

08 T(32)c

MFD: 469

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
República de Guatemala, C. A.

"IMPERMEABILIZACION
E
IMPERMEABILIZANTES"

T E S I S

Presentada a la Junta Directiva de la
Facultad de Ingeniería
de la
Universidad de San Carlos de Guatemala

p o r:

GERMANO BEZZINA MIKOLY

Al Conferírsele el Título de:

INGENIERO CIVIL

Guatemala, Noviembre de 1967.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

08 T(32)c

MFD: 469

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
República de Guatemala, C. A.

"IMPERMEABILIZACION
E
IMPERMEABILIZANTES"

T E S I S

Presentada a la Junta Directiva de la
Facultad de Ingeniería
de la
Universidad de San Carlos de Guatemala

p o r:

GERMANO BEZZINA MIKOLY

Al Conferírsele el Título de:

INGENIERO CIVIL

Guatemala, Noviembre de 1967.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano:	Ing. Amando Vides T.
Vocal Primero:	Ing. Otto E. Becker M.
Vocal Segundo:	Ing. Francisco Ubieta
Vocal Tercero:	Ing. Leonel Pinot L.
Vocal Cuarto:	Br. Jaime R. Rousselin S.
Vocal Quinto:	Br. Francisco J. Godoy A.
Secretario:	Ing. José A. Massanet P.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

Decano:	Ing. Amando Vides T.
Vocal Primero:	Ing. Otto E. Becker M.
Examinador:	Ing. Larry Andrade M.
Examinador:	Ing. Enrique Torrebiarte M.
Secretario:	Ing. José A. Massanet P.

DEDICO ESTE ACTO

.....

A MIS PADRES.

TESIS DE REFERENCIA

NO

SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala establece, presento a vuestra consideración mi trabajo de tesis titulado

"IMPERMEABILIZACION
E
IMPERMEABILIZANTES"

Tema que me fue asignado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería.

*
* *

CONTENIDO:

Introducción

Capítulo I: Locales húmedos

- a) Efectos sobre las personas
- b) Falta de reglamentos Municipales
- c) Actitudes de algunos países para permitir la habitabilidad de nuevas construcciones

Capítulo II: Medidas de humedad

- a) Daños más comunes de la humedad
- b) Control de humedad
- c) Método para medir la humedad de un local
- d) Método para determinar el contenido de humedad del concreto endurecido en términos de humedad relativa

Capítulo III: Permeabilidad de los repellos

- a) Acciones químicas sobre los repellos
- b) Impermeabilización de repellos

Capítulo IV: Impermeabilización de techos

- I a) Materiales para la impermeabilización de los techos
- b) Asfalto colado
- c) Composición de la mezcla
- d) Preparación de la mezcla
- e) Colocación de asfalto colado
- f) Consumos y rendimientos

CONTENIDO:

-II-

- II Morteros bituminosos
 - a) Arena más llenador (filler)
 - b) Características del betún
 - c) Composición de los morteros bituminosos
 - d) Generalidades sobre la cantidad de bitumen necesaria
 - e) Método teórico para determinar la cantidad de bitumen necesaria
 - f) Métodos empíricos para determinar la cantidad de bitumen necesaria

- III Impermeabilización con cubiertas de capas múltiples superpuestas
 - a) El cartón-fieltro

- IV Cubiertas de madera

- V Cubiertas de concreto
 - a) Ejecución del trabajo
 - b) Impermeabilización con una sola capa de cartón-fieltro
 - c) Impermeabilización con dos o más capas
 - d) Juntas
 - e) Mantenimiento de la impermeabilización

- VI Fibra de vidrio
 - a) Empleos
 - b) La fibra de vidrio en los revestimientos anticorrosivos de las tuberías de acero

CONTENIDO:

-III-

- c) Composición del revestimiento
- d) Realización del revestimiento
- e) Problemas encontrados en el manejo de fibra de vidrio

VII Techos de lámina

Capítulo V: Consideraciones finales

Conclusiones

Apéndice: Normas establecidas para trabajos de impermeabilización aprobadas por el Ministerio de Obras Públicas de Francia

Bibliografía.

INTRODUCCION:

El tema de la impermeabilización y de los impermeabilizantes ha sido tratado muy poco en libros y manuales. La bibliografía que se puede encontrar es realmente muy escasa no sólo en Guatemala, sino en los otros países también. He tenido la suerte de colaborar con mi padre en la realización de varios trabajos de impermeabilización, con lo que tuve la oportunidad de aprender teórica y prácticamente esta parte importante de la construcción.

Desde que se construyó la primera casa, su protección contra la acción del tiempo y de la intemperie, ha sido el punto más importante a considerar. La impermeabilización ha jugado siempre un papel de mucha importancia sobre los problemas de duración de las obras ejecutadas. Todos los problemas de impermeabilización de los edificios, aunque puedan parecer secundarios a un examen superficial, revisan por el contrario una notable importancia.

La humedad es el enemigo número uno de todas las construcciones y a ella se deben la mayor parte de los defectos que en ellas se manifiestan. En la mayoría de los casos el especialista en impermeabilización es llamado cuando el problema está ya agravado y no se pueden remediar los efectos nocivos que la falta de previsión ha causado.

En los materiales de la construcción el agua actúa en forma mecánica y química. La acción mecánica la efectúa sobre todo en las zonas frías, en las pequeñas rajaduras a través de las contracciones y dilataciones debidas a cambios de temperatura. Químicamente actúa el agua formando depósitos de sales solubles o eflorescencias (salitre) y oxidaciones como en el acero de refuerzo.

Los problemas de protección contra la humedad por consiguiente consisten en preservar las obras del contacto de la humedad ó impedir el efecto nocivo inmediato del agua sobre los distintos elementos de una obra.

En el campo de la impermeabilización se ha lamentado en los últimos tiempos por todo el mundo inconvenientes bastante graves, muchos de los cuales se han debido al hecho de haber abandonado antiguos y seguros métodos y haber introducido nuevas técnicas que, aunque bastante buenas en la mayoría de los casos, han sido aplicadas sin la debida cautela.

Por otra parte, el empirismo general que domina este campo, el poco interés demostrado por las autoridades competentes por dar y seguir en las licitaciones y las inspecciones, normas precisas y adecuadas para nuestro medio, la competencia bastante activa, ideas poco claras del trabajo a efectuarse, y una economía llevada al extremo, son algunos de los factores que nos hacen comprender estas deficiencias.

Para dar un ejemplo bastará decir que en una obra bastante importante de impermeabilización sacada a licitación hace aproximadamente dos años, después de ofrecer todos los detalles pertinentes al tipo de impermeabilización deseado, uno de los puntos hacía énfasis en que: "El trabajo de impermeabilización deberá suspenderse si la temperatura bajara a más de 5 grados centígrados bajo cero". Claro que vivimos en una época donde los fenómenos atmosféricos, según opiniones calificadas, hacen de las suyas pero no nos parece que una especificación de esta índole deba incluirse en una licitación en nuestro medio. En algunos países las dificultades han sido superadas por medio de un estudio de los materiales y los procedimientos más idóneos y convenientes, además de los datos obtenidos de la expe-

riencia e incluyendo estos resultados en normas aplicables a todos los tipos más comunes de impermeabilización.

Esperamos que también aquí en Guatemala podamos llegar pronto a este necesario esclarecimiento de la técnica de impermeabilización y a la formulación de normas que la rijan. Al final de este trabajo de tesis se inserta la traducción del texto sobre trabajos de impermeabilización redactado por la "Office des Asphaltes" y aprobado por el Ministerio de Obras Públicas de París. Los trabajos ejecutados según estas normas, deben ser asegurados obligatoriamente por sociedades de seguros francesas, las cuales por medio de sus expertos pueden controlar la ejecución de los trabajos y la calidad de los productos empleados. Si lográramos esto aquí en Guatemala las ventajas serían considerables pues: 1) Se evitarían los daños económicos derivados de pésimas impermeabilizaciones, y 2) se evitaría la ejecución de trabajos de impermeabilización deficiente por el uso de materiales de pésima calidad y por ser ejecutados por empresas no especializadas.

Espero sinceramente que los argumentos que en esta tesis se tratarán en forma general, sean en lo particular ampliados en tesis sucesivas a modo de lograr normas constructivas propias, o sea adecuadas totalmente a nuestro medio, y que abarquen en su totalidad el amplio campo de la impermeabilización.

CAPITULO I

LOCALES HUMEDOS

a) Efectos sobre las Personas.

Creo que nunca nadie ha pasado un año sin haber sido víctima de un resfriado. Estadísticamente en todo el mundo se es víctima de por lo menos dos resfriados al año. Una de las muchísimas causas de esta enfermedad son los locales húmedos en los cuales la vitalidad de los gérmenes es favorecida. Además, mientras más baja sea la temperatura que nos rodea, menos defensas tenemos contra los gérmenes que actúan sobre nuestro organismo.

Sabemos también que los virus del resfriado tienen una simpatía bastante notoria por las vías respiratorias. Los virus atacan las mucosas de la garganta, de la tráquea, de los bronquios y hacen decrecer las defensas.

Establecido está que la vida vegetal y animal dependen fundamentalmente de dos factores climáticos: la humedad y la temperatura.

La atmósfera húmeda en la cual el hombre pasa la mayor parte de su vida tiene una fuerte acción sobre las anginas, enfermedades de los dientes, laringitis, bronquitis, neuralgias y dolores articulares. También no hay que olvidar que la humedad actúa también sobre los órganos digestivos y el sistema nervioso.

El constante vivir en un ambiente húmedo no apto para el saludable desarrollo del hombre, puede llevarlo a un estado patológico crónico que, aunque sea de escasa actividad puede llegar a consecuencias mayores. Tenemos que

hacer una pequeña reflexión y pensar que una irritación de la garganta, una inflamación de la tráquea o de los bronquios indica la presencia de gérmenes o virus los cuales por diferentes reacciones y no siempre bien controlados encuentran en estos ambientes húmedos la mejor condición para su desarrollo y llegar a ser la causa de enfermedades más graves y más molestas. De este modo es como un simple catarro que el ambiente favorable mantiene en estado avanzado se puede transformar en sinusitis que hace tiempo terminaban bajo el bisturí y que ahora afortunadamente en la mayoría de los casos ceden a el arma antibiótica, pero no por eso dejan de ser molestas y peligrosas.

No es necesario seguir con la enumeración del grande y numeroso tipo de enfermedades que la humedad ambiental engendra en mayor o menor forma. Lo importante es hacer notar la culpabilidad de la misma y tratar de evitarla, considerándola como un factor importante más en el diseño de una construcción.

b) Falta de Reglamentos Municipales

En reciente consulta hecha a la Municipalidad de Guatemala, la Sección de Construcción Privada informó carecer de un Reglamento de Construcción Privada habiéndose agotado los ejemplares desde hace algún tiempo y que además dichos ejemplares no estaban de conformidad con normas actuales; en pláticas sostenidas se estableció que las inspecciones que se verifican por parte de dicha sección son solamente para ver si la construcción se está haciendo y se termina de construir, según los planos que fueron presentados y aprobados en la Municipalidad.

Muchas veces por encargo de ingenieros he elaborado planos de casas de habitación, habiéndome encargado

también de llevarlos a la Municipalidad para su aprobación, obteniendo la licencia de construcción en un par de días, sin haberme sido requerido ninguna otra especificación técnica para su construcción. Por lo tanto, desde el punto de vista de habitabilidad de inmuebles debida a factores de humedad no hay ningún requisito que llenar. Sería conveniente que la Municipalidad se interesara de incluir un artículo en el Reglamento de Construcción abordando este tema, dando así muestra de superación.

c) Actitudes de Algunos Países para Permitir la Habitabilidad de Nuevas Construcciones

La mayoría de los países en el mundo contemplan el punto de la humedad en sus reglamentos y en las inspecciones de las nuevas construcciones es requisito indispensable velar porque esas prescripciones se cumplan.

El artículo 16 del reglamento de la Municipalidad de Roma dice: "La licencia para la habitabilidad de un edificio podrá darse sólo después de pasados seis meses de haberse cubierto el edificio. Los meses de Noviembre a Febrero (que son meses de invierno en Europa) se cuentan como medio mes y los de Junio a Septiembre por mes y medio". Añade más adelante: "de manera excepcional podrá darse el permiso de habitabilidad antes de seis meses, cuando se trate de estructuras con mucha ventilación, asoleadas o de altura limitada, construidas con muros delgados, preferentemente de ladrillo".

También efectúan controles sobre construcciones ya existentes para autorizar o no la continuación de la habitabilidad. En el caso de construcciones antiguas no tratan de controlar un tiempo de secado, sino más bien de valorizar las condiciones actuales de la construcción y esto sólo se puede lograr por medio de medidas instrumentales sobre

el aire y la mampostería del edificio.

Para las habitaciones, el Reglamento de Higiene de la Municipalidad de Roma dice lo siguiente: "Artículo 43, La humedad permanente que no se puede extraer, que produce inhabilitación, cuando no presenta señales visibles deberá de ser determinada por el inspector mediante pruebas repetidas del estado higrométrico diferencial del aire ambiente y del aire exterior en varios días secos y haciéndose un examen químico de los morteros en el Laboratorio químico municipal".

Como puede apreciarse, se da gran importancia a los signos visibles aunque sin precisarlos, y después se prescriben las dos únicas medidas sobre el aire y la mampostería, sin indicar ninguna cifra, ni límite numérico. O sea que en Roma especialmente, los reglamentos se limitan a indicar normas genéricas dejando gran elasticidad a los oficiales encargados de hacerlas respetar.

El reglamento de la Ciudad de Turín es un poco más complejo y aunque no menciona la prueba del grado higrométrico del aire prescribe con exactitud la interpretación que hay que dar a la prueba que sirve para determinar la humedad de la mampostería.

El artículo N° 236 del reglamento Municipal de Turín dice: "Se considerará habitable un edificio en el que el mortero extraído del espesor de los muros no contenga más del 3% de agua en los meses de Junio a Septiembre y más del 2% en los demás meses del año. Para locales que se ocupan solo de día (tiendas, laboratorios, oficinas, etc.) el mortero no debe contener más del 4% de agua en todos los meses del año".

Se hace sentir que como en el sector de la estabilidad

respetamos los límites numéricos de los esfuerzos a los que debe trabajar el concreto ó el acero, así en el sector de la higiene hay que aprender a respetar los límites numéricos de resistencia térmica, por así decirlo, de las estructuras secundarias que circundan nuestras habitaciones.

En los Estados Unidos de Norteamérica ya desde muchos años atrás, se efectúan las revisiones de habitabilidad. El construir sin la debida protección a las filtraciones y a la humedad sería como olvidarse de poner el hierro de refuerzo.

En Alemania sea para el hormigón o para los morteros, existen las normas DIN. La norma 1048 dice que las adiciones de impermeabilizantes tienden a mejorar la impermeabilidad al agua de los hormigones y los morteros. Actúan a manera de taponar los poros como la cal, trass, thurament o repeliendo el agua como por ejemplo el Ceresit, Sika, Tricosal, Torosil, Prolapin, Casasana, etc., así como las emulsiones bituminosas. Sólo deben emplearse aquellos impermeabilizantes que no afecten la resistencia del hormigón o que no signifiquen una aceleración del fraguado del cemento. Por ello se recomienda efectuar ensayos previos, sea con cemento o con hormigón.

Para la impermeabilidad del hormigón según la especificación DIN 1018, se efectúa un ensayo sobre probetas en forma de placa observándose si a presiones de 1, 3 y 7 atmósferas de presión de agua (actuando 48 horas la primera y 24 horas cada una de las restantes), del lado expuesto al aire aparecen manchas de humedad, se forman gotas y si estas caen. La impermeabilidad establecida en esta forma depende de la mayor o menor adhesividad del cemento, del contenido del mismo por metro cúbico, de la granulometría de los agregados, de la cantidad de agua en la mezcla, del grado de compactación, del tipo de tratamiento posterior

al moldeo y naturalmente del espesor del hormigón.

Efectuando la determinación con el espesor de probeta corriente $d=12$ cm., la especificación DIN 1048 establece que, el hormigón será impermeable siempre que su contenido de cemento sea superior a 250 Kg./metro cúbico, la granulometría de los agregados responda a la curva granulométrica adecuada según DIN 1045, su consistencia para métodos corrientes de compactación se mantenga dentro de límites levemente plásticos y se haya asegurado una compactación suficiente.

Tratándose de hormigón fluido y hormigón apisonado, no es posible esperar que los mismos sean impermeables. Los hormigones de mucha consistencia pueden tender a la impermeabilidad, si se les vibra, El agregado de impermeabilizantes no puede salvar la impermeabilidad de un hormigón de deficiente granulometría; el uso de los mismos presupone emplear granulometrías correctas y un suficiente contenido de cemento. Los impermeabilizantes facilitan y favorecen, sin embargo, la obtención de una estructura uniforme del hormigón y especialmente la impermeabilización de las juntas de unión (juntas de trabajo en la unión del hormigón fresco con el ya endurecido).

Hay muchas otras normas alemanas sobre impermeabilización de las construcciones en general, que podrían estudiarse para establecer aquellas que pudieran ser de aplicación práctica en nuestro medio.

En Estados Unidos de Norteamérica el ensayo de permeabilidad del concreto se efectúa de una forma bastante similar a la DIN. Se usan discos de 2.5 cm. de espesor por 15 cm. de diámetro. Se usan tres diferentes relaciones de agua-cemento. Los especímenes están sujetos a una presión de agua de 20 libras por pulgada cuadrada por 48 ho-

ras después de diferentes períodos de curado a 70 grados F. El agua que pasa a través de los discos es recogida y medida. Por medio de diagramas se puede observar cómo gran parte de la filtración a una determinada edad del hormigón es reducida por una disminución en la relación agua-cemento. Además, se puede observar en este tipo de ensayo como para una determinada relación de agua-cemento la filtración disminuye notablemente con una mayor duración del curado.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

CAPITULO II

MEDIDAS DE HUMEDAD

a) Daños más Comunes de la Humedad:

Cada vez que se nos presente un problema de humedad será diferente del anterior por lo cual nunca se podrá dar soluciones generales, sin efectuar una minuciosa investigación previa y sucesivamente obtener la solución mejor tanto desde el punto de vista de la eficacia, como del punto de vista económico.

