densidad.

Además los siguientes productos de alto rendimiento están disponibles en el mercado:

- **Poliisocyanurato, o bien poliiso, PIR;** ofrece protección contra la propagación de fuego.
- **Espuma de poliuretano, PUR,** en placas.
- **Vidrio celular,** recomendable por sus propiedades sobrealientes, especialmente es mecánicamente muy resistente, ignífugo y no absorbe agua.

Las soluciones constructivas de acondicionamiento térmico reconocidas oficialmente están registradas en el Listado Oficial correspondiente del Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU.

3.6.4. REVESTIMIENTOS PESADOS

Para el diseño completo del sistema, incluyendo diseño de estructuras de cubiertas es necesario considerar desde el diseño las terminaciones a utilizar, para las cuales encontramos:

- Porcelanatos, cerámicas, piedras pizarras y otras resistentes a intemperie.
- Gravas de diversos tamaños de canto redondeado.
- Baldosas filtrantes que están compuestas de aislación (XPS) y mortero aglomerado.
- Pavimentos deck.
- Demarcación especial con membranas de diferente color cuando es de tránsito solo de mantención.

3.6.5. CAPAS COMPLEMENTARIAS PARA TECHOS VEGETALES

Para techos vegetales se recomienda consultar las "Recomendaciones Técnicas para Proyectos de Cubiertas Vegetales" de la CDT. A continuación podemos destacar las principales capas complementarias requeridas en la instalación de techos verdes.



Ilustración 38. Muestra constructiva de una cubierta vegetal extensiva.

Fuente: thingermejig; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Construction_sample_of_a_green_roof_system.jpg

3.6.5.1. Capas de protección antiraíz

De acuerdo al conocimiento actual, la mayoría de las láminas de plástico son resistentes a la perforación por raíces, especialmente las membranas de PVC-P, TPO, EVA y PE-C. Además existen membranas asfálticas modificadas con aditivos especiales como Preventol B2 que le otorgan las resistencias necesarias anti raíces.

El riesgo sin embargo, especialmente en membranas monocapa, está en las costuras, ya que las mínimas rendijas en las uniones permiten el libre crecimiento de las raíces.

Las membranas bituminosas han mejorado significativamente en los últimos años, mediante la modificación del bitumen con materiales polímeros, tales como mezclas con elastómeros de estireno-butadieno (SBS) o con polipropileno atáctico (PPa).

Útil también son aditivos anti raíces. Productos modernos muestran una lixiviación ralentizada.

La protección antiraíz de las membranas bituminosas ha mejorado de manera significativa, en particular, por la incrustación de láminas o tiras metálicas y también a través de vellones forrados o vaporizados con cobre.

Para garantizar la compatibilidad de la capa antiraíz con la capa impermeabilizante, eventualmente es necesario instalar capas separadoras.

3.6.5.2. Capas drenantes

La capa drenante es una lámina nodular de polietileno de alta densidad PEAD, para drenajes y protección mecánica de la impermeabilización. Puede ser utilizada sola más geotextil o bien con geotextil adherido desde fábrica.

La materialidad le otorga una serie de ventajas, entre otros:

- Elevada resistencia a la tracción y a la compresión.
- Inalterable frente a agentes químicos de la intemperie.
- Resistente al desgarro.

De esta manera los productos pueden cumplir con sus funciones durante una larga vida útil:

- Proporcionar drenaje permanente, evitando la aparición de la presión hidrostática y ayudando a evitar el contacto directo de la humedad.
- Proteger el sistema de impermeabilización.
- Otorgar mayor vida útil al edificio/estructura, frente a la humedad y agresiones externas.

Para aumentar la capacidad de retención de aguas pluviales de las cubiertas vegetales, se instala la capa drenante con los nodos hacia abajo, aprovechando los pequeños "recipientes" para la acumulación de agua.

También existen capas especiales para este fin con mayor espesor y optimizadas para la función retenedora de AA. LL.



Ilustración 39. Láminas drenantes con geotextil adherido (arriba) y sin geotextil.
Fuente: María Blender

3.7. NUEVAS TECNOLOGÍAS

Actualmente los sistemas de impermeabilización abren nuevas opciones para la arquitectura, ya que se pueden utilizar como revestimiento de techos, muros y para recubrir cualquier forma de envolvente.

Junto con lo anterior el mercado posee con una amplia gama de impermeabilizaciones líquidas, e incluso coloridas que amplían las alternativas permitiendo a los profesionales diversos diseños en sus proyectos.



Ilustración 40. "La ballena" (Der Wal) Parque familiar de juego en Frídrichskoog, Alemania.
Fuente: Sujalajus; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Seehundstation_Walhaus.JPG

Tensoestructuras

Las tenso estructuras son construcciones arquitectónicas creadas a partir de membranas tensadas en combinación con estructuras ligeras. No solamente se aplican como elementos de cubierta, fachada o revestimiento, sino también como sistema constructivo principal.

Las membranas consisten en tejidos cubiertos por materiales utilizados en la impermeabilización preformada de cubiertas.

En las tensas estructuras desaparece el límite entre techo y muro, entre revestimiento y sustrato, entregando gran libertad de diseño arquitectónico.



Ilustración 41. Metro Monte Tabor, Santiago.
Fuente: Jorgebarrios; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Estación_Monte_Tabor_-_Metro_de_Santiago_2.jpg

La impermeabilización como piel prefeccionada de fachada

Para la prefección de membranas de EPDM se utilizan máquinas de "vulcanización en caliente", desarrolladas para otros fines, lo que permite la prefección casi completa de la piel de una edificación de forma individual.

Las uniones o costuras, hechas en fábrica permiten una calidad más alta y más uniforme que las juntas realizadas en obra. De esta manera la prefección permite reducir las uniones hechas en obra, a un 5 % aproximadamente, mejorando la calidad y la vida útil de la impermeabilización.



Ilustración 42. "Popcentrum 013", Tilburg, Países Bajos con fachada de membrana de EPDM.
Fuente: M.Minderhoud; https://en.wikipedia.org/wiki/013#/media/File:Tilburg_poppodium_013.jpg

Sistema de gráfica sobre membrana

La posibilidad de aplicar superficies de diferente color ya no se limita a los sistemas poliméricos líquidos.

Actualmente existen técnicas para aplicar sistemas gráficos, por ejemplo logos, sobre membranas de PVC y TPO.



Ilustración 43. Impermeabilización de cubierta con logo

Membrana que genera energía eléctrica

Con el desarrollo de celdas fotovoltaicas flexibles es posible integrarlas directamente en la membrana.

Resulta un sistema fotovoltaico sin vidrio ni marco que se adapta a cualquier forma del techo y se instala en una sola operación con la membrana impermeabilizante. Además es extremadamente ligero.



Ilustración 44. Membrana polimérica con módulos fotovoltaicos flexibles integrados

Sistemas integrados de control de fugas

La instalación de un sistema integrado de control de fugas, puede ser indicada en caso de áreas particularmente sensibles, como quirófanos, centros de datos, archivos o fábricas de productos delicados; o bien cuando la cubierta tiene un uso muy intenso, como es el caso en techos verdes con jardines, superficies de agua o sistemas solares.

Estos sistemas por lo general trabajan en base de la detección de flujos de corriente eléctrica, entre la superficie húmeda y un elemento o capa conductor instalado debajo de la impermeabilización.

Para un monitoreo continuo, los sistemas pueden estar conectados a una central de alarma.

Véase también capítulo 8.3 Estudio de la cubierta defectuosa.

4. Tratamiento de las singularidades de la impermeabilización de cubierta

La experiencia de los contratistas y usuarios indica que en la mayoría de los casos las fallas de cubiertas, y los problemas se originan en los llamados "puntos singulares" (puntos de riesgo) que son las zonas más conflictivas del techo. Por el contrario, en las zonas planas y lisas de las cubiertas (sin singularidades o con baja existencia de ellas) resulta mucho más difícil la presencia de fallas de un sistema de impermeabilización de cubierta.

Se consideran puntos o elementos singulares de la cubierta todos aquellos que, por sus características, requieran un tratamiento especial en el proyecto y en la ejecución.

Entre estos elementos, pueden incluirse:

- Juntas.
- Encuentro entre aguas.
- Encuentro de aguas con paramentos verticales.
- Desagües, sumideros, bajadas.
- Canaletas.
- Anclajes.
- Ductos y pasadas.
- Vanos.
- Chimeneas.

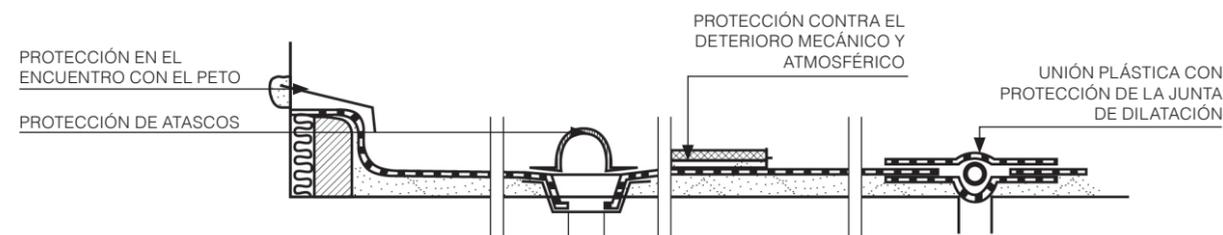


Ilustración 45. Puntos de riesgo en cubiertas planas

4.1. JUNTAS

En la cubierta podemos hallar diferentes tipos de juntas que requieren un tratamiento especial:

- Las juntas estructurales del edificio.
- Las juntas de cubierta, que permitirán la libre dilatación y contracción de los elementos de cubierta.
- Las juntas de la capa de protección, pudiendo obviar estas últimas si la protección tiene las propiedades elásticas convenientes.

4.1.1. JUNTAS DE DILATACIÓN ESTRUCTURALES

Las juntas de dilatación estructurales son aquellas que corresponden a las uniones del edificio y su estructura. Las fallas en estas son corrientes y de fácil detección, ya que el agua penetra directamente en el edificio a través de ellas, bien por inexistencia de juntas o por fractura de la impermeabilización.

El problema se magnifica si, por un defecto de proyecto, la junta coincide con una limahoya, por lo tanto se recomienda que estas juntas se encuentren en las limatesas.

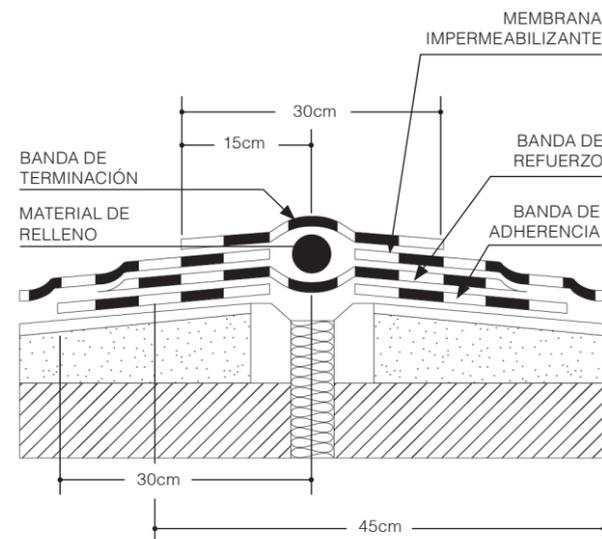


Ilustración 46. Elementos constructivos de una junta estructural

En algunos casos se pueden colocar nadas de refuerzo sobre el material impermeabilizante. Si el uso de la cubierta no permite una sobre elevación de la junta, ambas ondas de las bandas se pueden rematar hacia el interior, excepto productos de grandes espesores.

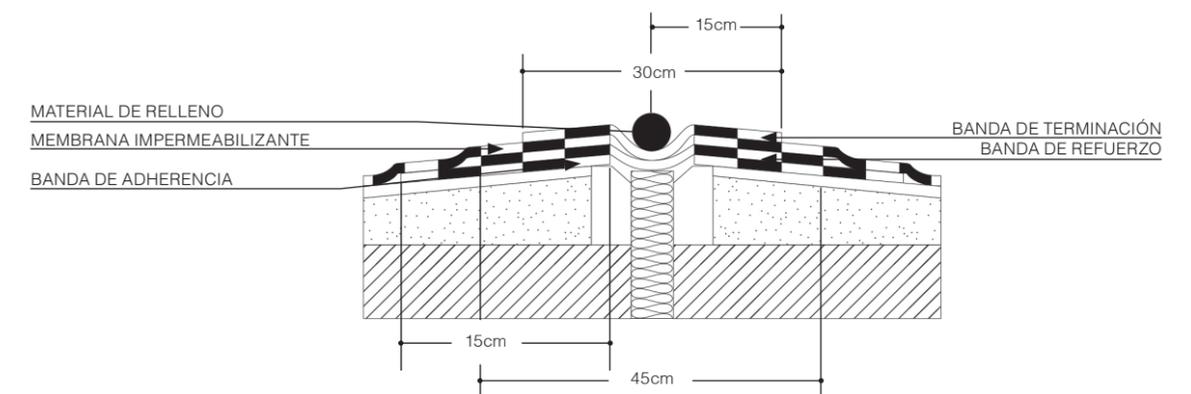
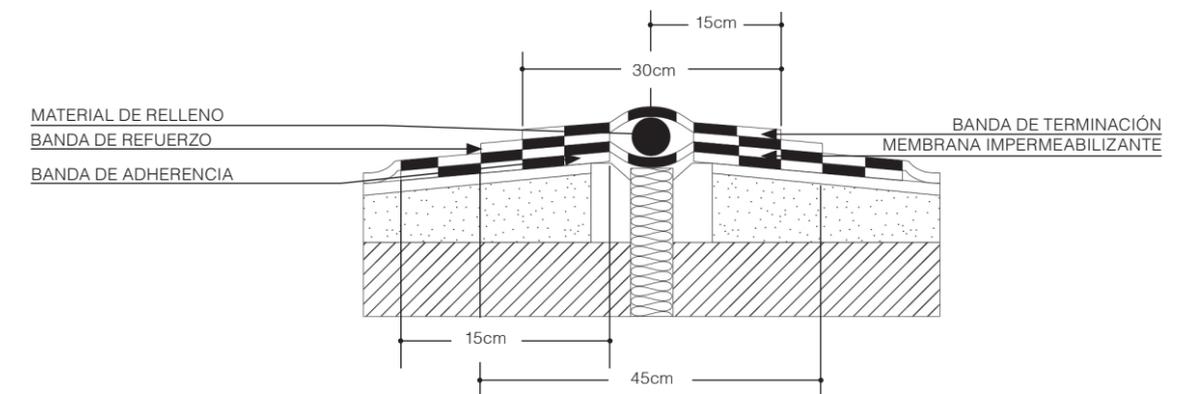
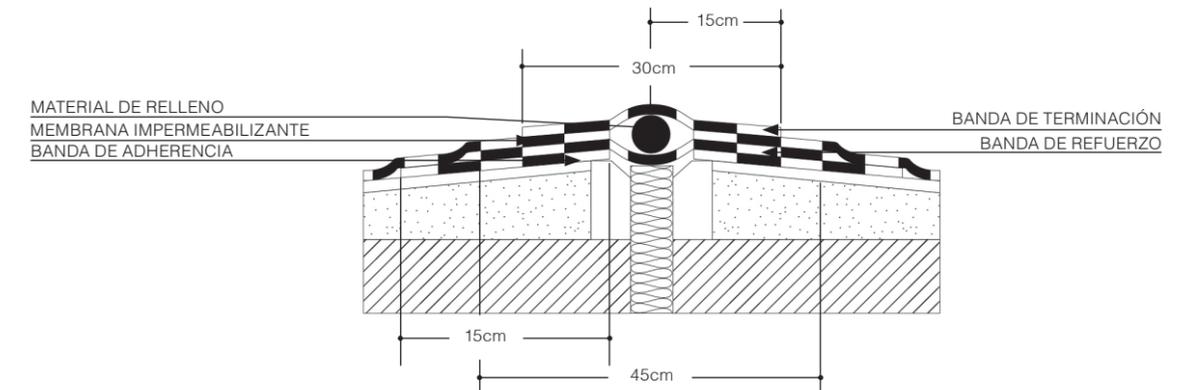
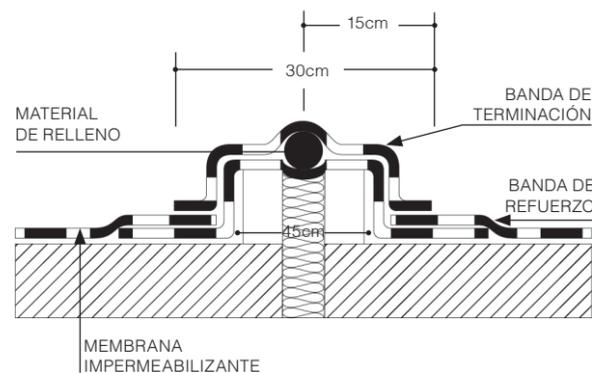


Ilustración 47. Detalles alternativos de juntas estructurales

Cuando no exista una formación de pendientes en la cubierta será necesario realizar una sobreelevación de la junta.



NO SE HAN INCLUIDO LAS CAPAS SEPARADORAS

Ilustración 48. Junta estructural sobreelevada

4.1.2. JUNTAS DEL SOPORTE BASE

Las juntas del soporte de la impermeabilización se realizarán, cuando las distancias de las juntas del edificio sean mayores a las recomendadas para los productos de impermeabilización. De preferencia deben estar situadas en las limatesas (con las pendientes adecuadas para escurrir las aguas), y cuando no sea posible, se deberá evaluar caso por caso.

Como principio base (UNE 104400-3:1999), para mejorar las características mecánicas de la impermeabilización, al encontrar juntas estructurales a más de 15 m, se deben considerar juntas en el soporte base de las impermeabilizaciones.

Se sugiere que los bordes de la junta para recibir la impermeabilización sean romos, con ángulo de 45° aproximadamente, y la anchura entre ambos lados no mayor a 3 cm.

El desarrollo del sistema se puede realizar en base a las soluciones de juntas estructurales.

Para la instalación correcta del sello véase el capítulo 4.1.4. Sellos elásticos.

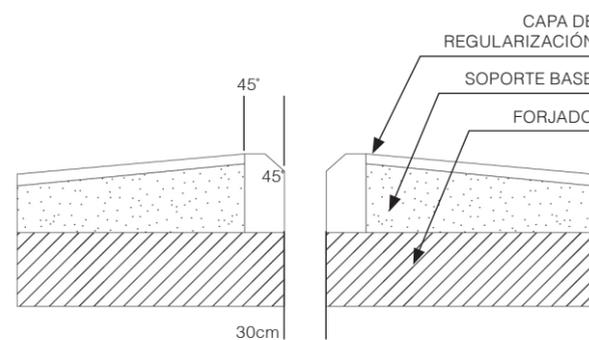


Ilustración 49. Detalle de junta de del soporte base

4.1.3. JUNTAS DE LA CAPA DE PROTECCIÓN

Cuando la capa de protección o terminación es un pavimento fijo, deben disponerse juntas de dilatación en las mismas. Estas se colocarán coincidiendo con las juntas de dilatación estructurales, y en el perímetro y en los encuentros con los elementos verticales, y a una distancia no mayor de cinco metros.

El ancho de las juntas y la distancia entre ellas deben establecerse de acuerdo con el movimiento previsto y la capacidad de deformación del material sellado.

El resultado se obtendrá de un estudio previo de los movimientos térmicos de los materiales que participan en la solución.

Las juntas deben limpiarse antes de sellarse. El material de sellado debe colocarse en las juntas de tal manera que la superficie del mismo no sobresalga por encima de la superficie.

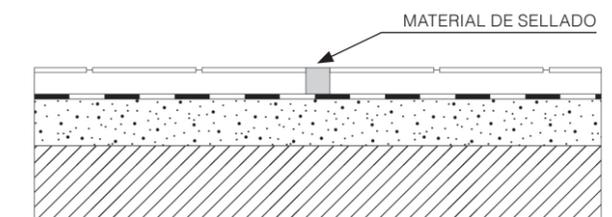


Ilustración 50. Detalle de junta en la capa de protección

4.1.4. SELLOS ELÁSTICOS

Los sellos elásticos por lo general deberían instalarse sobre un cordón de respaldo, llamado también "cola de ratón". La función del cordón de respaldo es preparar la forma óptima del sello de silicona para:

- Proporcionar la profundidad deseada.
- Crear una cavidad con forma de reloj de arena.
- Prevenir la adhesión del sello por el fondo (tercer lado).

La profundidad del sellado debe estar comprendida entre la anchura A de la junta y su mitad $\frac{1}{2} A$.

Se elige un cordón con un diámetro que es 25% a 50% mayor que el ancho de la junta.

Con un cordón de respaldo bien instalado, el sello tendrá la flexibilidad óptima que permitirá una vida útil superior.

En cambio, una profundidad insuficiente del sello causa la falla de la cohesión del material elástico, mientras que una profundidad excesiva del sello causa la falla de la cohesión con el sustrato a sellar.

Sin cordón de respaldo, el sello probablemente resulta demasiado grueso y con flexibilidad reducida.

La siguiente ilustración muestra los casos recién descritos.

En todo caso se debe confirmar las instrucciones con el fabricante del sello elástico.

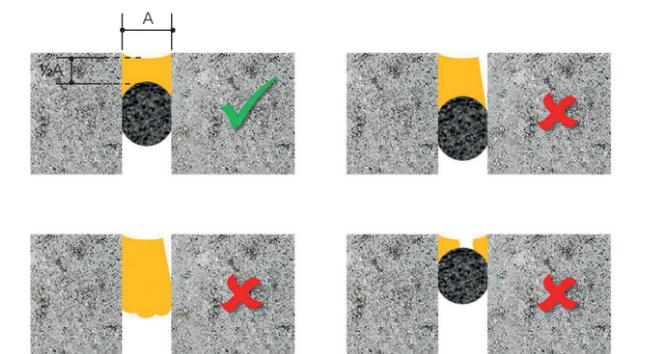


Ilustración 51. Forma correcta de sello elástico y formas incorrectas. Fuente: María Blender

4.2. LIMATESAS Y LIMAHOYAS

Los encuentros entre aguas, que produzcan limatesas o limahoyas, con pendientes mayores a las recomendadas, deben considerar obligatoriamente refuerzos adicionales en sus sistemas de impermeabilización. Este refuerzo debe ser del mismo material y del mismo tipo de armadura que lo refuerza, y mínimo tener un ancho de 30 cm.

Las limahoyas representan puntos críticos, especialmente en las partes cercanas a los desagües, donde conducen una gran cantidad de agua de lluvia. Por lo tanto requieren una ejecución perfecta.

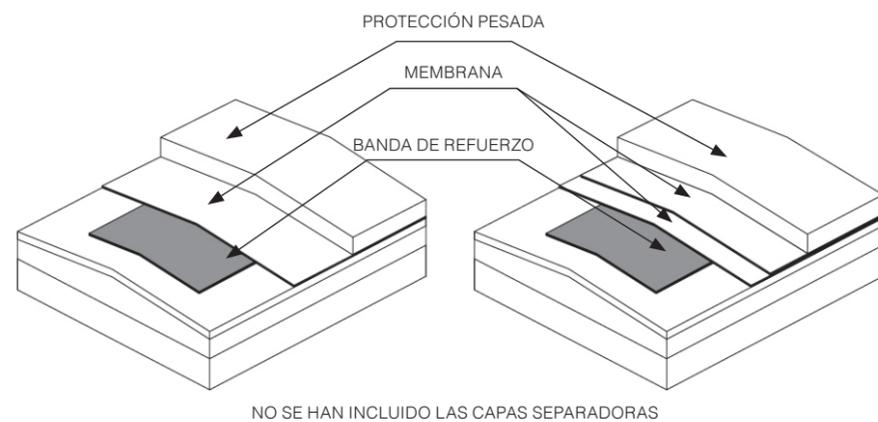


Ilustración 52. Detalle de limatesa

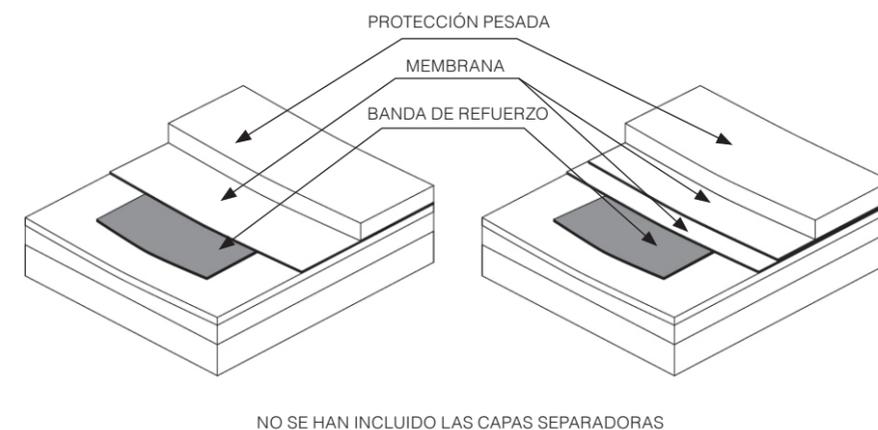


Ilustración 53. Detalle de limahoya

4.3. ENCUENTRO CON PARAMENTOS VERTICALES

La impermeabilización debe tener un retorno a cualquier elemento vertical. El retorno de la impermeabilización debe ser suficiente para proteger el encuentro en caso de empozamiento, por lo general debe ser al menos 20 cm más arriba que la protección de la cubierta.

Debe evitarse que el agua de escorrentía pase por detrás de la impermeabilización. El extremo superior del retorno debe protegerse mediante una nariz perimetral en el antepecho, un retranqueo en el paramento o bien con un perfil.

4.3.1. ENCUENTRO CON PARÁMETRO VERTICAL CON CORONACIÓN

En caso que el paramento sea más bajo y no alcance la cota anterior, la impermeabilización debe prolongarse en horizontal hasta cubrir la coronación del paramento.

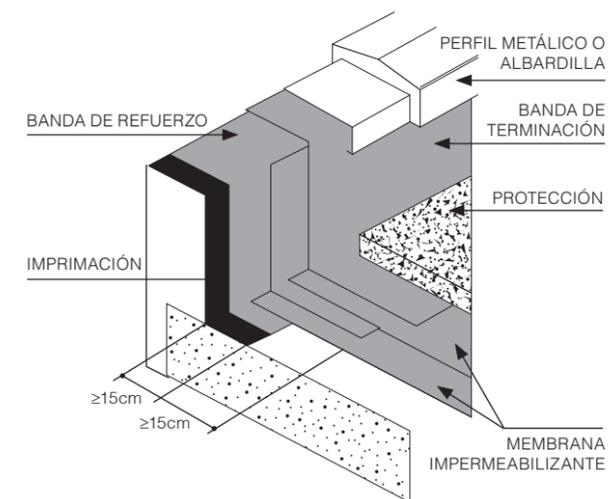


Ilustración 54. Encuentros con elemento vertical con coronación

4.3.2. ENCUENTRO CON PARAMENTO VERTICAL CON RETRANQUEO

Cuando el retorno a un elemento vertical se realice por retranqueo del mismo, se recomienda que la caja tenga una profundidad de 5 cm como mínimo y una altura tal que permita que la lámina se eleve según las recomendaciones antes dadas a lo menos 20 cm, sobre el punto más alto que alcance la protección de la cubierta.

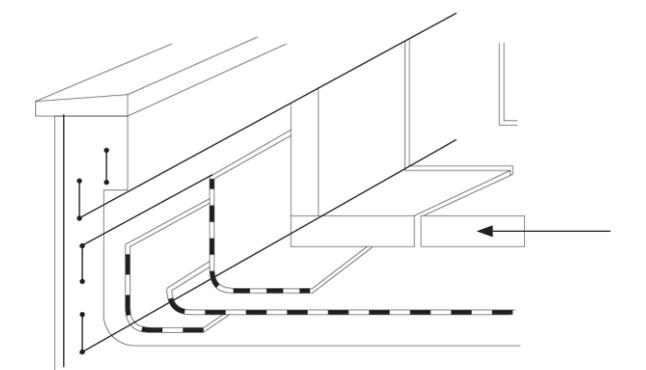
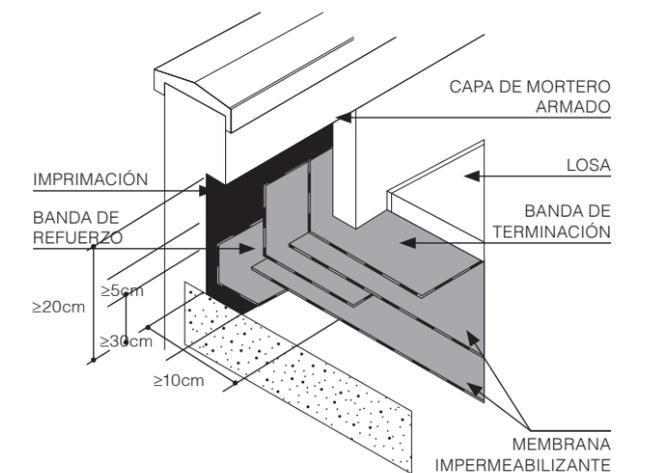


Ilustración 55. Detalles de encuentro con retranqueo vertical

4.3.3. ENCUENTRO CON PARÁMETRO VERTICAL CON NARIZ

Cuando el retorno se realice mediante una nariz en el antepecho con bisel formado con mortero, este deberá tener mínimo 3 cm de ancho y 3 cm de profundidad. Se debe formar con el mortero un bisel con un ángulo de 30° aproximadamente, rodeándose la arista.

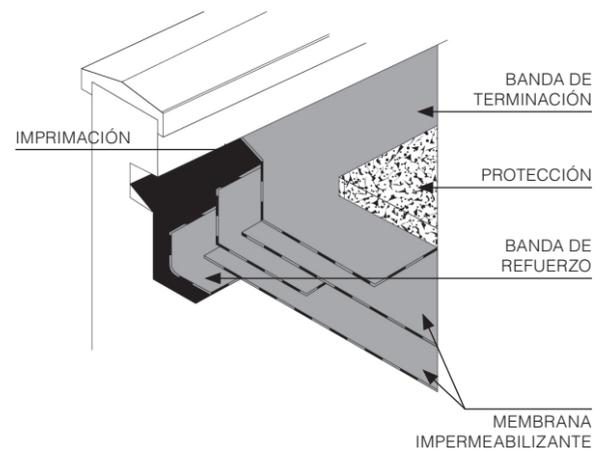


Ilustración 56. Encuentro con elemento vertical con nariz

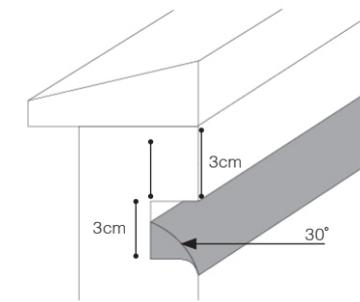


Ilustración 57. Detalle de nariz perimetral

4.3.4. ENCUENTRO CON PARAMENTO VERTICAL CON PERFIL DE PROTECCIÓN

Los retornos pueden ser rematados por perfiles de diversos materiales, según sea la impermeabilización utilizada, perfiles colaminados, perfiles HDPE, que se fijan mecánicamente sobre la impermeabilización y posterior a eso deben ser sellados para evitar filtraciones por estos puntos.

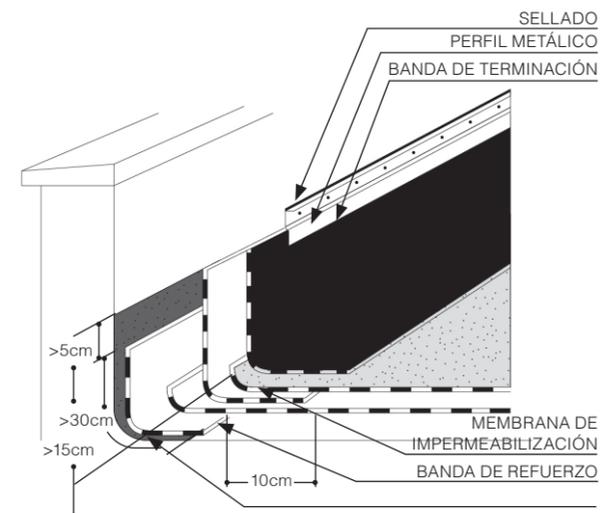
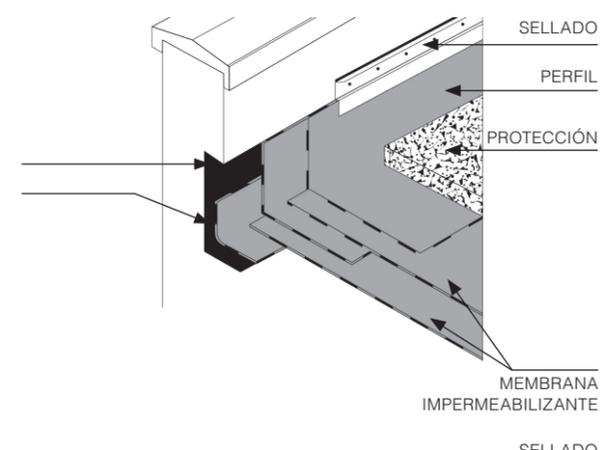


Ilustración 58. Detalles de encuentros con elemento vertical con perfil de protección

4.3.5. EN CUBIERTAS AJARDINADAS

Las cubiertas ajardinadas poseen diferentes formas de evacuar sus aguas y según sus diseños será las soluciones a realizar con las impermeabilizaciones.

Las siguientes ilustraciones muestran el retorno de impermeabilización en antepecho, con borde de grava perimetral con terminación de forro de coronación y con terminación de pletina perimetral.

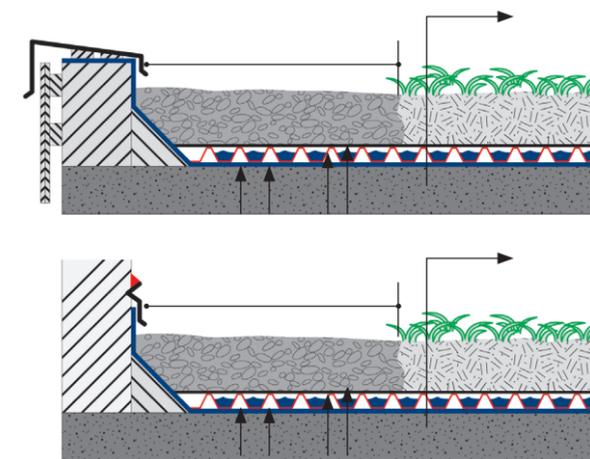


Ilustración 59. Detalles de encuentro con paramento vertical en cubierta ajardinada

4.4. DESAGÜES Y CANALES

Por tratarse de elementos de recogida de aguas, cualquier defecto de construcción se manifiesta rápidamente con humedades, por lo que se recomienda estén separados, como mínimo un metro de los rincones o esquinas y 50 cm de los paramentos, para así facilitar la llegada de la impermeabilización, la instalación y su mantención.

Todos los desagües deben estar dotados de un dispositivo como rejillas, para retener los residuos que puedan obstruir los bajantes.

Las uniones de aguas de cubiertas, sumideros y bajantes debe ser 100% estancas, siendo un factor muy importante que el material de las soluciones debe ser compatible o bien realizar las acciones necesarias para que no existan problemas.

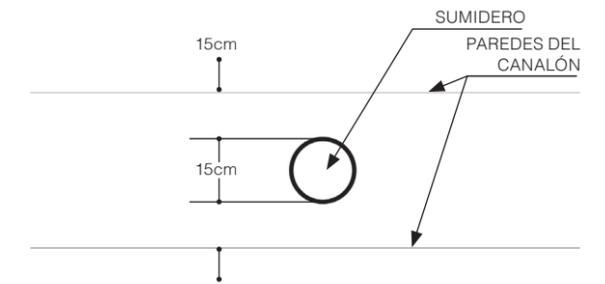
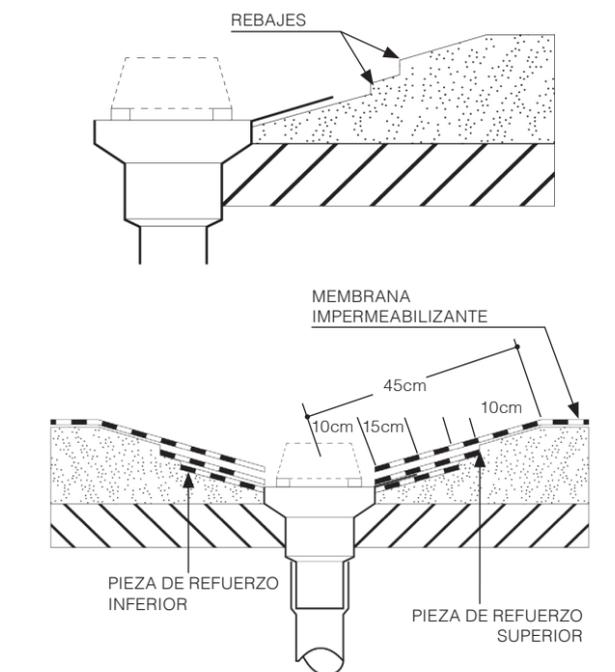


Ilustración 60. Medidas mínimas para instalar un desagüe en una canal (vista desde arriba)

4.4.1. DESAGÜE VERTICAL

Los desagües verticales o sumideros se deben considerar puntos críticos y por lo tanto requieren especial atención en la planificación y en la ejecución.

Alrededor de los sumideros debe realizarse un rebaje del soporte. Dicho rebaje deberá tener las dimensiones precisas para evitar que el agua de escorrentía quede empozada alrededor del sumidero.



NO SE HAN INCLUIDO LAS CAPAS SEPARADORAS

Ilustración 61. Detalles de sumidero

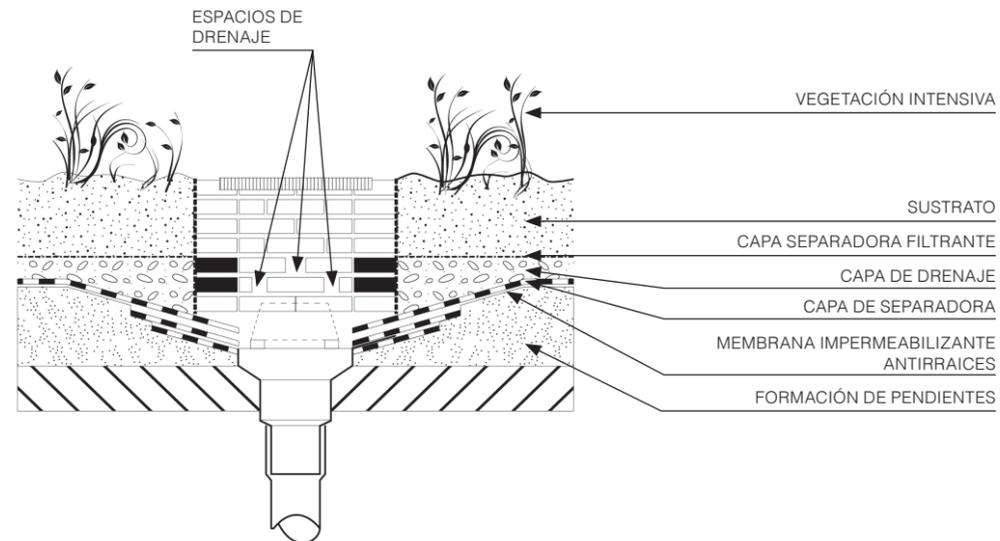


Ilustración 62. Detalle de sumidero en cubierta ajardinada intensiva

4.4.2. DESAGÜE HORIZONTAL, GÁRGOLA O REBOSADERO

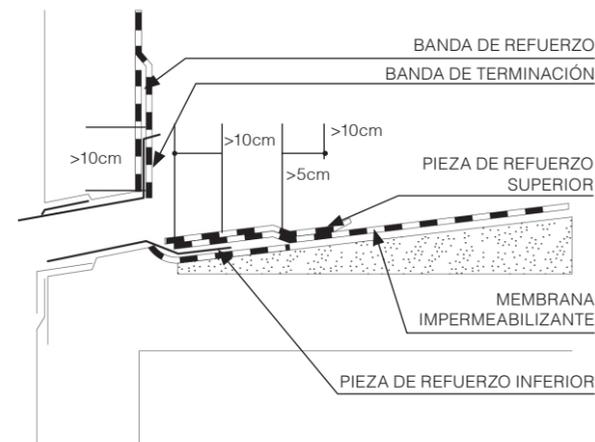
Estas soluciones se colocan en los siguientes casos:

- Cuando en la cubierta exista una sola bajante.
- Cuando se prevea que el agua acumulada al obtenerse un bajante no pueda evacuarse por otras, debido a las disposiciones de las bajantes o de la cubierta.
- Cuando la obstrucción de un bajante pueda producir una carga en la cubierta que comprometa la estabilidad del soporte resistente.

El nivel del rebosadero debe fijarse a una altura intermedia entre el punto más bajo y la del punto más alto de la impermeabilización.

El rebosadero debe sobresalir 5 cm, como mínimo de la pared exterior y debe tener inclinación hacia su parte exterior.

La suma de las áreas de las secciones de los rebosaderos de una zona debe ser al menos igual a la de las áreas de los bajantes de aguas pluviales de dicha zona; las secciones de los rebosaderos deben ser preferentemente rectangulares.



NO SE HAN INCLUIDO LAS CAPAS SEPARADORAS

Ilustración 63. Detalles de encuentro de la impermeabilización con desagüe horizontal

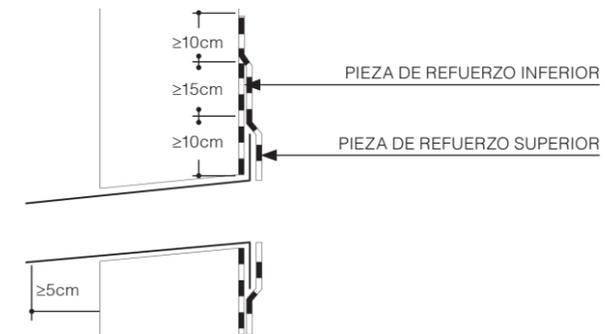


Ilustración 64. Detalles de encuentro de la impermeabilización con desagüe de seguridad

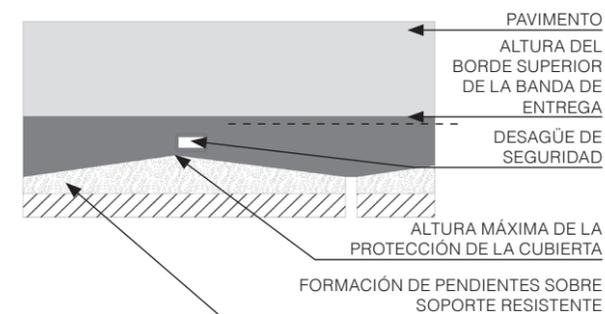


Ilustración 65. Esquema de la ubicación del desagüe de seguridad

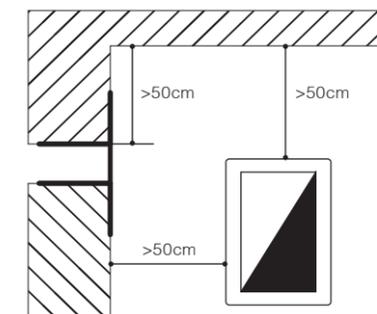


Ilustración 66. Distancias mínimas para la ubicación de sumideros y desagüe horizontal (vista desde arriba)

4.4.3. CANALES INTEGRADOS

Los canales o canalones impermeabilizados deben contemplar un retorno de mínimo 20 cm sobre la protección de la cubierta.

En el extremo del agua de la cubierta la impermeabilización debe retornar mínimo 15 cm a la parte del canalón que apoya sobre el agua de la cubierta, lo que puede variar según requerimientos.

Los canales deben tener un ancho que facilite su mantenimiento.

La pendiente interior debe diseñarse de acuerdo a los principios presentados en capítulo 2.4 Pendientes.

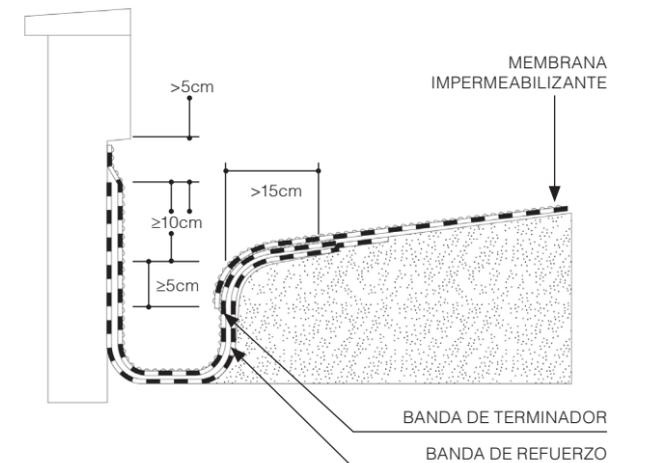


Ilustración 67. Detalles de canales de aguas lluvia con retorno con impermeabilización expuesta

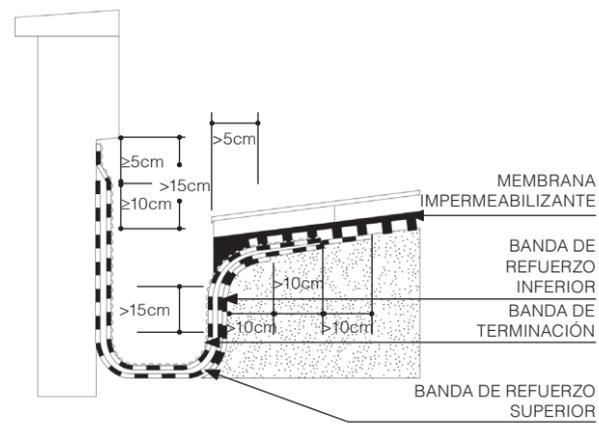


Ilustración 68. Detalles de canales de aguas lluvia con retorno con impermeabilización bajo protección de cubierta

4.4.4. BORDES DE CAÍDA DE AGUA

Cuando los canales sean en los bordes de las cubiertas sin antepechos, sus perfiles perimetrales deben quedar completamente embebidos en el sistema de impermeabilización.

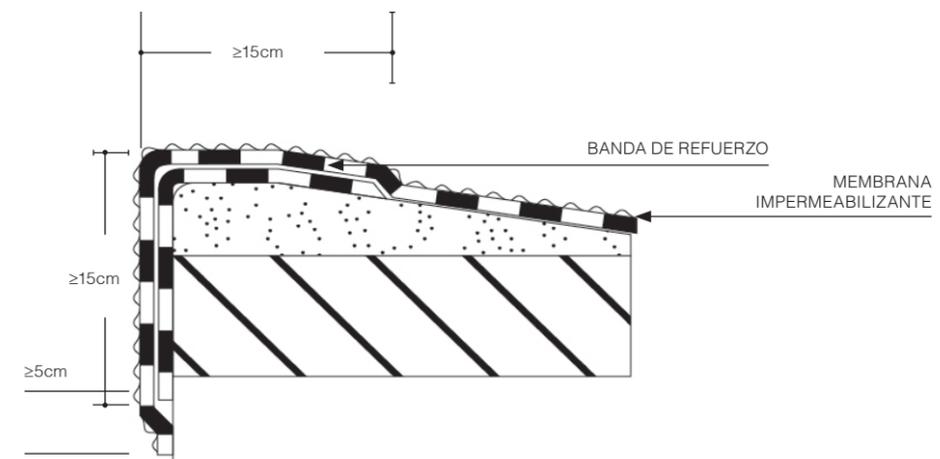
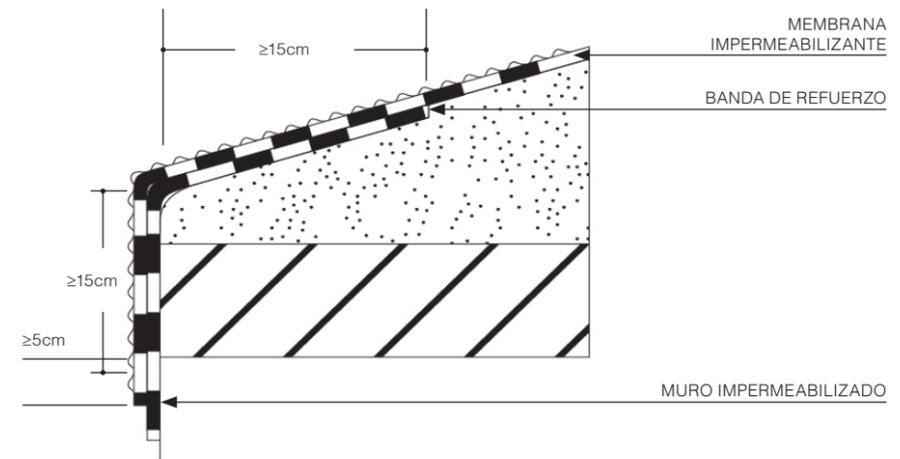
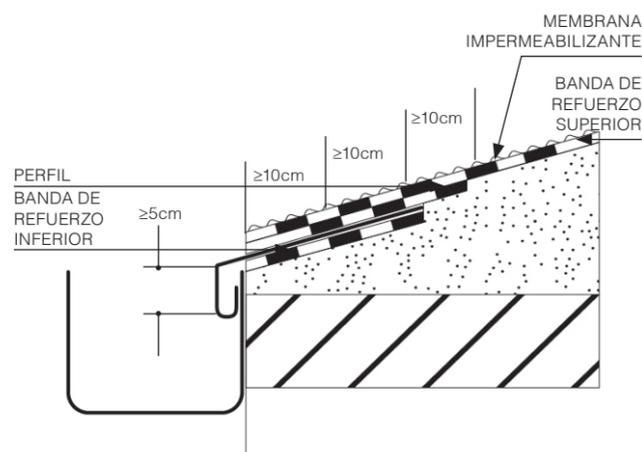
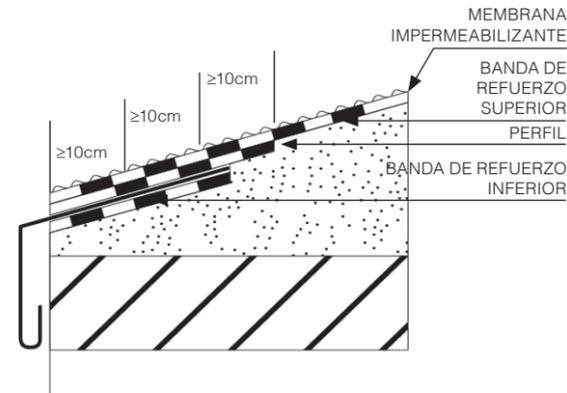


Ilustración 69. Detalles de bordes de la cubierta impermeabilizada

4.4.5. CORTAGOTERA

Para proteger la fachada y la coronación contra el ingreso de agua se instalan elementos tipo cortagotera o botagua.

A continuación se indican las medidas mínimas recomendadas. En muchos casos, dependiendo de los vientos, orientación de la fachada, resistencia a la humedad del material de fachada, entre otros, puede ser necesario aumentar las dimensiones.

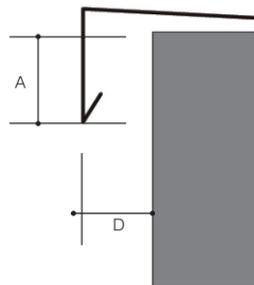


Ilustración 70. Dimensiones de cortagoteras

TABLA 28.
DIMENSIONES MÍNIMAS DE CORTAGOTERAS

ALTURA EDIFICIO	ALTURA A DE LA SUPERFICIE A PROTEGER	DISTANCIA D DE LA SUPERFICIE A PROTEGER
< 8 m	≥ 5 cm	≥ 2 cm
8 a 20 m	≥ 8 cm	≥ 3 cm
> 20 m	≥ 20 cm	≥ 4 cm

Fuente: Fachregel für Metallarbeiten, Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks (Normas técnicas para carpintería metálica, Asociación Central del Arte Industrial de Techado de Alemania)

4.5. ANCLAJES

Los anclajes de antenas de televisión, tendederos, barandillas, etc. suelen ser origen de problemas de humedad. A menudo se anclan rompiendo la membrana impermeable. Otras veces, aunque se coloquen con anterioridad a la impermeabilización, se dilatan por oxidación o por vibraciones debidas al viento.

Se recomienda evitar el anclaje de todos los elementos mencionados directamente a la cubierta, y fijarlos sobre paramentos o sobre bancadas apoyadas en el pavimento, por encima de la impermeabilización.

Los aparatos debiesen instalarse sobre estructuras metálicas, zócalos de hormigón, que pasen sobre la impermeabilización, con el fin de evitar la perforación de esta.

Es recomendable considerar las dimensiones necesarias en los pisos mecánicos para los tránsitos de mantenimiento de la cubierta.

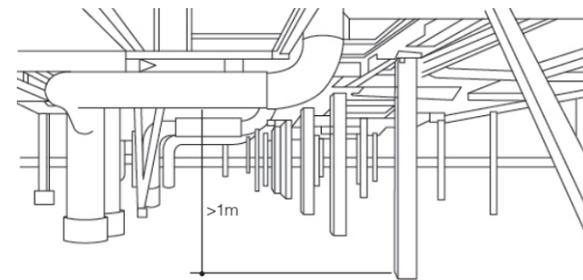


Ilustración 71. Las instalaciones técnicas en cubierta requieren espacios de tránsito y de movimiento

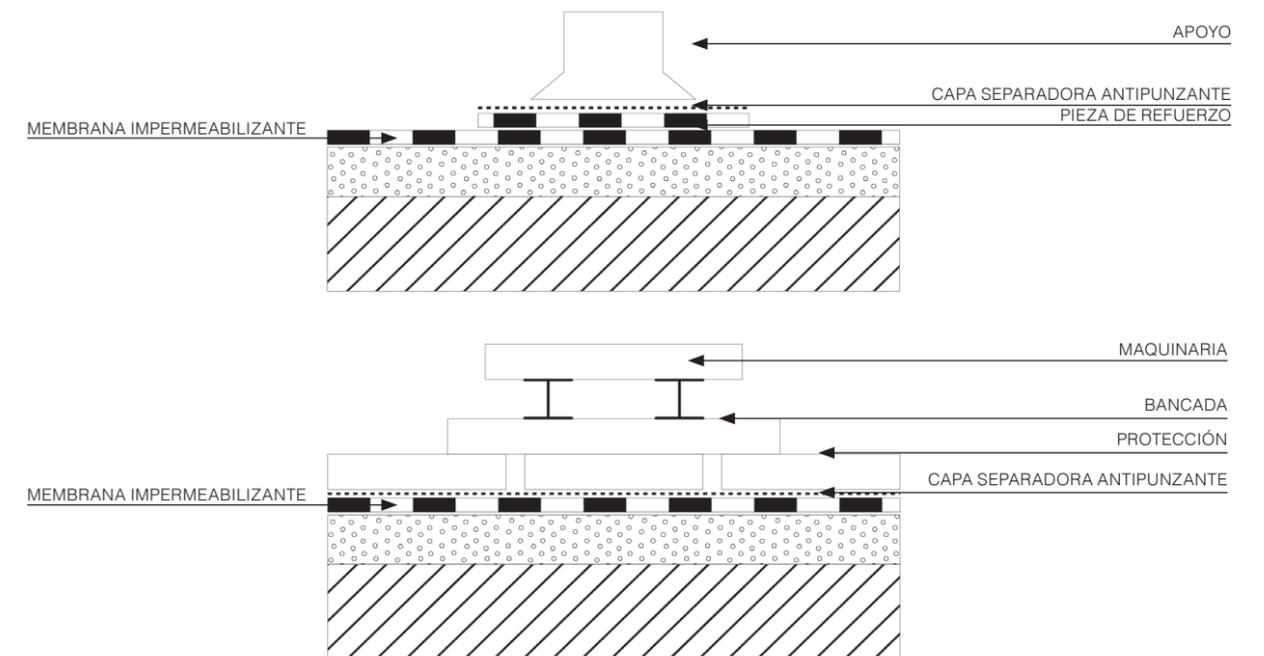


Ilustración 72. Detalles de apoyos de instalaciones sobre la cubierta

Los anclajes de antenas o mástiles y sus estructuras completas, deben ser fijados de preferencia al pavimento o a la fachada del edificio. Si se realiza por el interior de la fachada, o sea en el antepecho, debe fijarse sobre el nivel de la impermeabilización.

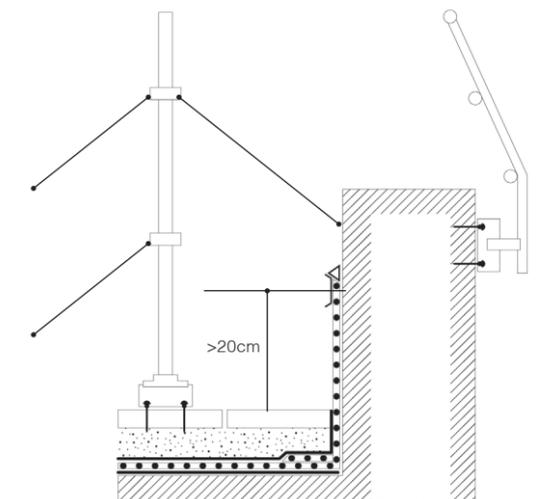


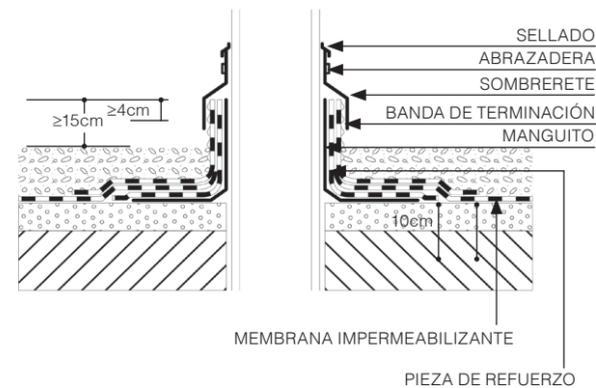
Ilustración 73. Detalle de fijación de un mástil

4.6. DUCTOS, PASADAS, CHIMENEAS

Los ductos, pasadas, y cualquier otro elemento que atraviese la cubierta y el sistema de impermeabilización, deben tener un correcto tratamiento.

Los retornos de las impermeabilizaciones deben contemplar al menos 15 cm sobre el nivel más alto de la terminación del sistema (pavimento, sustrato, u otro), pueden ser sellados en su parte superior por una banda del mismo producto, un perfil, o una banda autoadhesiva, según corresponda.

En la fase de proyecto cuando deben el paso de ductos, pasadas u otros, al interior del edificio, se debe tener en cuenta el coeficiente de dilatación de los materiales en contacto para dejar una holgura entre el tubo o conducto y el paramento con el fin de poderla rellenar con un sellante elástico permanente.



NO SE HAN INCLUIDO LAS CAPAS SEPARADORAS

Ilustración 74. Detalle de pasada por la cubierta

Muchas veces se requiere situar los elementos pasantes de tal forma que queden separados, como mínimo 50 cm de los paramentos y de otros elementos contiguos para poder efectuar adecuadamente los retornos y encuentros.

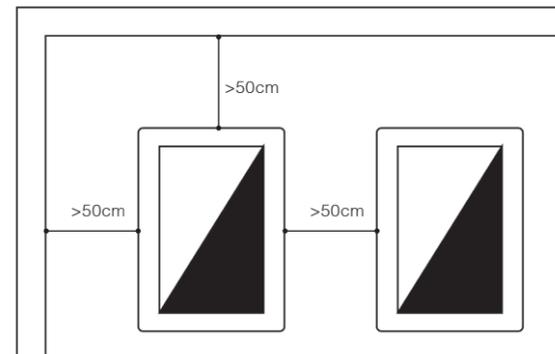


Ilustración 75. Distancias mínimas de pasadas por cubierta

Cuando los elementos de pasadas son circulares, debe preverse que el encuentro se realice preferentemente mediante accesorios prefabricados, o prefabricados en obra.

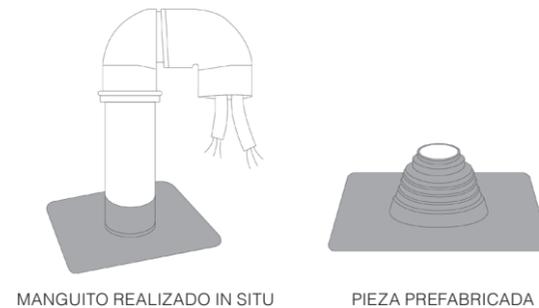


Ilustración 76. Detalles de pasadas circulares

4.7. VANOS

Los umbrales de las aberturas en salidas a las cubiertas deben estar mínimo 15 cm más alto de la parte superior de la terminación de la cubierta.

La impermeabilización debe retornar por completo sobre el perímetro del umbral y de preferencia retornar además por los laterales del vano o alféizar.

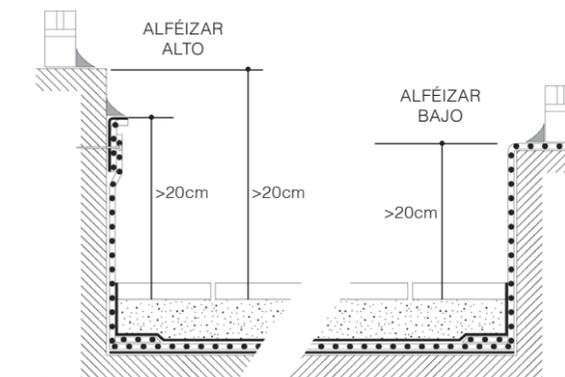


Ilustración 77. Detalles de encuentro con alféizar

Si el proyecto no contempla la altura necesaria para realizar esta solución, se pueden realizar algunas alternativas de solución para lograr una adecuada impermeabilización.

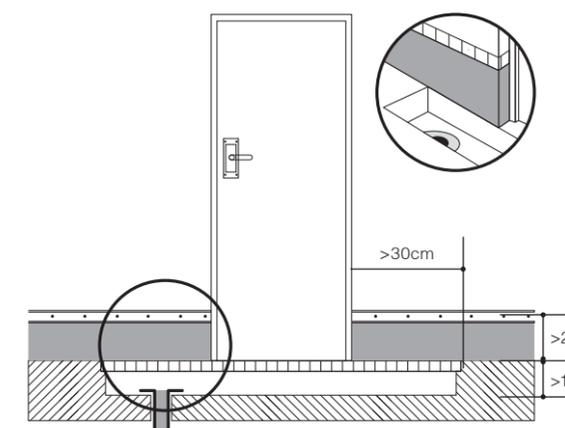


Ilustración 78. Detalle puerta con canalón

Se puede disponer delante de la puerta y extendiéndose al menos 30 cm por lado del vano, un desagüe tipo canal, con una profundidad de mínimo 15 cm, y ancho mínimo de 30 cm.

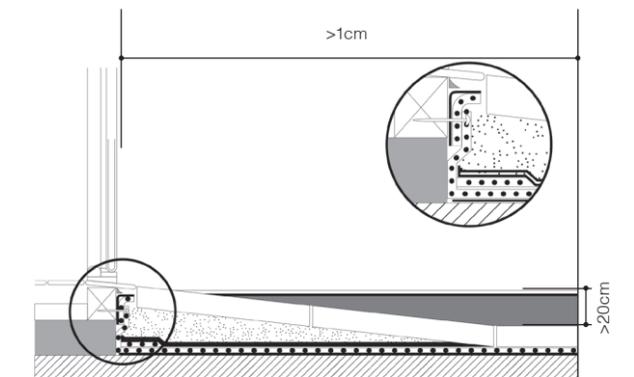


Ilustración 79. Detalle puerta con rampa

Se crea un espacio de paso techado, en la cubierta, donde la puerta se retranquea al menos un metro, o lo necesario para cumplir las condiciones de habitabilidad, el suelo deberá tener una pendiente hacia el exterior.

Si estas aberturas fuesen horizontales, deben contemplar al menos 20 cm de antepecho medidos sobre el nivel superior de la cubierta.

4.8. RINCONES Y ESQUINAS

En los encuentros de rincones (esquina interior) y esquinas (exteriores) los refuerzos deben duplicarse, con una pieza adicional según la impermeabilización instalada, adaptándose a las características del elemento.

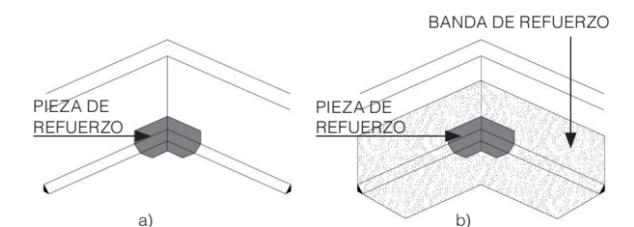


Ilustración 80. Detalles de refuerzo de rincones

Se instalará una pieza del refuerzo, sobre el rincón y dispuesta de tal forma que coincida en el centro de la pieza de refuerzo con el vértice de encuentro de los distintos planos que forman el rincón, y adaptándola al encuentro mediante los cortes que sean necesarios.

La pieza de refuerzo será instalada sobre la esquina, dispuesta de tal forma que coincida su centro con el vértice de encuentro de los distintos planos que conforman la esquina y adaptándolas al encuentro mediante los cortes que sean necesarios.

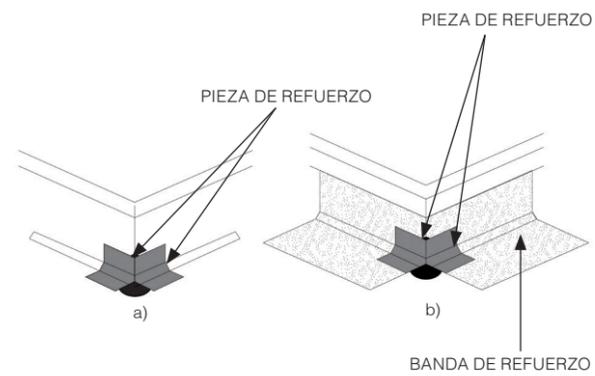


Ilustración 81. Detalles de refuerzo de esquinas

4.9. SINGULARIDADES TÍPICAS

4.9.1. DETALLES CONSTRUCTIVOS CON MEMBRANA POLIMÉRICA PREFORMADA

A continuación se muestran detalles constructivos de singularidades con impermeabilización de membrana polimérica preformada.