Es aconsejable el efectuar una serie de determinaciones para obtener la máxima seguridad del trabajo de control de humedad que se va a emprender. Las determinaciones recomendables son:

- 1) Medidas de la concentración y distribución del agua dentro de la estructura del muro.
- 2) Medida de la humedad del aire.
- 3) Origen del agua.
- 4) Determinación del poder aislador de la mampostería externa.

Estas determinaciones tan importantes no se pueden efectuar a simple inspección ocular y dejar que la impresión personal del observador sea la que decida sobre la mayor o menor necesidad de emprender el trabajo de reparación.

Hay medidas que en este caso son indispensables y que

deben efectuarse indefectiblemente. La primera medida es establecer el vapor que contiene el aire. La segunda es la medida del agua que contiene la mampostería.

La primera se puede determinar con un instrumento adecuado como un higrómetro; la segunda se establece en el laboratorio con la balanza, dosificando el agua contenida en las muestras extraídas de la masa interna del muro. Debe tenerse el cuidado de sacar varias muestras a diferentes alturas. Cuanto más sea el daño, tanto más indispensable será efectuar un minucioso muestreo para determinar con exactitud la dosis de agua presente. Haciendo estas dos medidas, podremos traducir en números dos determinaciones que de otra manera habrían tenido un significado errático o por lo menos inseguro.

De estas dos determinaciones la más importante es la de la dosificación del agua dentro de la mampostería, porque con un cierto número de sondeos se logra definir la distribución cuantitativa del agua y al conocer esto, es fácil averiguar por donde la misma está penetrando.

Debe tenerse mucha cautela en juzgar los daños aparentes. Las manchas en el repello no indican el grado de humedad y en construcciones de una cierta edad, estas manchas pueden representar un fenómeno que ya ha desaparecido desde hace tiempo y no representan la humedad actual. También la presencia de eflorescencias no nos indica que una pared sea más húmeda que otra por tener más eflorescencia. Al notar la presencia de moho tampoco hay que sacar una apresurada conclusión sobre el grado de humedad del local y del origen del agua que lo provoca. Todo esto no hace más que indicarnos que no se puede obtener una escala de intensidad del fenómeno humedad con las manifestaciones visibles. Muchas veces se ha tratado de averiguar el grado de humedad por medio de pruebas empí

ricas, pero como es lógico de suponer, la opinión que se obtenga sobre la humedad de un local en esta forma dependerá de la impresión y de la experiencia personal del encargado de efectuar estas pruebas. De este modo pues es muy difícil llegar a una solución acertada. Serán por lo tanto las medidas instrumentales las que nos guiarán para emitir una opinión técnica en los casos examinados.

Hay que hacer notar también la diferencia que existe entre los fenómenos de humedad que aparecen en las nuevas y en las viejas construcciones. En los edificios viejos la humedad es siempre de invasión y tiene un carácter crónico; en los edificios nuevos es de construcción y tiene un carácter fuerte, pero transitorio. Claro está que es muy diferente el comportamiento en los dos casos aunque el perjuicio que acarrea las dos modalidades es el mismo o sea ocasionar serias molestias a los habitantes y a las pertenencias que en esos ambientes se colocan. En una pared nueva el agua la transporta y la distribuye el mortero, mientras los núcleos centrales de los ladrillos o de los otros materiales empleados, permanecen secos, en la construcción antigua la distribución del agua es uniforme.

También se puede hacer la siguiente distinción: Mientras la humedad de construcción está difundida uniformemente en todo el edificio con menor intensidad de arriba a abajo y desaparece bastante rápidamente con el tiempo, en las construcciones viejas la humedad por invasión está distribuida irregularmente y por lo mismo sólo en parte del edificio, siendo estacionaria aunque en la mayoría de las veces progresa con el tiempo. Para determinar si el local es habitable se tendrá que tomar en cuenta los dos tipos de humedad por medio de la medida cuantitativa de la humedad presente en el interior de la mampostería, tomando en cuenta los factores climáticos y constructivos locales.

b) Control de Humedad

El problema entonces será siempre el de la disecación radical de los muros. ¿Cómo podemos obtener esta disecación? Las soluciones más sencillas son:

- 1) Con ventilación, la cual extrae el aire muy húmedo y lo substituye por el seco del exterior.
- 2) Con calefacción.
- 3) Con obras que interceptan el paso del agua a la entrada o a la salida de la mampostería húmeda.

Los dos primeros medios actúan sobre el aire; el tercero actúa sobre la mampostería.

¿Cuándo serán aplicables estas tres soluciones? En las construcciones nuevas no hay otra cosa que hacer que obrar sobre el aire activando al máximo la ventilación natural.

Se ha tratado también de obrar sobre la mampostería acelerando el fraguado de los morteros con la introducción de anhídrido carbónico, sobre todo en los locales que se mantienen cerrados, para así poder transformar más rápidamente el hidrato de calcio del mortero en carbonato, sin embargo, estas tentativas no han dado buenos resultados y han sido desechadas por sus experimentadores. Por lo tanto, en edificios nuevos la mejor solución es la de ventilar.

En cambio contra la humedad de las construcciones antiguas, los efectos de la disecación actuando sobre el aire del ambiente lógicamente son transitorios. En cuanto se deja de ventilar los locales, se vuelve a desarrollar la misma condición que imperaba anteriormente. Por lo tanto, en estos casos el saneamiento de la mampostería con obras de-

finitivas produce las mejores esperadas. Siempre hay que tener en cuenta que el proyecto de disecación depende del éxito que tengan las investigaciones para conocer el grado de humedad del aire, la medida y distribución del agua en la estructura, su origen y su entrada. Cuando no se efectúa un diagnóstico exacto se corre el riesgo de efectuar trabajos inútiles ó insuficientes. En la mayoría de los casos se tratará de humedad ascendente que daña las plantas bajas y los sótanos. Rara vez sube el agua más de tres metros del plano del terreno y por eso la humedad de los pisos superiores no es nunca ascendente. No disminuye en ninguna estación y siempre se puede medir exactamente. Se le puede llamar humedad de estructura.

c) Método para Medir la Humedad de un Local

Para constatar las condiciones higiénicas de un ambiente se recurre a la medida de la humedad del aire. Para este fin se hace uso del higrómetro de cabello ó del psicómetro. Siempre hay vapor de agua en el aire el cual es medible y nos interesa conocer en su porcentaje, como humedad relativa. Es a ésta que debemos la sensación de molestia al entrar en un ambiente húmedo. La humedad relativa se expresa en porcentaje.

Si por ejemplo, la humedad relativa es del 70% quiere decir que el aire contiene sólo el 70% de vapor de agua que podría contener a esta temperatura, si fuera saturado. Se le llama margen ó deficit de saturación, al 30% que hace falta para llegar al 100%. La humedad absoluta expresada en gramos es casi igual a la tensión del vapor de agua expresada en mm. de mercurio. La siguiente tabla nos dará una idea para los máximos:

Temp. 0 5 10 15 20 25 30 30

Tensión máx. en mm 4.57 6.51 9.14 12.67 17.36 23.52 31.51

Humedad abs. en gr 4.85 7.61 9.32 12.71 17.11 22.79 30.03

Si un local húmedo está perfectamente cerrado y la totalidad de sus paredes evaporan humedad y por lo tanto no hay circulación del aire, después de algún tiempo el aire contenido en la habitación llegará a la saturación. Al llegar a este punto se inicia el fenómeno de la condensación ó sea el paso en el cual el agua del estado de vapor pasa al estado líquido y se deposita sobre los cuerpos fríos. Algunas veces estos depósitos se verifican aunque no se llegue a la saturación. Las paredes y los pisos se cubren de una capa muy delgada de agua especialmente los pisos no absorbentes como el ladrillo de cemento y otros. Para medir este tipo de humedad como dijimos anteriormente se usa el higrómetro de cabello y el psicómetro.

El higrómetro de cabello se basa en la propiedad de los cabellos, especialmente los de mujer anciana y de ciertas fibras orgánicas, de alargarse con la humedad del aire, dando indicaciones bastante aproximadas. Hay muchos ti-

pos de construcción diferente de higrómetros y cada uno tendrá diferente inercia, necesiéndose algunas veces hasta un intervalo de 20 minutos para dar una nueva lectura. Los aparatos comerciales tienen un tornillo de ajuste, para poder calibrarlos con un aparato patrón, pero por su misma construcción están sujetos a desperfectos muchas veces sin causa aparente. Se puede considerar un higrómetro bastante bueno cuando el margen de error no varía de 3 a 4 grados centesimales.

Es prácticamente imposible encontrar dos higrómetros de cabello que marchen de acuerdo en toda la escala.

Todo lo contrario resulta ser el psicómetro debido a que es un instrumento bastante preciso y su funcionamiento es muy práctico y rápido. Se trata de dos termómetros iguales, colocados en un mismo soporte, uno de los cuales se llama termómetro seco, porque tiene su bulbo al aire libre y el otro se llama termómetro húmedo y tiene el bulbo envuelto en un paño que al momento de efectuarse medidas debe mantenerse mojado para lo cual mantiene un extremo del paño en un pequeño recipiente con agua, para que esta sea absorbida por capilaridad. Es aconsejable que el agua que se use para este propósito sea agua destilada, para evitar que con el tiempo y debido a las evaporaciones sucesivas se formen en el bulbo incrustaciones que puedan influir en la lectura.

Cuanto más fuerte sea la evaporación del agua en el termómetro húmedo tanto mayor será la diferencia de lecturas con el termómetro seco. Como datos habrá que tomar la diferencia de lectura de los dos termómetros y la temperatura del mojado. Por medio de una tabla se obtendrá con estos datos la humedad relativa correspondiente al aire que se analiza.

Otro instrumento que es un derivado de estos primeros es el termo-higrógrafo, el cual registra sobre papel el diagrama semanal de la humedad relativa y la temperatura.

Con este instrumento se puede obtener informaciones comparativas entre las épocas secas y húmedas del año, o bien por medio de dos instrumentos obtener la variación y la comparación entre el aire interno y el externo.

Como consideración general podemos decir que el aire se considera muy seco cuando la humedad relativa es inferior al 50%, seco cuando no pasa de 65% y húmedo arriba de 75%.

Para medir la humedad de una pared se puede proceder de dos modos, por medio de un medidor eléctrico se puede determinar el estado de humedad de la superficie. Sin embargo, de esta forma no se tiene una seguridad en lo que se refiere a la humedad interior de la pared. Estos tipos de medidores se basan en la diferente resistencia eléctrica que el repello presenta según la cantidad de agua que contenga, entre dos puntos a una distancia escogida. Algunas veces los electrodos son clavos que se fijan en la pared; otras veces es solamente una placa que se comprime contra la pared. Esta medida no es muy segura ya que es solamente representativa de una fracción de la pared: la exterior, que puede estar sujeta a cambios debidos a las condiciones del aire y que puede variar diariamente, mientras que la fracción interior está independiente de las condiciones del aire.

Para examinar el interior de una pared se procede a sacar muestras perforando el muro con un tubo sacamuestras de diámetro variable, entre dos o tres cm. La muestra extraída de este modo se recoge sin tocarla en una cápsula de vidrio seca y perfectamente cerrada. Se usa este método

todo porque es fácil de obtener una muestra representativa que con el cincel, por ejemplo, sería muy difícil de obtener. No hay que limitarse a extraer una o dos muestras, sino que un número tal que permitan obtener promedios seguros. Si la construcción es bastante nueva, donde la humedad casi siempre es uniforme, será suficiente sacar tres muestras extraídas a una altura de un metro del suelo y eventualmente repitiendo la operación en cada uno de los pisos que la construcción tenga.

Si lo que se está examinando es una construcción antigua, entonces el problema es más complejo ya que la humedad tiene una distribución caprichosa y las muestras deberán tomarse repartidas a varias alturas del piso con mucho cuidado, especialmente en sótanos. Para seguir un patrón en estos trabajos se escogerá una vertical y se practicarán tres agujeros a alturas de 0.40 m., 1.40 y 2.40m. sobre el piso. Si lo que se quiere examinar también es la humedad en el piso, se procederá a sacar una muestra del mismo por medio de un cincel.

Es importante que los recipientes que recogen las muestras sean numerados y así también los agujeros en las paredes o en el piso. De este modo se evitarán equivocaciones. Para conocer el contenido de humedad en la práctica, se acostumbra usar o el método ponderal o el método del alcohol. Por medio del método ponderal la humedad de la muestra es medida como diferencia de pesos antes y después de la disecación. Con el método del alcohol se utiliza la avidéz que éste tiene por el agua, para extraer de la muestra toda la humedad que contiene y calcular la cantidad. Lógicamente no la totalidad del agua contenida en una muestra es perjudicial para la pared, ya que una parte es normal. Por eso, los análisis que se efectúen nos tienen que dar la pauta del eventual exceso que exista en comparación a la cantidad normal.

Existen varios hornos de diferente tipo para efectuar la disecación de la muestra, estando entre los principales el de Wiesnegg, el de Calvi y el de Tizzano. Una vez efectuada la disecación se llega al momento de tener que expresar el porcentaje de agua contenido en el muro. Para esto se cuenta con tres formas para expresar el porcentaje del agua contenida en la mampostería. Si llamamos P_h y P_s respectivamente el peso de la muestra húmeda y el de la seca y V el volumen aparente que tenía al empezar la prueba, el porcentaje puede expresarse del siguiente modo:

$$\frac{P_h - P_s}{P_h} = \text{Porcentaje referido al peso húmedo}$$

$$\frac{P_h - P_s}{P_s} = \text{Porcentaje referido al peso seco}$$

$$\frac{P_h - P_s}{V} = \text{Porcentaje referido al volumen}$$

Generalmente se acostumbra a referir la humedad con relación al peso húmedo ó al peso seco. Los resultados varían mucho, tanto más cuanto más elevada sea la humedad. Por lo tanto, el laboratorio al consignar los datos finales deberán precisar siempre si son en relación al peso húmedo ó al peso seco.

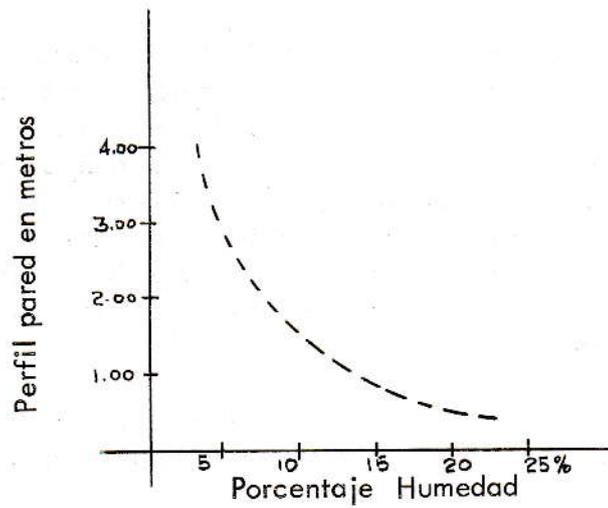
Al usar el porcentaje referido al volumen se evita problemas. Además este último método, no sólo no dá lugar a equivocaciones, sino que resulta más fácil de comprender. Un porcentaje húmedo o seco, pero siempre referido al peso de una mampostería resulta siempre de difícil imaginación, ya que se está más acostumbrado a trabajar con volúmenes. Si en cambio el dato se nos proporciona en porcentaje de humedad volumétrica, se tendrá una idea mucho

más clara del contenido de agua. El único problema que se puede presentar con este método es la determinación del volumen aparente de la mezcla. El obstáculo se puede salvar ya que fácilmente se puede deducir el porcentaje volumétrico directamente del ponderal multiplicando este último por el peso específico de la mampostería que se conoce con bastante aproximación. Llamado U_p y U_v el porcentaje ponderal y el volumétrico y P el peso específico de la mampostería se obtiene: $U_p \times P = U_v$.

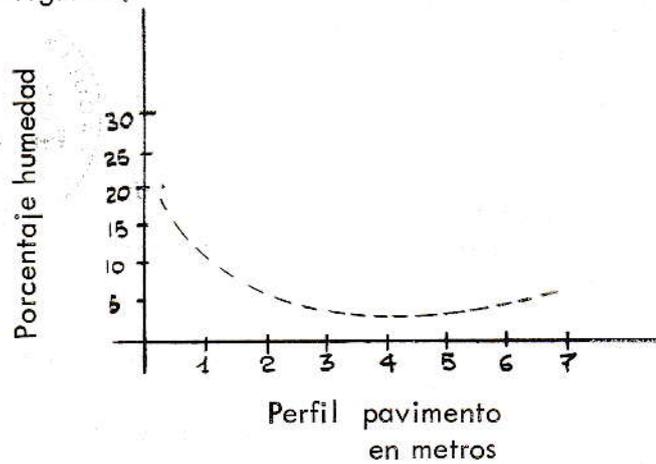
Los pesos específicos de las principales mamposterías secadas al aire pueden suponerse que promedian lo siguiente:

Mampostería de ladrillos normales	1.6
Mampostería de ladrillos huecos	1.1
Mampostería de puzolana	1.5
Mampostería de piedra (arenisca)	2.0
Concreto de sílice y mortero	2.3
Concreto de cemento (sin refuerzo)	2.4
Concreto de relleno y contrafuertes de pedazos de ladrillo y de mortero	1.5
Mortero de cal y arena	1.6
Para estructuras combinadas habrá que calcular el peso específico.	

Por medio de gráficos se puede representar el grado de saturación de un muro. El diagrama de la sección húmeda se obtiene con los resultados de los análisis de la humedad contenida en la mampostería.



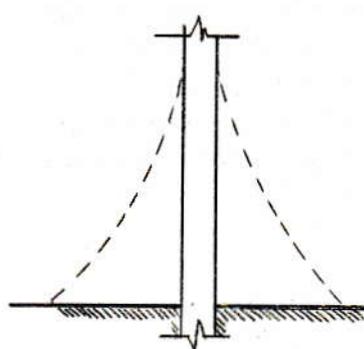
También para el pavimento se puede hacer el siguiente diagrama:



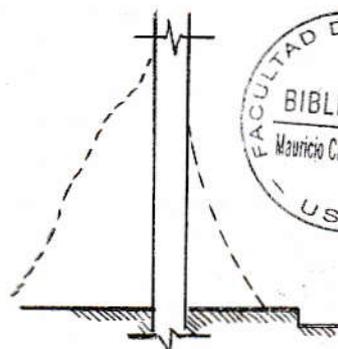
Trazando la sección vertical del muro completase pueden obtener los diagramas de sus dos paredes que resultarán simétricos o casi así, cuando se trata de un muro interior. En cambio, para una pared exterior los diagramas serán siempre diferentes para las dos caras con tendencia en el

de la cara exterior a disminuir más rápidamente la humedad a medida que se aleja del suelo. Esto es debido al efecto de la ventilación natural externa.