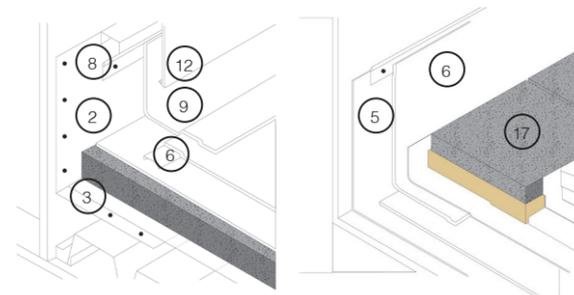


Ilustración 82. Encuentro con borde perimetral

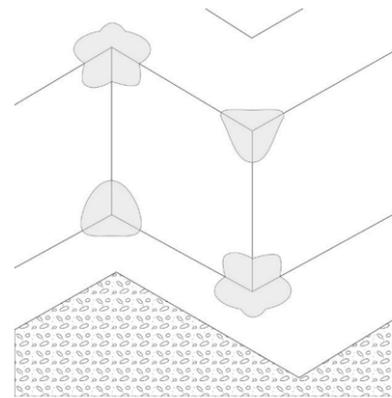


Ilustración 83. Refuerzos de rincones y esquinas

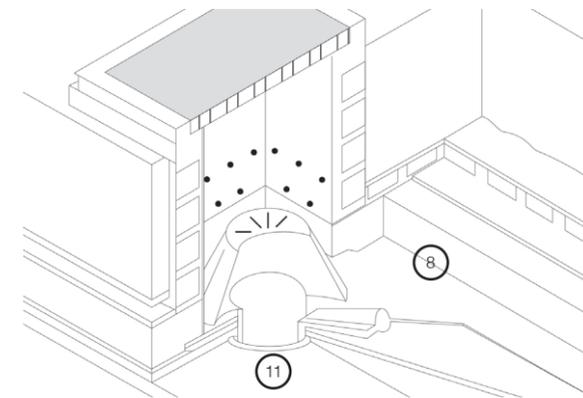


Ilustración 84. Sumidero en cubierta vegetal

4.9.2. DETALLES CONSTRUCTIVOS CON MEMBRANA ASFÁLTICA

En este apartado se muestra detalles constructivos típicos de la impermeabilización con membrana asfáltica.

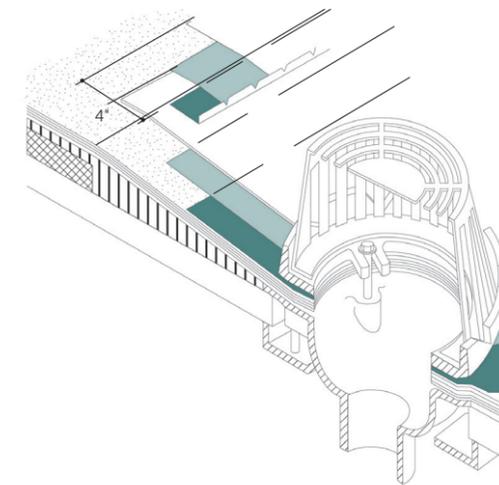


Ilustración 85. Sumidero

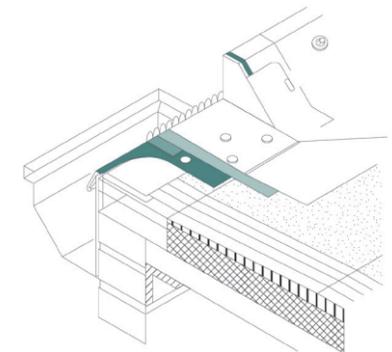


Ilustración 86. Bordes elevado

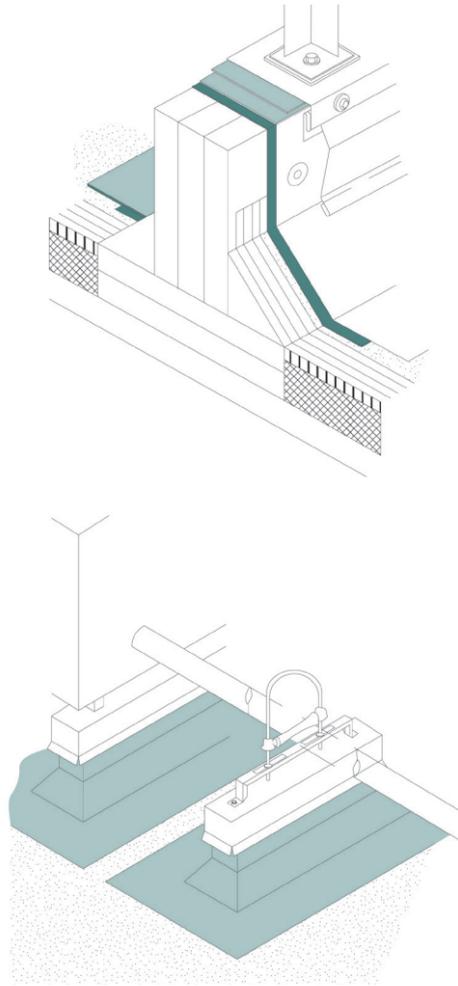


Ilustración 87. Soportes de instalación en cubierta

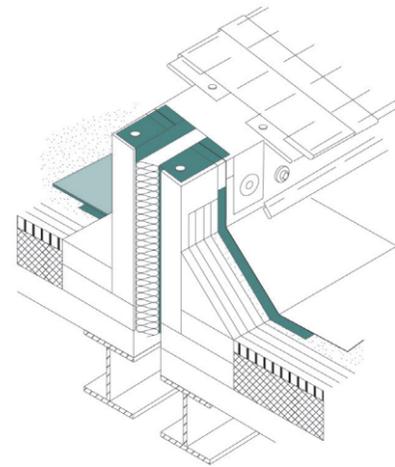


Ilustración 89. Junta de dilatación elevada



Ilustración 90. Detalles constructivos con membrana asfáltica.

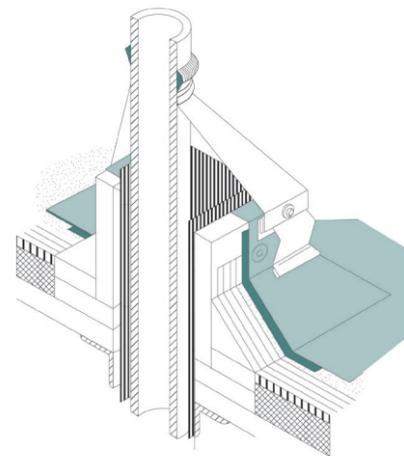


Ilustración 88. Pasada por cubierta

4.9.3. DETALLES CONSTRUCTIVOS CON RECUBRIMIENTOS DE APLICACIÓN LÍQUIDA

Los siguientes detalles se realizan con recubrimientos líquidos.

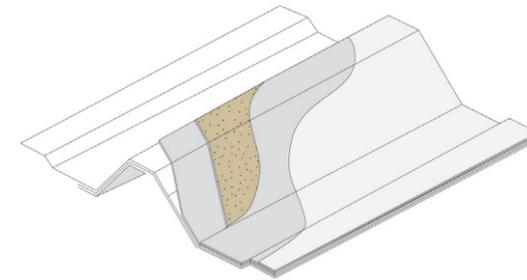


Ilustración 91. Recubrimiento de cubierta metálica tipo deck

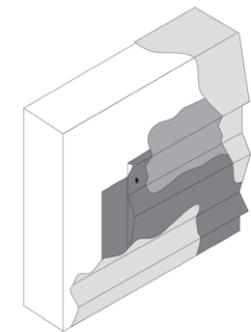


Ilustración 93. Detalle de re impermeabilización de encuentro con paramento vertical

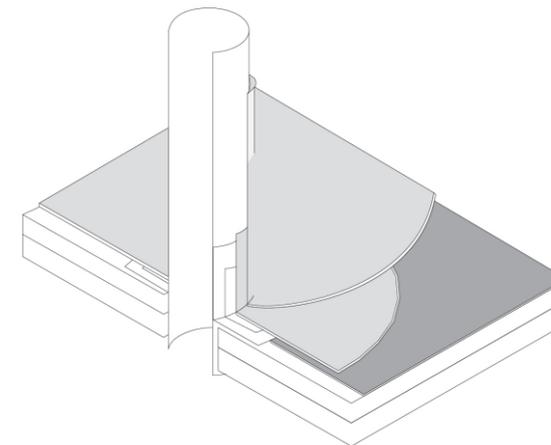


Ilustración 92. Pasada por cubierta

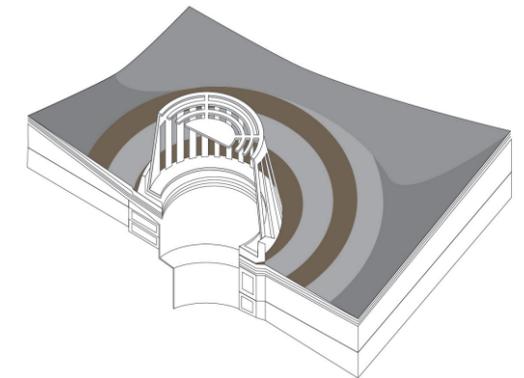


Ilustración 94. Sumidero

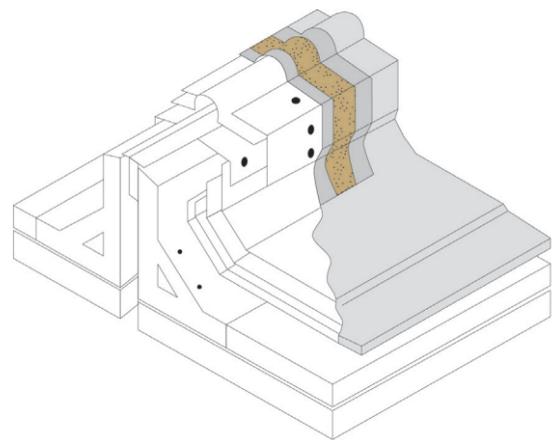


Ilustración 95. Junta de dilatación estructural elevada

4.10. MALAS PRÁCTICAS

La incorrecta planificación y/o ejecución de los puntos singulares es una de las principales causas de la falla de la impermeabilización de cubierta.

A continuación se reúnen algunas malas prácticas típicas en el proceso de la impermeabilización de cubierta.

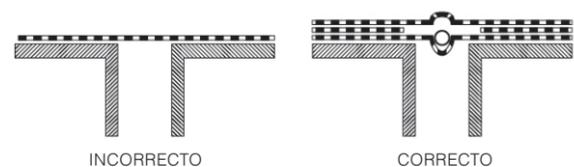


Ilustración 96. Juntas deben ser elásticas permitiendo movimientos

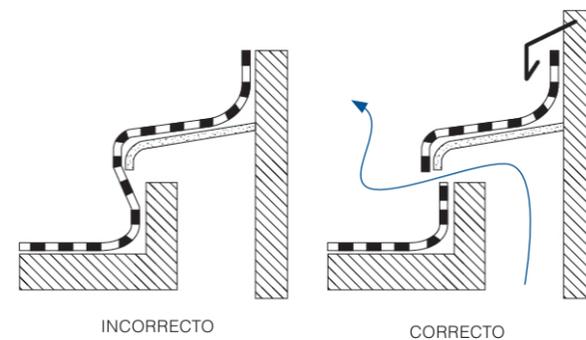


Ilustración 98. La impermeabilización no debe impedir ventilaciones de aire necesarias

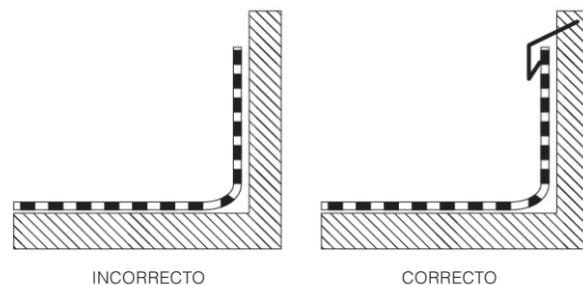


Ilustración 97. Retornos perimetrales requieren protección superior

5. Proyecto y especificación de la impermeabilización de cubierta

5.1. LA RELEVANCIA DEL PROYECTO DE IMPERMEABILIZACIÓN

Hasta hoy en día, las obras de impermeabilización de la cubierta, al igual que las demás impermeabilizaciones de las edificaciones, generalmente se abordan en el respectivo proyecto de arquitectura y no se tratan como proyecto de especialidad.

Existe poco conocimiento por parte de los diferentes profesionales del área de la construcción, de cómo abordar este tema. En las diferentes carreras, tanto del área técnica como universitaria, las impermeabilizaciones no se estudian en profundidad.

No obstante, el tema ha mostrado su relevancia. Las estadísticas de ocurrencia de post ventas, por ejemplo, muestran que las filtraciones y otros problemas de humedad siguen siendo uno de los problemas más frecuentes³.

Por el impacto en los costos directos e indirectos de las reparaciones, sin duda representa el principal problema de post venta de las empresas inmobiliarias.

Así como el acondicionamiento térmico y acústico ha cobrado relevancia en la funcionalidad, el confort, el desempeño y la sustentabilidad de las edificaciones también, al punto que se han desarrollado normativas, reglamentos, y exigencias legales, por lo tanto la impermeabilización adquirirá cada vez más importancia.

No obstante la normativa aún no está desarrollada, incluso a nivel internacional se cuenta más bien con productos y normas sobre éstos, donde se miden características, como permeabilidad, resistencia, elongación, adherencia, dureza, entre otros factores.



Ilustración 99. Impermeabilización de una cubierta en un centro comercial

³ Percepción de satisfacción clientes empresas inmobiliarias. Presentación por Ignacio Troncoso, Comité Inmobiliario, CChC, 2015.

A continuación se describe los diferentes aspectos del desarrollo del proyecto de impermeabilización de cubierta.

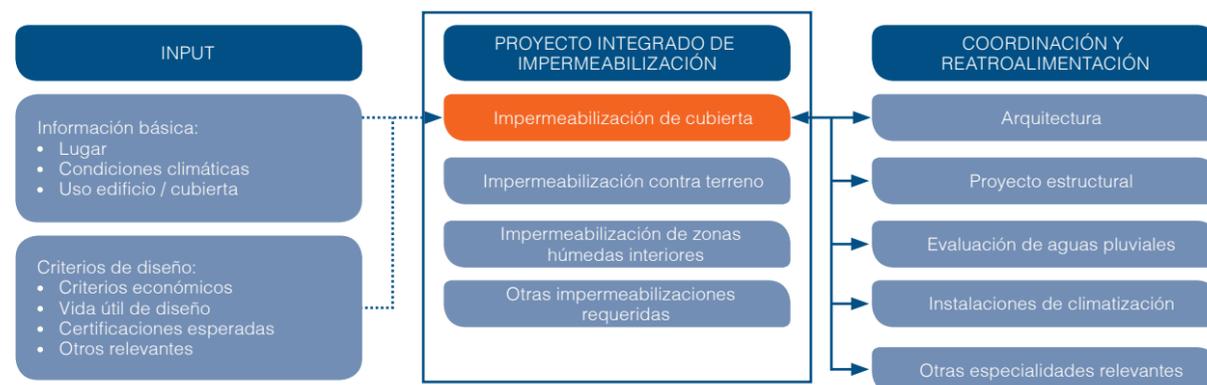


Ilustración 100. El proyecto de impermeabilización de cubierta y su relación con los demás especialidades

5.2. LOS ESPECIALISTAS EN PROYECTOS DE IMPERMEABILIZACIÓN

En Chile, en la actualidad son escasos los profesionales que se han especializado en la preparación de proyectos de impermeabilización. Muy contadas son aquellas oficinas o profesionales que desarrollan la impermeabilización de edificaciones como una especialidad.

Esta se puede definir como situada entre la ingeniería y la arquitectura, ya que la función de las impermeabilizaciones en primera instancia es netamente técnica, pero está estrechamente relacionada con la arquitectura. Así que los especialistas en impermeabilizaciones son arquitectos o ingenieros y llegaron a su especialidad mediante la práctica profesional.

Cabe mencionar que a la fecha existen en el país pocas ofertas de capacitación profesional en impermeabilización de edificaciones.

5.3. EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE IMPERMEABILIZACIÓN DE CUBIERTA

Con más complejidad y mayores requisitos de desempeño es indispensable desarrollar los proyectos de construcción bajo criterios de "planificación integral". Esto, en pocas palabras, se refiere a mayor peso en las primeras etapas de la planificación y al trabajo interdisciplinario desde las primeras fases. Debido a que las decisiones de mayor impacto en el resultado final se toman a principios de un proyecto, y con el avance de la planificación las posibilidades de influir en el diseño se reducen drásticamente, en la misma medida como los costos de eventuales modificaciones aumentan.

En el proyecto de impermeabilización de cubierta ocurre lo mismo, para evitar errores e inversiones equivocadas la cooperación interdisciplinaria desde las primeras fases del proyecto es de suma importancia.

A continuación se propone una secuencia de etapas del desarrollo del proyecto de impermeabilización en general y de impermeabilización de cubierta en específico. Las fases centrales, que son la definición de soluciones y el desarrollo de los documentos de proyecto, necesariamente deben estar insertadas en un proceso de coordinación y retroalimentación con la arquitectura y las otras especialidades relevantes.

Estas son aparte de la arquitectura, al menos el diseño estructural y el proyecto de evacuación de aguas de lluvia. Por su relevancia para la impermeabilización, la evacuación de aguas pluviales debe ser tratada como especialidad, y el proyecto respectivo debe integrar el sistema de evacuación completo, desde la cubierta hasta la infiltración o entrega de las aguas.

Según el uso de la cubierta pueden ser importantes los proyectos de climatización y de instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas, entre otros.



Ilustración 101. Etapas de la elaboración del proyecto de impermeabilización

5.4. INPUT DE DATOS Y CONDICIONES PREVIAS

5.4.1. INFORMACIÓN BÁSICA DEL PROYECTO

Se debe recopilar las características de la ubicación del proyecto tales como zona geográfica, condiciones climáticas (temperaturas, humedad del aire, radiación solar, precipitaciones, vientos), agentes atmosféricos, tanto en valores promedios como en eventos extremos esperados durante la vida útil de diseño de la edificación, además de toda las particularidades del emplazamiento de la obra que pueden ser relevante para definir y seleccionar los sistemas de impermeabilización.

Por ejemplo en zonas con alto gradiente térmico, algunos sistemas podrían ser descartados o requerir ser reforzados para la condición.

Otras características del lugar como la mecánica de suelo, serán notables para el proyecto de impermeabilización contra terreno.

Por otro lado, se deben recopilar los usos proyectados de cada sección de la(s) cubierta(s), así como los usos de los recintos inmediatamente debajo de ella(s). Es recomendable considerar posibles modificaciones a futuro, ya que las cubiertas frecuentemente sirven de superficie de reserva para instalaciones y ampliaciones venideras.

5.4.2. CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios de diseño por lo general son definidos por el propietario o el desarrollador de un proyecto de construcción, además de la normativa técnica, incluyen los objetivos del proyecto, lo que se quiera lograr y lo que se quiera evitar, y a que costo. Se recomienda establecerlos formalmente previo al desarrollo de las soluciones de impermeabilización.

Para el presupuesto de la impermeabilización de la cubierta es especialmente relevante la vida útil esperada, más aún si se busca obtener una certificación de sustentabilidad como LEED⁴ o CES⁵.

Cabe mencionar que la valoración del proyecto de impermeabilización, no sólo se refiere al costo directo de los sistemas, materiales y mano de obra empleados, sino a la valoración de la solución a priori, de conflictos y costos de reparación.



Ilustración 102. Cubierta vegetal sobre estacionamiento subterráneo

Entre los criterios de diseño se pueden incluir todos aquellos parámetros que se solicitan al inicio y que no dependen de un sistema de impermeabilización determinado ni del diseño arquitectónico. Se podrá exigir por ejemplo estabilidad de color, que está relacionada con la vida útil, o bien un aporte sustentable como un "cool roof". Véase capítulos 2. Parámetros de diseño y especificación y 9. Aspectos ambientales.

5.4.3. ARQUITECTURA E INSTALACIONES TÉCNICAS

El tipo de edificación desde el punto vista funcional y de su materialidad puede también determinar los sistemas así como también los factores de seguridad para la selección de las soluciones. La materialidad de la edificación, acero, madera, hormigón armado y combinaciones de estos, también son determinantes para la selección de los materiales y soluciones.

La cubierta constituida por planchas embaldosadas sobre entramado de madera o sobre losa de hormigón, presenta menores riesgos que una cubierta en la losa de hormigón expuesta y postensada, que puede representar un gran peligro de permeabilidad y filtraciones por fisuramiento.

5.5. DEFINICIÓN DE SOLUCIONES DE IMPERMEABILIZACIÓN

La definición de soluciones es un paso previo a la elaboración de planos y especificaciones técnicas y puede entenderse como anteproyecto o fase conceptual.

La definición de qué producto o sistema es el indicado para lograr el objetivo de impermeabilidad, en los distintos recintos de la construcción, todavía se realiza en base a la experiencia e historia.

Los proveedores de productos y sistemas proponen sus esquemas, señalando las características que a su juicio los hace efectivos como solución, entonces se requiere de un especialista, que reúna conocimiento del proyecto, experiencia en la especialidad, en los procesos constructivos, y capacidad de coordinación con otras especialidades, para materializar el proyecto de impermeabilización.

En general, se recomienda preparar al menos tres alternativas y evaluarlas con argumentos pro y contra en coordinación con arquitectura y las otras especialidades interesadas.

Se espera que los capítulos 02 Parámetros y 03 Soluciones de esta publicación, faciliten la toma de decisiones y la evaluación.

5.6. DESARROLLO DE LOS DOCUMENTOS DEL PROYECTO DE IMPERMEABILIZACIÓN DE CUBIERTA

El proyecto de impermeabilización, se representa en un conjunto de documentos que son al menos:

- La planimetría.
- Las especificaciones técnicas.

Dependiendo de la situación de licitación y contrato, se pueden incluir además:

- Cubicación.
- Programación.

5.6.1. PLANIMETRÍA

El desarrollo del proyecto de impermeabilización de cubierta parte de la planimetría de arquitectura y especialidades.

En la fase de desarrollo, a su vez puede incidir en los otros proyectos y retroalimentarlos, entre otros en la arquitectura y la evacuación de aguas lluvias.

Como documentos del proyecto, se preparan generalmente dos tipos de planos, cada uno en escala adecuada:

- Planos generales de zonificación de los sistemas de impermeabilización.
- Detalles de soluciones y de singularidades.

Para el instalador, la planimetría complementa las especificaciones técnicas.

5.6.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Las especificaciones técnicas son documentos en los cuales se definen partidas o faenas a realizar, normas, productos, exigencias y procedimientos a ser empleados en los trabajos de construcción de obras.

Es el documento escrito que nos permite entender los requerimientos que se deben cumplir para materializar el proyecto, y en general prevalece respecto de los planos, cuando ambos exhiben diferencias.

De ahí su importancia, ya que aquello que no se expresa claramente en los planos, se puede mencionar y aclarar en las especificaciones técnicas, como también se pueden indicar los pasos y cuidados a seguir.

Por otro lado, se hace referencia a normas que deben cumplir los materiales y los ensayos a realizar. Mientras en Chile no se disponga de normas técnicas, se deberá recurrir a normas extranjeras que sean reconocidas internacionalmente, como por ejemplo las ASTM (ver cap. Parámetros).

Las especificaciones técnicas abordan varias instancias dentro de cada partida a realizar:

1. Alcance y localización:

- Aquí se indica qué se va a impermeabilizar, y su respectiva ubicación de acuerdo a planos.

2. Unidades y medidas:

- Unidad de cuantificación de cada partida (ml, m², unidades, etc.).

3. Aspectos generales:

- Documentos necesarios en la obra.
- Aseguramiento de calidad.
- Entrega, almacenamiento y protección de materiales.
- Condiciones generales de la obra.
- Información de la garantía del producto.

4. Materiales:

- Materialidad, desempeño, atributos, formatos, etc.
- Materiales para tratamiento de juntas y materiales adicionales.

5. Ejecución:

- Descripción del proceso constructivo, con especial énfasis en:

6. Preparación de superficies, detallando también los agentes de limpieza:

Véase también 2.7 Sustratos de hormigón.

- Rugosidad.
- Condiciones especiales que se deben cumplir para la aplicación de productos.
- Referencia a recomendaciones de instalación entregadas por el proveedor.
- Grado de especialidad de la mano de obra indicada para realizar el trabajo específico.
- Instalación del sistema, incluyendo los detalles de los puntos críticos.

4 www.chilegbc.cl.

5 Certificación Edificio Sustentable, www.certificacionsustentable.cl

- Características de la impermeabilización terminada.
- Requerimientos de calidad durante la ejecución.
- Limpieza final de obra.
- Control de calidad.

7. Recepción:

En esta sección se indica el control e inspección que se debe tener, para ir recepcionando cada etapa y dar paso a la siguiente partida. Aquí se indican las pruebas de estanqueidad a realizar para verificar la correcta ejecución de la faena, buena instalación de productos y que no se presenten problemas. Por ejemplo, que se deben reparar obras defectuosas, antes de continuar con otras etapas de la misma obra.

Se recomienda vivamente que se establezca desde el inicio las condiciones a considerar para la recepción de los trabajos por parte del mandante, o inspección técnica.

8. Indicaciones de mantenimiento (Ver capítulo Mantenimiento):

Finalmente, constituyen malas prácticas, el copiado de especificaciones técnicas de otros proyectos, las cuales muchas veces consideran productos discontinuados y tecnologías y sistemas no apropiados al caso, así como la especificación a modo genérico, sin considerar los factores específicos del proyecto en cuestión.

5.6.3. CUBICACIÓN

En la cubicación de las partidas de la impermeabilización se recomienda:

- Considerar al menos 5% de pérdida de materiales, las cuales podrán variar en función de la geometría del techo, del equipo de aplicación y de la experiencia del personal aplicador.
- Indicar que los rendimientos indicados en ficha técnicas son teóricos y en condiciones favorables.

5.6.4. PROGRAMACIÓN

En un edificio, la programación de las impermeabilizaciones depende del estado de avance de las obras ya que los trabajos se incorporan en distintas instancias. Por lo tanto, se prepara el plan de trabajo en coordinación con las otras especialidades, considerando los siguientes datos:

- **Etapas de obra:**
 - (Eventual) Pre-instalación de elementos.

- Etapas de la instalación de la impermeabilización.
- (Eventuales) Terminaciones.
- Condiciones previas para la instalación de la impermeabilización.
- Condiciones climáticas.
- Calidad de superficie o sustrato.
- Accesibilidad (cancha despejada).

• Plazos:

- (Eventuales) Tiempos de curado de materiales, tiempo sin lluvia requerido.
- Tiempos para pruebas y recepción.

Una buena coordinación previa puede prevenir interferencias con otras especialidades que obligarían a cambiar la solución o sistema de impermeabilización a utilizar, que frecuentemente comprometen la calidad de la impermeabilización o detalles de ella.

5.7. ASISTENCIA EN LA EJECUCIÓN

Es recomendable que el proyectista de la impermeabilización sea parte integrante del proceso constructivo, para poder resolver interferencias, detalles constructivos no previstos o modificaciones y para adoptar secuencias constructivas diferentes si se requiere.

La supervisión de las obras de impermeabilización será tratada en el capítulo Instalación.



Ilustración 103. Impermeabilización de una cubierta en una planta industrial

6. La instalación en obra de la impermeabilización de la cubierta

6.1. PREPARACIÓN DE LA INSTALACIÓN DE LA IMPERMEABILIZACIÓN DE LA CUBIERTA

Para lograr un buen resultado es importante comprobar y cumplir con algunos requisitos básicos previo a la aplicación de sistemas de impermeabilización.

Se debe tener en cuenta todos los factores correspondientes a los productos, normativas, criterios de instalación, control de calidad, condiciones, mantención, conservación, formas de instalación, entre otros.

6.1.1. RECONOCIMIENTO DEL SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN A INSTALAR

Para la correcta y total instalación de cada uno de los sistemas de impermeabilización, primero se debe definir el sistema a utilizar, ya que cada sistema tiene sus propios requerimientos.

La instalación de los sistemas de impermeabilización depende del proyecto y selección de productos a utilizar. Dentro de los principales grupos a utilizar existen:

Estos grupos también están diferenciados según el grado de tecnicismo de la instalación.

- La instalación simple puede ser ejecutado por cualquier persona.
- La ejecución de nivel medio requiere una capacitación previa.
- La instalación de especialidad requiere equipamiento especializado y/o precauciones de seguridad altas.

Véase también Capítulo 3.5. Comparación de los sistemas de impermeabilización.



Ilustración 104. Categorías de sistemas de impermeabilización según tipo de fijación

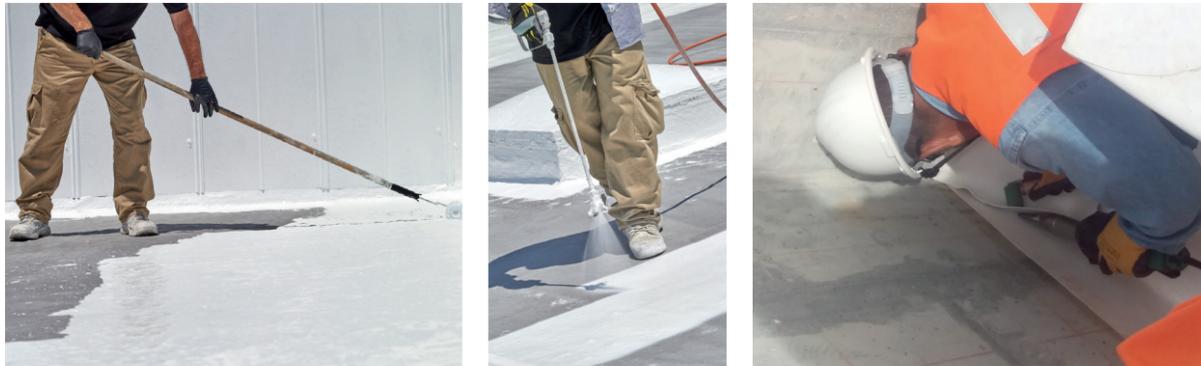


Ilustración 105. Instalación simple (izq.), media (medio) y de especialidad (der.)

6.1.2. TRANSPORTE Y ALMACENAJE DE MATERIALES

El transporte y almacenaje es un punto importante dentro de la instalación en obra, ya que el mal cuidado de los productos puede provocar grandes daños en ellos y posterior perjuicio en el resultado final.

- Documentación requerida*
- En obra se debe disponer de la siguiente documentación que forma parte importante del proyecto de impermeabilización que se ha desarrollado:
- Documentos del proyecto de impermeabilización: Planos y Especificaciones Técnicas.
 - Ficha Técnica y Manual de Aplicación, para todos los productos usados en el proyecto.
 - Hoja de Datos de Seguridad (HDS, según NCh 2245:2015) o bien Safety Data Sheet (SDS, según ISO 11014:2009), para todos los productos usados en el proyecto.
 - Programación de obra, carta Gantt.
- Control de calidad*
- Se debe programar las instancias de control de calidad necesarias para la garantía del sistema de impermeabilización seleccionado e instalado:
- Inspección previa al trabajo.
 - Prueba requeridas según impermeabilización.
 - Inspección final de control de calidad.
- Los productos deben ser entregados en los contenedores originales sellados de fábrica. Todos los contenedores de producto deben estar etiquetados con el nombre del fabricante y su dirección, nombre del producto y descripción, fecha de caducidad del producto y número de lote.
 - Los materiales deben ser manipulados y almacenados de acuerdo con las fichas técnicas.
 - Los materiales que llegan a obra en tarros deben quedar apilados según las indicaciones del fabricante, lo que depende del peso de la unidad y lo que soportan por pila en pallet, y no pueden apilarse pallet.
 - Los rollos de materiales, en membranas y/o láminas deben quedar en forma:
 - Vertical en el caso de membranas asfálticas, láminas drenantes, lo que entra en un pallet y no pueden apilarse pallet sin existir una estructura soportante entre pallet.
 - Horizontal en el caso de membranas de PVC, de Bentonita, de TPE/HDPE, y con la cantidad indicada por el fabricante por pallet.

- Sobre los productos de impermeabilización no se deben almacenar o cargar otros productos distintos.
- Los productos deben ser protegidos de los cambios climáticos, según sean las indicaciones, en su mayoría es recomendable almacenar los materiales impermeabilizantes bajo techo, para que no se humedezcan con el rocío y/o las lluvias, o bien no sufran degradación.
- Materiales altos en solventes deben ser almacenados en lugares especiales según las normativa vigente, que son ventilados y, donde se controla sus niveles y no se les expone a contaminación ni incendios, entre otros requisitos.
- Las fichas de seguridad y las fichas técnicas de todos los materiales usados en este proyecto se mantendrán en la obra y serán revisadas por el personal competente antes de usarse.
- Lo más importante es la capacitación que debe tener el personal en la manipulación de los materiales, con respecto a las posiciones corporales, tomar y dejar los materiales, entre otros, para no dañar su cuerpo.

6.1.3. PREVENCIÓN DE RIESGOS

Para trabajar en las cubiertas de las edificaciones, es fundamental tomar medidas de control y riesgos, tales como:

- Se deben respetar las exigencias y normas de seguridad de cada HDS de cada producto a ingresar a obra.
- **Respecto el personal de obra:**
 - Se deben realizar las charlas correspondientes según las normativas.
 - El personal debe recibir capacitación e instrucción para la manipulación manual de los materiales encima de cubiertas, cuidando la salud física.
 - Cada trabajador debe cumplir sus funciones con arnés de seguridad y cuerda de vida.
 - Cada trabajador debe tener sus EPP de acuerdo al tipo de trabajo a realizar (calzado de seguridad antideslizante, casco de seguridad, antiparras, guantes de cuero para corte o cargas, guantes de viton o caucho para diluyentes, rodilleras, respirador, y cuando sea necesario overol o polainas, o faja de protección lumbar).
 - Los trabajadores hombres no pueden manipular carga mayor a 25 kg, trabajadores mujeres no pueden manipular carga mayor a 20 kg. (Ley 20.001 de 1 de sept. 2016).
 - Según zona climática, se debe disponer de bloqueador solar durante los 365 días del año para los trabajadores.



Ilustración 106. Elementos de protección personal básicos para trabajos en techumbre

- **Respecto la preparación de la obra:**
 - Disponer de andamios, y/o barandas.
 - Disponer de extintores durante el periodo de ejecución de la impermeabilización, sea cual sea el sistema a utilizar, más aún si este es en base a sistemas asfálticos.
 - Las redes eléctricas deben ser desenergizadas por personal capacitado o por el proveedor respectivo, considerando los respectivos diferenciales por sector.
 - Todos los huecos interiores deben ser tapados para evitar accidentes.
 - Se debe señalar y limitar los perímetros exteriores de las cubiertas en las alturas inferiores, cuando se realicen los trabajos cercanos a los bordes de ella.
- **Respecto la manipulación de productos:**
 - Almacenar productos volátiles en lugares ventilados.
 - Si se utilizan productos inflamables, en el acceso de la cubierta se debe colocar un letrero de advertencia "Peligro Material Inflamable".
- **Respecto el desarrollo de los trabajos de instalación:**
 - Se debe mantener el orden y limpieza de herramientas.
 - Los materiales deben ser repartidos en forma homogénea sobre la cubierta.
 - No acopiar materiales que puedan deslizarse por la pendiente.
 - Se recomienda establecer caminos de circulación sobre zonas en procesos de fraguado, zonas sobre aislamiento térmico, poliestireno u otros materiales que se puedan comprimir con el tránsito.
 - Los trabajos serán suspendidos ante cualquier eventualidad climatológica que impida realizar el avance normal, vientos, lluvia, nieve, heladas, hasta restablecer las condiciones adecuadas para continuar con la instalación del producto.



Ilustración 107. Trabajador con Equipamiento de Protección Personal adecuado.

Fuente: National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH); [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roofing_fall_arrest_system_\(9253634235\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roofing_fall_arrest_system_(9253634235).jpg)

6.1.4. ORDEN Y LIMPIEZA

La mantención de adecuadas condiciones de orden y el aseo, crean un ambiente seguro y favorable para el trabajo productivo, además previene accidentes y genera las condiciones necesarias para un buen resultado.

- Mantenga todas las áreas de trabajo, limpias, despejadas y libres de desechos en todo momento.
- No permita que se acumulen basura, desechos o desperdicios en el techo. Remuévalos del techo diariamente.
- Junte y almacene adecuadamente todas las herramientas y materiales no usados al final de cada día de trabajo.
- No almacene más material al que utilizará sobre la cubierta.
- Limpie adecuadamente la superficie de techo terminado después de acabar y asegúrese que los drenajes y canaletas no están obstruidos.
- Durante la instalación, proteja la impermeabilización de la circulación de personas o de otro abuso potencial.
- Posterior a la impermeabilización, limpie y restaure todas las superficies dañadas a su condición original.
- Disponga o recicle toda la basura y materiales sobrantes de acuerdo con las regulaciones ambientales de las leyes locales, para ser enviados a un vertedero autorizado.



Ilustración 108. Obras de impermeabilización en cubierta inclinada
Fuente: Fairchild Airforce Base; <http://www.fairchild.af.mil/News/Photos/igphoto/2001075898>

6.1.5. CONDICIONES CLIMÁTICAS

- Para el diseño e instalación de los sistemas de impermeabilización debe tenerse en cuenta la zona climática de la ubicación de la obra, la fuerza del viento y la altura del edificio como factores preponderantes.
- Los trabajos de impermeabilización no deberán realizarse cuando las condiciones atmosféricas puedan resultar nocivas para los mismos o para las personas. La temperatura en el momento de la aplicación del recubrimiento debe cumplir con lo indicado en la ficha técnica.

Cada producto a instalar tiene diferentes recomendaciones con rangos mínimos y máximos para su aplicación en obra, entre ellos encontramos sistemas que se pueden aplicar hasta con -20°C.

- Todo sistema de impermeabilización deberá ser defendido de los agentes exteriores durante las faenas de construcción, o la acción de la radiación solar.
- No debe instalarse ninguna solución si existe hielo o nieve sobre la cubierta.
- En zonas de altos niveles de vientos, debiesen considerarse cálculos de succión de vientos en sistemas de impermeabilización fijadas mecánicamente.

- Revise las condiciones de clima existentes e inminentes (incluyendo posibilidad de temperaturas extremas, humedad relativa, escarcha, punto de rocío y precipitación) para asegurar que el recubrimiento y los materiales adicionales dispondrán de suficiente tiempo para su correcta aplicación.

6.1.6. HERRAMIENTAS NECESARIAS

Para los diversos sistemas de impermeabilización se requieren determinadas herramientas, según solución de impermeabilización:

- Soplete de aire caliente con boquilla estrecha y boquilla angular.
- Soplete con fuego.
- Pistola de fijación de clavos de alto impacto.
- Taladro y sus derivados.
- Rodillo de presión.
- Brocha de pelos corto.
- Rastra de goma.
- Llana dentada.
- Pulverizador.
- Balón de gas.
- Aguja curvada.
- Carretilla.
- Tijeras, cuchillos especiales, cinta métrica, entre otros.



Ilustración 109. Máquina de termosoldado.
Fuente: Radomil talk; https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/66/Roof_working1_RB.JPG

6.1.7. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A IMPERMEABILIZAR

6.1.7.1. Trabajos previos

Para comenzar los trabajos de impermeabilización es necesario tener en cuenta:

- Se deben suspender todos los trabajos que requieren tránsito por la zona a impermeabilizar.
- Se deben proteger las áreas de trabajo de caídas de materiales de otras zonas de trabajo.
- Todos los motores de combustión interna deben ajustarse o apagarse para prevenir que entren humos u olores a las instalaciones.
- Cubra, o proteja todas las superficies que no serán preparadas, y en las cuales tampoco se aplicará el recubrimiento de Impermeabilización, para prevenir daños. Use pantallas contra viento si fuera necesario.

6.1.7.2. Requisitos

Previo a la instalación de la impermeabilización se deben considerar que la superficie cumpla con los requerimientos mínimos para la instalación de los sistemas, según corresponda, para lo que se recomienda establecer protocolos de recepción de superficies basados en los siguientes puntos:

Todas las superficies

- Dependiendo la superficie a impermeabilizar son los requerimientos de apoyo que estas requieren y deben exigir, depende de esto es la decisión final de la solución a utilizar.
- Las superficies deben ser firmes estructuralmente y seguras.
- Las superficies deben estar limpias, secas, libres de polvo y grasa, sin material granular suelto.
- Las superficies deben cumplir con las tolerancias de pendiente, planeidad y rugosidad, definidas en las EE.TT. o bien en las instrucciones del fabricante, lo que debe estar comprobado en obra.
- El sustrato que exhibe debilitamiento debe ser reemplazado.
- Es importante considerar las temperaturas de aplicación de cada producto, que No son lo mismo que las temperaturas de trabajo del producto.
- Cuando exista interferencias en las diversas etapas de la instalación que impidan mantener una secuencia de tiempo, deberá protegerse el sistema de todos los agentes externos que puedan dañarlo.

- Los materiales de techo existentes deben estar bien anclados para cumplir con los requerimientos de succión de viento y otras cargas relevantes

Singularidades

- Todos los tragaluces, ductos de aire, otros elementos salientes y otros accesorios del techo deben ser colocados antes de la preparación de la superficie, y de la instalación de la impermeabilización, estos deben cumplir con los requerimientos mínimos establecidos en puntos singulares de cada proyecto.
- Los elementos verticales deben ser previamente tratados de la misma forma que las superficies horizontales, la importancia del estado de sus superficies es igual de relevante, para así permitir una correcta instalación, hasta las alturas indicadas según corresponda.
- No deben existir grietas o fisuras en las superficies a impermeabilizar, o deben ser tratadas dentro del proyecto de impermeabilización, según las indicaciones.
- Selle las juntas y uniones con malla de refuerzo.
- Apriete o reemplace todos los elementos de fijación conforme sea necesario.
- Selle todos los clavos, tornillos y elementos de fijación con sellador adecuado.
- Asegure que se use suficiente sellador para cubrir (encapsular) completamente cada sujetador, grapa sin que haya vacíos, hoyos o agujeros en el sellador.

Sustratos de hormigón

- Las superficies serán tratadas con fregado, hidrolavado, ácido, pulido, chorro de arena entre otros elementos, para cumplir con las exigencias de rugosidad determinadas para el sistema a instalar.
- En superficies de hormigón y mortero se pueden instalar todo tipo de productos de impermeabilización y la superficie debe estar 100% fraguada (28 días).
- La humedad máxima aceptada en un sustrato de hormigón no puede superar el 4%.
- Remueva el material suelto de las superficies por raspado, cepillado o con chorro de arena.
- Limpiar las superficies con chorro de agua en presión, o método adicional, indicado en la ficha técnica.
- Enjuague el techo completo con agua a presión.

Véase también capítulo 2.7 Sustratos de hormigón.

Otros sustratos

- Puede admitirse como soporte directo de la impermeabilización únicamente en soluciones no adheridas, siempre que su resistencia a compresión sea igual o superior a 0,2 MPa (2 kg/cm²) y se garantice la compatibilidad con la membrana impermeabilizante. En caso contrario, deberá cubrirse con una capa de mortero de espesor mínimo 15 mm y dosificación mínima de 250 kg/m³. No se recomienda como soporte para fijación mecánica, debiendo garantizarse en tal caso la resistencia al arrancamiento del conjunto formado por el soporte y la fijación.
- Cuando el soporte base sea de paneles aislantes, estos deben colocarse a tope generando distancias no mayores a 0,5 mm entre ellos.
- Cuando el soporte base sea arcilla expandida, de hormigón celular o mortero de áridos ligeros, y sea necesario alisar su superficie con mortero de cemento, la capa de mortero deberá tener un espesor que este comprendido entre 1,5 y 2,0 cm cuya dosificación sea, al menos, 250 kg/m³.



Ilustración 110. Sustratos deben ser secos, limpios, libres de polvo y de grasa.

6.1.7.3. Tratamiento de fisuras en hormigón

Se debe considerar que el agrietamiento más relevante del hormigón ocurre durante el primer año; en efecto:

- **Contracción plástica:** Ocurre en las primeras seis horas, y se caracteriza por generar anchos de fisuras de 0,2 a 0,4 mm y una profundidad <30 mm.
- **Contracción térmica:** Se produce en los primeros seis días.
- **Retracción hidráulica:** Se produce en el primer año. El ancho de grieta es delgado pero puede alcanzar toda la profundidad de la losa.
- **Fluencia lenta:** 80% ocurre en el primer año.

Después de esos períodos (pasado un año aproximadamente), el techo de hormigón no debería seguir agrietándose significativamente. Los eventos sísmicos futuros podrían ser importantes en puntos críticos del techo de hormigón, como: marcos de las puertas, pisos de doble altura, etc.

En conclusión, si se repara un techo de hormigón existente (más de un año aprox.) no se debe esperar la aparición de nuevas grietas significativas; a menos que ocurran eventos de fuerza mayor como terremotos.

Para losas de hormigón nuevas se recomienda trabajar en estrecha colaboración con el ingeniero estructural y la empresa de construcción para evaluar el tratamiento de las grietas. Este difiere de caso a caso, y según sus dimensiones anchuras y profundidad es el tipo de daño que causan y la forma en la que se deben tratar, pasando de soluciones epóxicas, poliuretanos, hasta mezclas de cementos.

En la actualidad se debe coordinar entre el instalador y la constructora el responsable de la reparación de las grietas para recibir la posterior impermeabilización.

Cuando las losas de hormigón son muy nuevas se debe inducir las grietas para poder realizar las reparaciones y no tener problemas futuros.



Ilustración 111. Sustratos con grietas y fisuras requieren un adecuado tratamiento previo.

6.1.7.4. Recepción de la superficie a la impermeabilizar

Se recomienda formalizar la recepción de la superficie a impermeabilizar mediante un protocolo firmado por las partes involucradas.

Véase capítulo 6.8 Protocolos en las obras de impermeabilización.

6.2. INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS ASFÁLTICOS

6.2.1. SISTEMAS ASFÁLTICOS ADHERIDOS

Aplicación del recubrimiento

- Se trata de soluciones en las que las láminas se adhieren completamente al soporte, para lo que debe imprimirse previamente el soporte con materiales en base asfalto.
- Los materiales de imprimación deben aplicarse mediante brocha, cepillo o pulverizador. La aplicación debe realizarse en todas las zonas en las que la impermeabilización deba adherirse, la superficie de la cubierta y los puntos singulares como encuentros verticales, juntas de dilatación, sumideros, etc.



Ilustración 112. Instalación de membrana asfáltica

- Con excepción de las superficies metálicas, generalmente se recomienda imprimir con 250 - 350 gr/m², sobre las superficies, tanto en horizontal y vertical. Se debe dejar secar la imprimación según las recomendaciones de cada proveedor, este consumo dependerá de la composición de los productos, y la calidad del sustrato donde se aplique (inclusive podría llegar a ser menor al indicado).
- En caso de lluvias posterior a la imprimación, estando esta sin curar, se debe realizar una inspección y de ser necesario aplicar otra mano de imprimante.
- Si el proyecto contempla un sistema monocapa, previa a la aplicación de la capa de membrana asfáltica se debe instalar todas las bandas de refuerzos en puntos singulares, estas deben tener un ancho de al menos 30 cm, según detalle, y se consideran en todos los puntos donde se encuentren diferentes materiales, elementos horizontales con verticales, pasadas y/o fijaciones, entre otros.
- Para la primera capa de membrana, se procede a instalar desde la parte más baja de la pendiente, en forma perpendicular a la pendiente, realizando los traslapes entre membranas según las recomendaciones del producto, lo mínimo es 10-12 cm longitudinal y 8-10 cm transversal en el desarrollo de la membrana.
- La instalación debe realizarse en forma de domino, de manera que no existan encuentros de cuatro membranas en un mismo punto.
- Si la pendiente es mayor a un 10% se puede instalar la lámina en el otro sentido.
- Sobre toda la superficie de la primera capa de impermeabilización, se procede a desenrollar en forma perpendicular a la segunda capa, cada membrana y alinear

traslapando el costado sobre la membrana adyacente. En seguida enrollar hacia arriba desde ambos extremos, y comenzar con el proceso del pegado mediante termofusión. Verifique el encuadre a fin de asegurar un traslapo de ancho constante.

- Cuando la temperatura sea baja, no se desenrollaran los rollos de mala manera ni bruscamente para no dañar la membrana.
- Las membranas impermeabilizantes modificadas con polímeros se instalan aplicando calor, sin requerir materiales como solventes, adhesivos, etc. Se usa una antorcha o soplete a gas propano para calentar y tornar así adhesiva la membrana. A medida que el material es calentado, el polietileno se contrae, la parte externa ennegrece hasta adoptar un aspecto brillante, el estampado (ej. logo del fabricante) se recomienda calentar hasta desaparecer. Finalmente la superficie se aprecia más brillante y la membrana queda lista para ser pegada a la superficie de apoyo y a los traslapes.
- Se debe calentar la película de polietileno correctamente y su desaparición indica que la retracción ha alcanzado el punto correcto. El calentamiento de la llama provoca la contracción del polietileno y el aplanamiento del relieve estampado (si existe).
- Las membranas deben quedar 100% adheridas entre sí. No se justificará una aplicación menos cuidadosa por el sólo hecho de poseer el recubrimiento de varias capas. Si las capas no están bien unidas entre sí, el agua se abrirá paso desde la capa externa, hasta encontrar una zona débil en el punto de unión de las capas de más abajo dando origen a una gotera.

Características del recubrimiento terminado

- El sistema de impermeabilización puede quedar según proyecto con terminación expuesta y resistencia UV, bajo terminación según Arquitectura u otro, independientemente debe cumplir con los requisitos básicos de las cubiertas, elongación, tracción, resistencia al punzamiento, entre otros.
- El espesor de terminación del sistema de impermeabilización, deberá ser el indicado por el fabricante para lograr la duración del mismo, y la protección del techo, durante los años solicitados por el cliente.

6.2.2. SISTEMAS ASFÁLTICOS FIJADOS MECÁNICAMENTE

Aplicación del recubrimiento

- La lámina se colocará en el sentido perpendicular a la línea de máxima pendiente de la cubierta.
- El anclaje al soporte estructural debe realizarse mediante fijación mecánica, pudiendo fijarse a la estructura, a las capas inferiores, aislación, etc.
- La unión entre láminas se realizará mediante soldadura en caliente, con equipo especial.
- Los traslapes serán como mínimo de 12 cm para cubrir la fijación mecánica, y la soldadura de la lámina inferior con la superior será al menos de 10 cm.
- Los rollos se disponen sueltos sobre el sustrato de la impermeabilización empezando por el punto más bajo de la cubierta y perpendiculares a la línea de máxima pendiente de la cubierta, formando una hilera de lámina.
- Se fija mecánicamente en la zona del traslapo longitudinal que posteriormente va a ir tapada con la siguiente hilera de lámina, la distancia del borde de la arandela de la fijación al borde de la lámina será mayor a 1 cm.
- Se dispone el rollo de la siguiente hilera, soldando el traslapo en donde se encuentran situadas las fijaciones. La colocación de las láminas deberá hacerse de tal forma que ningún traslapo transversal de cada hilera resulte alineado con ninguno de los de las hileras contiguas.
- Se fija mecánicamente el rollo de la siguiente hilera en el otro borde, con las mismas premisas antes descritas. Ninguna línea de anclaje debe estar situada a más de dos metros de sus contiguas.
- En la fijación mecánica, junto con la membrana impermeabilizante se fija, individualmente o simultáneamente, las capas inferiores, tales como la barrera de vapor, el aislamiento térmico, etc.

- Las fijaciones de las láminas en el perímetro de la cubierta deben alinearse paralelamente al mismo.
- Se deben utilizar fijaciones resistentes a la corrosión o protegidas. Deben tener cantos y aristas redondeados sin rebarras.
- Se recomiendan plaquetas de área 700 mm² como mínimo, con dimensiones aproximadas de 40x40 mm, o 50mm de diámetro u 80x40 mm.
- El número y densidad de fijaciones por m² se debe calcular según las características del proyecto. No obstante ninguna fijación debe estar separada a más de un metro de la otra.
- No deberán unirse más de tres láminas en un mismo punto.
- En las uniones en T se achaflanará la lámina inferior para evitar que se produzcan filtraciones capilares o se repasará con el soldador de aire caliente.

Características del recubrimiento terminado

- El sistema de impermeabilización puede quedar según proyecto con terminación expuesta y resistencia UV, bajo terminación según arquitectura u otro, independientemente debe cumplir con los requisitos básicos de las cubiertas, elongación, tracción, resistencia al punzamiento, entre otros.
- El espesor de terminación del sistema de impermeabilización, deberá ser el indicado por el fabricante para lograr la duración del mismo, y la protección del techo, durante los años solicitados por el cliente.

6.2.3. SISTEMAS ASFÁLTICOS LÍQUIDOS

Aplicación del recubrimiento

- Se aplica mediante brocha, rodillo o pulverizador. En este último caso, puede adelgazarse hasta con un 20% de aguarrás mineral, lo que aumenta el rendimiento del producto.
- Dejar secar tres horas antes de aplicar otra mano (dependiendo de las condiciones climáticas)
- Posteriormente puede aplicarse el producto nuevamente como se indica, sobre la primera capa seca, colocando una o más capas, según especificaciones. En general deberán hacerse dos aplicaciones cruzadas, utilizando Tela D u otro refuerzo para lograr una mayor resistencia.
- Limpiar las herramientas utilizadas con aguarrás mineral o bencina blanca.

Características del recubrimiento terminado

- El recubrimiento ya curado para techos debe ser monolítico y sin costuras, y debe cubrir por completo la superficie existente. El recubrimiento debe estar libre de agujeros, vacíos, hoyos y grietas. Se debe aplicar recubrimiento adicional conforme sea necesario para corregir defectos.
- El espesor mínimo del recubrimiento curado deberá ser el indicado por el fabricante para lograr la duración del mismo, y la protección del techo, durante los años solicitados por el cliente.

Características del recubrimiento terminado

- El recubrimiento ya curado para techos debe ser monolítico y sin costuras, y debe cubrir por completo la superficie existente. El recubrimiento debe estar libre de agujeros, vacíos, hoyos y grietas. Se debe aplicar recubrimiento adicional conforme sea necesario para corregir defectos.
- El espesor mínimo del recubrimiento deberá ser el indicado por el fabricante para lograr la duración del mismo, y la protección del techo, durante los años solicitados por el cliente.



Ilustración 113. Rodillo de presión de techador

6.3. INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS POLIMÉRICOS

6.3.1. SISTEMAS POLIMÉRICOS PREFORMADOS ADHERIDOS

Aplicación del recubrimiento

- Este método es utilizado principalmente sobre techos sólidos de hormigón o sobre aislamientos térmicos, cuando se desea que la membrana este totalmente pegada a la superficie.
- Se aplica un adhesivo especial tanto en la superficie como en la membrana, cubriendo su totalidad 100 % adherido
- El adhesivo utilizado debe ser compatible con la lámina a instalar y resistente a la tracción según los requerimientos de proyecto.
- Se deja secar el adhesivo, luego se coloca la membrana sobre la superficie y se hace presión a la membrana para que se adhiera totalmente. Se utiliza rodillo de presión de goma para eliminar "arrugas de la membrana".
- Al final se sueldan los traslapes y se ejecutan todos los detalles en el techo como singularidades preformadas como flashings perimetrales, drenajes, tubos salientes, etc.
- Si la lámina quedara bajo una terminación según arquitectura, pavimento, paisajismo, deck, u otros, se recomienda la instalación de un geotextil de separación y/o protección sobre la impermeabilización.
- Las láminas de fusionan en los traslapes mínimo 10 cm en la junta longitudinal y 8 mínimo en la transversal.
- Los traslapes de las láminas en su mayoría son sin refuerzo en la banda de traslapo para generar una mejor adherencia entre láminas.

6.3.2. SISTEMAS POLIMÉRICOS PREFORMADOS FIJADOS MECÁNICAMENTE

Aplicación del recubrimiento

- Se extenderán las fijaciones mecánicas en una relación mínima de 30 cm de distancia a eje entre sí, en el desarrollo longitudinal de la membrana.
- Se realizarán los traslapes sobre las fijaciones mecánicas termofusionadas, con el fin de dejar cubiertas las fijaciones en la extensión del paño de impermeabilización. Los traslapes serán como mínimo de 10 cm para cubrir la fijación mecánica y la soldadura de la lámina inferior con la superior será al menos de 8 cm. Inmediatamente después de la unión con soldadura se presionará la unión con un rodillo, garantizando así una unión homogénea.
- Se realizarán los retornos con los traslapes en horizontal montando la membrana fijada mecánicamente.
- Se reforzará el sistema por medio de una fijación perimetral con un perfil metálico, anclado a muro y fijando la membrana en todo el perímetro.
- La barra de fijación deberá ser resellado en su parte superior con el fin de dejar un cordón impermeable por todo el perímetro.

- Se realizarán todos los detalles y singularidades con elementos preformados, con el fin de abordar todas las salidas y apoyos sobre cubierta.
- Para verificar las uniones se hará un control físico utilizando una aguja metálica roma con radio entre 1 y 3 mm, pasándola a lo largo del canto de la unión.
- Los rollos se disponen sueltos sobre el sustrato de la impermeabilización empezando por el punto más bajo de la cubierta y perpendiculares a la línea de máxima pendiente de la cubierta, formando una hilera de lámina.
- Durante la instalación la cara serigrafiada debe permanecer a la intemperie.
- Se fija mecánicamente en la zona del solape longitudinal que posteriormente va a ir tapada con la siguiente hilera de lámina, la distancia del borde de la arandela de la fijación al borde de la lámina será mayor a 1 cm.
- Se dispone el rollo de la siguiente hilera, soldando el solape en donde se encuentran situadas las fijaciones. La colocación de las láminas deberá hacerse de tal forma que ningún solapo transversal de cada hilera resulte alineado con ninguno de los de las hileras contiguas.
- Se fija mecánicamente el rollo de la siguiente hilera en el otro borde, con las mismas premisas antes descritas. Ninguna línea de anclaje debe estar situada a más de dos metros de sus contiguas.
- En la fijación mecánica, junto con la membrana impermeabilizante se fija, individualmente o simultáneamente, las capas inferiores, tales como la barrera de vapor, el aislamiento térmico, etc.
- Las fijaciones de las láminas en el perímetro de la cubierta deben alinearse paralelamente al mismo.
- No deberán unirse más de tres láminas en un sólo punto (se utilizará un refuerzo superior en este punto).
- En las uniones en T se achaflanará la lámina inferior para evitar que se produzcan filtraciones capilares o se repasará con el soldador de aire caliente.

Características del recubrimiento terminado

- El recubrimiento ya curado para techos debe ser monolítico y sin costuras, y debe cubrir por completo la superficie existente. El recubrimiento debe estar libre de agujeros, vacíos, hoyos y grietas. Se debe aplicar recubrimiento adicional conforme sea necesario para corregir defectos.
- El espesor mínimo del recubrimiento curado deberá ser el indicado por el fabricante para lograr la duración del mismo, y la protección del techo, durante los años solicitados por el cliente.



Ilustración 114. Rollo de membrana EPDM.
Fuente: KVDP; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EPDM_foil.jpg

6.3.3. SISTEMAS POLIMÉRICOS LÍQUIDOS

Aplicación del recubrimiento

- El recubrimiento para techo debe aplicarse de manera uniforme en una o más capas con un rendimiento según indicado en su ficha técnica. El rendimiento teórico de aplicación del recubrimiento se basa en los requisitos mínimos de espesor de la película húmeda y debe incrementarse para las condiciones específicas del sitio tales como, textura de la superficie, pérdida por salpicadura, tipo de contenedor y otros residuos, relacionados a la técnica de aplicación y condiciones ambientales.

6.4. INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS EN BASE DE MINERALES

- El espesor de película seca final (DFT) requerido es lo que provee la protección final al techo.
- El recubrimiento se aplicará con el equipo indicado, ya sea: rociado, rodillo, brocha o rastrillos especiales.
- El recubrimiento de techo deberá completar su proceso de curado para poder ser entregado a los usuarios.

Características del recubrimiento terminado

- El recubrimiento ya curado para techos debe ser monolítico y sin costuras, y debe cubrir por completo la superficie existente. El recubrimiento debe estar libre de agujeros, vacíos, hoyos y grietas. Se debe aplicar recubrimiento adicional conforme sea necesario para corregir defectos.
- El espesor mínimo del recubrimiento curado deberá ser el indicado por el fabricante para lograr la duración del mismo, y la protección del techo, durante los años solicitados por el cliente.

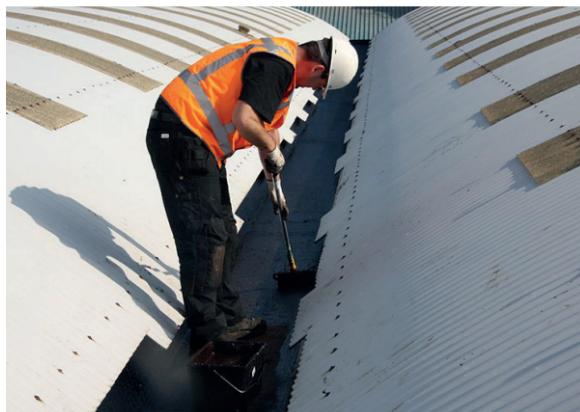


Ilustración 115. Instalación de "caucho líquido" en un canalón.
Fuente: Liquid Rubber Europe; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Liquid_Rubber_Europe_Coatings.JPG

6.4.1. SISTEMAS EN BASE DE MINERALES LÍQUIDOS

Aplicación del recubrimiento

- Antes de aplicar el producto se debe realizar una correcta limpieza de la superficie, según requerimientos descritos, libre de polvo, pinturas, grasas, excesos de coladas.
- Las coladas deberán ser constantes, continuas y homogéneas, bien vibradas con el objeto de evitar fisuras o grietas por retracciones. La constructora debe entregar las superficies sin grietas, fisuras, en perfectas condiciones para la aplicación de la impermeabilización.
- Debe dejarse la superficie a revestir con el mínimo de irregularidades, evitando con ello un consumo excesivo. Previo a la aplicación deberá humedecerse la base, teniendo cuidado de no dejar agua libre en la superficie (saturada superficialmente seca).
- La mayoría de los productos líquidos cementicios son bi-componentes y antes de la aplicación, los componentes A, B y C (A=2 B=1 C=0,3 color blanco; A=2 B=1 C=0,5 color gris) deben mezclarse homogéneamente y de preferencia en forma mecánica hasta obtener una masa homogénea y regular, de color uniforme en toda la masa.
- La aplicación del impermeabilizante se realizará con brocha. Considerando dos capas como mínimo, con un rendimiento de 2,0 kg/m², dependiendo netamente del requerimiento del proyecto y de la zona a impermeabilizar.
- Para dar resistencia a las altas presiones, no se debe aplicar en espesores superiores a 2 mm en una sola capa.
- Entre capas se debe esperar de cuatro a seis horas para que la capa se endurezca. Siendo el tiempo disponible para la aplicación de 30 minutos a 20°C desde el momento de mezclado.
- Debe ser aplicado con temperaturas superiores a 8 °C, luego de terminado el proceso de aplicación y endurecido de la impermeabilización debe lavarse la superficie con suficiente agua para retirar cualquier partícula suelta.
- En su proceso de curado, debe ser protegido de las pérdidas bruscas de agua, mediante un riego continuo, iniciándolo inmediatamente después de endurecido. Luego de este proceso se puede aplicar la terminación de piso según arquitectura.

Características del recubrimiento terminado

- Los sistemas cementicios en masa no se aprecian a simple vista en el hormigón, por ser microcristales.

- Los cementicios aplicados superficialmente, poseen una apariencia muy semejante a hormigón, dependiendo el producto se puede dejar a la intemperie o no.
- Se deben cumplir con los espesores mínimos solicitados por los fabricantes.

6.4.2. SISTEMAS EN BASE DE MINERALES EN LA MASA

Aplicación

- El diseño de la mezcla depende de los requerimientos específicos y/o normas locales para sistemas de hormigón impermeable.
- Siempre es recomendable realizar pruebas de laboratorio para evaluar y confirmar el ajuste real de agua y el tipo de consistencia.
- Se agrega al momento de confeccionar el hormigón.
- Dependiendo de la operación, se agrega al agua de amasado para formar una lechada muy fina y se adiciona ésta al mezclador de hormigón.
- Puede agregarse al agregado fino y grueso. Los agregados y el cristizador deben ser bien mezclados por aproximadamente 120 segundos antes de agregar el cemento y el agua de amasado.
- Después de agregar todos los ingredientes en el mezclador, se recomienda considerar un tiempo de mezclado de por lo menos 60 segundos, que depende de las condiciones de mezclado y desempeño del mezclador.
- Para evitar exceso de agua en el hormigón, la cantidad final de ésta se debe adicionar una vez transcurridos 2/3 del tiempo de mezclado.
- La relación agua cemento y el control de consistencia son de responsabilidad del productor de hormigón. Se recomienda hacer pruebas de laboratorio para evaluar y confirmar la reducción real de agua.

Características del recubrimiento terminado

- Los sistemas cementicios en masa no se aprecian a simple vista en el hormigón, por ser microcristales.
- Los cementicios aplicados superficialmente, poseen una apariencia muy semejante a hormigón, dependiendo del producto se puede dejar a la intemperie o no.
- Se deben cumplir con los espesores mínimos solicitados por los fabricantes.

6.5. INSTALACIÓN DE CAPAS COMPLEMENTARIAS Y TERMINACIONES

Frecuentemente la impermeabilización de cubierta forma parte de una solución multicapa.

Las capas complementarias de la construcción del techo serán instalados por los contratistas correspondientes, que en ocasiones puede ser el mismo de la impermeabilización.