También por medio de un diagrama se puede representar el estado de humedad de un ambiente interior en una sección del mismo. Se pondrán los diagramas de las paredes y del pavimento. Algunas veces si fuera necesario, también se dibuja el diagrama del techo, aunque esto muy rara vez se requiere. Ahora bien, este tipo de diagrama es inútil obtenerlo para construcciones nuevas, ya que los diagramas se convierten en rectas que van casi paralelas a las paredes porque la humedad es prácticamente constante en todos los puntos examinados. El diagrama es utilísimo para señalar la irregular distribución de la humedad en las construcciones antiguas.



Muro Interior
Humedad Simétrica



Muro Exterior
Humedad Asimétrica



¿Cómo se podrá obtener con el uso de los diagramas una opinión sobre la importancia y gravedad del caso que se nos presenta? ¿Qué es más importante: una humedad baja pero difundida sobre una vasta superficie o un porcentaje muy alto, pero concentrado en una pequeña área? El caso más grave será siempre el del porcentaje bajo pero muy

difundido, sobre todo el área ya que la invasión húmeda no se caracteriza tanto por la intensidad de la humedad sino por la extensión que abarca. En una mampostería nueva se calcula que antes de empezar la desecación el agua se encuentra en una proporción por volumen que varía de 20 al 25%. Esta agua es la que se ha aplicado a los materiales para la construcción de los muros, algunas veces puede aumentar debido a lluvias, y es del tipo gravitacional o sea con el tiempo tiende a descender por el interior del muro hasta dejar un saldo muy pequeño. Además tenemos el agua de combinación que se elimina al ir la absorbiendo el hidrato de calcio que bajo la acción del anhídrido carbónico del aire se transforma en carbonato. Esta agua constituye un mínimo en la mampostería, representando del 1.1 al 2% del agua total. Esta agua de combinación es la última en desaparecer; sirve para disolver el resto de la cal hasta que toda la masa ha fraguado. Este es un proceso bastante lento, pero debido al porcentaje tan bajo no ejerce ninguna influencia sobre la humedad. El agua de construcción es la que puede causar problema. Según Cadiergues, mamposterías diferentes pero del mismo espesor, en atmósferas tranquilas con humedad relativa del 70% requieren un tiempo de secado proporcional a los coeficientes siguientes:

Ladrillo	0.28
Caliza	1.20
Concreto de cemento	1.60
Concreto de pómez y cemento	1.40
Concreto celular	1.20
Mortero de cemento	2.50
Mortero de cal	0.25

Para obtener el número de los días que dura el secado (aproximadamente) se multiplica este coeficiente por el cuadrado del espesor del muro en centímetros.

Las diferencias bastante pronunciadas entre los diferentes coeficientes para el tiempo de secado de las diferentes mamposterías dependen de la mayor o menor capacidad capilar de los materiales componentes.

Los materiales de buena capilaridad secan rápidamente y bien en toda su masa, como el ladrillo, el mortero de cal, etc.; los de mala capilaridad secan casi siempre en el exterior conservando agua en la parte interior por períodos de tiempo increíblemente largos, como el concreto, la pómez, etc. Es muy importante cuando se inicia una obra no dejar los materiales como pómez, caliza y otros, expuestos por períodos largos de tiempo a la intemperie. Habría que tratar siempre que los materiales de mala capilaridad se coloquen lo más secos posible. El bloque de pomez que se usa bastante en las construcciones en Guatemala es de capilaridad elevadísima, redistribuye rápidamente en toda la masa cualquier pequeña cantidad de agua que le entre por cualquier punto. Para obtener buenos resultados con estos bloques, los materiales empleados deben ser selectos, hacer la mampostería con el mínimo de agua posible y muy importante proteger los lados en que azote la lluvia. Los bloques de pomez son los que presentan las mayores dificultades de secamiento; después de su confección exigen un tiempo de secado muy largo, para librarse del agua. Además, no existe ninguna norma de aceptación de los bloques en la que se indique algo con relación al tiempo de secado.

La buena construcción de una pared de ladrillos no la protege en absoluto del ataque de la humedad, por el contrario, cuanto más homogénea sea la calidad del ladrillo, tanto más cerradas son las juntas y bien distribuido el mortero, o sea que cuanto mejor construida esté una pared tanto más rápida es la invasión que se produce. En las pruebas de laboratorio los materiales de construcción comunes alcanzan en muestras iguales, alturas diferentes de satura-

ción. Cada material influye en el comportamiento de la pared aunque se encuentre en la obra envuelto en una capa de mortero, lo que es un motivo de homogeneidad entre las diferentes estructuras murales. Por lo tanto, independientemente de la capa de mortero, el poder total de absorción de una estructura tiende a semejarse al específico del material básico. Como se decía anteriormente, se llega a la conclusión un poco desalentadora que cuanto mejor está construida una pared de ladrillo (que tiene el poder de absorción de 3 a 5 veces superior al del mortero), con poco mortero bien repartido y ladrillos homogéneos, tanto más rápidamente subirá el agua en el caso que con el transcurso del tiempo la construcción sea atacada por la humedad. Sucede lo mismo con las paredes de bloques; cada bloque de la obra transmite la humedad por cuenta propia, y la velocidad dependerá del tipo de bloque que se use y el tamaño del mismo. Si los materiales de construcción de una pared son absolutamente anticapilares, es imposible que se produzca una invasión húmeda ascendente debida al mortero únicamente. Se tendrá invasión ascendente cuando co-existan las siguientes dos causas: a) La alimentación continua del terreno a la pared, y b) el elevado poder de saturación del material de construcción. La altura de ascensión dependerá de las condiciones climáticas del lugar, de la falta de insolación de la pared húmeda y de la edad de la construcción. Cualquiera que sea la altura alcanzada por la humedad podemos imaginar que el agua al subir, recorra el muro como si fuera un verdadero conducto capilar. La cantidad de agua que en la unidad de tiempo se absorbe a través de la sección horizontal de la pared al salir ésta de la tierra, puede considerarse como la puerta de entrada de la sección absorbente y si la altura de la humedad es fija, debe existir para cada muro un equilibrio hídrico, en el cual la entrada de la sección inferior absorbente equivale a la evaporación total de la pared; o sea que tanta agua entra por absorción cuanto sale por evaporación.

Apenas se reduce por una causa cualquiera la superficie de evaporación del muro la humedad vuelve a subir. ¿Cómo se puede evitar la humedad ascendente del subsuelo?

Para el saneamiento habrá que recurrir a obras murales para interceptar la entrada de agua en la estructura de los locales que se van a sanear. En este tipo de obra hay que tomar medidas radicales para llegar a una solución. Cualquier paliativo que por ejemplo redujese el agua contenida en un muro de ladrillo del 15 al 8% sería por lo tanto inútil, cuando sabemos que hay que llegar por lo menos al 5% para obtener un resultado efectivo.

d) **Método para determinar el contenido de humedad del concreto endurecido en términos de humedad relativa.**
(Carl A. Menzel)

Por muchos años se ha determinado el contenido de humedad del concreto endurecido con el secado por medio de hornos, con un proceso elaborado que implica equipo bastante caro y que algunas veces puede dar lugar a errores. Para suplir estas dificultades existe un método rápido y que requiere equipo de más bajo costo. El contenido de humedad es expresado en este método en términos de humedad relativa. Por medio de una serie de lecturas de la posición de un indicador sobre una escala graduada se puede determinar el contenido de humedad del concreto. Este método se presta también para determinar el contenido de humedad de los bloques de cemento y en los pisos y paredes de concreto. El aparato de forma cilíndrica consta también de un higrómetro y de un termómetro para indicar la temperatura del recipiente durante la prueba. Tiene también en la parte inferior un ventilador para hacer circular aire en el recipiente. Este aparato se encuentra ya en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería.

CAPITULO III

PERMEABILIDAD DE LOS REPELLOS

La capilaridad es la responsable de la entrada y de la difusión de la humedad en las mamposterías. La capilaridad es un fenómeno que se podría considerar como una transgresión a la ley de la gravedad. El agua sube 31 mm. en un tubo del diámetro de 1 mm., sube a 154 mm. si el diámetro se reduce a un quinto y así sucesivamente. En una pared de ladrillos saturados de agua, el peso de ésta es la medida de la fuerza de la capilaridad que la sostiene. En las mamposterías de muchos edificios antiguos se encuentra un contenido de agua que llega y a veces supera en volumen al 30%. Este dato es normal y nos hace ver que en cada metro cúbico de mampostería existen en oposición a la gravedad tres quintales de agua. Al disminuir la temperatura ambiental se hace notar como fenómeno curioso que la capilaridad aumenta algo en su valor. Como se ha expresado anteriormente, en lo que se refiere al daño higiénico que produce la humedad, el agua de capilaridad además produce en algunos elementos constituyentes de la pared un proceso de desintegración y en otros casos, un afeamiento exterior que arruina totalmente el valor decorativo de la construcción.

a) Acciones Químicas sobre los Repellos

Debido a la capilaridad resulta la desintegración de los repellos y del mortero de conexión a causa de la formación de sulfatos especialmente de sodio y magnesio y su transporte sucesivo por la alta solubilidad; el desprendimiento superficial del repello por la presión de las sales que cristalizan, especialmente en piedras decorativas dé-

biles y en los ladrillos y por el transporte de sales del interior al exterior y la consiguiente formación de eflorescencia. En casos graves puede llegarse a la desintegración del ladrillo del muro.

En los muros húmedos donde exista una zona de separación entre la parte húmeda y la parte seca, se puede notar una destrucción superficial del repello. Esto es debido al efecto de cristalización seguido a períodos de inhibición que producen presiones y relativas destrucciones. Entre las sales que aparecen, se considera como la principal, el sulfato de magnesio. Esta sal es la que posee la característica de tener la máxima altura migratoria. Se encuentran también sulfatos de calcio y de sodio. Los cloruros generalmente son raros, a menos que se trate de construcciones cerca del mar, y los nitratos casi nunca aparecen.

Las sales pueden estar presentes en la construcción por diferentes causas: a) haber estado en el material de fabricación de los ladrillos; b) en el mortero ó c) absorbida del suelo en unión de la humedad ascendente.

En los primeros casos es fácil comprender que la cantidad de sales será limitada mientras que en el último caso la cantidad será prácticamente inagotable.

Luchar contra la eflorescencia es bastante difícil. En el comercio aparecen de vez en cuando productos nuevos con mucha propaganda sobre los beneficios que aportan, pero el único método efectivo es suprimiendo la humedad circulante que es el vehículo de las sales. De ningún beneficio sería lavar el muro, ya que no se haría más que facilitar el paso de las sales más rápidamente todavía. Los únicos beneficios estéticos que se pueden conseguir aunque siempre momentáneos, resultan de cepillar en seco la superficie del muro.

Pueden haber casos en los cuales la eflorescencia es provocada por lluvia azotada por el viento contra la pared; en este caso la impermeabilización superficial es la indicada. Si se tratara de impermeabilizar con barnices u otros productos una pared con humedad circulante lo que pasaría sería que las eflorescencias se volverían a formar debajo de la capa impermeabilizante con pequeños y numerosísimos depósitos de sales, provocando ampollas y rupturas que provocarían en breve tiempo la destrucción de la capa de protección. Por lo tanto, en estos casos la única solución será la de suprimir la circulación de agua en la pared interceptando la alimentación del suelo.

En Holanda, donde no se usa otro material para la construcción que el ladrillo es ya una norma común construir la subestructura con ladrillos impermeables de Klinker. En los locales húmedos todo lo que allí se encuentra, está sujeto a averías en mayor o menor escala. Los libros, documentos, papel de reserva para periódicos, imprentas y casas editoras se reblandece y deteriora a tal punto de resultar inservible. Si a la humedad se asocian factores orgánicos como hongos y mohos el daño será más rápido y efectivo. El olor característico a moho es lo primero que se percibe, al entrar en un local húmedo; cuando éste olor se percibe quiere decir que se está ya en una fase bastante avanzada de deterioramiento.

En Inglaterra el límite de humedad relativa del aire debajo del cual no se desarrollan las esporas se considera el 72%, es sabido que se empiezan a tener los peores daños cuando la humedad relativa se estaciona entre 80 y 90 por ciento.

La madera también no está libre del ataque de la humedad. Se ha convenido en llamar madera seca la que tenga una humedad máxima comprendida dentro el 12 y el 15

por ciento. Cuando la humedad absorbida es en exceso, la madera empieza a disminuir su resistencia a la compresión aunque no se reduzca su capacidad de resistir a esfuerzos de tensión. Según la norma DIN 2181 el porcentaje de humedad, equilibrio normal es del orden de 12%. Es notorio en diagramas donde esté sobre las abscisas el porcentaje de humedad y sobre las ordenadas la resistencia a la compresión en kg/cm cuadrado, como varía la carga a la ruptura de una misma madera al variar el porcentaje de humedad. Es muy importante tener en cuenta este factor cuando se calculen estructuras de madera ya que a causa de la humedad en épocas lluviosas como aquí en Guatemala, la estructura resulta ser menos resistente.

Pero no sólo la humedad afecta las construcciones de madera sino también está otro fenómeno que se asocia a la humedad y resulta más peligroso todavía: el hongo. Si la humedad de la madera es superior al 18% y la ventilación es algo escasa y hay un mínimo de calor, estamos en las condiciones óptimas para que el hongo ataque. Todos habrán observado en alguna ocasión cómo la madera atacada por el hongo (el más común es el micelio filamentoso) conserva exteriormente su forma pero su resistencia se reduce y su pérdida de peso son evidentes. La madera por su peso parece convertida en corcho.

Lo lógico entonces será usar para construcciones de madera elementos tratados con los procesos de impregnación conocidos. Para la madera recién cortada la impregnación se puede efectuar por la extremidad, llamada impregnación axial, o sobre toda la superficie del tronco, llamada radial. Se puede también usar un precalentamiento para obtener la dilatación de los poros y eliminar parte de la humedad. Como antiséptico se usa normalmente el cloruro de zinc, el sulfato de cobre u otras sales tóxicas. Según la clase de madera que se va a tratar, así varía el tiempo de inmersión

y para un cálculo a grosso modo del tiempo requerido, se estima que son necesarios tantos días de inmersión, cuantas sean las pulgadas de grueso de la troza a tratar. Para la madera seca se puede hacer dos tipos principales de tratamiento: Por inmersión sin presión (remojo en frío, baños fríos y calientes) y por inmersión con presión (de celda llena y celda vacía) o por difusión. En el primer proceso se emplean comúnmente el pentaclorofenol, el bicloruro de mercurio u otras sales solubles en agua o aceites livianos, y la madera permanece un tiempo necesario en un recipiente lleno para su tratamiento. En el proceso a presión, los árboles se cortan durante el período de Noviembre a Marzo, se descortezan para evitar el ataque de parásitos de la corteza o de la albura y se ponen a secar las trozas. Lo más común es emplear el secado natural aunque ya se utilice en Guatemala el secado artificial. Después del secado se coloca la madera en un recipiente cilíndrico que puede ser tapado herméticamente de modo de ponerlo bajo presión ó efectuar el vacío.

Hay varios métodos de tratamiento por inmersión con presión. Los más conocidos son: El método Bethell y el Rüping. El primero usa como antiséptico aceite de creosota, cloruro de zinc o sulfato de cobre u otras sales solubles en agua o en aceites livianos; el segundo usa aceite de creosota u otros aceites pesados. Todos estos procesos son idóneos para madera que en el futuro serán usadas en la construcción, pero son de aplicación imposible en la madera de las obras ya ejecutadas pues la impregnación no podría hacerse tan completa.

En caso de reparaciones habrá que quitar la madera podrida, sustituirla por otra ya impregnada y tratar de variar las condiciones ambientales por medio de una apropiada ventilación constante y enérgica.

Debe hacerse notar que, una impregnación esterilizante sirve solamente, si se usa como preventivo, ya que el tratamiento puede defender la madera de un ataque; pero no puede detener el ataque de la humedad una vez hubiere empezado.

METODO DE KOCH

Es un método aplicable a construcciones antiguas. Consiste en reducir la sección del paso del agua, vaciando el muro debajo de la parte que se va a disecar, con una serie de arcos, de manera que el paso de la humedad se reduzca únicamente a los arranques de los arcos. Este es un método de no fácil aplicación ya que al vaciar el muro para construir los arcos se alteran las distribuciones de las cargas concentrándolas en una superficie reducida del muro. Por lo tanto, en la mayoría de los casos se encuentra uno imposibilitado de reducir a tal proporción la sección como para poder interrumpir completamente el paso de la humedad.

En el laboratorio es muy fácil efectuar la prueba para ver cómo se comporta una pared a la cual se le reduzca la sección absorbente. Se toman ladrillos que provengan del mismo horno y de la misma partida y que sean lo más homogéneos posible y se ponen a absorber agua por un extremo cuya sección de contacto con el agua se va reduciendo. Se ha podido comprobar que cuando la sección absorbente se reduce a $1/3$, la velocidad de invasión se reduce a $1/7$

METODO DE MASSARI

Cuando el muro húmedo se puede cortar con cincel se puede usar el método de Massari que consiste en introducir

en todo el espesor una capa impermeable que puede ser de asfalto en caliente, de cemento plástico o de láminas metálicas maleables. En el caso último, de usar láminas metálicas, éstas deberán cubrirse abundantemente con asfalto. El costo de efectuar este trabajo es bastante elevado ya que requiere bastante tiempo y habilidad para su ejecución. Los ladrillos que se usen para rellenar la hendidura deberán ser anticapilares. Si fuera posible deberá usarse ladrillos de asfalto comprimidos, ladrillos comunes que se pueden hacer hidrófugos mediante un baño de parafina, ladrillos cerámicos u otros, pero siempre que los ladrillos que se usen estén libres de rajaduras. Conviene que el mortero sea mínimo, abundante en cemento, con arena y añadiendo un hidrófugo de buena calidad en la dosis adecuada.