Capas separadoras y/o de protección

El rollo de geotextil se extiende sobre el soporte. A continuación se monta el segundo rollo dejando un solape mínimo de 20 cm.

Dependiendo de su aplicación final, se recomienda fijar la unión mediante cosido o grapado.

En las cubiertas vegetales, el vertido de los sustratos debe realizarse sin dañar el geotextil y sin afectar los traslapes.

Laminas drenantes

Para su aplicación horizontal en las losas se puede considerar instalar la membrana drenante sin fijaciones, sólo manteniendo las precauciones de sellar correctamente los traslapes mediante sello, según corresponda. Sus traslapes serán de 15 cm o cuatro estoperoles y sus respectivos sellos.

Esta lámina podrá instalarse con geotextil o sin geotextil. Con geotextil hacia el sustrato o hacia la losa, todo depende del proyecto y los requerimientos de él.

Membranas hidrófugas y fieltros

Realizar la instalación en forma horizontal tanto en muros como en techos, comenzando desde abajo hacia arriba, con la superficie con el logo del proveedor hacia afuera.

Desenrollar la tela o el fieltro respectivamente clavándola o engrapándola en el entablado o en las cerchas, según sea el caso.

Considere utilizar los traslapes indicados con línea punteada de 10 cm y para las uniones cabeza-cola de mínimo 15 cm.

Corte con una "X" de esquina a esquina en las aberturas de ventanas y puertas, luego estire cada "triángulo" formado hacia el interior y fíjelo.

Capas barrera de vapor

La barrera de vapor debe proteger la aislación térmica de la humedad difundida desde el interior del edificio y por lo tanto se instala debajo de la capa aislante.

La instalación debe ser completamente sellada, tanto en las uniones del material como en los encuentros con los diferentes elementos colindantes, de manera de impedir la difusión y la convección de humedad hacia el material aislante.

6.6. PRUEBAS EN OBRA

6.6.1. ADHESIÓN DE SISTEMAS LÍQUIDOS

La prueba de adhesión debe realizarse in situ con los polímeros de aplicación líquida.

Los proyectos de renovación de recubrimiento de techo podrían estar sujetos a inspecciones de trabajo, tanto en su etapa previa, como de avance y finales, tanto por el fabricante, así como sus inspectores designados, y quedar sujetos a requisitos de garantías y documentos de contrato.

En ese ámbito, cobra especial importancia la ejecución de la prueba de adhesión in situ. Dicha prueba permite asegurar que el recubrimiento desarrolla una adhesión adecuada al sustrato de techo, en las condiciones reales de obra.

Básicamente, dicha prueba consiste en:

1. Preparar las superficies de los sustratos de acuerdo a las instrucciones de la ficha técnica de producto. El sustrato debe estar limpio, seco, estructuralmente firme y libre de partículas sueltas, suciedad, polvo, óxido, aceite, escarcha, moho y otros contaminantes.
2. Realizar la prueba de adhesión y la calidad de la adhesión al sustrato. Para este ensayo de arrancamiento tipo "pull off" se puede aplicar la norma correspondiente, ASTM D4541 "Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers". Para recubrimientos de silicona se puede aplicar el procedimiento de la norma ASTM D6694.

Se sugiere dejar documentada la prueba con fotos y con un Reporte de ensayo de adhesión in situ.

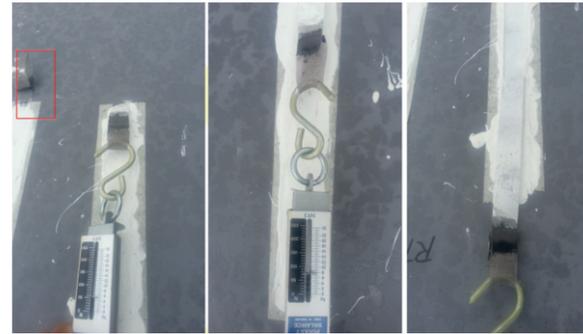


Ilustración 116. Realización de una "prueba de adhesión por pelado", para revestimientos específicos.

6.6.2. ADHESIÓN DE SISTEMAS PREFORMADOS

Las pruebas en obra de adhesión en sistemas preformados, son manuales y simples de realizar:

1. Considerar el tiempo de curado del imprimante o pegamento de la membrana.
2. Con el personal calificado seleccionar el punto más desfavorable para luego con los implementos de seguridad correspondientes tomar la membrana de un extremo y tratar de desprenderla con la mayor fuerza posible.
3. Según el desprendimiento y en qué condiciones queda la membrana se puede deducir si puede pasar o no la prueba.

Para esto no existen normas en obra, sólo en laboratorio. La norma DIN EN 12068 incluye una prueba de adherencia aplicable en algunos casos.

6.6.3. PRUEBA DE TERMOFUSIÓN Y COSTURAS EN MEMBRANAS PREFORMADAS

Pruebas de termofusión y costuras en membranas preformadas:

Para las pruebas de termofusión y revisión de costuras, se deberá aplicar un procedimiento dependiendo el material utilizado, por ejemplo:

1. Verificar las uniones. Se hará un control físico utilizando una aguja metálica roma (con punta redondeada con radio entre 1 mm a 3 mm) pasándolo a lo largo del canto de la unión.

2. Las membranas asfálticas no expuestas, pueden tener una línea negra de asfalto en los traslapes, la que se genera cuando se adhiere una sobre la otra, y se "revienta" el asfalto (proceso llamado en obra), esto genera la tranquilidad que la línea negra continua indica que no existen puntos sin adherir.

En cambio, las membranas asfálticas expuestas no deben mostrar estas líneas negras, lo que requiere una mano de obra extremadamente cuidadosa. Si llegase a sobresalir el asfalto se puede agregar gravilla de la terminación para tapar el punto negro.



Ilustración 117. Aguja roma de control de uniones

Para la realización de pruebas de termofusión, están disponibles algunas normas para evaluar la resistencia de la unión soldada dependiendo del material, tanto en corte como en adhesión. Estos ensayos se realizan con equipo de terreno y sirven para calibrar los equipos así como para el control de calidad, por ejemplo la norma ASTM D6392 para HDPE, EPDM y otras, así como ASTM D882 para PVC y membranas asfálticas con refuerzo.

6.7. PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD Y DE LOCALIZACIÓN DE FUGAS

6.7.1. DEFINICIÓN DEL MÉTODO

Para comprobar la estanqueidad de la impermeabilización de una cubierta y para localizar fugas de agua en ella está disponible una gran cantidad de métodos.

La decisión cuáles son las pruebas y/o mediciones que mejor cumplen con el requerimiento influyen varios factores, entre ellos:

- Objetivo y alcance del examen.
- Zona climática y geográfica, temporada actual.
- Diseño de la superficie, especialmente pendientes y sistema de evacuación de aguas lluvia.
- Accesibilidad y transitabilidad de la cubierta.
- Estructura, sustrato y cargas permitidas.

No existen normas generales respecto a la definición de la metodología a elegir, ni para comprobar la estanqueidad de la impermeabilización nueva, y tampoco para la detección de filtraciones en la cubierta existente.

La norma ASTM D6747-12 trata específicamente de la "Selección de técnicas para la detección eléctrica de fugas en geomembranas."

El método de la prueba de estanqueidad de la impermeabilización de cubierta nueva, se debe decidir en conjunto con los actores involucrados, en particular la constructora y la I.T.O.

Especialmente para realizar una prueba de agua se deben coordinar diferentes especialidades, para definir los procedimientos y alcances técnicos de la prueba y para coordinar tiempos, duración, alturas, evacuación y eventuales acciones ante una filtración o reparación inmediata.

Para la detección de fugas, por lo general la decisión la toma el profesional a cargo del diagnóstico, en coordinación con el mandante.

6.7.2. INSPECCIÓN VISUAL

Previo a cualquier prueba técnica se realiza una inspección visual. Esta consiste en el recorrido de la cubierta, de forma completa y sistemática.

Se revisa la superficie impermeabilizada visible, comprobando la integridad de la impermeabilización con especial consideración de los puntos singulares y uniones de membranas.

6.7.3. PRUEBAS DE AGUA

Pruebas de agua son ensayos prácticos que se realizan sobre la impermeabilización de cubierta, con el fin de determinar la estanqueidad de los revestimientos impermeables.

Existen las siguientes pruebas de agua de uso común:

- Prueba de agua con chorro.
- Prueba de agua por inundación parcial.
- Prueba de agua por inundación total.

Realizar una prueba de agua no programada, puede arrastrar problemas o comprometer otras especialidades, al no contemplar todos los detalles, como por ejemplo:

- Debilitar o dañar la estructura soportante.
- Retener y saturar estructuras en exposición de agua apurada.
- Deformación por sobrecarga en elementos estructurales aún en proceso de curado.
- Reventar ductos de desagües.
- Ensuciar fachadas, en caídas de agua.
- Costo económico por m³ de agua.

Lo expuesto anteriormente representa los daños colaterales que puede sufrir una obra de construcción, por definir una prueba de agua irreal o no aplicable a la realidad del proyecto.

Toda prueba de agua debe culminar en un protocolo de recepción, que es un documento válido técnicamente, para demostrar el estado de hermeticidad y estanqueidad de una cubierta al momento de ser entregada. A su vez es parte fundamental de las garantías entregadas por parte del instalador.

Estos elementos son documentos básicos para desarrollar los procesos de mantención de la cubierta, a partir de él se definirán los contratos de preventivos y de mantención de obra, para sostener y sustentar las garantías a través de los años.

A continuación se describen los procedimientos típicos de las pruebas de estanqueidad con agua.

Prueba de agua con chorro de agua

Es una prueba sencilla que aporta información inmediata de la posible entrada de agua a través de la cubierta. Consiste en verter agua directamente sobre los puntos críticos de la cubierta, o bien donde se sospecha de un ingreso de agua.

Habitualmente se deben comprobar los sumideros, los vierteaguas y el pavimento de la cubierta en las zonas donde se sospecha que puede haber problemas de filtraciones. El chorro de agua debe ser suave para no dañar la impermeabilización especialmente en sus puntos más críticos.

Cabe señalar que el rociado con manguera de agua a menudo no logra reproducir el impacto de la lluvia y por lo tanto no permite detectar todas las posibles vías de penetración de agua.



Ilustración 118. Prueba de agua con chorro de agua

La prueba se realiza con manguera en forma de lluvia o apoyándolo sobre la superficie. Se realiza desde la zona más alta y se avanza por sector dejando entre tres y seis minutos el flujo de agua.

Prueba de inundación por llenado progresivo

En la cubierta existente, cuando se busca comprobar la aparición o no de una filtración, una alternativa es el llenado progresivo que se realiza de la siguiente manera:

- Se llena los primeros dos metros de cubierta alrededor del sumidero.
- Transcurridos 24 horas, se llena la cubierta un metro más.
- Transcurrido 48 horas, se llena un metro más y así progresivamente hasta detectar una filtración.

Prueba de agua por inundación parcial y total

La prueba de inundación se basa en tapar provisionalmente los sumideros de la cubierta e inundar la cubierta durante un período mínimo de 48 horas en el caso de la obra nueva.

No obstante, en casos excepcionales de diagnóstico de la impermeabilización existente, se puede trabajar con un período de 24 horas, o bien hasta localizar una filtración.

En climas y estaciones donde no se esperan lluvias, se sellan los posibles desagües y se llena la cubierta o una parte de ella con agua.

Hoy existen tapones inflables de sellado que previenen posibles daños que podrían causarse durante la instalación o el retiro de tapones provisionales.



Ilustración 119. Prueba de agua por inundación

Cuando existe la posibilidad de lluvias para mayor seguridad, se aplican tapones con rebalse. Una opción consiste en colocar un tubo más delgado al interior del sumidero y fijarlo con mortero para que la prueba se pueda llevar a cabo con seguridad. La parte alta de este tubo debe quedar por debajo de la altura de la impermeabilización perimetral en el borde de la cubierta y debajo de los accesos a la cubierta, de tal manera que en el caso de lluvias, el agua sobrante se evacue por el mismo sumidero.

El alcance de esta prueba puede ser de toda la superficie de la cubierta o sólo de una parte.

Por lo general se llena hasta cubrir el borde perimetral hasta una altura de 1,5 cm, pero siempre quedando al menos 5 cm debajo de la altura perimetral más baja de la impermeabilización. Dependiendo del diseño de la cubierta es posible que haya zonas que no queden inundadas.

Prueba por inundación parcial

Este test se basa en inundar la cubierta por etapas. Puede hacerse seccionando la superficie en varias partes o llenando la cubierta de forma progresiva.

Se expone la superficie en forma segmentada con contenedores de agua (que no filtren) un mínimo de

5 cm de agua en toda su extensión, por más de 48 horas.

Para el llenado por secciones se divide la cubierta en sectores, según la distribución de los sumideros y coincidentes en algunos de sus lados con limatesas o con las juntas de dilatación existentes. En caso de ser necesario, se levantan paredes provisionales en el perímetro del sector a inundar.

Se repite la operación en todas las secciones de la cubierta.

Prueba por inundación total

Esta prueba se realiza de la misma forma que la anterior pero llenando la totalidad de la superficie de la cubierta.

Se expone la superficie impermeabilizada a un mínimo de 5 cm de agua en toda su extensión, por más de 48 horas. Funciona en techumbres planas, sin mayor pendiente, con áreas de no más de 100 m². Contraindicaciones: Carga extra a la estructura, costo económico de la prueba, no expone los retornos y cabezales a impermeabilidad.

Exclusivamente la inundación total pone a prueba las limatesas y juntas que en el ensayo parcial sirven de límite de las secciones a inundar.

Vaciado de la cubierta después de la prueba de agua paulatina

En general es recomendable vaciar la cubierta de forma paulatina.

En caso de instalar un tubo, lo más habitual es perforarlo para ir vaciando la cubierta lentamente.

En las edificaciones existentes, frecuentemente se desconoce el estado de conservación y mantenimiento del sistema de evacuación de aguas lluvia. Pero también en la obra nueva, se debe evitar de sobrecargar las bajadas, codos y derivaciones y poner en riesgo su integridad.

Prueba con agua tintada

En casos excepcionales de filtraciones se realizan pruebas con agua tintada, por ejemplo cuando hay diferentes vías de filtración y se requiere comprobar o no que la filtración se origina en la impermeabilización o determinar que tiene otra causa.

6.7.4. PRUEBA DE AGUA SEGÚN GUÍA ASTM D 5957

La guía ASTM D 5957-98 (2005) "Standard Guide for Flood Testing Horizontal Waterproofing Installations" (Guía estándar para pruebas de inundación con agua de instalaciones de impermeabilización horizontales) es aplicable únicamente a cubiertas con una pendiente no mayor que 2 %, sobre estacionamientos o sobre espacios habitables. No está diseñada para su uso en la construcción de sistemas de techos.

De acuerdo a la guía se pueden ensayar membranas preformadas y líquidas de deferente tipo.

Las especificaciones más importantes son:

- Se subdivide el área a probar en áreas parciales.
- Se pone a prueba la capa de impermeabilización expuesta, sin capas complementarias o terminaciones.

- Duración mínima de 24 horas con supervisión del espacio debajo, máximo 72 horas.
- Altura mínima del agua 25 mm, altura máxima 100 mm. Altura media máxima 65 mm. Altura máxima 50 mm debajo de extremo superior de bordes.
- Esperar al menos 24 horas después del término de la instalación e inspeccionar la impermeabilización previamente.
- No aplicar con temperaturas con riesgo de heladas. En caso de lluvia, abortar la prueba.
- Se utiliza tapones inflables para sellar los sumideros, y se revisa el sellado de los tapones antes de llenar con agua.
- Se instala rebosaderos en caso de no existir.
- En caso de detectar una filtración, abortar la prueba inmediatamente y realizar las reparaciones adecuadas.
- Desaguar de forma paulatina para prevenir daños.
- La prueba de inundación se considera aprobada si no se detectan fugas que se han producido durante el período de prueba, la membrana y los sellos deben estar intactos, por ejemplo, sin ampollas.
- Emitir un informe según detalle.

6.7.5. PRUEBAS TECNOLÓGICAS

A través de métodos modernos, las pruebas de agua de alto riesgo se pueden evitar. A continuación se describen algunos métodos que permiten verificar la estanqueidad y también la localización de fugas.

En cubiertas de áreas sensibles como en hospitales, data center u otro tipo de proyectos críticos frente a la filtración, la instalación de un sistema de detección de fugas proporciona la posibilidad de localizar vías de agua tempranamente y en forma exacta, previniendo de esta manera daños mayores. Ver capítulo 0 Sistemas integrados de control de fugas.

Para obtener resultados confiables, todos los equipos deben ser empleados por personal especializado y capacitado para su uso profesional. Cualquier registro de prueba tecnológica debe acompañarse de una descripción del método y del equipamiento específico utilizado con los datos técnicos respectivos.

A continuación se mencionan los métodos más importantes en la actualidad.

6.7.5.1. Pruebas eléctricas

Método de impulsos eléctricos, sobre cubierta húmeda

En este método, se genera una tensión sobre la impermeabilización mojada, lo cual se consigue instalando un bucle conductor con polo negativo sobre la superficie de la capa impermeable y un cable a tierra con polo positivo debajo de ella.

Solo se utiliza para impermeabilización descubierta o a la vista.

La humedad en superficie actúa como conductora de la corriente eléctrica producida por el generador de impulsos, cuya dirección de flujo queda registrada y se muestra en el receptor de impulsos para indicar así la dirección en la cual se encuentra el punto de ubicación de la fuga.

Permite comprobar rápida y fácilmente la estanqueidad de las capas impermeables en cubiertas planas, también con carga (por ejemplo con jardín, pavimento de losas, etc.).

Método de prueba de arco, sobre cubierta seca

En este método, se utiliza un cepillo de bronce fósforo que se pasa sobre la membrana, para enviar un alto voltaje desde una batería se debe conectar antes el cable de tierra a la estructura del edificio. En un techo plano sin fallas la membrana actúa como un aislador que restringe el flujo de corriente. Cuando el cepillo pasa sobre una falla, la corriente hace sonar una alarma.

Escaneo de humedad con método de resistencia eléctrica

Un método nuevo que es rápido y de fácil uso. El escáner móvil detecta y evalúa las condiciones de humedad en el techo mediante una medición de resistencia eléctrica.

Método dipolo

Un método para detectar filtraciones, por ejemplo en cubiertas de terrazas o de jardineras.

6.7.5.2. Pruebas con gases

Prueba con simulador de gas de humo

Puede utilizarse para membranas poliméricas no adheridas y sin carga.

Prueba con gas trazador

Se utiliza para cubiertas de grande extensiones con impermeabilización de membrana polimérica.

6.7.5.3. Métodos complementarios

Termografía infrarroja

La termografía produce una imagen de la (invisible) radiación infrarroja saliente de un cuerpo. Se utiliza frecuentemente para identificar fuentes de pérdida o ganancia de calor en la edificación y para la detección de componentes eléctricos o mecánicos que están sobrecalentándose.

Debido a que la presencia de humedad en la edificación aumenta la transmisión de calor, la termografía permite detectar secciones de una edificación que contienen humedad.

Para cubiertas extendidas se pueden utilizar drones equipados con cámara termográfica.

La termografía sólo se utiliza en combinación con otro método.

Densímetro nuclear

Los densímetros nucleares para el control de la densificación de suelos también puede utilizarse para la detección de humedad en losas de hormigón de grandes extensiones.

6.7.5.4. Mediciones locales de humedades

Para el diagnóstico de problemas de humedad están disponibles diferentes herramientas y equipos que faciliten la labor de identificar acumulaciones de humedad en la techumbre o en la impermeabilización.

Entre ellos están los siguientes:

- Equipos de medición o detección no invasiva de humedad, por ejemplo equipos dieléctricos, la medición con resistencia eléctrica y la medición por microonda.
- Equipos de medición invasiva de humedad, entre ellos la medición por sonda higrométrica.

Algunas de estas técnicas también permiten el escaneo y mapeo las humedades existentes en una superficie.

6.8. PROTOCOLOS EN LAS OBRAS DE IMPERMEABILIZACIÓN

En la impermeabilización de la cubierta, la calidad del resultado final de las obras, depende de una serie de obras parciales que quedan invisibles o inaccesibles en la obra terminada, y por lo tanto requieren de controles y recepciones de cada etapa a ejecutar.

Se recomienda formalizar cada revisión y recepción mediante un protocolo firmado por las partes interesadas y acompañado de registros gráficos y fotográficos.

Esto es de primera importancia en caso de revisiones entre etapas correspondientes a diferentes contratistas.

A continuación se proponen, de modo de ejemplo, los protocolos típicos con contenidos mínimos, que permiten un control sistemático de las obras.

6.8.1. PROTOCOLO DE RECEPCIÓN DE SUPERFICIE

La calidad del sustrato es decisiva para una correcta aplicación del sistema de impermeabilización y debe ser verificada de forma exhaustiva previo al inicio de los trabajos.

TABLA 29.
CONTENIDO PROTOCOLO DE RECEPCIÓN DE SUSTRATO A IMPERMEABILIZAR

SUPERFICIE	REVISIÓN	CUMPLE		OBSERVACIÓN
		SI	NO	
Limpia y despejada	Visual			
Pendientes dentro de tolerancia	Medición			
Planeidad dentro de tolerancias	Medición			
Sin protuberancias y/o oquedades	Regla			
Rugosidad adecuada	Visual			
Piletas, tuberías, etc. ejecutadas	Visual			
Rodón en ángulo piso - muro	Visual			
Tratamiento de fisuras/grietas	Visual			
Tiempo de fraguado	L.O.			

6.8.2. PROTOCOLO DE CHEQUEO DE IMPRIMACIÓN

En caso de requerir una impermeabilización igualmente se recomienda una revisión completa con protocolización.

TABLA 30.
CONTENIDO PROTOCOLO DE CHEQUEO DE IMPRIMACIÓN

SUPERFICIE	REVISIÓN	CUMPLE		OBSERVACIÓN
		SI	NO	
Imprimación según EETT	Visual			
Imprimación puntos singulares	Visual			
Secado de 1a Imprimación	Visual			

6.8.3. PROTOCOLO DE EJECUCIÓN

El chequeo de revisión marca el término de los trabajos de impermeabilización realizados por la empresa especialista.

TABLA 31.
CONTENIDO PROTOCOLO DE CHEQUEO DE EJECUCIÓN

ÍTEM A REVISAR	REVISIÓN	CUMPLE		OBSERVACIÓN Y/O MEDICIÓN
		SI	NO	
Remate de bajada de aguas lluvias, 10 cm interior	Medir			
Bandas de refuerzos encuentro losas antepechos	Medir			
Bandas de refuerzos vanos	Medir			
Refuerzos en pasadas de ductos, anclajes, u otros	Medir			
Retornos y retamas en antepechos	Medir			
Remates de sumideros	Medir			
Remates de salidas horizontales de cubiertas	Medir			
Refuerzos de geotextil o fibra (según corresponda)	Medir			
Traslape longitudinal 10 cm. (según corresponda)	Medir			
Traslape cabeza y cola 15 cm. (según corresponda)	Medir			
Traslapes bien sellados	Visual			
Retornos según EETT. y bien sellados	Visual			
Aprobado Conforme Instalación	Visual			

6.8.4. PROTOCOLOS DE PRUEBAS

Las pruebas de estanqueidad y otras pruebas pueden estar a cargo de la misma empresa instaladora, de la I.T.O. o bien de una o más empresas terceras.

Cada prueba debe protocolarse de forma completa.

TABLA 32.
CONTENIDO PROTOCOLO DE PRUEBAS

PRUEBA	REVISIÓN	CUMPLE		OBSERVACIÓN
		SI	NO	
Prueba 1 (especificar)	Según tipo de prueba			
Reparación				
Prueba 2 (especificar)	Según tipo de prueba			
Según requerimiento				

6.9. ENTREGA Y RECEPCIÓN DE OBRAS DE IMPERMEABILIZACIÓN

La inspección final y la recepción de los trabajos de impermeabilización concluyen el ciclo, que comienza con la planificación, desemboca en la ejecución y está controlado y documentado por parte de la dirección de obras.

La recepción de obras de impermeabilización de cubiertas es un acto formal con implicancias legales. Por lo tanto requiere un protocolo sistemático con el siguiente contenido mínimo y firmado por ambas partes que contiene la siguiente información relevante:

- Identificación de las obras de impermeabilización.
- Proyecto de impermeabilización.
- Sistema, materiales, fijaciones y uniones según especificación técnica.
- Registro gráfico: planos y fotografías.

Pruebas que se realizan:

- Inspección visual.
- Revisión de costuras completa, parcial, al azar.
- Revisión de puntos singulares.
- Pruebas de estanqueidad, tipo, procedimiento.
- Otras pruebas:

Defectos y daños detectados:

- Defectos de diseño.
- Instalación defectuosa.
- Defectos de materiales.
- Daños por mal uso durante la obra.
- Daños por eventos climáticos durante la obra.

Finalmente se recomienda incluir que la impermeabilización requiere de mantenimiento.

7. Uso y mantención de la obra de impermeabilización de cubierta

TABLA 33.
CONTENIDO PROTOCOLO DE RECEPCIÓN

DOCUMENTACIÓN	ENTREGA	CUMPLE		OBSERVACIÓN
		SI	NO	
Proyecto de Impermeabilización completo				
Identificar obras de impermeabilización				
Fichas Técnicas				
HDS				
Certificados (según corresponda)				
Registro fotográfico de obra				
Inspección visual				
Pruebas de adhesión				
Pruebas de costuras				
Pruebas de estanqueidad				
Revisión puntos singulares				
Entrega los protocolos de cada etapa				
Entrega de protocolo final				
Revisión de daños y porque				
Programación de reparación daños				
Manual de mantención				

7.1. MANTENIMIENTO Y POTENCIAL DE AHORRO

La función de la impermeabilización de la cubierta es, proteger la edificación, asegurar las condiciones para su uso específico, y ofrecer condiciones confortables e higiénicas al interior de los recintos.

La cubierta, como "quinta fachada" de la edificación, está particularmente expuesta a los impactos de la intemperie y del medio ambiente, y por lo tanto sujeta al envejecimiento natural.

La vida útil y la susceptibilidad a daños dependen en gran medida de la planificación y de la instalación en obra. No obstante pueden influenciarse positivamente cuando se logra reducir el desgaste y excluir o prevenir impactos o esfuerzos excepcionales.

Esto es el objetivo de la mantención:

- Alteraciones visibles de la impermeabilización deben identificarse a tiempo mediante actividades de mantenimiento preventivo.
- Actividades de mantenimiento correctivo deben realizarse, para asegurar la vida útil de la impermeabilización de la cubierta.

Los ahorros en la calidad son especialmente perjudiciales en caso de la cubierta. Con frecuencia, reducir los costos tiene impacto sobre la confiabilidad y desempeño de la impermeabilización. Por otra parte, es necesario considerar factores de seguridad que resguarden la calidad de la impermeabilización debido a las consecuencias del cambio climático y/o cambios en el uso.

En muchos casos, los problemas de confiabilidad y durabilidad de las impermeabilizaciones tienen su origen en el afán de reducir costos.

La experiencia muestra que los costos de mantenimiento preventivo y correctivo son menores en caso de productos de alta calidad e instalación profesional.

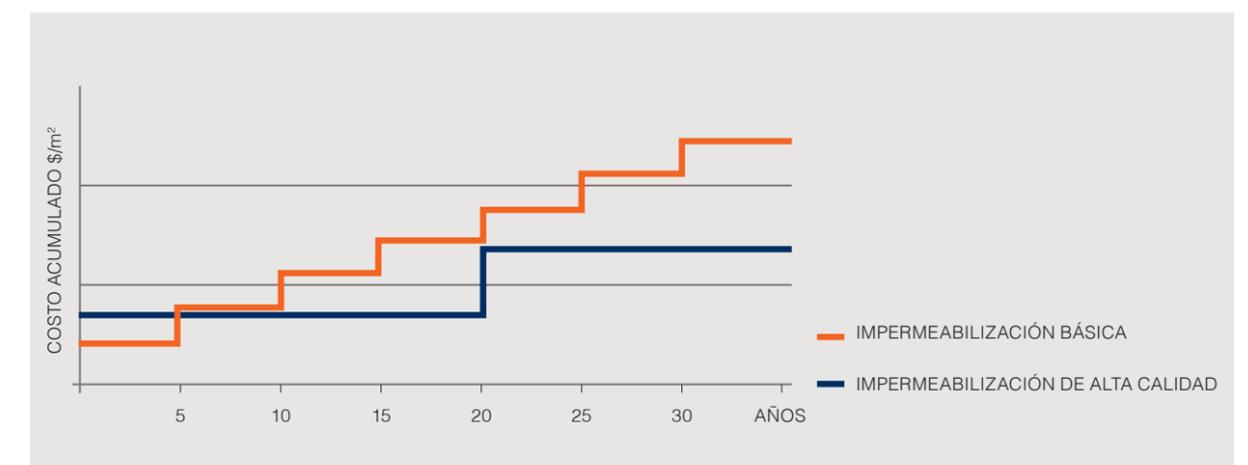


Ilustración 120. Costo acumulado por ciclo de vida de la impermeabilización de cubierta.
Fuente: Adaptación de Flachdachhandbuch ICOPAL

7.2. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento tiene como objetivo asegurar la funcionalidad y estética de la impermeabilización de forma duradera, y de acuerdo a las especificaciones técnicas que se hayan definido para la misma.

En inspecciones regulares se identificarán alteraciones o daños para poder iniciar oportunamente las medidas correctivas correspondientes.

La inspección y la mantención por personal especializado es un apoyo valioso para el propietario y puede aumentar considerablemente la vida útil de la impermeabilización.

Se recomienda determinar los alcances del mantenimiento por medio de especificación técnica, considerando las garantías del producto y las responsabilidades en la instalación.

De esta manera se generan condiciones claras y una delimitación de las obligaciones del propietario primer vendedor y del comprador/usuario. Véase también capítulo 10. Aspectos legales.



Ilustración 121. Canal de aguas lluvia sin mantención

Medidas mínimas del mantenimiento de la impermeabilización de la cubierta

Inspección visual de la impermeabilización, especialmente de los puntos críticos (cap. 4. Tratamiento de singularidades). El objetivo de la inspección es la determinación de:

- Estado actual de la impermeabilización, de los elementos estructurales de apoyo, etc.
- Alteraciones de la superficie o de elementos específicos.
- Impactos exteriores (radiación, uso inadecuado, instalación de equipos, entre otros).
- Identificación de las patologías presentes (humedades, putrefacciones, sobrecargas, juntas de construcción, etc.), y definición de un diagnóstico técnico para la mantención.
- Acciones necesarias de mantención correctiva, inspección de otros elementos de la edificación e inspección con instrumentación.

El mantenimiento debe incluir los siguientes trabajos de limpieza:

- Eliminación de elementos ajenos.
- Limpieza de desagües y/o canaletas.
- Eliminación de suciedades.

Informe de inspección

Dependiendo del tipo de edificación (casa, edificio residencial, de oficinas, público, entre otros) se recomienda generar un informe a partir de la inspección de la impermeabilización. Este debería incluir una evaluación del estado general de la cubierta, con información y recomendaciones respecto de las medidas correctivas necesarias. En el reporte escrito se debería informar respecto de:

- Todos los hallazgos y resultados de la inspección visual, así como de eventuales pruebas, o mediciones in situ, que se realicen.
- Estado actual de mantenimiento de la impermeabilización existente. Se recomienda el uso de fotos técnicas y dibujos, que luego permitan facilitar la colaboración con eventuales profesionales y contratistas que intervengan en la Mantención.
- Medidas preventivas y correctivas necesarias. En particular se deberían identificar las singularidades más críticas del techo (chimeneas, conductos, antenas, anclajes, juntas de dilatación, encuentro con paramentos verticales, etc.), e idealmente desarrollar detalles constructivos para ellas.

7.2.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo es el destinado a la conservación de las instalaciones mediante realización de revisión y reparación que garantice su buen desempeño funcional y estético.

A través de un mantenimiento programado, los posibles costos derivados se pueden reducir de manera significativa. Es porque cuanto antes se detecta el daño, es más bajo el costo de la reparación y más larga la vida útil de la impermeabilización de la cubierta.

Las actividades de mantenimiento preventivo pueden ser realizadas por personal propio o por una empresa externa. En caso de la impermeabilización de cubiertas grandes, es recomendable contratar una empresa especializada en estas labores.

Al ejecutar los trabajos de mantenimiento, resulta frecuente la necesidad que el contratista deba usar productos y sistemas de base química diferente, o que han sido fabricados por diferentes empresas. En estos casos, se debería prestar especial atención a verificar la compatibilidad de largo plazo de los materiales empleados. Se debe tener presente que, en algunas oportunidades, las reacciones de incompatibilidad se pueden manifestar incluso después de pasados hartos meses desde la aplicación.

A continuación una propuesta de plan de mantenimiento preventivo.

TABLA 34.
GUÍA PARA ELABORAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA IMPERMEABILIZACIÓN DE CUBIERTA

ACTIVIDAD	FRECUENCIA SE DEBE ESTABLECER SEGÚN CLIMA, USO Y CONDICIONES LOCALES	DESCRIPCIÓN
Inspeccionar	Cada 6 a 12 meses	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección visual del estado de conservación de la impermeabilización de la cubierta: superficie exterior, superficie interior (cielos) y sistema de evacuación de aguas pluviales. • Encargado: Personal capacitado para la actividad
	Cada 2 a 5 años, además: Antes de un cambio de uso Después de un fenómeno natural extremo	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección profesional de la impermeabilización de la cubierta. • Encargado: Profesional especializado / experto en impermeabilizaciones de cubierta, por ejemplo el proyectista o el instalador. (Véase 7.2.2 Inspección profesional)
Limpiar	Cada 1 a 12 meses	<ul style="list-style-type: none"> • Aseo habitual de la cubierta • Eliminación de suciedades, de residuos y de objetos ajenos al uso normal de la cubierta. Incluye superficies de canaletas y desagües. • Encargado: Personal capacitado para la actividad
	Cada 1 año	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza profunda de la cubierta • Aseo habitual y además: Eliminación de acumulaciones de polvo y barro, de musgo y otra vegetación. Limpieza y revisión de canaletas, receptáculos, codos, retornos, etc. • Encargado: Personal capacitado para la actividad
Renovar	De acuerdo al producto aplicado.	Referencia: Manual de propietario entregado por el proveedor.

7.2.2. INSPECCIÓN PROFESIONAL

La siguiente lista de chequeo ayudará a la especificación, contratación y/o realización de la inspección experta de la impermeabilización de la cubierta.

TABLA 35.
CHECKLIST DE INSPECCIÓN PROFESIONAL DE LA IMPERMEABILIZACIÓN DE CUBIERTA

ANTECEDENTES DE INSPECCIÓN				
Nombre del proyecto/edificio				
Mandante o constructora				
Ubicación				
Identificación profesional responsable				
Fecha revisión				
ANTECEDENTES DE CUBIERTA				
Año de construcción		Proyectista		
Superficie cubierta en m ²		Constructora		
Altura del edificio		Instalador		
Materialidad de la impermeabilización		Proveedor		
Tipo de cubierta	Ejemplos: Techo frío, caliente, invertido			
Uso bajo la cubierta	Ejemplos: Tipo de recinto			
Condiciones bajo la cubierta	Ejemplos: Temperatura, humedad del aire			
REGISTRO GRÁFICO - SE RECOMIENDA GENERAR Y ADJUNTAR				
A	Croquis de la cubierta completa			
B	Dibujo acotado de cada superficie parcial			
C	Registro fotográfico			
1. HISTORIAL DE TRABAJOS				
N°	Tipo de actividad/informe	No se adjunta	Se adjunta informe	Fecha informe
1.1	Pruebas de estanqueidad			
1.2	Recepción instalaciones de equipos de clima			
1.3	Recepciones de otras instalaciones			
1.4	Trabajos posteriores a la recepción de la cubierta			
1.5	Plan de mantenimiento preventivo con informes			
2. INSPECCIÓN VISUAL GENERAL DE LA CUBIERTA				
N°	Tipo de irregularidad	Ejemplos (especificar)	Sí	No
2.1	Alteraciones de la superficie de la impermeabilización	Pliegues, ampollas, deformaciones, grietas, costras, descomposición, etc.		
2.2	Hallazgos en la superficie de la cubierta	Pozas de agua, suciedades, basura, etc.		
2.3	Rastros de organismos vivos	Algas, líquen, musgo, hierbas, nido de pájaros, insectos, etc.		

3. REVISIONES EN CUBIERTA				
N°	Descripción	En buen estado	Requiere reparación	Requiere cambio
3.1	Revisión de pendientes paño general de cubierta			
3.2	Revisión de pendientes, profundidad en canaletas y ductos de aguas lluvias			
3.3	Revisión de emboquillados y bajadas de aguas			
3.4	Revisión de empalmes, gárgolas y receptores de aguas lluvias			
3.5	Revisión de adherencia de la impermeabilización al sustrato			
3.6	Revisión de traslajos de impermeabilización			
3.7	Revisión de sellos impermeables y juntas de materiales diferentes			
3.8	Revisión de elementos anexos a la cubierta instalados posteriormente			
3.9	Revisión de apoyos y perforaciones en la cubierta			
3.10	Revisión de fijación de impermeabilización en cabezales de antepechos y vigas			
3.11	Revisión de pendientes en aleros y quiebra vistas			
3.12	Revisión de salidas de ductos y ventilaciones			
3.13	Revisión de daños en la impermeabilización por cargas en revestimiento de terminación (gravilla, cuarzo, etc.)			
3.14	Revisión de altura de retornos, de remates y sellos			
3.15	Estado de las juntas de construcción			
3.16	Estado de las juntas de dilatación			
3.17	Estado de la estructura soportante			
3.18	Coronación y paramentos verticales			
3.19	Revisión de desgaste por tránsito peatonal			
3.20	Revisión de desgaste por rayos UV y radiación solar			
OBSERVACIONES				
CONCLUSIONES				
Se requiere revisión/diagnóstico detallado de		Ejemplos: Dimensionado/estado de aislante térmico, sistema de evacuación de aguas pluviales, espacio ventilado del techo frío, etc.		
Se requiere mantención correctiva		Indicar: Medidas específicas, con priorización y costos estimados		
Mejoramiento continuo: Recomendación de actividades a incluir en plan de mantenimiento		Indicar: Actividad, frecuencia, descripción		
Firma profesional				

7.2.3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo es aquel que corrige los defectos observados en las instalaciones. Consiste en detectar, localizar defectos y daños, para luego proceder a corregirlos o repararlos.

Véase capítulo 8. Patología y saneamiento.

7.3. VIDA ÚTIL Y USO DE LA CUBIERTA IMPERMEABILIZADA

La vida útil de una impermeabilización de cubierta de alta calidad asciende desde 15 a 30 años⁶. Si incluye una capa protectora, tal como grava o vegetación, la vida útil aumentará a 20 a 40 años⁷.

Por lo tanto pueda preverse, que el uso de una cubierta cambia durante su ciclo de vida. Por ejemplo, podrá recibir nuevas instalaciones técnicas, como sistemas solares o renovación de equipos de aire acondicionado. Un techo originalmente sólo accesible para labores de mantención podrá convertirse en terraza o techo verde.

En caso de adoptar sistemas de impermeabilización que ofrezcan una vida útil más reducida, resultará de gran utilidad indicar en la propuesta de mantención cómo se harían las sucesivas reparaciones que fueran necesarias para llegar a completar la vida útil de diseño del edificio. Particular atención se debería colocar a la seguridad de suministro futuro, o a su compatibilidad con otros sistemas de impermeabilización disponibles.

Se entiende que la impermeabilización debe servir para el uso según proyecto, lo que incluye todas las actividades relacionadas con el uso normal dentro de los criterios de diseño.

Los cambios de uso, en muchos casos modifican los requisitos a la impermeabilización de la cubierta. Por lo tanto, es indispensable, en caso de proyectar modificaciones en el uso de una cubierta impermeabilizada, asesorarse por un experto. Él podrá determinar las mejoras adecuadas para que la impermeabilización cumpla con su ciclo de vida completo de forma confiable.

Por último, dada la creciente sensibilidad a los temas ecológicos, resultaría una ventaja poder documentar la sustentabilidad ambiental del sistema de impermeabilización usado en las operaciones de Mantenimiento.

Para ello se puede hacer referencia a sistemas como LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) u otros, que buscan limitar la cantidad de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV).

8. Patología y saneamiento de la impermeabilización de cubierta

8.1. BREVE INTRODUCCIÓN A LA PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

La patología de la construcción se refiere a un conjunto de síntomas y deterioro que presentan las construcciones, ocasionado por diferentes causas (diseño, materiales, método constructivo, agentes externos, entre otros).

Asimismo, hace referencia a la especialidad que estudia las edificaciones y, en particular, los problemas o defectos constructivos que aparecen en la obra después de su ejecución, su proceso y las medidas correctivas asociadas.

En esta materia, también se habla de lesiones refiriéndose a las manifestaciones de un problema constructivo, es decir el síntoma del proceso patológico. Una lesión puede tener una o varias causas, y estas pueden ser directas o indirectas. Entre las lesiones se identifican, según su causa, las lesiones físicas, las mecánicas y las químicas.

Con respecto a los defectos de la construcción, además se habla de vicios y se distingue entre defectos visibles y vicios ocultos.

Las causas de las lesiones se clasifican como sigue:

- **Defectos (en diseño, materiales, construcción):**

Están relacionados con las características intrínsecas de la estructura y son el producto de un mal diseño, una errada configuración estructural, una construcción mal elaborada, o el uso de materiales deficientes o inapropiados para la obra.



Ilustración 122. Membrana asfáltica sobre soporte inadecuado

- **Daños por sobrecarga, sismo, fuego, reacciones químicas, uso inapropiado, entre otros:**

Se manifiestan durante y/o luego de la incidencia de una fuerza o agente externo a la edificación y son el producto de la ocurrencia de un evento natural, como un sismo, inundación, derrumbe, etc. o bien del uso inadecuado de las instalaciones.

- **Deterioro por exposición ambiental y uso normal:**

Son manifestaciones de envejecimiento en el transcurrir del tiempo, hasta llegar al final de la vida útil. Entre otros la debilitación continua debido a la exposición al medio ambiente, los ciclos continuos de calor y frío, secado y mojado, así como el contacto con sustancias químicas presentes en el entorno.



Ilustración 123. Empozamiento en cubierta por desagüe inefectivo (a la izquierda).

⁶ Fuente: Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten, Kompetenzzentrum "Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen" im Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. an der TU Berlin, 2006.

⁷ Ibid.

8.2. PATOLOGÍAS DE LA IMPERMEABILIZACIÓN DE LA CUBIERTA

8.2.1. ORIGEN DE HUMEDADES EN LA TECHUMBRE

Las patologías de la impermeabilización de la cubierta generalmente están relacionadas con la humedad, con los agentes atmosféricos o con la estabilidad estructural del complejo techumbre.

El principal problema es la impermeabilización fallida que lleva a filtraciones de agua de lluvias al interior del edificio.

Sin embargo, el vapor de agua que penetra desde el interior del edificio al interior del complejo techumbre también puede causar problemas de humedad considerables. El riesgo de daños por este efecto aumenta con mayores requisitos de protección térmica y hermeticidad de las envolventes, y con mayor complejidad y mayor cantidad de capas y elementos en la construcción de la cubierta.

Tanto el agua que filtra al interior del edificio como aquella humedad que se acumula en el interior del elemento constructivo causan daños y requieren reparación.

Adicionalmente pueden presentarse problemas accidentales de agua, tales como filtraciones de cañerías de agua instaladas arriba o al interior del complejo techumbre, así como problemas que radican en la humedad de obra, tanto de hormigón como de madera, que no logra secar adecuadamente.



Ilustración 124. Desagüe subdimensionado y empozamiento en membrana asfáltica

8.2.2. LA HUMEDAD EN EL TECHO CON CUBIERTA IMPERMEABILIZADA

La impermeabilización es parte del conjunto de techumbre que está cerrado e inaccesible, por completo o parcialmente. Por lo tanto el diagnóstico de problemas de humedad en un techo con cubierta impermeabilizada, por lo general debe abarcar la techumbre como un todo.

Una filtración es, en palabras sencillas, agua de lluvia que penetra la impermeabilización, alcanza la estructura y corre por ella hasta encontrar una vía de escape. No obstante, el transporte y la acumulación de humedad en los materiales y elementos de construcción son fenómenos complejos y por lo general tienen componentes de agua líquida y de vapor de agua.

En el diagnóstico del techo con problemas de humedad importan tanto las posibles vías de transporte de la humedad así como los procesos de cambio de fase, es decir condensación - evaporación y congelación - y descongelación. La siguiente figura resume de forma esquemática los principales mecanismos de movimiento y de cambio de fase de la humedad en la construcción.

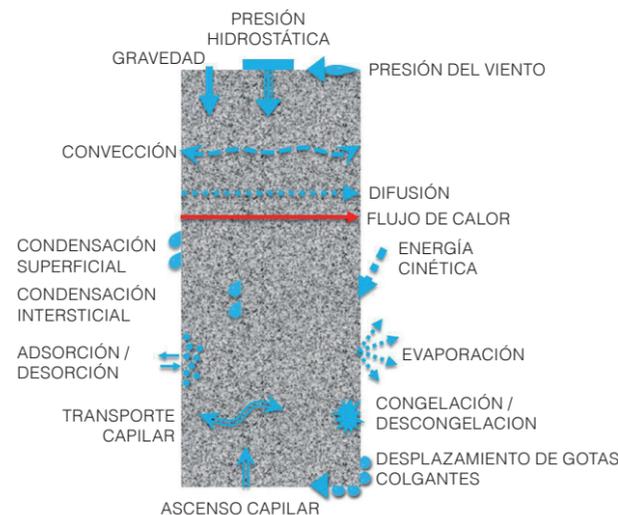


Ilustración 125. Mecanismos de transporte y de cambio de fase de la humedad en la construcción.

Fuente: María Blender

Estos procesos, así como su ocurrencia en complejo techumbre, se explican en las siguientes tablas. Estas, además, podrán servir de checklist para la investigación de situaciones complejas, donde las causas de los daños y el origen de las humedades que afectan la edificación no son evidentes.

TABLA 36.

OCURRENCIA DE PROCESOS DE TRANSPORTE DE HUMEDAD EN EL COMPLEJO TECHUMBRE.

FUENTE: MARIA BLENDER

MECANISMO DE TRANSPORTE DE HUMEDAD EN LA CONSTRUCCIÓN	INGRESO DE HUMEDAD DESDE EL EXTERIOR AL COMPLEJO TECHUMBRE	TRANSPORTE DE HUMEDAD AL INTERIOR DEL COMPLEJO TECHUMBRE	SALIDA DE HUMEDAD DEL COMPLEJO TECHUMBRE AL INTERIOR DE LA EDIFICACIÓN
Gravedad Si las aberturas lo permiten.	Si	Si	Si
Presión hidrostática Donde hay agua acumulada.	Si	Si	Si
Presión del viento Puede empujar agua contra la pendiente, también lluvia con viento	Si	No	No
Energía cinética Por ejemplo chorro de agua	Si	No	No
Convección Transporte de humedad (y de energía) en una corriente de aire	Si En puntos no herméticos	Si	Si En puntos no herméticos
Capilaridad En uniones o perforaciones verticales o inclinadas con un ancho "capilar"	Si En los puntos singulares	Si	No
Desplazamiento de gotas colgantes Gotas de agua "cuelgan" de una superficie gracias a la fuerza de adhesión. Se desplazan gracias a otra fuerza (gravedad, viento)	Si Prevención mediante elemento corta gotera	Poco común	Poco común
Adsorción/desorción Materiales porosos adsorben humedad del ambiente y la desorben cuando disminuye la humedad del aire	Poco común en relación con defectos de la cubierta	Poco común en relación con defectos de la cubierta	Poco común en relación con defectos de la cubierta
Difusión de vapor de agua En caso de un gradiente de presión parcial de vapor de agua entre 2 ambientes, por medio de un elemento relativamente permeable al vapor. Solo cuando existe un flujo de calor y siempre siguiendo la dirección de este.	Poco común	Si Generalmente en invierno	Si Generalmente en invierno

TABLA 37.
OCURRENCIA DE PROCESOS DE CAMBIO DE FASE DE HUMEDAD EN EL COMPLEJO TECHUMBRE.
FUENTE: MARIA BLENDER

MECANISMO DE CAMBIO DE FASE DE HUMEDAD EN LA CONSTRUCCIÓN	OCURRENCIA EN LA SUPERFICIE EXTERIOR DEL COMPLEJO DE TECHUMBRE	OCURRENCIA EN EL INTERIOR DEL COMPLEJO DE TECHUMBRE	OCURRENCIA EN LA CARA INFERIOR DEL COMPLEJO DE TECHUMBRE (INTERIOR EDIFICACIÓN)
			
Condensación En una superficie con una temperatura superficial menor a la temperatura rocío	Si En caso de overcooling con temperatura superficial menor a la temperatura de rocío	Si Condensación intersticial en invierno	Si Condensación superficial en invierno
Evaporación Secado de materiales húmedos y evaporación de agua acumulada	Si El secado previene daños	Si	Si El secado de materiales superficiales puede causar manchas
Congelación/ descongelación El agua se expande al congelarse. La penetración de humedad que después congela, puede dañar a los materiales de construcción	Si En caso de overcooling o condiciones climáticas con temperaturas bajo 0°C	Si En caso de overcooling, condiciones climáticas o usos que llevan a temperaturas bajo 0°C en el complejo de techumbre	Solo en usos tipo frigorífico con temperaturas superficiales interiores bajo 0°C

Cabe mencionar, que a menudo los efectos de la capilaridad, de la difusión y de la condensación, son subestimados en comparación con las filtraciones por gravedad y por presión hidrostática.

Además, frecuentemente se produce un distanciamiento notable entre el punto concreto de la filtración desde el exterior y el de la aparición del síntoma por la cara interior, ya que "el agua siempre encuentra su camino" como se suele decir.

8.2.3. FILTRACIONES DE AGUA POR FALLAS EN LA IMPERMEABILIZACIÓN DE LA CUBIERTA

Los defectos de la impermeabilización de la cubierta que provocan filtraciones de agua se presentan habitualmente en forma de fisuras o grietas en la capa impermeabilizante, o en las juntas de materiales diferentes, o bien en los puntos singulares donde se producen concentraciones de tensiones. Son producidas por diferentes causas que de manera genérica son:

- Mecánicas (asentamientos, grietas, roturas).
- Térmicas (dilataciones, empujes, deslizamientos).
- Atmosféricas (lluvias, granizo, nieve, viento).
- Heladas en combinación con humedad infiltrada (provocando aumento de volumen y daños).
- Radiación UV (efecto de degradación por radiación UV).
- Químicas (ataque de organismos, efecto de productos químicos).
- Envejecimiento de los materiales (incluyendo fatiga por carga cíclica).
- Corrosión de techumbres metálicas.
- Tránsito en cubiertas o zonas no aptas para aquello.
- Intervenciones inadecuadas, por ejemplo modificaciones y remodelaciones incompatibles.
- Trabajos de mantenimiento incompatibles, o inadecuadas.

El deterioro en los sistemas de protección de la impermeabilización, la deja expuesta a los rayos UV, al ozono y a la acción solar directa que altera la estructura fisicoquímica del material expuesto. El envejecimiento del material por lo general es acompañado por un aumento de rigidez, fragilidad, pérdida de resistencia y tendencia a la contracción en los materiales.



Ilustración 126. Falla de una membrana preformada vinílica

Por otro lado, pueden presentarse filtraciones de agua por la ejecución incorrecta de los puntos singulares tales como juntas de dilatación, desagües y encuentros con paramentos verticales. Efectivamente, la causa principal de penetración de agua suele ser la rotura o deficiencia en estos puntos críticos.

Igualmente, los movimientos producidos en los distintos elementos componentes de la cubierta debido a las diferentes dilataciones térmicas, pueden llegar a provocar deformaciones, roturas y/o desprendimientos en el sistema de impermeabilización.

Así mismo pueden darse filtraciones por la excesiva acumulación de agua debido a pendientes insuficientes o desagües tapados, entre otras causas.

El ingreso horizontal o ascendente de humedad sucede debido a varios efectos, entre ellos la energía cinética de las gotas, la presión del viento y el efecto de gotas "colgantes". Por lo general ocurre en traslapes y terminaciones defectuosas de las membranas así como por la falta de elementos corta goteiras. Estos mecanismos son capaces de acumular cantidades considerables de agua al interior de la construcción.



Ilustración 127. Falla en el encuentro entre cubierta y antepecho perimetral

8.2.4. PROBLEMAS DE HUMEDAD EN EL TECHO RELACIONADAS CON EL VAPOR DE AGUA

En caso de construcciones complejas de cubiertas, es decir, construcciones multicapas, que incluyen aislación térmica y barrera de vapor, es común que las filtraciones de agua se originen en la acumulación de humedad difundida desde los ambientes interiores de la edificación.

Véase también los capítulos 2.5.2.5 Permeabilidad al vapor de agua, y 3.6.2 Capas de control de la difusión de vapor de agua.

Los errores más típicos son:

Puentes térmicos y condensación:

- La incorrecta o deficiente aislación térmica genera puentes térmicos que a su vez causan condensación superficial o intersticial. La condensación por sí sólo puede causar daños en los materiales de las superficies donde ocurre. Si el agua condensada no puede secar, filtrar o evacuarse de otra forma, pueden generarse acumulaciones de agua con el riesgo de daños de mayor tamaño.

La falta, el diseño erróneo o la obstrucción de cámaras de aire ventiladas:

- En caso de que cámaras de aire ventiladas sean parte de la configuración de la techumbre, es decir, que son necesarias para mantener la construcción seca, evacuando humedad difundida, de obra y/o cantidades menores de filtraciones por medio de convección, su obstrucción o inefectividad puede causar graves daños debido a la acumulación de humedad.
- La errónea configuración de la resistencia al paso de vapor de agua de los diferentes elementos que componen el complejo techumbre.
- Barreras de vapor, mal configuradas o mal ejecutadas, pueden provocar el ingreso y la acumulación de humedad al interior del complejo techumbre.

Perforaciones y daños en las diferentes capas de la techumbre:

- Perforaciones y daños pueden ser el producto de fijaciones constructivas inadecuadas o accidentadas, así como del uso inadecuado de la techumbre. Pueden afectar la impermeabilización, los elementos que entregan hermeticidad y aquellos que controlan la difusión de vapor de agua.

8.2.5. EFECTO “OVERCOOLING”

Por la noche bajo un cielo despejado, se puede generar un efecto de “overcooling” de las superficies de la tierra: Noches claras son particularmente frías. Este sobreenfriamiento o bien hipotermia es la consecuencia de la radiación de onda larga del planeta hacia el espacio. Las superficies terrestres pueden enfriar no sólo por debajo de la temperatura del aire, sino también por debajo del punto de rocío. En las edificaciones se sobre enfriar especialmente las cubiertas.

Se alcanzan diferencias de temperatura de aproximadamente 5 a 10 °C y más, entre la superficie de la cubierta y la temperatura ambiental.

Este enfriamiento excesivo de la superficie de la cubierta puede conducir a diferentes efectos no deseados:

- **Por el exterior:** Condensación, además como consecuencia y dependiendo de la zona climática, en invierno escarcha y en verano crecimiento de algas.
- **Por el interior:** Condensación y también como resultado, según estación y condiciones climáticas, estalactitas de hielo, moho y acumulación de humedad.

Por los posibles impactos en el comportamiento higrotérmico de la cubierta ha de considerarse este efecto en el diagnóstico de problemas de humedad de la techumbre.



Ilustración 128. Condensación en la cara interior de una cubierta metálica

8.3. ESTUDIO DE LA CUBIERTA DEFECTUOSA

Sólo en contados casos es evidente el ingreso de la filtración de agua por la cubierta.

Las causas que pueden provocar la falla del sistema de impermeabilización son múltiples y diversas, entendiendo la impermeabilización como parte de un todo, el complejo techumbre. Este está integrado por el soporte resistente, el aislamiento térmico, la propia impermeabilización y la protección final, si la hubiera, y los otros elementos que lo componen y funcionan como un conjunto.

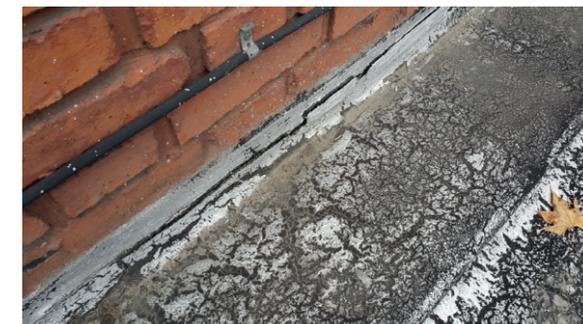


Ilustración 129. Membrana asfáltica fisurada y pérdida de adhesión con muro

8.3.1. DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS DE HUMEDAD

Los distintos tipos de humedades obedecen a fenómenos diversos y en muchos casos complejos. Sólo un análisis de cada caso, considerando el clima, la zona, las características del edificio, materiales, el diseño, el uso, por nombrar los más importantes, permite dar una solución adecuada al problema.

Se requiere un trabajo sistemático, imparcial y sin prejuicios con varias etapas:

A.Descripción de las características y condiciones relevantes del complejo de techumbre, incluyendo historial de uso, mantenimiento y modificaciones.

B.Determinación de los daños con registro escrito y fotográfico de las pruebas.

C.Diagnóstico:

Evaluación de los daños y determinación del origen (más probable) de la humedad. En la investigación de la cubierta y de la techumbre, ha de considerarse todos los posibles orígenes y causas del problema de humedad, a saber:

- Precipitaciones.
- Vapor de agua del aire interior (condensación intersticial).
- Humedad ambiental (efecto de condensación).
- Humedad accidental (de cañería o de procesos).
- Humedad de obra.
- Humedad del suelo.

El objetivo es descartar opciones y delimitar progresivamente las posibles explicaciones.

El diagnóstico puede llevarse a cabo en una o en dos etapas:

Previamente se puede realizar un pre-diagnóstico en el cual se descartan las fuentes y las vías de la humedad que con alto grado de certeza se pueden excluir.

D.Desarrollo de una propuesta de solución:

En muchos casos no será posible identificar el origen de un problema con absoluta certeza. En este caso corresponde identificar la causa más probable. Un error típico en el estudio de patologías de construcción es el aferrarse demasiado pronto a una posible explicación de las causas del problema encontrado.

En capítulo 6.7 Pruebas de estanqueidad y de localización de fugas, se describe las técnicas no invasivas disponibles.

Previamente se debe reconocer los focos de humedad en el último piso debajo de la cubierta y medir el grado de humedad de los materiales de construcción para poder registrar la variación de la humedad durante la prueba a realizar.

En caso de realizar una prueba de agua conviene comenzar con la ensayo menos invasivo, la de chorro de agua. Al detectar una entrada de agua se detiene la prueba para realizar las comprobaciones pertinentes.

En situaciones contrarias se procede con realizar una prueba de inundación de la cubierta, en lo posible por inundación parcial, para reducir el impacto sobre la construcción de la cubierta. Si en alguna de las zonas probadas se detecta una filtración de agua, podría ser necesario realizar un sondeo en el sector afectado para analizar la causa, el origen y el alcance del daño.

Frecuentemente es recomendable combinar dos o más métodos de diagnóstico.

8.3.2. SONDEOS DE INSPECCIÓN

Para examinar la impermeabilización en detalle no se dispone de procedimientos no destructivos. Un método es el sondeo o cala de inspección que consiste en abrir o desmontar la impermeabilización por capas en puntos específicos, con el objetivo de determinar de forma objetiva el tipo y/o la localización de un defecto en la impermeabilización.

Entre otros, en los siguientes casos puede ser necesario realizar calas de inspección:

- Cuando no es posible identificar el origen de humedades mediante investigación no invasiva.
- En la planificación de la re impermeabilización, con el objetivo de identificar las diferentes capas y materiales instalados en el transcurso de los años.
- En peritajes judiciales, con el objetivo de identificar la responsabilidad por defectos de planificación o ejecución.



Ilustración 130. En búsqueda de la falla.
Fuente: Neil Owen; <http://www.geograph.org.uk/photo/3753001>

8.4. LA SOLUCIÓN DE LA IMPERMEABILIZACIÓN DEFECTUOSA

Una vez identificado el origen del problema en la impermeabilización defectuosa y localizada la zona dañada, se procede con la reparación correspondiente según el contexto de solución de cubierta, materiales involucrados, tipo de daño y tipo de filtración.

Cuando las humedades por filtración son generalizadas o repetidas es justificable la re impermeabilización parcial o completa de la cubierta.

Si el origen del problema se ubica en otras capas o elementos de la techumbre, se repara la parte correspondiente de la construcción.



Ilustración 131. Falla en la reparación de un techo metálico mediante membrana asfáltica

8.4.1. REPARACIÓN LOCAL

Para la reparación de filtraciones en cubiertas están disponibles en el mercado una gran variedad de sellantes líquidos. Es importante asegurar la compatibilidad con los materiales a sellar, y la posibilidad de aplicación en materiales húmedos y en frío.

Como alternativa para reparaciones de emergencia existen también los "parches de impermeabilización" aplicables sobre una gran diversidad de materiales.

8.4.2. RE IMPERMEABILIZACIÓN

Debido a que el uso de impermeabilizaciones sintéticas es relativamente más reciente que el empleo de impermeabilizaciones bituminosas, una buena parte de los trabajos de re impermeabilización se llevarán a cabo sobre sistemas bituminosos, en general de materiales que han agotado su vida útil, o porque el diseño fuese inadecuado, la ejecución defectuosa, el uso indebido o el mantenimiento nulo.

En todo caso, la selección de la solución de re impermeabilización de una cubierta, requiere un estudio de cada caso en particular. En general, se consideran los siguientes criterios:

- Material existente y posibilidad de aplicar el mismo material.
- La adhesión y la compatibilidad entre materiales.
- Factibilidad de instalar nuevo material sobre capa de separación (interfaz).
- Accesibilidad de la cubierta, por ejemplo para subir materiales.
- Vida útil - durabilidad de la solución versus vida útil restante de la edificación-.
- Costos, estudio,-instalación, productos, mantención-.
- Oportunidades de mejoramiento, -para mejorar costo eficiencia y durabilidad-.

Siempre es recomendable evaluar varias alternativas de manera sistemática. Incluso en casos de cubiertas de baja complejidad puede ser recomendable asesorarse en la selección de la solución.

8.4.3. OPORTUNIDADES DE MEJORAMIENTO

La re impermeabilización de una cubierta ofrece la oportunidad de mejorar su calidad y desempeño. Considerando el costo y la vida útil de las obras de re impermeabilización, es recomendable evaluar la factibilidad técnica y económica de aplicar medidas adicionales con el objetivo de aumentar la eficacia de la inversión.

Los siguientes mejoramientos pueden optimizar el desempeño de la cubierta y aumentar su vida útil:

- Mejoramiento de las pendientes y del sistema de evacuación de aguas de lluvia.
- Cambio de materialidad por nueva tecnología.
- Integración o aumento de la aislación térmica.
- Técnicas de "cool roof", véase capítulo 9.1.4 Cool Roof-.

Finalmente, en caso de problemas extensos y profundos, se debe considerar el cambiar no sólo de la impermeabilización, pero de la cubierta completa o incluso de toda la techumbre.

En una edificación existente, la reparación o renovación de la impermeabilización de la cubierta, muchas veces puede resultar económicamente más conveniente que el reemplazo por una cubierta nueva. Sobre todo en aquellos casos donde al interior de la edificación se desarrollan actividades imposibles de paralizar o intervenir, en los cuales un cambio de cubierta afectaría su funcionamiento. Una reparación o renovación permite trabajar sin interferir con el interior del edificio.

8.4.4. SANEAMIENTO DE TECHOS INCLINADOS Y DE PAVIMENTOS

Para la reparación de techos inclinados con cubiertas de tejas de cemento, planchas de fibrocemento o similares, así como para pavimentos de cerámica o baldosas, existen soluciones de impermeabilización líquida que permiten proteger estas cubiertas contra el ingreso de humedad y así extender su vida útil.

Para un buen resultado es importante incorporar en los sectores críticos de fisuras, uniones y desagües, etc. un velo geotextil de refuerzo.



Ilustración 132. Impermeabilización y saneamiento de una cubierta metálica oxidada

9. Aspectos ambientales

9.1. IMPACTOS SOBRE LA ATMÓSFERA

9.1.1. HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAP)

Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), en inglés Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH), son compuestos orgánicos que se encuentran en el petróleo, el carbón y en depósitos de alquitrán así como en los productos de combustión. Como contaminantes han despertado preocupación debido a que algunos compuestos han sido identificados como cancerígenos, mutágenos y teratógenos.

En la impermeabilización de cubiertas, especialmente los sistemas asfálticos se relacionan con emisiones de HAPs, durante la producción y la instalación, así como en estado de recientemente instalado.

No obstante, los materiales que se asocian con riesgos para la salud humana son aquellos que contienen alquitrán de hulla o de carbón, que en la actualidad ya no se utilizan para la impermeabilización de cubierta.

Los sistemas modernos de impermeabilización asfáltica utilizan como materia prima exclusivamente bitumen en base de petróleo que permite el manejo y procesamiento sin riesgos para la salud, siempre y cuando se trate de productos certificados, que se instalan de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Los trabajadores pueden minimizar su exposición a potenciales emisiones siguiendo buenas prácticas de trabajo, tales como:

- Manejar el producto a la menor temperatura posible o el más bajo que permita el proceso.
- Trabajar en condiciones bien ventiladas.
- Realizar los trabajos al aire libre en sentido contrario a la dirección del viento.
- Rotación de trabajadores.
- Usar equipo de protección personal.

9.1.2. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV)

Los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), en inglés Volatile Organic Compounds (VOC), son sustancias químicas que contienen carbono y tienden a evaporarse fácilmente a temperatura ambiente, incluyen entre otros compuestos de los grupos de sustancias alifáticos, aromáticos, ésteres, cetonas, alcoholes, glicoles, compuestos clorados, siloxanos y aldehídos.