Aunque sea una de las técnicas más efectivas no es muy aplicada en la práctica por ser muy laboriosa, costosa y lenta. Se ha tratado también de substituir el trabajo manual del corte por uno mecánico, usando un alambre helicoidal de acero del mismo tipo que se usa en las canteras de mármol. La hendidura que se obtiene, tiene una forma regular que no se obtiene con el corte a mano y tiene la ventaja que mientras el corte avanza se procede al relleno a presión que puede ser según el caso específico, asfalto y sus compuestos, mortero prensado de cemento hidrófugo, cartón bituminoso o como se ha dicho anteriormente, láminas inoxidables.

Para dar en detalle un ejemplo según el método Massari de impermeabilización se procede de esta forma: Con el alambre helicoidal se procede a efectuar el corte en la mampostería húmeda y la hendidura se llena con un relleno plástico, que pudiera ser una mezcla de grava de tamaño muy reducido y betún de alto punto de fusión. La mezcla en caliente y blanda se extiende en tiras de 5 cm. de

ancho de tela metálica de una longitud un poco mayor al espesor del muro que se va a rellenar. Los extremos de las tiras de malla se dejan sin mezcla para permitir manejarlas sin quemarse.

Así se introducen en la hendidura en la forma correcta una después de otra, habiendo comprimido fuertemente cada una de las cuñas así formadas que al enfriarse endurecen rápidamente al entrar en contacto con las superficies frías de la hendidura. Al comprimirlas dentro de la hendidura soportan su parte de carga del muro, permitiendo reanudar el corte con el alambre helicoidal, seguros de que no se producirán asentamientos posteriores. La presión con la que se debe comprimir la mezcla debe ser de 3 a 4 kg/cm cuadrado aproximadamente. Para obtener un espesor suficiente de la hendidura y poder introducir este tipo de relleno aislador es necesario que el corte se haga con dos alambres paralelos o bien en dos pasadas con el mismo alambre; se debe obtener una hendidura de 18 a 20 mm. de espesor, para evitar asentamientos en el caso que la carga unitaria sobre el muro fuera muy grande. El corte efectuado con dos alambres en las pruebas ejecutadas por Massari tenía el avance de 30 cm. por hora, mientras que el relleno en caliente requería cerca de 45 minutos; en total el avance de todo el trabajo fue de 4 horas por metro lineal.

La dificultad mayor que hubo de vencer fue la extracción durante el corte de los residuos que quedan prensados dentro de la hendidura y tienden a formar una pasta con el agua y la arena que se produce con el avance del alambre helicoidal. La longitud del corte que permanece abierto conviene que no pase de los 60 cm. en las mamposterías normales con buena cohesión.

La humedad ascendente también puede afectar a los pavimentos. Muy poco cuidado se pone al respecto en las

construcciones en Guatemala, colocándose en algunas ocasiones una capa de asfalto para obtener una impermeabilidad que muchas veces no se alcanza. Al preparar una base para el piso muchas veces no se pone el cuidado que ésta merece.

La tesis del Ing. Armando López O., sobre materiales para pisos, dedica un capítulo a las bases para los pisos y la importancia que éstas tienen en la duración de los mismos. Hace notar que un lecho de arena sobre terrenos húmedos resulta inadecuado, ya que se puede obtener una altura capilar suficientemente grande como para llegar a las losetas.

Según Huntington una capa de 10 cm. de arena graduada da resultados satisfactorios, pero considero que esto se obtiene más desde el punto de vista económico que desde el de una seguridad necesaria. La misma palabra "satisfactorio" no es sinónimo de seguridad. Se remite al lector a la tesis del Ingeniero López O., para una información sobre los diferentes tipos de bases adecuadas al tipo de terreno y de piso a colocar.

Un buen pavimento con todo y su base tendrá un espesor variable entre 45 y 55 centímetros.

Uno de los sistemas que se pueden aplicar, si a criterio del Ingeniero se confrontará con futuros problemas de humedad ascendente es el siguiente:

- 1) Una capa de arena de 10 centímetros.
- 2) Una capa de asfalto de 3 centímetros o bien lámina de polietileno, polipropileno, butilo o similar.
- 3) Ladrillos huecos del tipo ZAP con un espesor de 16 cm.
- 4) Una capa de pómez y mortero de cal (no cemento) de

- 12 cm. de espesor y
5) El piso y pegamento con 5 cm. de espesor.

El espesor total de este tipo de pavimento será de 46 cm.

Estos tipos de pavimento pueden ser muy variados según los materiales que se encuentren en plaza y las exigencias de la obra que se esté ejecutando. Sin embargo, lo importante es emplear materiales de bajo peso específico y en estado seco.

Debe enfatizarse que una de las primeras capas a colocar sea la de asfalto, interponiendo un material aislador, aunque sea un ladrillo hueco, si no se tiene algo mejor. Poner la capa de asfalto inmediatamente debajo del piso no es lógico, ya que las otras capas se humedecerían hasta la saturación y el agua llegaría hasta pocos cms. de bajo de la superficie del piso con sus consecuencias desagradables.

Desecación de los sótanos. No es costumbre en Guatemala construir las casas de habitación de uno o dos pisos con sótano, pero las construcciones de mayor importancia casi siempre lo tienen. Por lo tanto, se considera de utilidad tratar algo sobre el secado de sótanos, que al momento de la construcción no hubieren sido tratados convenientemente. Será siempre indispensable para un buen diagnóstico, el análisis de la humedad, no del material del piso, sino de la base en que dicho piso se apoya, extrayendo las muestras a dos profundidades diferentes. La más superficial es la que se efectúa sobre el mortero que sujeta los elementos del pavimento y la más profunda de 15 a 20 cm. debajo de la primera y sobre la misma vertical. Si la humedad que resulta del análisis es mayor en las muestras más profundas, se puede tener la seguridad de que es humedad ascendente y que proviene del subsuelo. En gene-

ral este tipo de humedad es constante y se manifiesta con porcentajes elevados en el orden del 15 al 20%. Al establecerse el tipo de humedad y el porcentaje en que se presenta, habrá que determinar la distribución del agua mural, luego ver si se puede limitar la obra de saneamiento solo al pavimento, decidiendo el tipo de trabajo a efectuarse. Es aconsejable reducir el trabajo únicamente al pavimento, si el agua se presenta escasamente en las paredes. Es lógico comprender que el trabajo no será determinante, pero a menudo es suficiente y aconsejable, ya que se ahorran 4/5 partes del gasto, no siendo costumbre efectuar trabajos en el techo.

Lo anterior resulta magnífico en las construcciones nuevas, en los sótanos de edificios con entramado de concreto armado o sea las gruesas vigas horizontales que unen las columnas, siempre que la humedad ascendente no las logre atravesar.

La solución más a fondo para este tipo de humedad sería la siguiente: Se coloca una capa de asfalto sobre el viejo pavimento, encima una capa de ladrillos huecos pegados con asfalto y por último el piso, preferentemente de madera. La pérdida de espacio en altura será del orden de 22 a 23 cm.

En el caso de construcciones efectuadas en corte de ladera y en sótanos, el problema mayor será el de las paredes. Si los diferentes tratamientos que se han dado a este tipo de pared a la hora de construir no dan el resultado esperado habrá que proceder a la construcción de un contramuro de espesor no inferior a 10 cm ejecutado con ladrillos huecos u otro material con un peso específico no superior a 0.8. El contramuro se construye a 5 o 10 cm de la pared húmeda, sin contacto con ella. Es muy importante que el contramuro no esté en contacto con la pared hú-

meda, ya que la unión se convertiría en un paso de la humedad capilar del viejo muro húmedo al nuevo de protección. Para que el nuevo muro no absorba por la base, se debe apoyar sobre una capa aisladora y de el fondo de la cámara de aire que se forma entre ambas paredes deberán ser removidos los desperdicios de mortero que caen durante la construcción. Un error muy común es ventilar la cámara de aire que se forma entre el muro y el contramuro con dos filas de agujeros de ventilación: la primera abajo a poca altura del pavimento y la otra a poca distancia del techo. Creando este tipo de circulación de aire se anula completamente el resultado que se desea obtener con la creación del contramuro, pues nuevamente el aire saturado de humedad se difundirá en el ambiente; el contramuro servirá solamente como cortina, para ocultar de la vista la pared dañada.

De importancia para el buen funcionamiento del contramuro será asegurar la ventilación de la cámara de aire poniéndola en comunicación con el exterior. Para levantar un contramuro es común adoptar ladrillos huecos del tamaño más grande posible a modo de obtener el menor número posible de juntas. El mortero utilizado será hidrófugo a base de cemento y arena. Será también buena precaución impermeabilizar el ladrillo sobre la cara que mira al muro húmedo.

Resumiendo las normas para construir un contramuro eficiente se tendrá:

- 1) No poner en contacto la pared húmeda y el contramuro. Si se requiere no perder demasiado espacio en el local, habrá que colocar una capa impermeable entre ambas paredes.
- 2) No hacer ninguna comunicación entre la cámara de

aire formada entre ambas paredes y el local que se está aislando.

- 3) Apoyar la base del contramuro sobre una capa impermeabilizada, de preferencia una capa de asfalto.
- 4) Hacer la conexión de la cámara de aire con el exterior.

Si la construcción del contramuro se quiere evitar a cambio de una impermeabilización de la pared, se alcanzará solo un paliativo de la humedad, ya que este tipo de aplicación del impermeabilizante sería incorrecto.

Los revestimientos impermeables contra la humedad tienen dos aplicaciones seguras: a) Para formar una capa horizontal en el espesor del muro de la manera explicada anteriormente, y b) para formar una capa vertical sobre la cara exterior de las paredes enterradas. Si revestimos la pared interior cualquiera que sea el material empleado: cemento hidrófugo, cemento plástico, asfalto, etc., solamente se produce una desviación de la humedad ya contenida en el muro que reaparece algún tiempo después, lateralmente o más arriba. Si la impermeabilización se efectuó con un sistema no muy adecuado como por medio de barnices o pinturas, se observará muy pronto la formación de ampollas y descascaramientos que en poco tiempo llevarán a la total destrucción de la capa aisladora aplicada superficialmente. Por lo tanto, la aplicación irracional de un revestimiento impermeable puede producir la formación de un conducto capilar con ascenso perjudicial de la humedad en el muro. El revestimiento total de un sótano puede provocar el ascenso de la humedad perjudicando los ambientes superiores así como los circundantes, especialmente si el agua subterránea es abundante, o cuando las cualidades hidrófilas de los muros sean óptimas, o cuando la

distancia a la capa freática sea mínima.

La humedad debida a la condensación no es muy importante en Guatemala, ya que la condensación proviene exclusivamente del enfriamiento del aire y está ligada a los factores metereológicos del momento y a los períodos estacionales. Tal vez en las zonas altas de la República se podrán presentar casos en los cuales este tipo de humedad tenga suficiente importancia como para ser tomado en consideración. De todos modos para casos eventuales que se presenten, se exponen aquí las siguientes explicaciones: Este tipo de humedad se manifiesta cuando se ven bañadas las superficies impermeables o cuando aparecen manchas oscureciendo el color de las superficies permeables. Es muy abundante sobre la superficie de los materiales que por ser buenos conductores, no almacenan, sino difunden rápidamente el calor que deja en libertad la misma condensación. Cuando se confronta con casos de humedad por condensación es necesario comprobar mediante un cálculo sencillo, cuál es la estructura mural de contenido térmico insuficiente que provoca el fenómeno con su exagerada dispersión. La resistencia térmica total de una pared se indica con frecuencia con la letra "R" y es el inverso del coeficiente total de transmisión "K" usado en la técnica de calefacción, o sea el inverso del número de calorías que se disipan. La resistencia mínima tendrá que ser igual a 1 o sea que la estructura requerirá cuando menos una hora para dejar pasar una caloría grande por cada metro cuadrado y por cada grado de diferencia de temperatura entre el aire interno y el aire externo. La fórmula que se usa para determinar la resistencia térmica total por metro cuadrado de una pared o de una cubierta o de un pavimento, después de haberse determinado el tipo de la estructura mural, es la siguiente:

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\alpha_2}$$

Los símbolos tienen el siguiente significado:

- R = Resistencia térmica total
- A_1 = Coeficiente de admisión del calor del aire interior a la pared también interior, y que con frecuencia se hace igual a 7 al pasar horizontalmente o bien de abajo arriba. Es igual a 5 para el caso de arriba abajo.
- A_2 = Coeficiente de emisión de la pared exterior al aire exterior que con frecuencia se hace igual a 20 para ventilación normal, pero puede llegar hasta 50 si la pared exterior está expuesta a vientos con velocidad superior a 40 km./hora.
- $\lambda_1 \lambda_2$ = Coeficientes de conductibilidad térmica interior de los estratos sucesivos de materiales diferentes que forman la estructura mural si no es homogénea.
- $S_1 S_2$ = Espesores en metros de los estratos sucesivos mencionados.

Como se ve por esta fórmula, la protección térmica de algunos estratos es directamente proporcional a su espesor e inversamente proporcional al coeficiente de conductibilidad térmica interna. Cuanto más elevada sea la conductibilidad, tanto inferior será el material para la protección térmica. La conductibilidad interna crece al aumentar el peso específico y el agua contenida en el material del muro. Los laboratorios casi siempre proporcionan el valor de la conductibilidad en valor teórico para materiales completamente secados al horno, por lo que habrá que hacer la corrección necesaria para convertirlo en valor real de los materiales colocados en la obra.

Asumiendo la temperatura media de una habitación de 18 grados, se puede apreciar en el cuadro siguiente la dis-

minución de temperatura que provoca la condensación:

Humedad relativa del aire a 18 grados:	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%
Disminución que provoca la condensación:	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
Temperatura de condensación:	17.5	16.5	15.5	14.5	13.5	12.5	11.5	10.5

Se deduce de la tabla precedente que el peligro de la condensación es de solo de medio grado, si la humedad relativa inicial del aire es alrededor de 95%, y de un grado de disminución más por cada 5% adicional de saturación. Llamado T_i la temperatura del aire interior y H el porcentaje de la humedad relativa, se puede obtener la temperatura de condensación T_c , de manera aproximada por medio de la fórmula:

$$T_c = T_i - \left(0.5 + \frac{95 - H\%}{5} \right)$$

Con esta fórmula es fácil resolver cualquier problema de condensación, ya que para unas condiciones dadas de temperatura y de humedad del aire interior se podrá determinar, si un determinado tipo de pared es suficiente para proteger de la condensación cuando se produz-

ca la temperatura mínima estacional del lugar.

En nuestro medio, como se mencionó anteriormente no se presentan con mucha frecuencia casos de condensación, sin embargo, para poder reconocer este tipo de humedad y no caer en la equivocación de considerarla como humedad ascendente de las paredes, se tendrá que examinar estos tres síntomas que hacen posible reconocer el fenómeno a que se alude: 1) El estado del aire muy próximo a la saturación variando del 80% al 100%. 2) El estado de la mampostería normal en el interior de la misma. 3) El fenómeno no es continuo, sino se repite en períodos fijos al variar las condiciones climáticas del lugar.

El producto que más se acostumbra usar para efectuar aislamientos y evitar la condensación: es la fibra de vidrio.

Humedad causada por penetración de lluvia azotada por el viento:

La penetración de la lluvia en una pared se debe a la coincidencia de dos factores diferentes: la presión del viento y la capilaridad del material. Si los períodos de lluvia son bastante largos y los intervalos muy breves entonces la evaporación entre una y otra absorción no es suficiente para impedir que el agua se acumule en la pared y produzca señales de humedad intermitente. El viento participa en este fenómeno al poner en contacto la lluvia con la pared, pero la penetración al interior de la misma no se debe al viento, sino a las cualidades propias del material que la compone. Muchas veces edificios construidos sin tener en cuenta las condiciones climáticas del lugar sufren las consecuencias de este tipo de humedad. En especial sucede este fenómeno con las entidades públicas o asistenciales que proyectan desde las oficinas centrales,

las construcciones en diversos lugares del país, sin tomar en cuenta las condiciones específicas de los mismos. Las causas principales, son el empleo del ladrillo hueco para llenar los espacios entre la estructura de concreto en los lados expuestos a la lluvia y el espesor insuficiente en los mismos. El empleo exterior del ladrillo hueco es un error de construcción porque debido a la facilidad de colocación, no permite que se haga el relleno de las juntas horizontales entre un ladrillo y otro. El mortero es colocado sólo en los costados de los ladrillos, ya que en las cabezas se perdería por caer en los canales. Por lo tanto, la protección de las juntas horizontales queda a cargo únicamente del repello exterior que es fácilmente atravesado por la lluvia. Cuando se diseñe un edificio nuevo en un lugar azotado por la lluvia habrá que poner el cuidado de construir con materiales relativamente poco absorbentes y elementos llenos.

b) Impermeabilización de Repellos

Por las razones expuestas anteriormente se puede considerar que en muchos casos los repellos deben resultar impermeables para evitar filtraciones y deterioro de las construcciones. En los casos sencillos será suficiente obtener un repello bastante impermeable usando mortero cemento-arena (sabieta) en proporciones 1:3, 1:2 o 1:1, según la necesidad y siempre que tenga un buen curado.

En casos de mayor importancia y más difíciles de resolver debe usarse mucho criterio al seleccionar el repello impermeable. A la mezcla que se diseñe, habrá que agregar hidrófugos especiales bastante conocidos por sus propiedades y en las proporciones adecuadas, para este fin se usan desde hace algún tiempo las máquinas revocadoras, las cuales en Guatemala se conocen muy poco. A continuación se dará una ligera explicación del funcionamiento de la mis-

ma, considerándose un modelo liviano, tipo mediano, fácil de transportar y usar.

La revocadora lanza el repello contra la pared por medio de aire comprimido. El cemento y la arena entran en seco en el aparato que por medio de aire comprimido los eleva a un tubo flexible al final del cual se encuentra el eyector principal con muchas pequeñas salidas de agua a su alrededor, de modo que la mezcla se forma en el momento de ser lanzados los materiales. La presión del aire varía de 2.5 a 3.5 atmósferas y la del agua de 4 a 5 atmósferas, debiendo siempre ser esta última 1.5 veces mayor de la presión a la que salen los materiales. Esta mezcla se proyecta contra la pared con mucha fuerza y de este modo penetra en todas las pequeñas grietas que puedan existir, formando una capa adherente y homogénea.