Los COVs además se generan como productos de reacción, por ejemplo, entre el oxígeno, el ozono o agua, así como sustancias de origen natural, tales como los compuestos de madera y de aceites vegetales.

Responsables de la contaminación del medio ambiente con compuestos orgánicos volátiles son principalmente las carreteras y la construcción.

En la construcción, los productos químicos como pinturas, recubrimientos y revestimientos contienen y emiten COVs en el exterior, mientras en el interior son además, los adhesivos y sellantes, sistemas de piso y productos de madera compuesta, a estos se suman los muebles, productos de limpieza, productos químicos de oficina y el humo del tabaco.

En los sistemas de impermeabilización de la cubierta, los COV son parte integral de las materias primas específicas utilizadas. En la fase líquida ayudan a proteger los materiales y a entregarle cualidades específicas como resistencia o blandura, además de mejorar la adherencia.

En general, las concentraciones de COVs que causan problemas de salud, se producen durante o inmediatamente después de la construcción o instalación, así como con el uso inadecuado de productos o bien del empleo masivo de productos inapropiados.

Los compuestos orgánicos volátiles son llamados precursores del ozono ya que reaccionan en la atmósfera con NO_x y monóxido de carbono en la presencia de luz solar, formando ozono troposférico. Ver abajo cap. 9.1.5. Ozono troposférico.

9.1.3. ISLA DE CALOR URBANO

El término "Isla de calor urbano" describe las zonas edificadas que presentan temperaturas promedios más altas que el campo abierto que las rodea.

El fenómeno consiste en la acumulación del calor en las ciudades debido a la construcción con materiales que absorben y acumulan el calor a lo largo de las horas de insolación, liberándolo durante la noche impidiendo que bajen las temperaturas.

La urbanización, la falta de áreas verdes, pavimentos impermeables y el uso desenfrenado del automóvil incrementan la magnitud de este fenómeno, que es causado por la interacción de diferentes efectos, a saber:

- Aumento de la absorción de la energía solar: Por superficies de baja reflectancia; por la ampliación de la superficie absorbente de calor; además por reflexiones múltiples entre los edificios.
- Aumento del calor acumulado debido a la capacidad térmica de los materiales de construcción.
- Emisión de calor antropogénico y de contaminantes atmosféricos.
- Obstrucción de los movimientos de aire por medio de la edificación, especialmente falta de ingreso nocturno de flujos de aire frío.
- Reducción de la evotranspiración debido a la reducción de la vegetación y el aumento del pavimento impermeable.

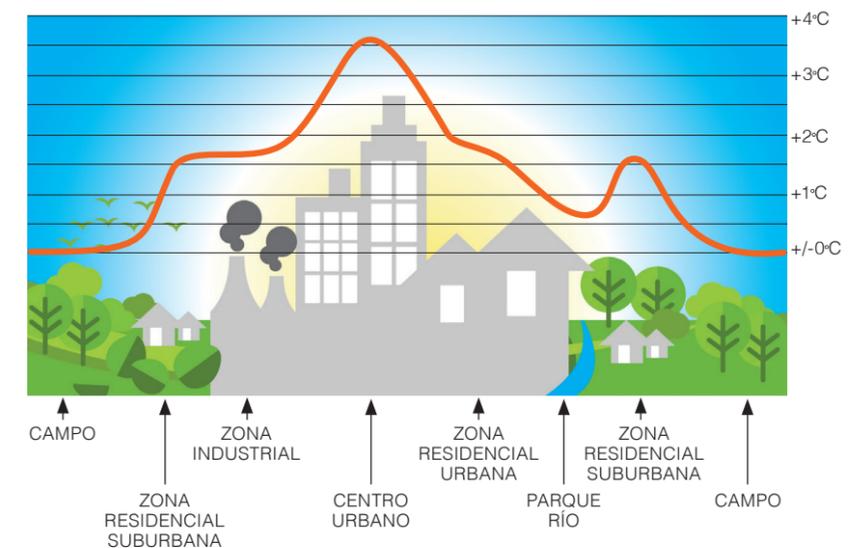


Ilustración 133. Isla de Calor Urbana: Aumento referencial de temperatura según tipo de zona urbana

El efecto se presenta en prácticamente todas las ciudades del mundo, en diferente medida, dependiendo del macro y mesoclima y de las características urbanas, pero generalmente es más fuerte cuanto más grande es la urbe.

Las consecuencias de la isla de calor urbana son muy variadas y no necesariamente son perjudiciales.

A continuación se identifican los posibles impactos en las ciudades:

- Disminución del período frío de invierno, reducción del uso de la calefacción y ahorro energético.
- Extensión del verano, incremento de la necesidad de refrigeración, aumento de la demanda energética para aire acondicionado.
- Aumento de eventos extremos de calor, con sus consecuentes perjuicios ambientales y económicos.
- Estrés térmico por calor, para flora, fauna y para el hombre, con riesgos para la salud humana especialmente en niños y adultos mayores.
- La mayor temperatura también contribuye a las reacciones de los gases de combustión presentes en la atmósfera.
- Alteraciones en la flora y fauna urbana.
- En algunos casos se observan alteraciones en el clima regional.

La reducción del efecto de isla de calor es extremadamente compleja. Requiere cambios sustanciales en la estructura urbana que mejoren la ventilación de la ciudad, disminuyen la densidad y la altura de construcción, y aumenten las zonas verdes. No obstante existen técnicas de mitigación del efecto isla de calor que son aplicables en cada edificación, entre ellos:

- Techos y pavimentos "fríos" con superficies de alta reflectancia y alta emisividad.
- Techos y fachadas verdes:
 - Los Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas en Chile (MINVU, 2016) definen en Tomo V Impacto ambiental, Capítulo 5.1.4 como objetivo: "Promover la reducción del efecto Isla de Calor en las zonas urbanas a través de estrategias de diseño aplicadas al sitio seleccionado y a la edificación" con las siguientes opciones de cumplimiento:
 - Áreas verdes horizontales: Asegurar un mínimo de la superficie horizontal del sitio como área verde.
 - Sombra proyectada sobre áreas duras exteriores: Planificar la instalación de árboles, plantas o instalaciones que aseguren sombra proyectada sobre áreas duras.
 - Superficies exteriores con alta reflectancia solar: Especificar superficies horizontales y techumbres del proyecto, con un Índice de Reflectancia Solar o Solar Reflectance index (SRI) de 29 como mínimo.

Respecto el Índice de Reflectancia Solar, ver el siguiente apartado.

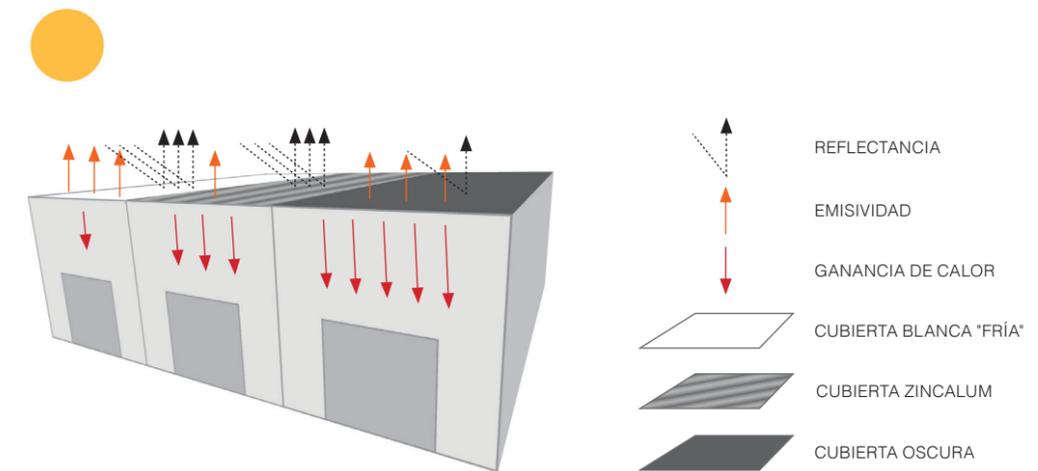


Ilustración 134. Esquema simplificado de "Cubierta fría".
Fuente: María Blender

9.1.4. COOL ROOF

"Cool roof" o cubierta fría⁹ es una estrategia para:

- Reducir el costo del aire acondicionado.
- Minimizar el efecto urbano de isla de calor.
- Bajar el estrés térmico que debe resistir la cubierta y de esta forma aumentar su vida útil.

Una cubierta fría es una cubierta con alta reflectancia solar y con alta emisividad.

- La reflectancia solar es la capacidad para reflejar la radiación solar visible, infrarroja y ultravioleta. En cuanto más energía es reflejada, menos energía está disponible para ser absorbida por la cubierta, y menos se calienta la superficie.
- La emisividad o emitancia térmica, se refiere a la eficiencia de una superficie en emitir energía en forma de radiación térmica. En cuanto más calor se puede irradiar, más rápido se enfría la cubierta, una vez que baje la temperatura ambiental.

Ambas características se expresan en porcentajes o como factor, sin unidad, por ejemplo 80 % o bien 0,80.

En la suma, la alta reflectancia y la alta emisividad resultan en temperaturas superficiales promedios considerablemente más bajas, lo que tiene como consecuencia temperaturas del aire locales más bajas.

El Índice de Reflectancia solar (SRI) considera ambos valores y es una medida de la capacidad del techo para rechazar el calor solar. Se define de tal manera que un negro estándar (reflectancia 0,05, emitancia 0,90) es 0 y un blanco estándar (reflectancia 0,80, emitancia 0,90) es 100.

Por ejemplo, el negro estándar tiene un aumento de temperatura de 50 °C a pleno sol, y el blanco estándar tiene un aumento de temperatura de 8 °C. Una vez que se ha calculado el aumento máximo de temperatura de un material dado, el SRI puede calcularse interpolando entre los valores para blanco y negro.

La mayoría de las cubiertas frías son de color blanco o de otros colores claros. En comparación, una cubierta oscura se caracteriza por una alta emisividad y una baja reflectancia, mientras una cubierta metálica tiene una baja emisividad y una alta reflectancia. Ambas absorben considerablemente más calor que una "cubierta fría", aumentando las ganancias térmicas del edificio así como la temperatura superficial de la cubierta. La siguiente figura muestra este efecto.

⁹ No se debe confundir con "techo frío" que se refiere a una techumbre con entretecho ventilado. Mayores detalles en capítulo 2.2.2 Tipología según ubicación de la aislación térmica.

Existen las siguientes directrices para las "cubiertas frías":

- **Energy Star¹⁰** define para productos para techos ASTM-C-1549 y 1371: Reflexión solar inicial $\geq 0,65$, reflexión solar a tres años $\geq 0,5$. (Energy Star no se refiere a la emisividad.)
- **CRRC** (Cool Roof Rating Council, en español: Consejo de Calificación de Cubierta Fría, organismo no gubernamental estadounidense). Un "cool roof" tiene una reflexión solar $> 0,8$ y una emisión térmica $> 0,8$.
- **Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas en Chile, MINVU:** Para reducir el efecto Isla de Calor, se proponen superficies horizontales y techumbres con SRI ≥ 29 . (No se refiere al concepto "cool roof").

Para reducir significativamente el sobrecalentamiento de un edificio, se requiere combinar la "cubierta fría" con una adecuada aislación térmica; en caso de una construcción ventilada, tipo techo frío, la ventilación de la cubierta y/o del entretecho debe ser efectiva.



Ilustración 135. Centro de distribución con "cool roof"

Techos verdes también tienen un efecto de "cool roof". También se habla de "cool colours" y "cool pavements" o sea, colores y pavimentos fríos. Ver también lo expuesto respecto los Estándares de Construcción Sustentable al final del capítulo sobre "Isla de calor urbana".

10 Programa de eficiencia energética de la Agencia de Protección Ambiental del Departamento de Energía de los EE.UU.

Bajo las siguientes condiciones es favorable realizar la cubierta como "cool roof":

- En zonas con clima caluroso y soleado durante una parte del año.
- En edificaciones con una demanda de energía de enfriamiento significativa (aire acondicionado).
- Con una superficie de cubierta grande en comparación con el resto de la superficie exterior del edificio.
- Con cubiertas que tienden a deteriorarse prematuramente debido al calor.

Sin embargo, en climas fríos, una cubierta tipo "cool roof" puede ser contraindicada:

No puede ahorrar energía de calefacción durante el invierno, al contrario, puede aumentar la cantidad de calefacción necesaria. Es porque las mismas propiedades que mantienen un techo fresco en verano también reducen su temperatura y transferencia de calor al edificio en invierno.

Por la misma razón se puede aumentar la ocurrencia del fenómeno de "overcooling" o bien sobre-enfriamiento. Véase capítulo cap. 8.3.5 Efecto "Overcooling".

Asimismo se ralentizará el tiempo de secado de la cubierta. Entre las posibles consecuencias está el crecimiento de algas, musgo u otros organismos.

9.1.5. OZONO TROPOSFÉRICO

El ozono (O_3) es uno de los muchos gases componentes de la atmósfera. Por un lado, la capa de ozono en la estratosfera protege la vida en la tierra de los daños por la radiación ultravioleta peligrosa del sol. Por otro lado, el ozono troposférico o superficial, es un agente oxidante fuerte que puede causar en humanos y animales irritación de las vías respiratorias y de los ojos.

Un aumento perdurable en la concentración de ozono en el aire respirable conduce a un mayor riesgo de muerte por enfermedades respiratorias. También tiene efectos nocivos sobre la vegetación hasta poder causar graves daños en las cosechas, además puede acelerar el desgaste natural de materiales plásticos, incluyendo la impermeabilización de cubierta.

El ozono es formado en la troposfera por varias reacciones químicas, que involucran a los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos reactivos orgánico volátiles (COVs) y el oxígeno en presencia de la luz solar. Se produce principalmente en las áreas urbanas por varias fuentes de emisiones, como los automóviles y la industria.

La contaminación por ozono es un problema diurno durante los días soleados. Especialmente, cuando hay temperaturas elevadas, asociadas a una alta radiación solar, y además hay poca mezcla de las corrientes de aire, el ozono superficial puede acumularse a niveles tóxicos.

En relación con el control de la contaminación atmosférica con ozono, en el año 2003, entró en vigencia el Decreto 112 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece la norma primaria de calidad de aire para ozono.

El impacto de los COVs y de las altas temperaturas urbanas en la generación del O_3 , relaciona este contaminante con la impermeabilización de cubiertas. De acuerdo a lo expuesto en los capítulos anteriores, las cubiertas pueden causar un aumento en la generación del ozono por dos razones:

- Los materiales de los sistemas de impermeabilización de cubierta pueden emitir COVs.
- Las cubiertas pueden contribuir al aumento de las temperaturas ambientales urbanos.

Por el contrario, las cubiertas con emisiones de COVs bajas y con efecto de cubierta fría, contribuirán a la disminución del problema de ozono en el aire ambiental. Por lo tanto, estas cualidades tienen mayor importancia en aquellas áreas urbanas que muestran concentraciones altas de ozono.¹¹

9.1.6. LOW-E

El concepto Low-E no aplica directamente a la impermeabilización de cubiertas. No obstante, a continuación se resume el asunto con el fin de prevenir malentendidos.

"Low-E" es la abreviación de "low (thermal) emissivity" y significa "baja emisividad (térmica)". Se refiere a una condición superficial que emite bajos niveles de energía térmica o bien calor radiante, es decir radiación infrarroja.

El concepto de "Low-E" en cristales se refiere a un recubrimiento espectralmente selectivo, generalmente de una de las caras interiores del cristal termopanel.

En la construcción de techos, "Low-E" se utiliza frecuentemente para láminas aluminizadas, generalmente acolchadas, que se instalan debajo de la cubierta. La finalidad es reducir la transferencia térmica, mediante el efecto combinado de una alta reflectancia superficial, la disminución de la conducción térmica así como la inhibición de la convección. Se utilizan de igual manera como protección térmica en invierno y como protección solar en verano.

11 Fuente: Eduardo M. Mera G.: Estudio de la evolución en la concentración de ozono en la ciudad de Santiago, y su relación con el lugar de presión máxima en Chile, Universidad de Chile, 2005.

Representan también barreras tipo cortavapor. Lo que debe considerarse para prevenir efectos no deseados.

9.2. CONTRIBUCIÓN A LA CERTIFICACIÓN DE SUSTENTABILIDAD DE LA EDIFICACIÓN

A continuación se revisa la contribución de la impermeabilización de cubierta en los sistemas más importantes de certificación de la sustentabilidad de la edificación, en la actualidad en Chile.

9.2.1. LEED

LEED ("Leadership in Energy and Environmental Design" - Liderazgo en Energía y Diseño Medioambiental) es un programa internacional de certificación voluntario para la edificación sustentable. Este sistema es representado en Chile por el Green Building Council Chile (www.chilegbc.cl).

En el sistema de Certificación LEED, la impermeabilización de cubierta, tanto como producto de impermeabilización así como sistema de techumbre, puede contribuir puntaje en las siguientes categorías de LEED v4, entre otros:

- Materiales y recursos
Ejemplos: Materiales y productos de origen sustentable, contenido reciclado, material regional.
- Eficiencia del agua
Ejemplo cubiertas verdes: Eficiencia en el uso del agua para paisajismo.
- Energía y atmósfera
Ejemplo: Eficiencia energética de la envolvente.
- Sitio sustentable
Ejemplo: Efecto isla de calor urbano, cubiertas vegetales: control de aguas lluvias.

9.2.2. CERTIFICACIÓN DE EDIFICIO SUSTENTABLE CES

La Certificación de Edificio Sustentable, CES, es un sistema chileno de certificación voluntaria para edificios de uso público (www.certificacionsustentable.cl).

En esta certificación, el complejo techumbre puede aportar puntaje mediante la reducción de la demanda de energía; y se valora especialmente la cubiertas vegetales, que pueden entregar puntaje en diferentes criterios (reducción de la evapotranspiración, reducción del consumo de agua para riego, entre otros).

9.2.3. ESTÁNDARES DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE PARA VIVIENDAS DE CHILE ECSV

El estándar ECSV (csustentable.minvu.gob.cl/estandares-cs) del Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU, a la fecha de la publicación del presente Manual, se entiende como una guía de buenas prácticas para mejorar el desempeño ambiental de las viviendas, y se encuentra en proceso de revisión para en el futuro llegar a ser un programa de certificación.

En este estándar, el complejo techumbre puede influir en el desempeño de la edificación en las siguientes categorías: Desempeño energético eficiente, Reducción efecto isla de calor, así como Materiales con atributos sustentables. Las cubiertas vegetales pueden mejorar el desempeño adicionalmente.

9.3. GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Al desechar todo material/producto se debe cumplir con las regulaciones nacionales y locales vigentes. (nueva línea)

La normativa nacional que regula la gestión y tratamiento de los residuos para las actividades generadoras de residuos está contenida principalmente en los siguientes textos:

- DFL 725 de 1967 del MINSAL o Código sanitario
- D.S. 594 de 1999 del MINSAL o Reglamento Sanitario sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales básicas en los lugares de Trabajo
- D.S. 148 de 2003 del MINSAL o Reglamento Sanitario de Manejo de Residuos Peligrosos
- D.S. 298 de 1994 del MINTRANS o Reglamento de Transporte de Cargas Peligrosas por Vías y Caminos
- D.S. 1 de 2013 del MMA o Reglamento de Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC)
- NCh 382 Of 2017: Clasificación de las sustancias peligrosas
- NCh 2245 Of 2015: Hoja de Datos de Seguridad de Producto Químico - Contenido y orden de sección
- NCh 2190 Of 2003: Transporte de sustancias peligrosas - Distintivos para identificación de riesgos

Debido a lo anterior, un tratamiento detallado del tema escapa al objetivo del presente manual. Por ello, parece razonable indicar algunas definiciones generales, y referenciar algunos documentos específicos que presentan en profundidad esta materia.

Definición de residuo

De acuerdo a lo establecido en el artículo 3 del D.S. N° 148/03, se entenderá por residuo o desecho a las sustancias, elementos u objetos que el generador elimina, se propone eliminar o está obligado a eliminar.

Cabe destacar que lo que define un generador de residuos es el RUT de la empresa administradora del sitio o de la obra dónde físicamente se genera el residuo y la dirección física correspondiente.

Definición de residuo peligroso

De acuerdo a lo establecido en el artículo 3 del D.S. N° 148/03, se entenderá por residuo peligroso, a los residuos o mezcla de residuos que presentan un riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directa o indirectamente, o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar algunas características señaladas en el artículo 11, las cuales son: tóxico agudo, tóxico crónico, tóxico extrínseco, corrosivo, inflamable, reactivo.

Para determinar si un residuo es peligroso o no, existen 2 metodologías:

- Por análisis de laboratorio acreditado
- Por metodología de listas del D.S. 148

Guías relativas al manejo y control de residuos

A continuación se indican algunos documentos que pueden resultar de interés para verificar situaciones específicas en relación al manejo y control de residuos:

- Guía para la Elaboración de Planes de Manejo de Residuos Peligrosos, conforme al título II del "Reglamento Sanitario sobre el manejo de residuos peligrosos", según el Decreto Supremo N°148/03 del Ministerio de Salud. Proyecto Conama / GTZ: "Gestión de residuos peligrosos en Chile", 2005.
- Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial. Manejo de solventes. Santiago, Junio 1999.
- Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial. Industria elaboradora de pinturas. Santiago, Agosto 1998.

Hojas de Datos de Seguridad de producto (HDS)

Al comprar una sustancia (insumo), esta se acompaña de una Hoja de Datos de Seguridad (HDS) entregada por el proveedor de la sustancia. Se debe considerar que las HDS de

los productos contienen recomendaciones relativas al manejo y disposición de las sustancias en desuso o todo material en desuso contaminado con estas.

El formato de las HDS está normado en Chile por la NCh 2245 la cual se actualizó en 2015.

Recomendaciones

Algunas recomendaciones y exigencias reglamentarias relevantes son las siguientes:

- La generación de desechos debe evitarse o minimizarse siempre que sea posible.
- La eliminación del producto y cualquier subproducto deben cumplir en todo momento con los requisitos de la legislación de protección del medio ambiente, eliminación de desechos y con las exigencias de las autoridades locales.
- En todo momento el generador de residuos debe asegurar la segregación en origen de los residuos entre los peligrosos y los no peligrosos y mantener en todo su ciclo de vida un manejo diferenciado entre ellos.
- Gestionar todo residuo, producto sobrante etc., reciclable o no, con un transportista y un destinatario respectivamente, autorizados para transportar y recibir el residuo considerado.
- Los desechos (peligrosos o no peligrosos) no deben ser eliminados, sin ser tratados previamente, a la alcantarilla a menos que cumplan plenamente con los requisitos de todas las autoridades con jurisdicción.
- Se recomienda que en la medida de lo posible los envases de residuos sean reusados o reciclados. La incineración o la disposición final en el relleno sanitario o vertedero autorizado sólo deberían considerarse cuando el reuso o reciclaje no son factibles.
- El material así como el recipiente que lo contiene o lo contuvo deben eliminarse de forma segura y autorizada por la SEREMI de Salud.
- Se debe tener cuidado al manipular recipientes vacíos que no han sido limpiados o enjuagados, ya que al momento de reusarlos podrían entrar en contacto con residuo/sustancias no compatibles y provocar reacciones violentas.
- Los contenedores o revestimientos vacíos pueden retener algunos residuos del producto. El vapor de los residuos del producto puede crear una atmósfera altamente inflamable o explosiva dentro del envase.
- No cortar, soldar o moler los recipientes usados a menos que hayan sido limpiados según procedimiento de trabajo seguro.

- Evitar toda emanación al ambiente de los residuos, dejando en todo momento los contenedores de residuos cerrados cuando no están en uso y tomando todas las precauciones necesarias para evitar derrames. En caso de derrame, asegurarse de evitar toda dispersión no controlada del material derramado, el escurrimiento y el contacto con el suelo, las vías fluviales, los desagües y las alcantarillas.
- Todo acopio, tratamiento, reciclaje de residuo debe ser autorizado por la SEREMI de Salud.
- Todo contenedor de residuo peligroso debe ser rotulado en todo momento según lo exigido en el D.S. 148.
- Un residuo peligroso se puede acopiar durante máx 6 meses.
- Todo generador de más de 12 ton al año de residuos peligrosos debe declarar el movimiento de estos por SIDREP (Sistema de Declaración de Residuos Peligrosos) a través de la Ventanilla Única del RETC (Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes). Además debe elaborar un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos e ingresarlo a la SEREMI de Salud que le corresponde.
- Todo envase de residuo peligroso, así como todo material contaminado con un residuo peligroso se debe manejar como residuo peligroso.

10. Aspectos legales

10.1. RESPONSABILIDAD CIVIL EN LA CONSTRUCCIÓN

En Chile, la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC¹²), en capítulo III Art. 18, regula la responsabilidad de los actores que participan tanto en el proyecto, como en el permiso, ejecución y recepción de las obras de edificación, así como la responsabilidad que le asiste al primer vendedor.

10.1.1. RESPONSABILIDAD CIVIL DEL PROPIETARIO PRIMER VENDEDOR

El propietario primer vendedor de una construcción es responsable por todos los daños y perjuicios que provengan de fallas o defectos en ella, sea durante su ejecución o después de terminada, sin perjuicio de su derecho a repetir en contra de los profesionales competentes o quienes sean responsables de las fallas o defectos de construcción que hayan dado origen a los daños y perjuicios.

En el caso de que la construcción no sea transferida, esta responsabilidad recae en el propietario del inmueble respecto de terceros que sufran daños o perjuicios como consecuencia de las fallas o defectos de aquélla.

10.1.2. RESPONSABILIDADES DE LOS PROFESIONALES

Según la Ley General de Urbanismo y Construcciones, los profesionales tales como arquitectos, ingenieros civiles, ingenieros constructores y constructores civiles son personas que se encuentran legalmente habilitadas para ejercer dichas profesiones. La intervención de estos profesionales en una construcción requiere acreditar que cuentan con patente vigente en la comuna de su residencia o trabajo habitual.

Los proyectistas son responsables por los errores en que hayan incurrido, si de éstos se han derivado daños o perjuicios.

Los constructores son responsables por las fallas, errores o defectos en la construcción, incluyendo las obras ejecutadas por subcontratistas y el uso de materiales o insumos defectuosos, sin perjuicio de las acciones legales que puedan interponer a su vez en contra de los proveedores, fabricantes y subcontratistas.

Las personas jurídicas son solidariamente responsables con el profesional competente que actúe por ellas como proyectista o constructor.

El propietario primer vendedor tiene la obligación de incluir en la escritura pública de compraventa, una nómina que contenga la individualización de los proyectistas y constructores a quienes pueda asistir responsabilidad; específicamente el arquitecto, el proyectista de cálculo estructural, los profesionales a cargo de los proyectos de especialidades, el profesional a cargo de la obra, el inspector técnico de obra (ITO) así como los revisores independientes cuando corresponda.

10.1.3. RECOMENDACIONES PLAZOS PARA HACER EFECTIVAS LAS RESPONSABILIDADES CIVILES

Las acciones para hacer efectivas las responsabilidades a que se refiere la Ley General de Urbanismo y Construcciones, prescriben en los plazos que se señalan en la siguiente tabla.

TABLA 38.

PLAZOS LEGALES PARA HACER EFECTIVAS LAS RESPONSABILIDADES CIVILES DE ACUERDO A LGUC ART. 18

CATEGORÍA DE FALLAS O DEFECTOS	PLAZO	INICIO DEL PLAZO
1. Fallas o defectos que afecten a la estructura soportante del inmueble	10 años	Contado desde la fecha de la recepción definitiva de la obra por parte de la Dirección de Obras Municipales
2. Fallas o defectos de los elementos constructivos o de las instalaciones	5 años	
3. Fallas o defectos que afecten a elementos de terminaciones o de acabado de las obras	3 años	Contado desde la fecha de la inscripción del inmueble a nombre del comprador en el Conservador de Bienes Raíces respectivo
Fallas o defectos no incorporados expresamente en los numerales anteriores o que no sean asimilables o equivalentes a los mencionados en éstos	5 años	Contado desde la fecha de la recepción definitiva de la obra por parte de la Dirección de Obras Municipales

10.1.4. JURISPRUDENCIA FALLIDA

En relación con la impermeabilización de la cubierta, no se ha encontrado información con respecto a veredictos en Chile.

10.2. CLASIFICACIÓN DE LA IMPERMEABILIZACIÓN DE LA CUBIERTA

En la actualidad, en Chile no existe claridad legal de la responsabilidad civil en caso de fallas o defectos en la impermeabilización de la cubierta.

Si bien las fallas o defectos de la impermeabilización de la cubierta pueden afectar considerablemente a la estructura soportante de una edificación, la impermeabilización en sí, especialmente cuando se trata de impermeabilizaciones del tipo pintura, está categorizada más bien como terminación.

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC¹³), incluye la cubierta en "Terminaciones" no contemplándola en "Obra gruesa" mediante las siguientes definiciones contenidas en Art. 1.1.2:

- **"Obra gruesa"**: Parte de una edificación que abarca desde los cimientos hasta la techumbre, incluida la totalidad de su estructura y muros divisorios, sin incluir las instalaciones, las terminaciones y cierres de vanos.
- **"Obras de mantención"**: Aquellas destinadas a conservar la calidad de las terminaciones y de las instalaciones de edificios existentes, tales como el cambio de hojas de puertas y ventanas, los estucos, los arreglos de pavimentos, cielos, cubiertas y canales de aguas lluvias, pintura, papeles y la colocación de cañerías o canalización de aguas, desagües, alumbrado y calefacción.

10.3. RECOMENDACIONES

La impermeabilización de la cubierta es una obra importante y crítica dentro de las obras de construcción, y por lo tanto también es causa de controversias. En caso de reclamos es una ventaja disponer de la documentación completa de los trabajos, ya sea como proyectista, instalador, supervisor o encargado de la mantención. Para minimizar los riesgos jurídicos es recomendable formalizar y/o protocolizar los documentos y actividades importantes de la fabricación y mantención de la impermeabilización de la cubierta, tales como:

- Proyecto de impermeabilización (de cubierta), preparado por un profesional especialista.
- Inspección técnica de obra, realizada por un profesional especialista.
- Prueba de agua y recepción de obras.
- Actividades de mantención preventiva y correctiva.
- Todos los contratos de proyecto, de instalación y de mantención.

10.4. RESPONSABILIDAD PENAL

En Chile, la responsabilidad de carácter penal o criminal se basa principalmente en los artículos 490 y 492 del Código Penal¹⁴. Estas normas establecen los denominados delitos culpables o cuasidelitos que por regla general se aplican en casos de accidentes, sin descartar casos excepcionales de delitos dolosos llamados simplemente delitos.

En el caso de la construcción, se sanciona penalmente al profesional de obra, que por imprudencia, negligencia, descuido o infracción de reglamentos, con o sin malicia, ejecutara un hecho o incurriera en una omisión que constituye un crimen o un delito contra personas.

12 LGUC de Abril 2016

13 OGUC de Sept. 2017

14- Código Penal del 23-09-2017

11. Anexos

11.1. INSTITUCIONES GREMIALES INTERNACIONALES

Las siguientes instituciones internacionales de idioma inglés, ofrecen información técnica, entre otros.

- National Roofing Contractors Association, www.nrca.net.
- EPDM Roofing Association, www.epdmroofs.org.
- Asphalt Roofing Manufacturers Association, www.asphaltroofing.org.
- Roof Coatings Manufacturers Association, www.roofcoatings.org.
- Cool Roof Rating Council, www.coolroofs.org.
- European Waterproofing Association, www.ewa-europe.com.
- Single Ply Roofing Association, www.spra.co.uk.
- Liquid Roofing and Waterproofing Association, www.lrwa.org.uk.
- National Roof Certification And Inspection Association, www.nrcia.org.

11.2. NORMAS TÉCNICAS

11.2.1. NORMAS CHILENAS

Impermeabilización de cubierta

- NCh 3304:2014 - Impermeabilización - Láminas bituminosas, plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas - Determinación de la estanqueidad de agua.

Pinturas comerciales decorativas

A continuación se presenta un resumen de las normas técnicas chilenas disponibles para las pinturas comerciales decorativas. Se trata de un conjunto de normas que no cubre todos los aspectos de los recubrimientos elastoméricos usados para techos; por ello se recomienda hacer referencia a las normas técnicas ASTM para complementar el cuerpo normativo requerido para una exhaustiva determinación de las propiedades de los recubrimientos elastoméricos.

- NCh1003:1989 - Determinación de viscosidad con aparato Stormer.
- NCh1008:1989 - Resistencia a la abrasión seca.

- NCh1974:1986 - Pinturas - Determinación del retardo al fuego (MINVU).
- NCh2055:1999 - Pinturas y barnices - Ensayos de exposición natural.
- NCh2143:1989 - Pinturas - Determinación del tiempo de secado.
- NCh2152:1989 - Pinturas - Determinación de materias volátiles en masa.
- NCh2153:1989 - Pinturas - Determinación de materias volátiles en volumen.
- NCh2154:1991 - Pinturas - Determinación de adherencia.
- NCh2159:1991 - Pinturas - Determinación del poder curador.
- NCh331:1997 - Pinturas - Terminología.
- NCh1001:1989 - Pinturas - Determinación de la densidad (MINVU).
- NCh1007:1989 - Pinturas - Determinación del espesor de película seca.
- NCh1010:1996 - Pinturas - Determinación del brillo especular en películas.
- NCh2042:2000 - Pinturas y barnices - Clasificación según uso y aplicación.
- NCh2220:1992 - Pinturas y barnices - Adherencia - Ensayo de corte.

Sistemas asfálticos

- NCh2884/1:2005 - Membranas asfálticas - Parte 1: Requisitos para las membranas asfálticas elastoméricas.
- NCh2884/2:2005 - Membranas asfálticas - Parte 2: Requisitos para las membranas asfálticas plastoméricas.
- NCh2800:2003 - Impermeabilización de techumbres - Imprimación de asfalto usado en cubiertas, impermeabilizantes al agua y a la humedad - Requisitos.
- NCh2801:2003 - Impermeabilización de techumbres - Materiales bituminosos, impermeabilizantes de cubiertas.
- NCh562:1969 - Productos bituminosos - Ensayo de impermeabilidad de revestimiento.
- NCh2934:2005 - Membranas asfálticas - Métodos de ensayo - Determinación del contenido de cenizas.
- NCh2935:2005 - Membranas asfálticas - Métodos de ensayo - Determinación del largo, ancho y rectitud.

- NCh2936:2005 - Membranas asfálticas - Métodos de ensayo - Determinación de la flexibilidad a baja temperatura.
- NCh2937:2005 - Membranas asfálticas - Métodos de ensayo - Determinación de la deformación remanente por tracción.

Juntas

- NCh2774:2003 - Materiales de construcción - Juntas y uniones - Vocabulario y principios fundamentales.
- NCh2512:2003 - Construcción - Sellantes para juntas - Vocabulario.
- NCh2513:2000 - Construcción - Sellantes para juntas - Determinación de la recuperación elástica.
- NCh2514:2000 - Construcción - Sellantes para juntas - Determinación de las propiedades de adhesión/cohesión a temperaturas variables.
- NCh2515:2000 - Construcción - Sellantes para juntas - Determinación de las propiedades de adhesión/cohesión tras la inmersión en agua.
- NCh2602:2001 ISO 8339 - Construcción - Sellantes para juntas - Determinación de las propiedades de tracción.
- NCh2603:2001 ISO 8340 - Construcción - Sellantes para juntas - Determinación de las propiedades de deformación bajo una extensión mantenida.
- NCh2604:2001 ISO 8394 - Construcción - Sellantes para juntas - Determinación de la extrusionabilidad de los sellantes de un sólo componente.
- NCh2605:2001 ISO 11432 - Construcción - Sellantes para juntas - Determinación de la resistencia a la compresión.
- NCh2826:2003 ISO 11600:2002 - Construcción - Sellantes para juntas - Clasificación y requisitos.

Acondicionamiento

- NCh852:1971 - Acondicionamiento ambiental - Materiales de construcción - Determinación de la permeabilidad al vapor de agua.

11.2.2. NORMAS INTERNACIONALES

Normas ASTM relevantes para impermeabilizantes elastoméricos líquidos de aplicación en sitio.

- ASTM D1644-01 - Determinación del Contenido de sólidos, en peso.
- ASTM D2697 - Determinación del Contenido de sólidos, en volumen.

- ASTM D2196 - Determinación de la viscosidad de pinturas.
- ASTM D2240 - Determinación de la dureza, en Shores A.
- ASTM E96 (BW) - Determinación de la permeabilidad de recubrimientos.
- ASTM D570 - Protocolo de ensayo para determinar la absorción de agua.
- ASTM D882-12 - Método de ensayo estándar para propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas
- ASTM D3960 - Determinación del tiempo de secado al tacto.
- ASTM D2370 - Determinación de la resistencia a tracción y elongación a ruptura.
- ASTM D4541 - Método de ensayo estándar ("pull off") para la resistencia a la extracción de recubrimientos utilizando comprobadores de adhesión portátiles.
- ASTM D6392-12 - Método de ensayo estándar para determinar la integridad de las costuras de geomembrana no reforzada producidas mediante termo-fusión
- ASTM C1549 - Determinación de la reflectividad solar de recubrimientos.
- ASTM E1980 - Determinación del índice de reflectancia solar (SRI) de recubrimientos.
- ASTM D522 (B) - Determinación de la flexibilidad a bajas temperaturas.
- ASTM E84 - Método de ensayo estándar para características de combustión de superficies de materiales de construcción.
- ASTM C1087 - Verificación de la compatibilidad química de materiales.
- ASTM D6694 - Especificación estándar para recubrimiento de silicona aplicado en líquido, y usado en sistemas de recubrimiento de espuma de poliuretano en spray.
- ASTM C719 - Determinación de la capacidad de movimiento de selladores.
- ASTM D412 - Determinación de la resistencia a tracción y elongación a ruptura de selladores.
- ASTM C679 - Determinación del tiempo de secado al tacto de selladores.

Normas de otros organismos

- UL790 - Características de flamabilidad de materiales.
- TT-C-555B - Resistencia a la lluvia con viento.
- CRRC (Cool Roof Rating Council) - Consejo de clasificación de techos fríos.
- EPA Método 24 - Determinación del contenido de compuestos orgánicos volátiles.

- DIN EN 12068 Recubrimientos orgánicos externos para la protección contra la corrosión de tuberías de acero enterradas o sumergidas utilizadas en combinación con protección catódica - Cintas y materiales retráctiles.

Normas ASTM para medir la resistencia al agua empozada

- ASTM D1653, "Método de prueba para la transmisión de vapor de agua de películas orgánicas recubiertas". En esta prueba, se utiliza una parte del revestimiento del techo como fondo de una copa y se mide la cantidad de agua que pasa a través de este conjunto. Los valores más bajos indican que el recubrimiento es más resistente al agua.
- ASTM D471, "Método de prueba para efectos de propiedades de caucho de líquidos". Simplemente reformulada, esta prueba determina cómo es "esponjoso" el revestimiento cuando se sumerge en agua. Los números más bajos indican que el recubrimiento será menos propenso a la hinchazón cuando se sumerge. Menos hinchamiento reduce la tensión en el enlace entre el recubrimiento y el sustrato del techo.
- ASTM C794, "Método de ensayo para la adherencia en la cáscara de selladores de juntas elastoméricas". Esta prueba mide la adhesión a la piel seca y húmeda. El ensayo de adhesión al desprendimiento húmedo se lleva a cabo inmediatamente después de que el sustrato del revestimiento y del techo se haya sumergido en agua durante una semana. El mínimo de adhesión en húmedo es de 2 pli y la adhesión en seco mínima es de 4 pli.

Norma de selección de técnicas de detección de fugas

- ASTM D6747-15 Guía estándar para la selección de técnicas eléctricas de ubicación de fugas en geomembranas

Norma ISO para determinar la absorción de agua

- UNE-EN ISO 15148:2003: Comportamiento higrotérmico de los materiales y productos de edificación. Determinación del coeficiente de absorción de agua por inmersión parcial.

Normas ISO para determinar la tasa de transmisión de vapor de agua para películas y láminas de plástico

- UNE-EN ISO 15106-1:2005: Plásticos. Películas y láminas de plástico. Determinación de la tasa de transmisión de vapor de agua. Parte 1: Método de detección mediante sensor de humedad (ISO 15106-1:2003).
- UNE-EN ISO 15106-2:2005 Plásticos. Películas y láminas de plástico. Determinación de la tasa de transmisión de vapor de agua. Parte 2: Método de detección mediante sensor infrarrojo (ISO 15106-2:2003).
- UNE-EN ISO 15106-3:2005 Plásticos. Películas y láminas de plástico. Determinación de la tasa de transmisión de vapor de agua. Parte 3: Método de detección mediante sensor electrolítico (ISO 15106-3:2003).

11.3. GLOSARIO

TABLA 40.
TÉRMINOS RELACIONADOS CON LA IMPERMEABILIZACIÓN DE CUBIERTA Y SU DEFINICIÓN

ESPAÑOL	INGLÉS	DEFINICIÓN
Alquitrán, alquitrán de hulla	<i>Tar, coal tar</i>	Sustancia densa y pegajosa, de color oscuro y olor fuerte, que se obtiene por destilación destructiva de materia orgánica. El alquitrán de hulla es un producto residual de la producción de coque, antiguamente también de la gasificación de carbón. Contiene breas y también sustancias tóxicas
Absorción de agua	<i>Water absorption</i>	El porcentaje de aumento de peso de una muestra después de la inmersión en agua durante un tiempo determinado. Los materiales porosos exhiben una mayor absorción de agua
Acrílico	<i>Acrylic</i>	Una fibra o un material plástico obtenido por polimerización del ácido acrílico o de sus derivados. Objeto o producto hecho con material acrílico
Adhesión	<i>Adhesion</i>	Atracción entre moléculas de diferente tipo
Adhesión química	<i>Chemical adhesion</i>	Adhesión entre superficies, generalmente de materiales similares, resultantes de una reacción química o reticulación de cadenas poliméricas
Ampolla	<i>Blister</i>	Un levantamiento de un revestimiento causado por un espacio cerrado de gas o líquido atrapado en el revestimiento
Aplicación en frío	<i>Cold application</i>	Capaz de ser aplicado a temperatura ambiente (incluso en invierno) en contraste con los revestimientos que deben ser aplicados en caliente
Apozarse	<i>Pond</i>	Dicho del agua: Empozarse, quedar detenida formando pozas o charcos
Ascenso capilar	<i>Capillary rise</i>	Mecanismo de elevación del agua sobre las paredes de una vasija delgada. Se desarrolla en un tubo suficientemente delgado, cuando las fuerzas de adhesión entre las moléculas de agua y las paredes del tubo, son más fuertes que las fuerzas cohesivas
Asfalto	<i>Asphalt</i>	Bitumen o mezcla de bitumen con cal, arena y otras sustancias que se emplea principalmente en la pavimentación de vías
Barrera de vapor	<i>Vapour barrier, vapor barrier</i>	Lámina o material que ofrezca una cierta resistencia al paso de vapor de agua, utilizado en la construcción para controlar la difusión de vapor de agua. Término genérico para retardantes de vapor y cortavapores
Bitumen, betún	<i>Bitumen</i>	Sustancia densa y pegajosa, de color oscuro y olor fuerte, que se obtiene por destilación no destructiva del petróleo, de la madera, del carbón vegetal o de otra materia orgánica. Puede ser producto residual o producto principal. Se emplea en el calafateo de buques, revestimiento de tuberías, en la industria farmacéutica y como impermeabilizante en la pavimentación y en la construcción. Sinónimo de asfalto

ESPAÑOL	INGLÉS	DEFINICIÓN
Brea, pez	<i>Pitch</i>	Sustancia viscosa de color negro que se obtiene por destilación de ciertas maderas, del carbón mineral y de otras materias de origen orgánico; se emplea en medicina, en la fabricación de plásticos, impermeabilizantes y pinturas protectoras
Capilaridad	<i>Capillarity</i>	Propiedad en virtud de la cual se puede generar el ascenso capilar
Caucho	<i>Rubber</i>	Sustancia elástica, impermeable y resistente que se obtiene a partir del jugo lechoso de ciertas plantas tropicales
Cohesión	<i>Cohesion</i>	Atracción entre moléculas del mismo tipo
Condensación	<i>Condensation</i>	Relativo a la humedad: Cambio de estado de gaseoso a líquido, es decir, de vapor a agua
Conducción	<i>Conduction</i>	Paso del calor por contacto directo entre un cuerpo y otro
Conductividad térmica	<i>Thermal conductivity</i>	Cuantifica la calidad de aislante térmico de los materiales. Más bajo el valor mejor. Símbolo λ (lambda). Unidad: W/(m·K). Aislante típico (seco): $\lambda = 0,03$ a $0,10$ W/(m·K)
Contenido de sólidos	<i>Solids content</i>	El porcentaje de materia no volátil en una formulación de revestimiento o sellador; puede expresarse como un volumen o porcentaje en peso
Convección	<i>Convection</i>	Transporte de calor y/o de humedad por movimiento de un fluido (gas o líquido), por ejemplo con aire
Cortavapor	<i>Vapour barrier, vapor barrier</i>	Lámina o material que ofrezca una alta resistencia al paso de vapor de agua, utilizado en la construcción para impedir la difusión de vapor de agua. También barrera de vapor
Cubierta	<i>Roof, roofing</i>	En la construcción, las partes y elementos horizontales e inclinados de la envolvente de una edificación que están directamente expuestos a la intemperie
Curado	<i>Curing</i>	Proceso de completamiento de la reacción química. Al completarse sustancialmente, el material debe desarrollar las máximas propiedades físicas alcanzables para la formulación particular utilizada. También se refiere al proceso de protección del hormigón que hace posible el endurecimiento de la mezcla en condiciones óptimas
Difusión	<i>Diffusion</i>	Nivelación natural de distintas concentraciones de gas (ej. Vapor de agua), similar a la osmosis. En la edificación sucede en invierno, cuando hay mayor temperatura y más humedad en el interior que en el exterior. También puede suceder en verano con condiciones inversas. Más preciso: Sucede cuando hay una diferencia en la presión de vapor
Dureza	<i>Hardness</i>	Capacidad de un material, para resistir el corte, la indentación o la penetración de un objeto duro
Elástico	<i>Elastic</i>	Que se puede estirar y deformar recuperando su forma cuando cesa la fuerza que la altere
Elastomérico	<i>Elastomeric</i>	Hecho de un elastómero. Con las propiedades de un elastómero

ESPAÑOL	INGLÉS	DEFINICIÓN
Elastómero	<i>Elastomer</i>	Goma; polímero que presenta propiedades elásticas, es decir que a temperatura ambiente es capaz de ser estirado repetidamente al menos el doble de su longitud original y, al liberarse el estrés, volver a sus dimensiones originales
Emisividad	<i>Emissivity</i>	La eficiencia de una superficie en emitir energía en forma de radiación térmica, por lo general refiriéndose a superficies homogéneas. Sinónimo de emitancia térmica
Emitancia térmica	<i>Thermal emittance</i>	Ver: emisividad
Empozamiento	<i>Ponding</i>	Retención de agua en un lugar, de modo que se forman pozas o charcos
Empozar	<i>Pond</i>	Dicho del agua: quedar detenida en el terreno o en una superficie formando pozas o charcos
Entizamiento	<i>Chalking</i>	La formación de una sustancia pulverulenta sobre una superficie revestida debido a la acción de la intemperie
EPDM	<i>EPDM</i>	Etileno Propileno Dieno tipo M; un termo polímero elastómero; un caucho sintético
Espesor de película	<i>Film thickness</i>	El espesor de una membrana o revestimiento. El espesor de la película húmeda es el espesor de un revestimiento aplicado; El espesor de la película seca es el espesor después del curado. El grosor de la película se expresa normalmente en milésimas de milímetro o micrones
Estanco	<i>Watertight</i>	Cerrado de tal modo que no deja pasar el aire y/o cualquier tipo de líquido. Impermeable especialmente al agua. Sinónimo de hermético
EVA	<i>EVA</i>	Etilvinilacetato; un polímero termoplástico; un caucho sintético
Exudación	<i>Exudation</i>	(1) La difusión de la materia colorante a través de un recubrimiento de sustrato -tal como la exudación del asfalto a través de revestimiento-. (2) La absorción de aceite de un compuesto desde una superficie porosa adyacente
Factor de resistencia a la difusión de vapor de agua	<i>Water vapor resistance factor</i>	Número adimensional que describe la capacidad de un material de resistir al paso de vapor de agua, en comparación con la del aire. Símbolo μ
Fraguado	<i>Setting</i>	Dicho de la cal, del yeso o de otras masas: Trabrar y endurecerse consistentemente en la obra fabricada con ellos
Fuerza de adhesión	<i>Adhesion strength</i>	La fuerza media -o fuerza por unidad de ancho-requerida para retirar -o, pelar, "peel-off" en inglés- una membrana u otro material del sustrato al que se ha unido
Geotextil	<i>Geotextile</i>	Una tela permeable y flexible de fibras sintéticas, principalmente polipropileno y poliéster, las cuales se pueden fabricar de forma no tejida (non woven) o tejida (woven) dependiendo de su uso o función a desempeñar. También geotejido
Hermético	<i>Airtight</i>	Cerrado de tal modo que no deja pasar el aire y/o cualquier tipo de líquido. Sellado e impenetrable especialmente al aire. Sinónimo de estanco

ESPAÑOL	INGLÉS	DEFINICIÓN
Hidro-	<i>Hydro-</i>	Referido al agua
Hidrófilo	<i>Hydrophile</i>	Propiedad de sustancias de atraerse y mantener contacto con el agua, y de tender a ser disueltas por el agua
Hidrófobo	<i>Hydrophob</i>	Propiedad de sustancias de no mezclarse con el agua y de aparentemente repelerlo de la superficie. También: Hidrófugo
Hidrófugo	<i>Waterproof</i>	Propiedad de sustancias de generar una barrera contra la humedad evitando su ingreso o filtración, especialmente la absorción capilar. También: Impermeabilizante
Hidrorrepelente	<i>Water repellent</i>	Ver: Hidrófobo
Higro-	<i>Hygro-</i>	Referido a la humedad
Higroscopicidad	<i>Hygroscopicity</i>	Propiedad de algunos materiales de absorber fluidos (líquidos o gases) del medio, por ejemplo absorber humedad del aire
Humedad absoluta del aire	<i>Absolute humidity</i>	Cantidad de vapor de agua contenida en 1 m ³ de aire. También: Concentración de vapor de agua
Humedad de saturación	<i>Saturation specific humidity</i>	Cantidad máxima de vapor de agua que puede contener 1 m ³ de aire, a una cierta temperatura y presión
Humedad relativa del aire	<i>Relative humidity</i>	Relación entre la cantidad de vapor de agua contenido en una masa de aire, y la cantidad de saturación. Símbolo: HR o RH
Impermeabilización	<i>Waterproofing-weatherproofing</i>	En la construcción, un recubrimiento o revestimiento que lo hace impenetrable contra el agua y los otros agentes atmosféricos. También el proceso constructivo respectivo
IRMA	<i>IRMA</i>	"Inverted roof membrane assembly" (inglés), en español: conjunto de membrana de techo invertido, se refiere a un sistema de techo invertido. Sinónimo es PMR
Low-E	<i>Low-E</i>	De baja emisividad
Mastic	<i>Mastic</i>	Un relleno y sellador a prueba de agua, tipo masilla, utilizada en la construcción. Especialmente refiriéndose a una preparación de asfalto
Membrana	<i>Membrane</i>	Una capa de material que actúa para impedir el paso de una sustancia. Las membranas pueden restringir el paso de aire, agua líquida o vapor de agua. Algunas membranas permiten el paso de algunas sustancias, excluyendo otras
Nanotecnológico	<i>Nano engineered</i>	Haciendo uso tecnológico de nanopartículas que tienen una dimensión no mayor que 100 nanómetros (nm)
Orgánico	<i>Organic</i>	Dicho de una sustancia: Que tiene como componente el carbono
PE-C	<i>PE-C</i>	Polietileno clorado; un elastómero
Permeabilidad	<i>Permeability</i>	Propiedad de algunos materiales higroscópicos de ser atravesados por fluidos -líquidos o gases-

ESPAÑOL	INGLÉS	DEFINICIÓN
Permeancia de vapor de agua	<i>Water vapor permeance</i>	Cuantificación de la cantidad de vapor de agua que pasa por un elemento constructivo
PIB	<i>PIB</i>	Poliisobutileno; un caucho sintético
Pigmento	<i>Pigment</i>	Partículas dispersadas insolubles finamente molidas (polvo) que, cuando se dispersan en un recubrimiento, pueden proporcionar, además del color, resistencia a la radiación UV, mejor resistencia a la intemperie, dureza, durabilidad, reflectividad y otras propiedades
Plástico	<i>Plastic</i>	Polímero que puede ser moldeado mediante presión o calor. Moldeable
Plastomérico	<i>Plastomer</i>	Polímero que reúne cualidades de elastómeros y de plásticos
PMR	<i>PMR</i>	"Protected membrane roof" (inglés), en español: techo de membrana protegida, se refiere a un sistema de techo invertido. Sinónimo es IRMA
Polimerización	<i>Polymerization</i>	Proceso mediante el cual las moléculas simples, iguales o diferentes, reaccionan entre sí por adición o condensación y forman otras moléculas de peso doble, triple, etc
Polímero	<i>Polymer</i>	Sustancia química que resulta de un proceso de polimerización.
punto de inflamación	<i>flashpoint</i>	La temperatura más baja de un material en el que emite vapores suficientes para formar una mezcla inflamable con el aire cerca de su superficie
Punto de rocío	<i>Dew point</i>	Temperatura de rocío
PVC	<i>PVC</i>	Policloruro de vinilo; material termoplástico
Radiación	<i>Radiation</i>	Emisión de energía o de partículas desde la superficie de un cuerpo, ej. Radiación electromagnética
Radiación ultravioleta	<i>Ultraviolet radiation</i>	Radiación electromagnética entre el extremo violado del espectro visible y los rayos X. Es una luz solar invisible (al ojo de las personas) de alta energía que provoca reacciones químicas de gran repercusión biológica y degrada muchos materiales orgánicos. Abreviación: UV
Recubrimiento	<i>Coating</i>	Una capa de material aplicada sobre una superficie para protección o decoración. Se pueden aplicar en forma spray, rodillo o cepillo
Reflectancia solar, reflectividad solar	<i>Solar reflectance</i>	La fracción de la luz solar que es reflejada por una superficie
Refuerzo de membrana	<i>Membrane reinforcement</i>	Tejidos o fibras embebidas en el revestimiento para proporcionar resistencia mecánica y resistencia al impacto
Reología	<i>Rheology</i>	Parte de la física que estudia la viscosidad, la plasticidad, la elasticidad y el derrame de la materia
Resistencia térmica	<i>Thermal resistance</i>	Cuantifica la calidad de aislante térmico de los elementos constructivos. Es la inversa de la transmitancia térmica. Símbolo R. Se usa para calcular el valor U de los elementos constructivos

ESPAÑOL	INGLÉS	DEFINICIÓN
Retardante de vapor	<i>Vapor retarder</i>	Componente usado en la edificación para controlar la difusión de humedad a través de la envolvente
Revestimiento	<i>Lining, coating</i>	Una capa de material instalada sobre una superficie para protección o decoración
Sellador, sellante	<i>Sealant</i>	Un material de impermeabilización flexible usado para sellar grietas o juntas en un sistema de impermeabilización o un sistema de barrera de aire. Normalmente se suministra en tubos, salchichas o baldes, y se aplica con una pistola de calafateo
Shore, dureza Shore	<i>Shore hardness</i>	Escala de medida de la dureza de indentación
Silicona	<i>Silicone</i>	Sustancia química de consistencia cremosa o sólida, compuesta principalmente de silicio y oxígeno, que presenta una gran resistencia al calor, a la humedad y a la electricidad; se emplea en la construcción para rellenar fisuras y como adhesivo. - No se emplea para la impermeabilizar y para hidrofobar-
Temperatura de rocío	<i>Dew point temperature</i>	Temperatura a la que la humedad relativa es 100% y a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire. Depende de la temperatura ambiental y de la humedad relativa del aire, y en menor grado de la presión del aire
Tensión superficial	<i>Surface tension</i>	El efecto que un líquido adquiere la menor superficie posible, y que la superficie se comporta similar a una película elástica estirada. Es la consecuencia de las fuerzas de cohesión. Facilita la formación de gotas
Termoestable	<i>Thermostable</i>	Un polímero que cura irreversiblemente a su estado final a través de una reacción catalítica. A diferencia de los polímeros termoplásticos, no se puede fundir un material termoestable
Termoplástico	<i>Thermoplastic</i>	(Material) que se ablanda por la acción del calor y se endurece al enfriarse, de forma reversible
Tiempo de secado	<i>Drying time</i>	El tiempo requerido para la pérdida de los componentes volátiles, de modo que el material no se presenta más en forma pegajosa, y por ende ya no se ve afectado negativamente por condiciones climáticas tales como rocío, lluvia o congelación
Tixotrópico	<i>Thixotropic</i>	Un material que tiene la propiedad de disminuir la viscosidad con el aumento de la tensión de corte que se le aplica. Un recubrimiento es tixotrópico si se adelgaza cuando se revuelve o se bombea, pero se espesa de nuevo cuando el movimiento cesa
Transmitancia térmica	<i>Thermal transmittance</i>	Cuantifica la calidad de aislante térmico de los elementos constructivos. Más bajo el valor más aislante térmicamente. Se usa para el cálculo de las pérdidas energéticas. Símbolo U

11.4. UNIDADES DE MEDICIÓN

En Chile rige el Sistema Internacional de Unidades (SI), o bien el sistema métrico decimal, que es el sistema de unidades que se usa en todos los países del mundo, con excepción de Estados Unidos principalmente.

No obstante en el país se sigue utilizando algunas medidas del sistema inglés de medidas (también denominado anglosajón o imperial). En la construcción, el largo de los clavos y el ancho, grosor y diámetro de la madera y de las cañerías de cobre se miden en pulgadas, mientras el peso del fieltro se mide en libras y el espesor de recubrimientos en mils.

Además, desde EE.UU. se importan productos y sistemas para la impermeabilización de cubiertas, que vienen con su respectiva información técnica expresada en unidades del sistema inglés.

En ocasiones nos encontramos con unidades del sistema cegesimal de unidades (CGS) que es un sistema de unidades basado en el centímetro, el gramo y el segundo. El sistema CGS ha sido casi totalmente reemplazado por el Sistema Internacional de Unidades (SI). Sin embargo aún perdura su utilización en algunos campos científicos y técnicos muy concretos.

La siguiente tabla reúne las unidades que son utilizadas la relación con la impermeabilización de la cubierta.

TABLA 41.
UNIDADES DE MEDICIÓN SELECCIONADAS

UNIDAD (SÍMBOLO)	UNIDAD EN INGLÉS (SÍMBOLO)	SISTEMA	CONVERSIONES	COMENTARIO
Centipoise (cP, cps)	centipoise (cP, cps)	CGS	1 cP = 1 mPa·s	El poise (símbolo: P) es la unidad de viscosidad dinámica del sistema cegesimal de unidades.
grano (gr)	grain (gr)	inglés	1 grano = 64,79891 mg	La mínima unidad de masa en el sistema inglés de medidas.
HR, Φ (%)	RH, Φ (%)			Unidad de la humedad relativa del aire.
libra (lb)	pound (lb)	inglés	1 libra = 453,6 g	Una unidad de masa. La libra como peso de fieltro se refiere correctamente a libras por metro cuadrado (lb/m ²)
libras por pulgada lineal (pli, PLI)	pounds per linear inch (pli, PLI)	inglés	1 PLI = 175,126 N/m	Una medida de la cantidad de peso en una longitud de algo de material. Se utiliza para describir la resistencia al desprendimiento de un adhesivo.
micrómetro, micrón, micra (µm)	micrometre (µm)	SI	1 µm = 0,001 mm	Unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro.
mil (mil)	mil (mil)	inglés	1 mil = 0,0254 mm = 25,4 µm	La mínima unidad de longitud en el sistema inglés de medidas, es la milésima parte de una pulgada.
perm (perm)	perm (perm)	inglés	1,0 US perm = 1,0 grano/pie ² ·hora·pulgada de mercurio ≈ 57 SI perm = 57 ng/s·m ² ·Pa	Unidad de permeancia al vapor de agua en el sistema de EE.UU.
pulgada (")	inch (in)	inglés	1 in = 1000 mils = 2,54 cm	Medida de longitud del sistema inglés

12. Referencias bibliográficas

- Bludau, Chr. y otros: Surface Temperatures on Flat Roofs and Hydrothermal Consequences, en: Proceedings of the 8th symposium on building physics in the nordic countries, Copenhagen, Demark, 2008
- Calavera, J.: Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón Armado para Edificios
- CDT: Grupo Técnico de Techos Verdes, Recomendaciones Técnicas para Proyectos de Cubiertas Vegetales, sin año, sin lugar.
- CDT: Humedad por Condensación en Viviendas. 2012
- Entscheidungsgrundlagen Flachdach, Technisches Handbuch, FDT FlachdachTechnologie, 2011
- Escola Politècnica Superior de Edificació de Barcelona, Patología de la Construcción: Humedades de Filtración en los diferentes tipos de Cubiertas Planas. Valoración de los puntos de riesgo
- Europäische Vereinigung Dauerhaft Dichtes Dach ddD: Information Reduzierte Lebensdauer, 2017
- Fachverband PAVIDENSA - Abdichtungen Estriche Schweiz: Empfehlung «Masstoleranzen und Ebenheit» PAV-E 06:2013
- Forbes, R. J.: Aus der ältesten Geschichte des Bitumens. Revista Bitumen. Enero, febrero y marzo del año 1934
- Griffin, C. W. ;R. L. Fricklas: Manual of low-slope roof systems. Fourth Edition. McGraw-Hill. New York. 2006
- Gobierno de Chile: Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022
- International Concrete Repair Institute (ICRI): Guideline No. 03732 Selecting and Specifying concrete Surface Preparation for Sealer, Coatings and Polymer Overlays
- MINEDUC/UNESCO: Mantenimiento de cubiertas e impermeabilización del establecimiento educacional. Santiago. 2000
- Ministerio del Medio Ambiente, Departamento de Cambio Climático: Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, Santiago, 2015
- Neufert: El arte de proyectar en arquitectura. 14a Edición. Barelona 1994.
- NRCA (National Roofing Construction Association): Roofing and Waterproofing Manual – Fourth Edition, EE.UU.
- Sack, W.-M.: BWA-Richtlinien für Bauwerksabdichtungen, Beuth Verlag. Berlin 2016
- Seminario Cemex - Tecnología del Concreto, México DF, 2013
- VMZINC Evacuación de Aguas Pluviales, España

SITIOS WEB

- Blog Ciencia y tecnología de la edificación (www.jordimarrrot.blogspot.cl)
- www.baunetzwissen.de
- www.ing-büro-junge.de
- www.nanowerk.com
- www.pslc.ws
- www.talk.roofing.com



**Tabiques Exteriores
Recomendaciones Técnicas
2017**



**Tabiques Interiores
Recomendaciones Técnicas
2015**



**Anuario Energético
2012**



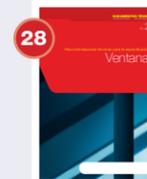
**Protección Sísmica de Estructuras.
Sistemas de Aislación Sísmica
y Disipación de Energía
2011**



**Recomendaciones Técnicas para
Muros Cortina
2014**



**Diseño y Dimensionamiento de
Sistemas Solares Fotovoltaicos
Conectados a Red
2014**



**Recomendaciones Técnicas
para la Especificación
de Ventanas
2011**



**Inspección Técnica de Obras:
Una Mirada al Futuro
de la Calidad
2011**



**Manual de Tolerancias para
Edificaciones
2013**



Anuario Energético 2013



**Construyendo Innovación
2010**



**Sistemas Solares
Térmicos II
2010**



**Gestión de la Innovación en la
Construcción
2012**



**Humedad por Condensación en
Viviendas
2012**



Anuario Solar 2011



**Recomendaciones Técnicas
para Proyectos de Cubiertas
Vegetales
2010**



**Evaluación de Daños y Soluciones
para Construcciones en Tierra Cruda
2012**



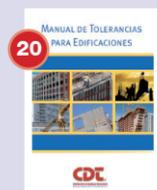
**Cielos Falsos:
Rasos y Modulares
2012**



**Compendio Técnico para Maquinaria
de Movimientos de Tierra
2010**



**Reacondicionamiento Térmico
de Viviendas en Uso
2010**



Manual de Tolerancias para Edificaciones 2009



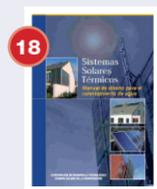
Aislación Térmica Exterior Manual de Diseño para Soluciones en Edificaciones 2008



Recomendaciones para proyectar y ejecutar Instalaciones Sanitarias Domiciliarias 2003



Recomendaciones para Diseño, Ejecución y Control de Suelo Mecánicamente Estabilizado con Armadura Inextensible 2002



Sistemas Solares Térmicos 2007



Guías para resultados para la optimización de la logística interna en obras de construcción 2007



Industria del Árido en Chile TOMO II 2001



Industria del Árido en Chile TOMO I 2001



Diagnóstico de la relación Mandante Contratista 2006



Recomendaciones Técnicas para el diseño, fabricación, instalación y mantención de muros cortinas 2006



Recomendaciones para Diseño, Ejecución y Control de Anclajes Inyectados y Postensados en Suelos y Rocas 2001



Recomendaciones para Pintado Arquitectónico 2000



Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en Faenas y Campamentos 2005



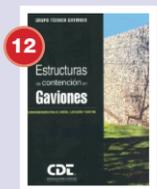
Guía de Diseño y Construcción Sustentable 2005



Recomendaciones para la Selección e Instalación de Ventanas 1999



Efectos del Agua Lluvia en Muros de Albañilería y Problemas de Humedad en Elementos Constructivos 1998



Estructuras de Contención en Gaviones 2004



Recomendaciones Técnicas para Demarcaciones Horizontales 2004



Incentivos en la Construcción 1998



Recomendaciones para el Diseño de Pavimentos en Chile Según AASHTO 1997