El espesor de la capa puede variar según las necesidades desde 2 a 2.5 cm. para los repellos simples, hasta 7 a 8 cm. en repellos gruesos, siempre si se acelera el fraguado del cemento con pequeñas cantidades de cloruro de calcio. La composición de la mezcla más común a usar es 1: 2.5. Con una máquina de capacidad media se puede obtener un rendimiento de 15 a 20 metros cuadrados de repello de 2.5 cm. de espesor por hora, con un gasto de aire comprimido de 4 a 5 metros cúbicos por minuto y de 10 a 15 litros de agua por minuto. Para poder ejecutar un trabajo eficiente se requiere de un equipo de 8 hombres, lo que hace comprender que, para que el sistema sea económicamente justificable, la cantidad de metros a cubrir deberá ser bastante grande.

Durante la ejecución del repello, la boca de salida del eyector debe colocarse a una distancia de 35 a 60 cm. de la superficie que se desea repellar. Al principio del trabajo se coloca a la distancia más cercana y luego, confor-

me el repello progresa se va alejando el eyector. En la colocación del repello debe procederse de abajo hacia arriba. Lo mejor para obtener buenos resultados es hacer capas sucesivas delgadas no mayores a 1.5 cm. El acabado final que se obtiene con la revocadora es de tipo rústico. Cuando se efectúa la primera aplicación, el material tiende sensiblemente a rebotar. El fenómeno del rebote se verifica sobre todo debido a los elementos más gruesos de la arena. Por el hecho de que el cemento se adhiere más fácilmente a la pared, se forma previamente una capa de 3 - 4 mm. de espesor que favorece la sucesiva colocación del material de repello.

Con proporciones de 1:2.5 la cantidad de arena que normalmente rebota se puede considerar del 15 al 20%; esta arena de todos modos puede ser recogida y utilizada otra vez. Esta modalidad de repello pega bien sobre casi todos los tipos de paredes, tales como concreto, ladrillo, su superficies metálicas, madera y hasta en la tela de yute. El único material donde este sistema de repellido no pega es en la paja, ni en la caña.

Se acostumbra también usar la revocadora por vía húmeda o sea el caso en el que al tubo flexible entra la mezcla ya lista. Con este tipo de aparato las pérdidas por rebote se utilizan mejor, pero la máquina revocadora necesita un mantenimiento mayor que en el procedimiento en seco.

Para dar a conocer las aplicaciones de las revocadoras de aire comprimido se exponen las siguientes: a) Usando arena en seco se limpia fácilmente las partes de concreto que se desean dejar expuestas en una construcción o también para limpiar superficies viejas que se van a repellar. b) Construcción de paredes delgadas con armadura metálica; y c) Para todas clases de repellos sean o no imper-

meables. Es conveniente que la humedad de la arena para la preparación de la mezcla en seco, no pase del 5%. El tamaño máximo de la arena que en caso excepcional puede llegar de 8 a 10 mm. es mejor que no supere los 6 mm. especialmente para paredes. Las proporciones como se ha dicho anteriormente varían de 1:3 a 1:2.5 y eventualmente se puede agregar un 10% de cal. Es inútil adoptar proporciones diferentes porque la proporción del producto colocado se reduce siempre a los datos arriba mencionados debido al fenómeno del rebote. La distancia más conveniente de tener la máquina instalada es de más o menos 15 metros del punto de aplicación. En casos especiales se puede llegar a distancias de 75 metros pero con un desgaste muy fuerte del tubo conductor. También debe evitarse curvas muy estrechas en la tubería. A continuación se presenta en forma de tabla las especificaciones que rigen una máquina revocadora típica:

Producción media con 25 mm. de espesor	m ² /hora	15-20
Radio de acción aconsejable	ml.	15
Presión del aire	kg./cm ²	2.5-3.5
Necesidad de aire	litros/min.	4300
Presión del agua	kg./cm ²	4-5
Necesidad de agua	litros/min.	10-15
Relación cemento-arena		1:2.5, 1:3
Dimensiones máximas de la arena	mm.	6
Peso máquina standard	kg.	700

La permeabilidad de un repello es la propiedad del repello mismo a dejarse atravesar por agua a presión y se mide por el volumen de agua que en la unidad de tiempo atraviesa la unidad de superficie en determinadas condiciones de presión y temperatura. La permeabilidad no es siempre constante por que varía con la presión y la temperatura con el espesor del repello y el intervalo de tiempo que se considera. Además, puede aumentar si el agua por su condición especial, ataca al ligante. En la práctica se pueden obtener mezclas porosas, pero no permeables, como es el caso de mezclas hechas con are-

nas de partículas muy finas y esto debido a que para los efectos de la permeabilidad los poros tienen que tener ciertos diámetros mínimos. Al disminuir la porosidad se disminuye también la permeabilidad. Por lo tanto, para acercarnos a la impermeabilidad deseada será necesario usar arenas adecuadas y suficiente cemento. Para que una mezcla resulte impermeable habrá que recurrir a sustancias especiales hidrófugas. Los hidrófugos pueden ser de superficie, de masa o penetrantes.

Los hidrófugos de superficie están constituidos por sustancias que se aplican en forma similar a barniz o en capa usando ya sea una brocha o una espátula según el caso. Estos hidrófugos deben adherirse bien a la superficie del replelo, resistir a los componentes de la mezcla y a las aguas de contacto, penetrando ligeramente en los poros del replelo y formar una capa delgada, elástica y de envejecimiento lo más tardado posible. No deben ser sensibles al frío, ni al calor; deben resistir la abrasión y no resquebrajarse. Con todos estos requerimientos es difícil encontrar un producto comercialmente que ofrezca todas estas condiciones a un precio económico.

Los hidrófugos de superficies en el comercio en su mayoría están constituidos por betunes, asfaltos, resinas, silicatos alcalinos y poliésteres (poliuretano, hipalon) etcétera, expresamente preparados. Para escoger de los muchos tipos que se encuentran en el comercio se podrá uno ayudar siguiendo los instructivos de los productos de firmas de renombre. Además, habrá que contar con personal especializado y con experiencia para su aplicación a fin de poder obtener en la mayoría de los casos buenos resultados.

En el caso de los barnices es necesario que las capas que se apliquen a las paredes sean muy delgadas y puestas

en direcciones diferentes. Los resultados en general son buenos, pero de poca duración, ya que los barnices tienen muy baja resistencia al desgaste, casi ninguna resistencia mecánica y con el tiempo se vuelven frágiles y tienen que ser renovados.

Un buen hidrófugo de superficie y sobre todo para trabajos de emergencia se puede obtener con el ácido tartárico en solución con agua al 30%. Este ácido, si se aplica en varias capas, fija la cal que se encuentra libre en la mezcla y forma con el repello una capa no sólo impermeable, sino también resistente a los ácidos orgánicos diluidos.

Si se usan productos a base de silicatos debe recordarse que estos se basan en las propiedades de los silicatos de potasio y de sodio en solución, que forman depósitos con la evaporación del agua formando una capa adherente bastante dura y además, que reaccionan con la cal formando silicatos de calcio insolubles. Debe tenerse el cuidado de usarlos sobre repellos secos o sobre concreto con dos meses de curado por lo menos. Con el tiempo tienden a endurecerse excesivamente hasta volverse frágiles. Si están a base de solamente silicato sódico (que es el más económico), tiende también a producir eflorescencia debida al carbonato sódico que se forma por la acción del ácido carbónico contenido en el aire. Para no despegarse necesitan de superficies bien limpias y de aplicación con pocas manos.

Silicones: Son compuestos organosilícicos, cíclicos o de cadena abierta, que contiene grupos $\text{Si R}_2\text{O}$. Se aplica mediante rociado por bomba. La aplicación se hace de arriba hacia abajo. Según la contextura de la superficie así variará lo que 1 galón pueda cubrir. Por lo general, se aplican 2 manos con intervalos de 2 a 4 horas entre manos. La superficie ha de estar seca y limpia.

Hidrófugos integrales: Los hidrófugos integrales los constituyen sustancias en forma líquida, pastosa o en polvo que se agrega a las mezclas en pequeñas proporciones, durante la preparación de las mismas. Químicamente están constituidos por ligantes orgánicos, ceras, parafinas, ca seínas, harinas fósiles, silicones, etc., que tienen la función de llenar los vacíos de las mezclas que por haberse hecho con arena de granulometría deficiente resultan porosas. En general, la cantidad que se añade varía entre 1 y 1.5 kg. por saco de cemento. Ahora bien, el empleo que se haga de estas sustancias es delicado, ya que casi nunca favorecen el fraguado y hacen disminuir en cierto grado la resistencia.

Hidrófugos penetrantes: Este tipo está constituido por soluciones cristalinas o coloidales o de emulsiones especiales las cuales penetran en los poros y conductos capilares y por precipitación o floculación depositan compuestos insolubles. Con estos hidrófugos en lugar de tener una capa de barniz superficial se obtiene una impregnación del repello en general muy eficaz. Se usa para esto, el silicato de sodio, el de potasio y los fluosilicatos de magnesio, aluminio y zinc, los cuales reaccionan con el carbonato de calcio para formar sílice y fluoruros insolubles. Los fluosilicatos tienen también la propiedad de no alterar el aspecto natural del repello, lo endurecen y lo protegen químicamente.

En repellos impermeables es posible protegerlos de infiltraciones y también de agresión de sustancias químicamente poco activas, para usarlos como tanques contenedores. Si estos repellos están en presencia de líquidos muy activos, como pueden ser ácidos concentrados deben usarse en lugar de estos otros revestimientos tales como los de vidrio o de metal.

Repellos livianos: Buenos repellos livianos que sirvan para aislamiento térmico y acústico se obtienen sustituyendo la arena por la "Vermiculita". Este producto está constituido por un silicato de aluminio, hierro y magnesio. Por medio de un procedimiento térmico se hace expandir unas 15 a 30 veces su volumen original. La vermiculita se conoce en varios tamaños por una numeración; del 3 al 4 son lo más indicado para repellos. La vermiculita pesa de 120 a 180 kg/metro cúbico y se mezcla perfectamente con cemento, cal y yeso. Para adicionar la impermeabilidad a las propiedades térmicas y acústicas de un repello se le mezclan los productos anteriormente descritos. Los repellos livianos a base de vermiculita son muy usados en las construcciones civiles y en las industriales para hornos y celdas frigoríficas.

Un repello de vermiculita del espesor de 2.5 cm. tiene más o menos las mismas propiedades térmicas que una pared de ladrillo lleno de 18 centímetros de espesor. La mezcla es muy trabajable y su peso varía de 700 a 900 kg./m. cúbico que no es ni la mitad del peso de las mezclas comunes. Para preparar 1 metro cúbico de mezcla se requieren las siguientes cantidades de material: 320 kg. de cemento, 320 kg. de cal hidratada en polvo y 160 kg. de vermiculita en el tamaño N^o 4. Los espesores recomendados son: 2 cm. para paredes divisorias y 2.5 cm. para techos y muros perimetrales. Es notable su empleo con fines acústicos, especialmente en cines y teatros.

Repellos livianos se obtienen también con fibras de asbesto (el peso de las fibras de asbesto es de aproximadamente 380 kg./m. cúbico). Estos repellos sirven particularmente para el revoque de techos, ya que tienen muy buena resistencia a la tracción y al calor. Las cantidades que se aconsejan para 1 metro cúbico de material son las siguientes: 270 kg. de cal hidratada en polvo, 230 kg. de

fibra de asbesto y 0.40 metros cúbicos de arena muy fina. Primero se mezcla la arena y la cal con agua. Después se le agrega la fibra de asbesto y finalmente el agua necesaria, para alcanzar una buena trabajabilidad de la mezcla. El peso de un repello a base de asbesto que se puede preparar también usando cemento, varía entre 1000 y 1200 kg. /m. cúbico. Se puede ver que no es tan bajo como el peso de la mezcla de vermiculita, pero en cambio permite que los espesores que se usen sean del orden de los 4 a 5 mm. en condiciones muy especiales y de 12 a 14 mm. como repello sobre paredes de ladrillo.

CAPITULO IV

IMPERMEABILIZACION DE TECHOS

El techo es el elemento final de toda construcción. - No importa cuáles sean las condiciones climáticas del lugar donde se efectúe la construcción, la función principal del techo deberá ser el aislamiento y la impermeabilidad con el objeto de proteger el interior de los factores climáticos o de la intemperie. En el trópico, la construcción podrá prescindir de paredes exteriores, ventanas o puertas, pero no del techo que será la protección necesaria contra el calor y las lluvias tropicales. En las zonas frías, se agregarán paredes, ventanas, puertas, aislamientos especiales, pero el techo servirá para la protección contra el frío y el viento en el invierno, y el calor y las lluvias en el verano. Desde el punto de vista arquitectónico, el techo es un elemento que ha dado carácter y regionalismo a las construcciones. Estaremos en condiciones de saber cuales son las condiciones climáticas de un lugar al observar la forma que tiene el techo en las construcciones, los materiales que se han empleado para hacerlo, la pendiente que se le ha dado, etc. Son muchos los materiales que se emplean para la construcción de los techos; desde el más económico como la paja y el zacate, luego la teja, lámina, ladrillo, concreto, hasta llegar en los casos muy especiales a techos muy elaborados debido a especificaciones extraordinarias. En cualquier tipo de techo que se construya, la condición indispensable en todos será la absoluta impermeabilidad. - En la ciudad de Guatemala probablemente uno de los techos más usados es el plano a base de concreto. La impermeabilidad del concreto según su composición es la siguiente:

Cemento Portland	Contenido por m. cúbico	Grado impermeabilidad
Tipo standard	300 kg.	poroso
Tipo standard	350 kg.	permeable
Tipo standard	400 kg.	casi impermeable
Tipo standard	600 kg.	impermeable

Como se puede observar en la tabla anterior, un concreto impermeable se obtiene cuando la cantidad de cemento usado es de 600 kg./m³. Esto corresponde a más o menos 13.4 sacos de cemento por metro cúbico que es una cantidad bastante elevada de cemento. En un concreto normal, por lo tanto, no se llega a la impermeabilidad. Desde que el concreto después de preparado se vacía en la formaleta hasta que se endurece, está formado de cuatro elementos: cemento, arena, grava y agua. Es el agua la que usada en cantidades superiores a las necesarias para hidratar las partículas de cemento y alcanzar su endurecimiento la que provoca que el concreto no pueda ser impermeable. La cantidad de agua usada por saco de cemento o sea la relación agua-cemento en el concreto es variable, pero si como promedio tomamos la cantidad de 25 litros por saco, de estos sólo 10 litros sirven para combinarse químicamente con el cemento. Por lo tanto, el agua en exceso ocupará un espacio que quedará vacío cuando esta agua exce-

siva, pero necesaria para que la mezcla sea trabajable, se evapore.

Debido a este fenómeno no se puede obtener normalmente concreto con el 100% de densidad, por que en su interior habrá porosidades. El excedente de agua tiene un valor promedio de 120 litros por metro cúbico o sea que el 12% en volumen del concreto está constituido por poros. Estos poros, cuando el concreto ha fraguado, actúan como conductos capilares que funcionan según las leyes de la capilaridad o sea que mientras más delgado sea el conducto, la absorción será más intensa. Lo único que se puede hacer con estos conductos capilares es volverlos repelentes al paso del agua. Para cuyo efecto hay que agregar al concreto en el momento de efectuar la mezcla un impermeabilizante integral el cual tiene la propiedad de revestir los canales capilares de una capa delgada a modo de volverlos repelente al agua. Los productos para este fin se encuentran en el mercado en forma de polvos, líquidos y pastas. Si el impermeabilizante es un polvo, es un poco difícil obtener una mezcla uniforme en la masa del concreto; las pastas en cambio, sí se pueden diluir o solucionar con el agua, ofreciendo buenos resultados.

a) Materiales para la Impermeabilización de los Techos

Casi todos los materiales para la impermeabilización de superficie de los techos se basan en asfaltos y betunes. En los últimos años se han desarrollado nuevas técnicas que utilizan materiales como láminas de polietileno, polipropileno, butilo, etc. Estos materiales requieren de los mismos cuidados que los demás tipos de impermeabilización y resultan más caros que los convencionales. Además la mayoría está todavía sujeta a investigación y una vez aplicados a una observación detenida sobre su duración se puede usar también hojas muy delgadas de aluminio o cobre

de espesor variable, mezclas de caucho y resinas sintéticas, de las cuales las más conocidas son las resinas termoplásticas en láminas delgadas. El betún es una mezcla de hidrocarburos y de sus derivados de origen natural o derivados del petróleo, completamente soluble en el sulfuro de carbono y que tiene propiedades adhesivas bastante fuertes. En la terminología norteamericana, la palabra betún incluye en términos generales, también mezclas gaseosas y mezclas que no tienen poder ligante.

La palabra asfalto es de proveniencia griega y significa estable, protector, y se aplicaba a substancias naturales utilizadas principalmente como material de protección.

Por Roca asfáltica se conoce una roca generalmente calcárea que debido a un proceso natural se ha impregnado de bitumen. También se acostumbra designar como roca de asfalto a las arenas impregnadas de betún, que fue el modo como se formaron los grandes depósitos de este material que se encuentran en los Estados Unidos y en el Canadá.

Los betunes tienen un color negro o café oscuro, de aspecto lúcido o resinoso u opaco, con o sin olor característico a petróleo. Son insolubles en el agua, impermeables al agua, malos conductores del calor, de la electricidad y del sonido. Son más o menos solubles en el alcohol etílico, en el acetona, en el éter sulfúrico, en el benzol y en el tetracloruro de carbono. Como dicho anteriormente solubles totalmente en el sulfuro de carbono. Físicamente son cuerpos semisólidos o plásticos que se deshacen con el calor, pero que no tienen un punto de fusión definido; químicamente son de composición extremadamente variada y compleja. Los betunes eran conocidos desde la antigüedad preelénica. En Babilonia, los betunes se usaban para preparar un material que en las construcciones servía para li-

gar los ladrillos y las piedras. Hace 2300 años, con este tipo de ligantes se preparaban las vías para las procesiones religiosas. En la Biblia se encuentran también noticias sobre el empleo del betún. Según el Génesis, Noé lo usó en la construcción del Arca, y también en la torre de Babel el bitumen se empleaba como material de liga. Durante la Edad Media el betún quedó desconocido por muchos siglos; durante el Renacimiento fue utilizado por los alquimistas que le atribuían propiedades mágicas. Los grandes yacimientos de la Isla Trinidad fueron descubiertos en el año 1595 por Sir Walter Raleigh, pero debían pasar alrededor de tres siglos para que se constituyera una sociedad para la explotación de los mismos.

Los betunes se encuentran en grandes cantidades y en muchos puntos de la superficie terrestre: 1) como sustancias que rellenan los poros de las rocas o rodean los granos, si se trata de arena. 2) Algunas veces no se mezclan con otros materiales formando así depósitos generalmente puros, a este tipo pertenecen la Gilsonita y la Grahamita. 3) En solución en el petróleo y que por medio de la destilación fraccionada puede ser extraído. En los primeros dos casos toman el nombre de betunes naturales, en el último, el de betunes de petróleo.

Todos los betunes, también los naturales son originados por el petróleo, substancia que se encuentra en el subsuelo en capas impermeables y en cantidades que pueden ser ingentes. El petróleo, por lo que se refiere a su estructura molecular es una de las estructuras más complejas. Los hidrocarburos del petróleo pueden contener de 1 a 70 átomos de carbono por molécula. Tanto menor es el número de átomos de carbono por molécula, tanto menores son el punto de ebullición, el de inflamación y la viscosidad del producto. Cuando los petróleos filtran a través de las rocas que los encierran y logran llegar a la superficie terres

tre dan lugar a afloraciones que sufren notables alteraciones. Cuando llegan a contacto con el aire los hidrocarburos más livianos evaporan mientras otros se oxidan y se polimerizan, según una reacción de este tipo:



Con el tiempo, el petróleo expuesto al aire termina con transformarse en betún. Al salir por la corteza terrestre los petróleos arrastran partículas de arena, limo y arcilla, de modo que los betunes naturales, aunque en cantidades muy variables, contienen siempre materiales insolubles que prácticamente no se pueden separar, pero que en algunas aplicaciones pueden resultar útiles. Entre el material insoluble se encuentra también materias orgánicas de bidas a la presencia de vegetación alrededor de los yacimientos.

Betunes naturales.

Los betunes naturales se encuentran en grandes cantidades en la isla Trinidad, en algunas localidades de México, en Venezuela, en Colorado y Utah. De todos estos depósitos el más conocido es el de Trinidad. El asfalto de Trinidad se encuentra en un lago que tiene una forma más o menos circular de 700 metros de diámetro y con una profundidad al centro de 85 metros. Es material impuro que contiene pedazos de madera, agua, gas y mucha arena fina y arcilla. Desde el lago es extraído y llevado por medio de una teleférica al puerto de embarque y de allí es conducido a la refinería de Maurer en los Estados Unidos de Norteamérica. En la refinería se lleva a 100 grados centígrados y después es tratado con chorros de vapor de abajo hacia arriba. De este modo el betún se libra de los pedazos de madera, del agua y del gas. Puesto en toneles se vende como "Puro Trinidad". El material resultante es un producto de características muy constantes, con el 56.5

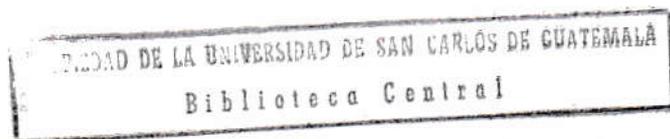
por ciento de betún puro, el resto está constituido por arena, arcilla y materia orgánica insoluble en el sulfuro de carbono.

En más o menos 50 años de explotación, se ha extraído alrededor de 6 millones de toneladas de betún, pero el depósito continuamente se regenera debido al flujo continuo de material desde el subsuelo. El consumo de los betunes ha ido en aumento estos últimos años y la derivación del petróleo se ha ido perfeccionando. La mayoría de los países importa los petróleos y los refinan obteniendo los betunes. Para mejorar las propiedades de algunos residuos se procede a calentar el residuo bituminoso a 90 grados centígrados más o menos y ponerlo, por un período variable de tiempo a la acción oxidante de un chorro de aire. La oxidación lleva la temperatura del residuo a más de 200 grados y finalmente al endurecimiento del betún. En los betunes los porcentajes de carbono e hidrógeno están en proporciones considerables, alrededor del 80% para el carbono y el 10% para el hidrógeno. Característica es la presencia del azufre que nunca falta y algunas veces puede llegar hasta arriba del 10%. La composición química elemental de algunos betunes es la siguiente:

Tipo de betún	C%	H%	O%	S%	N%	Cenizas %
Betún Trinidad	83,70	10,80	-	5,10	0,50	-
Betún ébano	82,27	10,59	0,89	5,16	-	1,09
Betún Texas	80,30	10,14	-	9,82	-	-

Características físicas de los betunes:

Peso específico: Según los datos de los laboratorios de la Shell, el peso específico de los tipos más comunes usados de betún varía con la penetración, como sigue:



	peso específico
300	1,01 \pm 0,02
200	1,02 \pm 0,02
100	1,02 \pm 0,02
50	1,03 \pm 0,02
Penetración a 25 grados	25
	1,04 \pm 0,02
	15
	1,04 \pm 0,02
	10
	1,05 \pm 0,02
	5
	1,07 \pm 0,03
	5
	1,07 \pm 0,03

Coeficiente de Dilatación:

Los mismos laboratorios de la Shell han encontrado los siguientes valores para el coeficiente de dilatación cúbica:

	Coeficiente de dilatación cúbica entre 15 y 200 grados centígrados
196	0,00060
65	0,00061
Penetración	50
a 25 grados	0,00061
	45
	0,00061
	23
	0,00062

El Bureau of Standards dá valores más altos, entre 15 y 65 grados centígrados con un valor promedio de 0,00063. La American Standards Association entre 15 y 230 grados, da un valor promedio de 0,00068.

Para los efectos de la impermeabilización se conside-

ra la indicación del grado de penetración o viscosidad de los betunes como dato necesario. En el caso del asfalto colado es conveniente usar el grado de 40-50, para las cubiertas impermeables en capas se usa de 90-100 aproximadamente. El grado de penetración se determina con el aparato de Vicat. Se trata de una prueba físico-química de consistencia que da la profundidad en décimas de milímetros a la que baja, en el betún mantenido a 25 grados, una aguja especial cargada con un peso de 100 gramos, en un intervalo de tiempo igual a cinco segundos. La prueba por lo menos requiere ocho determinaciones de las cuales hay que descartar el valor mayor y el menor. El betún se encuentra en el comercio en toneles de 54 galones. Los betunes parafinosos no son los indicados para los trabajos de impermeabilización.

El asfalto artificial es muy usado en la impermeabilización aplicándolo en una sola capa en caliente y con espesores que varían según la naturaleza de los trabajos requeridos. Está constituido por polvo de caliza amasado con betún. La masa, después del cocimiento se moldea en formas cilíndricas con peso entre 24 y 25 kg. Es importante en este tipo de asfalto, el grado de finura del molido, la pureza de la caliza y el contenido de betún.

El asfalto artificial en tamaños cilíndricos de 25 kg. como anteriormente explicado se le añade betún de penetración 30/40; se ha notado que la elevación de la temperatura para la preparación de la mezcla tiende a producir un notable endurecimiento. Este tipo de penetración es necesario para que en las épocas más calientes del año no se vuelvan demasiado plásticos y no permitan el tránsito sobre ellos. Las normas inglesas prevén el empleo de betunes con penetración comprendida entre 25 y 50. En realidad, debido a los largos períodos de calentamiento necesarios es probable que los betunes añadidos sean sujetos a

sensibles endurecimientos.

b) Asfalto Colado

El asfalto colado constituye un tipo importante y bien definido de impermeabilización, bastante conocido en la mayoría de los países y usado también con mucho éxito en la construcción de banquetas. Elemento primordial en la construcción de los asfaltos colados es el asfalto artificial o también llamado almácigo de asfalto. El asfalto artificial compuesto como se dijo anteriormente, se mezcla con arena fina y si es necesario se le agrega un poco más de betún. La mezcla que se obtiene en caliente tiene muy buena plasticidad que permite ser "colada" o sea puesta en obra por simple deposición, sin necesidad de costipación. La ventaja de este tipo de impermeabilización es que tiene una elevada resistencia al paso de las personas o sea al desgaste de modo de poder ser empleado muy ventajosamente en terrazas transitadas. Es muy fácilmente quitado y reparado. Para su aplicación no necesita maquinaria -- grande y costosa, pero sí una mano de obra muy especializada. En Guatemala solo hay una compañía que a la fecha puede efectuar este tipo de impermeabilización. La capa de asfalto colado requiere para su colocación una base rígida, por eso se ejecuta normalmente sobre techos de concreto. Los inconvenientes son de escasa cuantía reduciéndose a algunas grietas eventuales que se pueden formar cuando la temperatura baja notablemente, y muy rara vez se podrá notar la formación de alguna ampolla.

c) Composición de la Mezcla

La proporción y la composición del asfalto colado son muy sencillos. Originalmente se ponía a calentar una cierta cantidad de asfalto artificial, se le añadía arena sin importar mucho su composición granulométrica y se agrega

ba betún en proporción tal, que la mezcla tuviera un alto poder ligante. Hoy, la técnica de los asfaltos colados se ha vuelto tal vez más compleja, pero el concepto fundamental ha quedado igual. Una típica composición de mezcla es la siguiente:

- 60 partes por peso de asfalto artificial
- 4 partes de betún natural
- 36 partes de arena muy fina de río.

Si se quiere favorecer más la impermeabilidad del revestimiento, la mezcla tendrá que tener betún de más alta penetración y estar en cantidad superior al 15%. También es buena norma usar asfalto artificial y betún solamente, sin necesidad de agregar arena de río.

Interesante es saber también que las antiguas capas de asfalto colado pueden ser reutilizadas casi completamente. Cuando se funden nuevamente estas capas antiguas, es necesario agregar una cierta cantidad de betún fresco que es del orden del 1 al 2%, ya que de otro modo las capas resultan demasiado rígidas y demuestran una excesiva tendencia a tornarse quebradizas y a la formación de grietas. El betún fresco debe ser de penetración alrededor de 80/100 y en algunos casos más críticos, puede llegar hasta 180/200. Además, es mejor evitar mezclas compuestas en su totalidad de material antiguo, de recuperación.

Para poder juzgar la plasticidad de las diferentes mezclas se puede recurrir en el caso del asfalto colado a una prueba especial que parece dar muy buenos resultados. Es similar a la prueba que se efectúa para la determinación del punto de reblandecimiento de los betunes con el método de la esfera y el anillo. En el caso del asfalto colado se han escogido los siguientes implementos: un anillo con un diámetro de 100 mm., y una altura de 15 mm., y la esfe

ra de plomo con un peso de 2.2 kg. Para el calentamiento se usa una mezcla de agua con glicerina, ya que a veces hay necesidad de superar los 100 grados centígrados. En estas condiciones el asfalto colado de óptima plasticidad debe tener un punto de reblandecimiento comprendido entre los 80 y los 100 grados. Hay que tener el cuidado al hacer la prueba que la deformación del asfalto colado entre el anillo no llegue a producir una rajadura en la probeta, ya que debe repetirse la prueba.

La prueba de penetración con aparatos de indentación da resultados muy inciertos y a veces bastante equivocados.

d) Preparación de la Mezcla

La preparación de los asfaltos colados está caracterizada por el hecho que el calentamiento de los varios componentes no se ejecuta por separado en distintas calderas, sino conjuntamente en una sola. Los componentes de la mezcla se introducen en la caldera del siguiente modo: de primero el betún, después el asfalto artificial y por último el agregado (casi siempre arena de río muy fina). En la caldera no hay un verdadero mezclador sino más bien un agitador. Los componentes que se agregan a la mezcla se añaden poco a poco para evitar excesivos enfriamientos de la masa que pueden perjudicar una buena mezcla. Por lo tanto, después de agregar parte de algún componente hay que esperar que se normalice la temperatura. Si se agregan materiales húmedos, estos producen espumas y dañan la mezcla, por eso habrá que secar los agregados que se vayan a usar aunque sea al calor del sol o muy cerca de la caldera.

Para este procedimiento la duración de un cocimiento es de no menos de 5 horas y la temperatura de 180 a 200 grados centígrados pudiendo llegar hasta 220; duración y

temperaturas posibles por el hecho que los polvos asfálticos, que por sí solos no pueden soportar más que calentamientos moderados, pueden tolerar este tratamiento vigoroso cuando se encuentran mezclados con los otros materiales. Para la impermeabilización de techos de superficie limitada o para trabajos de reparación se usan pequeñas calderas con calefacción a base de diesel o leña. Estas calderas son de planta circular y de mezcla hecha a mano, con una capacidad promedia de 210 litros. Si el asfalto colado se usa para banquetas, se utilizan calderas de forma semicilíndricas alargadas con mezcladores de mezcla lenta. Los mezcladores son palas en forma de lanza, fijos sobre un eje central. Este eje dá de 5 a 8 revoluciones por minuto. Con una caldera, cuya capacidad sea de 80 a 100 quintales, se obtiene una producción de 160 a 200 quintales de asfalto colado por día; cantidad que es suficiente para cubrir una superficie de 170 a 220 metros cuadrados con un espesor de 4 cm. La potencia absorbida por la caldera es de 10 a 12 CV. Si la caldera es móvil entonces su tamaño es más reducido llegando sólo a una capacidad entre 90 y 100 quintales por día y absorbiendo una potencia de 7 a 8 CV.

e) Colocación de Asfalto Colado

La colocación del asfalto colado sobre la superficie a impermeabilizar se hace siempre a mano, por medio de recipientes metálicos equipados con un mango lateral para favorecer su vaciado. Para evitar que el asfalto colado se pegue en las paredes interiores de los recipientes se usa aceite quemado con el cual se humedecen las mismas. La superficie que se va a impermeabilizar debe estar completamente seca y limpia. El asfalto colado al momento de hacer contacto con la superficie de colocación debe tener una temperatura del orden de 160 a 180 grados centígrados porque a temperaturas más bajas su viscosidad es demasia-

do alta y hace difícil y a veces imposible la extensión uniforme de la capa. Para extender el asfalto colado hasta un espesor de 3 cm. se usa una espátula de madera (la madera que más resista a las altas temperaturas). Si debido a especificaciones extraordinarias se requiere un espesor mayor, es mejor efectuar el trabajo en capas sucesivas, tratando de cruzar la dirección de las capas para evitar la posibilidad de la formación de futuras grietas. Siempre se dividirá el trabajo en fajas delimitándolas con tiras metálicas que servirán de guía. Al terminar la aplicación de la capa es costumbre echar encima una capa delgada de arena sumamente fina y pasarle un tamborcito con un peso de más o menos 25 kg. para dejar arregladas eventuales imperfecciones de trabajo que puedan existir. La arena sirve para que la parte de trabajo que se haya efectuado pueda ser rápidamente transitada por los obreros encargados del transporte de los materiales al lugar de subsiguiente extendimiento. El peso específico del asfalto colado varía mucho según el tipo de agregado que se usa, oscilando entre 2.3 y 2.7. La posibilidad y la amplitud de estas oscilaciones deben ser tomadas en cuenta para calcular el rendimiento que se tendrá. Si correctamente ejecutada, la capa queda completamente libre de vacíos.

f) Consumos y Rendimiento

Una impermeabilización con asfalto colado puede durar hasta 30 años. A veces se podrá notar en el curso de la vida del impermeabilizante la formación de burbujas o ampollas. Estas pueden llegar a tener un diámetro de varios centímetros. Sobre este fenómeno se han dado muchas explicaciones. Muchos atribuyen la formación de las ampollas a la humedad contenida en la base al momento de fundir la capa y también a la alta humedad ambiental, aunque esta hipótesis en el caso de asfalto colado no parece muy creíble, si pensamos que el vapor de agua genera pre

siones muy limitadas en relación a la temperatura que generalmente se encuentra en la capa. Según otros, la formación de las ampollas se debe a la tensión del vapor de los aceites que lentamente se separan del betún cuando éste no es de la calidad requerida para el trabajo.

Otro fenómeno que se presenta es la contracción que se manifiesta con separaciones de los lados y formación de grietas. Contracciones muy fuertes se tienen cuando el asfalto colado se compone con materiales viejos que se vuelven a utilizar; probablemente debido a que el betún en el doble cocimiento pierde buena parte de su elasticidad. Donde aparecen grietas los esfuerzos deben ser siempre notables, ya que la resistencia a la tensión del asfalto colado es bastante grande. Muestras de asfalto colado ensayadas con el mismo procedimiento que se usa para el concreto han dado resistencias a la ruptura para tensión y a 0 grados centígrados superiores a los 60 kg./cm. cuadrado.

Escasas son las normas para el mantenimiento de los asfaltos colados. Las partes dañadas se cortan y se remueven, substituyéndose por asfalto colado bastante plástico, a manera de evitar eventuales grietas a lo largo del perímetro de contacto debido a la contracción del material.

Si las estructuras soportantes son muy elásticas para evitar que se produzcan grietas, ya que por la escasa elasticidad del asfalto éste no va a seguir los movimientos de la cubierta, se tiende a independizar la capa de asfalto fundido del techo que la soporta, tendiendo sobre éste un cartón-filtro bituminoso antes de extender el asfalto. La precaución es muy útil, pero no libra al contratista de una perfectísima ejecución del trabajo, sin la cual ninguna precaución logrará salvar la capa impermeabilizante.

Se acostumbra también proteger la capa con un embal

dosado. Este trabajo debe ser ejecutado por un albañil con mucha paciencia y delicadeza a fin de que al golpear para expulsar el material en el que se apoyan las baldosas no se formen bordes que puedan transformarse con el pasar del tiempo en grietas.

El precio por metro cuadrado oscila en función de la clase de superficie que se va a impermeabilizar, del espesor de la capa requerida y el tipo de protección final que se le va a dar a la capa de asfalto colado.

II: Morteros Bituminosos

Los morteros bituminosos son mezclas de tipo complejo, constituidas por arena, aditivo y betún. Su comportamiento está ligado a las características de los materiales y a las proporciones en que estos materiales se mezclan entre sí. Antes de conocer la manera en la cual se realizan las mezclas o morteros bituminosos es necesario conocer bien sus componentes y las proporciones para mezclarlos.

Para la formación de morteros bituminosos se emplean arenas silíceas de origen natural provenientes de depósitos aluvionales antiguos, de ríos, etc., y compuestas de elementos más o menos redondeados. Las arenas tienen que ser limpias y no deben contener demasiadas partículas de mica, ya que a éstas se adhiere mal el betún y tienden a dificultar una composición pareja de los morteros. Desde el punto de vista granulométrico, la arena debe estar compuesta de elementos de tamaño variable; por eso hay que evitar la arena de mar, por presentar ésta una granulometría demasiado uniforme. La arena debe ser de elementos finos y casi libre de elementos demasiado finos, ya que estos últimos están casi siempre constituidos por impurezas. Por lo tanto, es necesario que la arena pase el tamiz A. S. T. M.

Nº 10 con una abertura de mallas de 2 mm. y sea retenida en el tamiz n.200 que tiene una abertura de 0,074 mm en su casi totalidad. El porcentaje admisible para la fracción que pase el tamiz Nº 200 oscila entre el 2 y 4%. El peso específico de la arena silícea puede variar sensiblemente para los diferentes tipos, pero generalmente los valores promedio oscilan entre 2,61 y 2,67.

Sobre la granulometría de la arena y los problemas que de eso derivan se considera oportuno recordar algunas nociones fundamentales. Los vacíos contenidos en un agregado mineral dependen de las condiciones de asentamiento de la forma de los elementos que la componen, y de su composición granulométrica, o sea de las relaciones existentes entre las cantidades de los elementos de las diferentes dimensiones. Si la forma es esférica y las partículas tienen todas la misma magnitud, entonces los vacíos son los mismos, independientemente del diámetro de los elementos y dependerán solamente del modo en el cual se coloquen los elementos. En un conjunto de esferas todas iguales teóricamente con la mejor colocación se obtiene un porcentaje de vacíos del orden del 26%; pero si las esferas se colocan una encima de otra, regularmente la proporción de vacíos llega casi al 48%. Experimentando con esferas iguales, por ejemplo con perdigones, no se llega nunca en realidad a reducir los vacíos al mínimo u obtener el máximo, así que el porcentaje de vacíos varía entre los límites de 26 al 48%. En la práctica las partículas de un agregado mineral nunca son perfectamente esféricas, así, su forma irregular puede tener el efecto de aumentar o disminuir los vacíos según la posición recíproca que tomen las partículas.

En la práctica, también para los agregados naturales de granulometría uniforme se encuentran relaciones de vacíos comprendidas entre el 40 y el 45%, igual casi a la mi-

tad del volumen. Si por el contrario los agregados están constituidos por elementos de granulometría diferente, la relación de vacíos disminuye rápidamente ya que los elementos más pequeños pueden colocarse entre los espacios formados por los más grandes. En el caso de la arena no es posible formular reglas exactas, ya que las relaciones granulométricas establecidas con los tamices no tienen en cuenta la forma y otras características de las partículas por ejemplo, si son de superficie lisa o rugosa, si de canto vivo o suave.

La forma y características de las partículas tienen siempre una influencia muy notable en el comportamiento final de un mortero bituminoso. Aunque se adopten las granulometrías exigidas por las normas, hay que controlar, caso por caso, la facilidad que tiene la arena de mezclarse con el mismo y el grado de compactación a que llega la arena antes y después de agregar el aditivo.

El Instituto de Asfalto con base en su gran experiencia, ha indicado los límites para las composiciones granulométricas de la arena utilizable para morteros bituminosos. Los límites de los porcentajes en peso han sido definidos, así: (siguiente página)

% que pasa el tamiz N ^o 10	(2,00 mm.)	98-100	14.50%
% que pasa N ^o 10 y retenido N ^o 20	(2,00-0,84 mm.)	3-15	fracción gruesa
% que pasa N ^o 20 y retenido N ^o 30	(0,84-0,59 mm.)	4-15	30-60%
% que pasa N ^o 30 y retenido N ^o 40	(0,59-0,42 mm.)	5-25	fr. media
% que pasa N ^o 40 y retenido N ^o 50	(0,42-0,30 mm.)	5-30	15-40%
% que pasa N ^o 50 y retenido N ^o 80	(0,30-0,18 mm.)	5-40	fr. fina
% que pasa N ^o 80 y retenido N ^o 100	(0,18-0,15 mm.)	6-25	
% que pasa N ^o 100 y retenido N ^o 200	(0,15-0,07 mm.)	6-25	
% que pasa N ^o 200	(0,15-0,07 mm.)	0-5	

Anteriormente, atribuyéndose a la granulometría de la arena una importancia preponderante sobre las otras características, se creía haber encontrado para la arena composiciones granulométricas que mejor responderían a las exigencias de los morteros bituminosos, y así poder fijar para las tres fracciones de la arena: gruesa, media y fina, tres porcentajes ideales, a los cuales había que acercarse lo más posible en la práctica. La existencia de estos porcentajes ideales no es admisible, ya que con este criterio se eliminan todas las otras características de forma y superficie de las partículas que son muy variables y ejercen sobre el comportamiento de los morteros bituminosos una influencia muy grande. Así, aunque se lograra determinar la composición granulométrica óptima para una determinada arena, los valores encontrados no se adaptarían a otra arena. En la naturaleza es muy difícil encontrar arenas que correspondan a las

granulometrías deseadas para los morteros y que sean siempre de la misma composición. Para llegar a acercarse a la composición deseada lo más posible y para asegurar la necesaria uniformidad hay que proceder a la mezcla en determinadas relaciones de dos arenas o en casos excepcionales, de tres tipos de arena. La búsqueda de las proporciones según las cuales las dos o tres arenas se combinan, puede hacerse mediante el estudio de la combinación de granulometrías para obtener la deseada. Es recomendable que estas proporciones sean caracterizadas por números enteros, a modo de poder simplificar en la obra las operaciones de dosificación. Si se conocen los análisis granulométricos de cada arena, se pueden obtener las composiciones granulométricas de la mezcla con el método analítico, multiplicando los porcentajes de las diferentes fracciones por la relación de mezcla de las arenas y sumando los productos que se refieren a las mismas fracciones. Así, por ejemplo, si se tienen dos arenas A y B y se quiere determinar la composición granulométrica que se obtiene mezclando $\frac{1}{3}$ de A con $\frac{2}{3}$ de B se puede efectuar el cálculo como sigue:

ARENA A		Relación mezcla		Arena 1/3 A y 2/3 B	
	Composición				
Pasa 10 retenido	40	x	0,333	=	16,06
Pasa 40 retenido	80	x	0,333	=	10,03
Pasa 80 retenido	200	x	0,333	=	6,40
Pasa 200		x	0,333	=	0,84
ARENA B					
Pasa 10 retenido	40	x	0,666	=	4,10
Pasa 40 retenido	80	x	0,666	=	38,38
Pasa 80 retenido	200	x	0,666	=	22,86
Pasa 200		x	0,666	=	1,33
Composición de la mezcla					20,16 48,41 29,26 2,17

El estudio de las mezclas de dos o tres arenas se resuelve más fácilmente con el método gráfico sugerido por Hubbard y que se basa en el empleo del triángulo e qui látero. El empleo es posible cada vez que los porcentajes que caracterizan las diversas composiciones granulométricas sean reducidas a tres como siempre sucede cuando se emplean 4

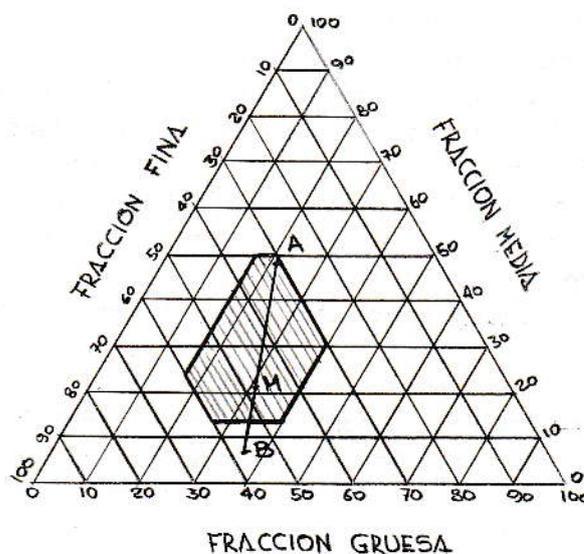
tamices de la ASTM o sea los Nos. 10, 40, 80 y 200.

Como es conocido en el triángulo equilátero la suma de las tres distancias de cada punto interno desde los tres lados es constante e igual a la altura. Si a cada altura hecha igual a 100 se refiere uno de los tres porcentajes granulométricos, cada punto interior del triángulo puede, por medio de las distancias a los tres lados, definir una y una sola arena. En el caso en el cual una arena falte de una de las tres fracciones, su punto representativo se encontrará sobre uno de los lados del triángulo, debiendo una de las distancias a los lados resultar nula; el punto representativo coincidirá con uno de los vértices del triángulo si la arena está constituida de una sola fracción. En general los porcentajes de la fracción gruesa se acostumbra contarlos sobre la altura correspondiente a la base del triángulo. Los porcentajes de la fracción media se cuentan sobre la altura correspondiente al lado de la derecha y los porcentajes de la fracción fina se cuentan sobre la altura correspondiente al lado de la izquierda. En la figura se puede apreciar el área del hexágono irregular que indica el área de variación permitida según las normas del Instituto de Asfalto; cualquier punto en el interior de este hexágono, llamado polígono útil, corresponde por lo tanto a una arena de composición granulométrica admisible, mientras todo punto que caiga en el exterior del polígono corresponde a una arena que se puede emplear sólo si se mezcla con otras.

Las arenas con las cuales se hizo el ejemplo anterior están representadas por dos puntos A y B; el segmento que une estos dos puntos comprende todas las granulometrías posibles que se pueden obtener con la mezcla de estas dos arenas.

Si a lo largo del segmento se escoge la composición indicada por ejemplo por el punto M, para esta composi-

ción se puede demostrar fácilmente que corresponde a una mezcla que tiene una relación inversamente proporcional a las distancias a M entre A y B. En nuestro caso el punto M divide el segmento AB en dos partes, de las cuales AM es el doble de MB; para obtener la composición indicada por M habrá por lo tanto, que mezclar una parte de arena A con dos partes de arena B. Como se ve en la figura la granulometría del punto M llega a corresponder a la encontrada por el método analítico.



a) Arena más Llenador (filler)

Casi nunca el llenador es triturado tan finamente como para pasar en su totalidad el tamiz N^o 200. La mezcla del llenador con la arena hace disminuir el porcentaje de vacíos a modo de llegar a un límite deseado. Al poner más buscando rebajar todavía más el porcentaje de vacíos se logra por el contrario, aumentar el mismo. En una mezcla bituminosa bien proporcionadas, el volumen de vacíos presente no debe superar el 28-30% aunque es preferible lle-

gar al 25%. Los llenadores que se pueden usar están constituidos por polvo mineral muy fino, obtenido moliendo rocas adecuadas, generalmente calcáreas. Los pesos específicos absolutos de los polvos minerales están generalmente comprendidos entre 2,63 y 2,73. Pesos menores se pueden obtener con polvos ricos en sílice, y mayores se alcanzan con rocas calcáreas y porfiríticas. Se puede también emplear como aditivo el cemento de modo que los morteros bituminosos a base de cemento tienen siempre una mayor densidad con respecto a los otros, aunque el costo es notablemente superior. Sin llenador no es posible complementar la granulometría del agregado a modo de obtener un conglomerado verdaderamente compacto y sin exceso de bitumen. La función del llenador no sólo tiene esta acción mecánica, sino también la de estabilizar el mortero. El polvo añadido al bitumen aumenta la consistencia del ligante y disminuye la capacidad muy alta de respuesta a los cambios de temperatura; al mismo tiempo baja la ductibilidad del ligante que puede provocar grietas en las impermeabilizaciones.

Para los morteros bituminosos se estudiaron también los efectos del llenador sobre la resistencia al escurrimiento. Según Hubbard, aumentando el porcentaje de polvo la estabilidad del mortero se aumenta mientras se reduce el volumen de vacíos de los agregados. Para cada mortero se tiene una estabilidad máxima en correspondencia a un determinado porcentaje de llenador, variable según la naturaleza de la misma. Con polvos calcáreos, Hubbard ha encontrado que la estabilidad en los morteros resulta máxima al añadirse porcentajes hasta del 25%. El grado de finura del llenador en un intervalo bastante grande no tiene influencia notable sobre el comportamiento de los morteros bituminosos. Este intervalo varía de 74 a 10 micrones. Las diferencias por el contrario son notables fuera de estos límites.

Los polvos demasiado finos como los que se pueden obtener de la bauxita y que tienen superficies específicas totales de 900 a 1600 metros cuadrados por kg., prácticamente no se pueden emplear, ya que los morteros resultan de muy difícil trabajabilidad y de altísimas proporciones de bitumen. En la práctica no debe preocupar demasiado el control de la finura del llenador, es suficiente que por lo menos el 85% pase el tamiz N^o 200, aunque esta condición esté muy lejos de podernos dar una idea exacta de su grado de finura. En el laboratorio se controla la acción del llenador por medio de medidas indirectas, como la de observar la elevación en el punto de reblandecimiento en una muestra de bitumen mezclada con llenador y comparando este efecto al producido por un patrón. De todos modos también este tipo de control no es de mucho valor, en lo que se refiere al grado de finura del llenador.

b) Características del Betón

Para los morteros se usan generalmente betunes de baja penetración. En los Estados Unidos se han empezado a usar betunes de penetración 40/50, 50/60 y 60/70, diferente de Europa donde se usan penetraciones de 30/40 y 40/50. Esta tendencia norteamericana es racional porque facilita la buena preparación de los morteros y evita eventuales grietas, pero exige una técnica más delicada y precisa, para evitar morteros demasiado plásticos. Una observación importante en lo que se refiere a la penetración es que debido al alto y prolongado calentamiento al cual los ligantes están sujetos durante la preparación del mortero es muy fácil que el betón endurezca y que el mortero se efectúe con ligantes más duros de lo que estaba previsto. Esto depende sobre todo de la duración y el tipo de calentamiento que se emplee y además de la naturaleza del ligante. En condiciones promedios los betunes de penetración, alrededor de cincuenta pueden endurecer en 10 o más

puntos. Algunas veces la penetración deseada no se puede obtener empleando los betunes, tal como se encuentran en el comercio; muchas veces se tiene necesidad de llevar betunes demasiado duros a la penetración deseada por medio de mezcla con otros betunes de penetración alta. La mezcla de dos betunes se hace naturalmente en caliente y en el momento de preparar el mortero para evitar que el ligante sea calentado dos veces.

c) **Composición de los morteros bituminosos**

Según la técnica moderna, la composición de los morteros bituminosos hay que mantenerla en los siguientes límites de porcentaje en peso:

(página siguiente)

Refinado en tamiz ASTM N° 10	(2,00)	0
% que pasa el N° 10 y es retenido en el N° 40	(2,00-0,42)	10-40
% que pasa el N° 40 y es retenido en el N° 80	(0,42-0,18)	20-45
% que pasa el N° 80 y es retenido en el N° 200	(0,18-0,07)	12-32
% que pasa el N° 200	(0,07)	10-20
Bitumen		9,5-12,0

Para la determinación de la composición que deba adoptarse en los diferentes casos, se empieza en la práctica por establecer la granulometría que debe tener la arena, según los materiales que se tienen a disposición y en función de las características del trabajo. Después de efectuado este paso se fijan las cantidades de aditivo y de ligante. Para el aditivo hay que tener en cuenta que los porcentajes máximos no son en general aconsejables, ya que conducen a morteros de difícil preparación y mezcla. Con dosis excesivas de llenador se forman también en la mayoría de los casos grumos que hacen difícil la puesta en obra del material. Por estas razones, las cantidades de polvo más comúnmente usadas son las comprendidas entre el 10 y el 16% del peso total del mortero y en la mayoría de los casos entre el 10 y el 13% ya que con el 16% ya se encuentran dificultades. Los morteros con llenador en exceso resultan también de costo más elevado, ya que ésta después del bitumen es el componente de costo más caro y además al aumentar el porcentaje del mismo debe aumentarse también el porcentaje del bitumen. Un buen

mortero terminado y colocado debe llegar a tener un peso específico aparente alrededor de 2,20 o 2,25 si se ha empleado por llenador cemento, y un porcentaje de vacíos no superior a 6 o 7%.

d) Generalidades sobre la cantidad de bitumen necesaria

La exacta cantidad de bitumen constituye el problema más delicado en la técnica de los morteros bituminosos. La función primordial del bitumen en los morteros bituminosos es de proveer en la mejor forma posible la unión entre los diferentes elementos que constituyen el mortero. Hace tiempo se consideraba que el bitumen se tenía que añadir en tal cantidad, como para llenar todos los vacíos que inicialmente existían; pero eso llevaba en general a cantidades demasiado elevadas. Tomamos por ejemplo, una mezcla de arena y llenador de peso específico aparente de 1,95 y con un porcentaje de vacíos de 28,5%, datos estos que en la práctica son bastante comunes. Para llenar los vacíos se necesitaría por cada litro de esta mezcla 285 centímetros cúbicos de ligante o sea 290 a 296 gramos de bitumen, según el peso específico de este último. Desde el momento que un litro de mortero llega así a pesar $1950 + 293 = 2243$ gramos, la cantidad del bitumen añadido sería en este caso de un poco más del 13%, cantidad que es excesiva según las últimas tendencias. Hoy, después de numerosos estudios y ensayos se ha llegado a la conclusión que el bitumen solo debe llenar una parte de los vacíos; parte que según Goelz debe estar entre el 65 y el 85% y que según el norteamericano Emmons no debería ser mayor del 70 al 80%. Según otros estudiosos, la cantidad de bitumen debería ser la necesaria para dejar en el mortero un porcentaje de vacíos en el orden del 3%. De todos modos cualquiera sea el criterio que se siga para la cantidad necesaria de bitumen en el mortero, habrá que recordar:

- 1) El volumen de los vacíos debe resultar en el mortero terminado muy reducido.
 - 2) Que a este resultado no se tiene que llegar sólo con la cantidad de ligante, sino con una justa proporción de los componentes del mortero.
- e) Método teórico para determinar la cantidad de bitumen necesaria

Entre todos los métodos teóricos que existen, uno de los más interesantes es el de Nellensteyn. Este método considera que los vacíos a tomarse en cuenta son solamente los de la arena y que deben llenarse con llenador y con ligante. Según este método habría que determinar inicialmente y separadamente para la arena y el llenador a disposición, los porcentajes de bitumen P_s y P_a que se necesitan, para llegar a la máxima cohesión del mortero. Para estas dos determinaciones, Nellensteyn hace pruebas de tracción con las conocidas probetas en "8" y con la balanza de Michaelis que se usa para los cementos. A una determinada temperatura y a un determinado esfuerzo de tensión se miden la resistencia ofrecida por el mortero de sólo arena y del mortero de sólo llenador con diferentes porcentajes de ligante, considerando los porcentajes correspondientes a las resistencias máximas como los más convenientes para el mortero. Se puede así establecer una primera relación entre porcentajes en peso de la arena S , el llenador A y el bitumen B que representan las tres incógnitas del problema:

$$SP_s + AP_a = B$$

En esta relación: P_s = bitumen para arena
 P_a = bitumen para el llenador

Una segunda relación entre las incógnitas se puede escribir, diciendo que el volumen del llenador más el volumen del bitumen debe corresponder al volumen V de los vacíos de la arena, volumen que se determina experimentalmente. Llamado W_a y W_b los pesos específicos absolutos del llenador y del bitumen se tendrá:

$$\frac{A}{W_a} + \frac{B}{W_b} = V$$

Con estas dos ecuaciones y teniendo presente que:

$$S+A+B = 1$$

se pueden determinar las tres incógnitas.

El método de Nellensteyn de todos modos no es muy persuasivo. La resistencia a la tensión no es un parámetro que puede representar suficientemente bien los complejos fenómenos de adhesión y cohesión de los elementos componentes del mortero con el bitumen y la hipótesis de que los vacíos de la arena deben ser llenados con el llenador y con el bitumen no tiene comprobación absoluta.

f) **Métodos empíricos para determinar la cantidad de bitumen necesaria**

Ya que los métodos "exactos" no existen en la realidad debe tratarse en la práctica de basarse en la experiencia. Hemos ya recordado anteriormente los criterios prácticos que se siguen para determinar la granulometría del agregado y el tipo del llenador. Para el bitumen, la cantidad se fija casi siempre atribuyendo a la arena y al llenador dos porcentajes de ligante empíricamente y que deberían corresponder a las dos proporciones más convenientes.

tes. Generalmente se supone que estas cantidades son del 8 al 10% para la arena y del 25 al 30% para el llenador, según la naturaleza y la granulometría de los materiales. Después de haber establecido la cantidad de bitumen, es preocupación del técnico poder sacar elementos útiles de juicio del aspecto de la mezcla, de su comportamiento a la hora de la colocación de la misma y de la resistencia ofrecida a las presiones. Observando estos factores se puede aumentar o disminuir el contenido de bitumen, hasta llegar a un porcentaje que satisfaga completamente. Lo más común en lo que a cantidades se refiere es: 12% de llenador y del 9,5 al 10,5 de bitumen. La composición de la mezcla puede también ser corregida con pruebas de laboratorio. Una de las más conocidas es la prueba de estabilidad según Hubbard, que mide el esfuerzo necesario para hacer pasar una muestra de mortero bituminoso a través de una perforación circular. Muy usada, es una prueba de carácter empírico llamada del "pat test". Consiste en poner un poco de mezcla caliente en una hoja de papel manila de superficie opaca y en el provocar en el mismo papel la formación de una huella al comprimir con una madera la mezcla envuelta en el papel. Si el bitumen es demasiado abundante, la huella se presenta muy oscura y continua; si es demasiado escaso, la huella se presenta débil y en forma de puntitos. Del tipo de huella que se obtiene se puede deducir también indicaciones útiles sobre la cantidad demasiado abundante o escasa del llenador. Es lógico comprender que la información que se obtiene por la huella está sujeta al carácter y modalidad como se ejecuta la prueba y en particular de la temperatura del mortero. De todos modos, para una persona con cierta experiencia ésta prueba es de mucha utilidad.

Los morteros bituminosos no requieren mucho mantenimiento si la mezcla se ha efectuado en la forma adecuada. Se usan mucho en terrazas muy transitadas, en banquetas de peatones, en el caso que debajo de las banquetas se encuentren los sótanos del edificio, etc.

El espesor aconsejable es de 1,5 a 2,0 cms. o más, según el caso lo amerite.

III Impermeabilización con cubiertas de capas múltiples superpuestas.

Este tipo de impermeabilización se caracteriza por su peso bastante liviano (varía de 4 a 8 kg./cm.). Está constituido por capas que sirven de esqueleto, para soportar tensiones que se puedan presentar y por las capas alternadas que son completamente impermeables. El material generalmente usado es el cartón-fielto, sea para techos de madera que para techos de concreto. Hasta hace poco tiempo en Guatemala el costo de la impermeabilización a base de cartón-fielto se podía mantener a un nivel bastante razonable, pero ahora ha subido notablemente el arancel de aduanas para estos productos debido a que erróneamente están incluidos en una partida que no les corresponde. La tela de yute de buena calidad llega a tomar el lugar del cartón-fielto con resultados bastante satisfactorios. En trabajos de impermeabilización con cubiertas de capas múltiples es lógico de comprender que la duración y la seguridad de una cubierta de esta naturaleza está directamente proporcional a el número de capas empleadas, a la calidad de los materiales y a la mano de obra especializada utilizada en el trabajo.

a) El cartón-fielto

Los fieltros impregnados de ligantes hidrocarburados que se utilizan en la impermeabilización son de dos tipos:

- a) Cartón-fielto cilindrado que está constituido por papel lana impregnado de bitumen desde un mínimo de 100% a un máximo del 170% de peso del ligante en

relación al peso del papel-lana.

- b) Cartón-filtro con tratamiento superficial o sea papel lana que, después de haber sido impregnado normalmente, está sujeto a la aplicación sobre una o las dos caras de una capa de ligante superficial, saturado con talco, mica o cualquier agregado mineral coloreado o no.

Según si el cartón-filtro ha recibido el tratamiento sobre una o las dos caras y según el tipo de material empleado en la saturación, el producto que se obtiene lleva el nombre de mono o bi-arenado, mono o bi-talcado, etc.

La literatura técnica indica como papel-lana más idóneo, el que presenta las fibras de naturaleza y porcentaje como se especifica a continuación:

Fibras de algodón	de 50 a 70% por peso
Fibras de lana	de 10 a 20% por peso
Fibras de yute	de 5 a 15% por peso
Fibras de madera	de 1 a 5% por peso

En todo caso el papel-lana no debe contener más del 8-10% por peso de cenizas minerales y no más del 5-10 % por peso de humedad.

La industria tiende a producir cartón-filtro de bajo costo o sea de menor densidad y en consecuencia menos apto a ser impregnado, más rígido y menos resistente a los agentes atmosféricos. En Estados Unidos, Francia, Inglaterra, se han publicado normas precisas que indican una serie de ensayos y de análisis sobre el cartón-filtro y los trabajos terminados, para evitar que debido a la competencia se empleen en la producción materiales de baja calidad. En formas esquemáticas resumiré las normas esenciales que rigen al cartón-filtro sin entrar detalladamente en ellas, ya que existen en estos tres países diferencias esenciales.

El examen de las fibras de papel-lana se efectúa macerando una muestra en agua y tratándola sucesivamente con una solución de cloruro de zinc. La diferente coloración tomada por las fibras en rojo, azul, amarillo indicará la diferente naturaleza de las fibras presentes. El sucesivo examen microscópico llevará a la diferenciación entre las fibras que, aunque tengan la misma coloración, son de diferente origen. Así por ejemplo, las fibras de lana toman el color amarillo, pero son separables por el microscopio y por el diferente comportamiento en presencia del ácido sulfúrico, de algunas fibras vegetales que también toman el color amarillo.

Entre los ensayos por hacer sobre el papel-lana están los siguientes:

El porcentaje de humedad: se establece por diferencia de peso por secado al horno.

El porcentaje de cenizas: se determina quemando una muestra en un mortero.

El poder de absorción: se obtiene por diferencia de pesos después de inmersión, durante un tiempo determinado de una muestra en aceite de antraceno (densidad 1,08 a 1,09) en kerosina o en otras sustancias similares aceptadas.

La resistencia mecánica a la tensión a temperatura ambiente se determina, sea en el sentido de las fibras que normalmente a éstas. Se efectúa por medio de aparatos que permiten ejercer una tensión sobre la muestra y que substancialmente están constituidos por un tornillo sin fin y un dinamómetro que permite medir el esfuerzo máximo de tensión.

Las muestras tienen dimensiones fijadas de ancho y

de longitud. Con el mismo aparato se puede medir también el porcentaje de alargamiento antes de la ruptura.

La diferencia de resistencia en el sentido normal a la dirección de las fibras se fija por experiencia alrededor del 20% debajo de la resistencia obtenida en la dirección de las fibras.

También los productos terminados o sea el cartón-filtro bituminado se somete a controles que reflejan las características propias de los materiales empleados.

Los betunes que sirven para la impregnación deben presentar un punto de ablandamiento comprendido entre 40 y 70 grados centígrados; la pérdida por calentamiento no debe sobrepasar el 3% en peso; mientras el bitumen para tratamientos superficiales debe tener un punto de ablandamiento mayor de 70 grados centígrados y un contenido de parafina no mayor del 2,5%.

Entre los ensayos sobre el producto terminado se enumeran los siguientes:

- a) **Características exteriores:** El cartón-filtro debe resultar uniformemente impregnado. Desarmando un cartón no debe presentar en ningún punto un defecto de impregnación.
- b) **Impermeabilidad al agua:** La muestra para ensayo con dimensiones de 20 cm. x 20 cm. se provee de un borde impermeable vertical, a modo de formar una caja. Después se vierte en la misma una determinada cantidad de agua hasta obtener aproximadamente una altura de 3 cm. Durante 72 horas se controla, si el agua logra o no pasar a través del cartón-filtro.

- c) **Flexibilidad:** Muestras de dimensiones determinadas y también a temperatura prefijada se envuelven a 180 grados sobre la superficie de cilindros mecánicos de diámetro variable. El enrollado de las muestras sobre los cilindros debe hacerse en tiempos relacionados al diámetro de los cilindros. Se observa cual diámetro de cilindro ha provocado grietas en la muestra; la magnitud de este diámetro indica la menor o mayor resistencia al agrietamiento del cartón-fieltro. La prueba se ejecuta una vez en el sentido de las fibras y una en el sentido normal a las mismas.

Las normas francesas dan las siguientes indicaciones:

Magnitud de las muestras: ancho 5 cms., longitud suficiente para ser enrolladas a 180 grados sobre cilindros metálicos de 10 cms. de diámetro.

Temperatura de la prueba: 0 grados centígrados.

Tiempo de enrollado:

10 segundos para cilindros con diámetro de 10 cms.

15 segundos para cilindros con diámetro de 5 cms.

20 segundos para cilindros con diámetro de 2 cms.

La grieta debe ser confirmada sobre una serie de tres muestras.

- d) **Resistencia a la tensión:** Se mide con un aparato llamado dinamómetro de Chevefy.

Para información se transcribe lo que prescriben las normas francesas:

Temperatura de la prueba 20 grados C.

Cartón-fieltro bitumado y cilindrado	Esfuerzo de tensión en el sentido long. kg/cm ²	Alargamiento %	Esfuerzo de tensión en el sentido transv. kg/cm ²	Alargamiento %
Peso por mc. 450 gr.	3	2	3	3
700 gr.	3,5	3	3,5	4
1100 gr.	5	4	4	5
1300 gr.	6	5	5	6
Cartón-fieltro bitumado con tratamiento superficial				
Peso por mc. 900 gr.	5	2,5	4,5	3,5
1350 gr.	5,5	3,	5	4
1800 gr.	7	4	6	5
2250 gr.	9	5	7	7

Las normas alemanas dicen lo siguiente:

Para revestimiento de cartón-filtro se emplean

- 1) El cartón alquitranado, según DIN 52121.
- 2) El cartón embetunado o asfáltico, según DIN 52128.
- 3) El cartón alquitranado especial y el cartón alquitranado asfáltico, según DIN 52140.

El cartón alquitranado se fabrica impregnando cartón bruto (DIN 52140) o cartón-filtro (DIN 52119) revistiéndolo por ambas caras con la pasta de recubrimiento (DIN 52122) y esparciendo arena fina sobre ambas superficies. Como pasta para la impregnación y para el recubrimiento, se emplean los subproductos alquitranados de la destilación de la hulla. Según se emplee como alma un cartón bruto o un cartón-filtro que tengan un peso de 0,333 kg/mc. o de 0,500 kg/mc., se designará el cartón alquitranado como cartón "333" o cartón "500". En todo caso habrá siempre que recordar que los rollos de techar se almacenan en posición vertical y en un sitio seco.

IV Cubiertas de madera.

Cuando se trate de impermeabilizar cubiertas de madera, es de uso común clavar la primera capa. Este sistema se llama también comúnmente "Sistema independiente" ya que de esta manera se evitarán esfuerzos de tensión sobre la impermeabilización, provocados por movimientos o grietas que se puedan manifestar en la superficie de apoyo. Sin duda, el problema eventual que se confrontará será que cualquier infiltración de agua no podrá ser localizada en el punto donde se producirá.

Según especificaciones DIN, se clava el cartón a no

menos de 2 cm. del borde con una distancia de 10 cm entre cada clavo. Las capas superiores aunque en normas DIN pueden ir clavadas, no es muy recomendable hacerlo sino usar pegamentos asfálticos para poder así evitar posibles infiltraciones debidas a los agujeros de los clavos. Es práctica norteamericana poner clavos en la parte central de las fajas de cartón, cosa que es completamente inútil y aumenta sin ninguna razón el número de agujeros de la primera capa. En casas de campo se han ejecutado trabajos de impermeabilización de techo de madera con 3 capas de cartón-fieltro y colocando encima de la capa de sellado, una capa de tierra en la cual se procedió a sembrar gramíneas. El resultado obtenido, además de ser agradable a la vista, (aunque está claro que requiere mantenimiento) crea un ambiente sumamente fresco para climas cálidos, sirviendo muy eficazmente de protección térmica.

Si la primera capa en lugar de ir clavada se pega en su totalidad a la superficie, las reparaciones se podrán hacer con más facilidad, pero la impermeabilización resentirá mayormente los movimientos del apoyo.

Al pensar en las dos posibilidades o sea clavar el primer cartón o pegarlo en su totalidad, podríamos creer que la solución mejor, sería pegarlo con una mano irregular de ligante.

Parecería que este sistema debería recoger las ventajas de los dos sistemas, pero es todo lo contrario. Provoca casi en el 100 por ciento de los casos la formación de enormes ampollas que, si no llevan a la destrucción de la capa impermeabilizante, no confiere ni estabilidad, ni estética satisfactoria. Si la primera capa se pega en su totalidad habrá que poner mucho cuidado en evitar gotas en la parte inferior del techo y en los locales inmediatamente inferiores ya que el efectuar limpiezas es tardado y la-

borioso.

Lógicamente los obreros tienen que caminar, depositar materiales y herramientas sobre el techo a tratar para efectuar el trabajo por lo que el espesor de las tablas del techo deben ser de tal dimensión que no se deflecten bajo el peso. Para distancias entre costaneras de 55 a 70 cm. se emplean tablas de 20 mm. Para distancias entre costaneras de 70 a 100 cm. deben emplearse tablas de 25 mm. El ancho de las tablas no debe ser menor de 12 cm. Si los agujeros en los nudos son grandes deberán ser taponados con tiras de cartón. Los ganchos de soporte de las canales (si las hay) deben quedar encajados a ras con la madera, para que la superficie de apoyo del tablero sea perfectamente plana.

El peligro de que se formen ampollas en la capa de cartón es menor que cuando se impermeabiliza sobre base de concreto, porque al clavar la capa inferior puede conseguirse que el vapor de agua procedente de la evaporación de la humedad en el tablero y aprisionado por la capa impermeable se reparta sobre una superficie mayor y pueda extenderse.

La capa impermeable es de obturación total, por lo tanto, no respira y cuando se colocan las cubiertas de cartón sobre locales muy húmedos es necesario tomar ciertas medidas con el objeto de evitar la formación de condensaciones.

V Cubiertas de concreto:

Quando se trate de la impermeabilización de terrazas de concreto es necesario contar con mano de obra todavía más especializada. Es muy fácil que al no tener obreros

especializados se formen bolsas de aire, ondulaciones o ampollas que como se ha dicho, son muy nocivas para la duración del trabajo de impermeabilización.

Formación de ampollas:

La formación de ampollas en la cubierta de cartón-fieltro son debidas a la presencia de agua, aunque solamente en estado de vapor. Este es uno de los mayores problemas que confronta el que se dedica a esta clase de trabajos. Como todos sabemos, son muy pocos los ingenieros que hacen uso de productos impermeabilizantes integrales y muy pocos de impermeabilización de cubiertas. Casi siempre el trabajo de impermeabilización es requerido cuando es realmente indispensable para la habitabilidad de los ambientes. Por lo tanto, es en la época de lluvia en la cual las compañías que se dedican a estos trabajos reciben las órdenes de ejecución y es entonces cuando el trabajo se efectúa en las condiciones más desfavorables. El concreto húmedo, debido a la lluvia casi constante no puede recibir la impermeabilización sin la aparición de burbujas y ampollas.

La revista "Bitumen Teere, Asphalte, Pechel und verwandte Stoffe", describe del siguiente modo la causa de la formación de las burbujas:

"El aire o la humedad que se encuentra en los poros del hormigón de soporte o en los sitios donde la capa de revestimiento o la pasta adhesiva no está íntimamente adherida al hormigón, se calienta bajo el influjo de la radiación solar que atraviesa la capa de cartón-fieltro. Se han medido en tales casos temperaturas de la superficie del cartón-fieltro hasta de 70 grados centígrados. Bajo la acción de este calentamiento el aire se dilata y el agua se vaporiza, con lo cual el vapor formado aumenta de volumen.

Si como suele ocurrir, el cartón bituminoso es impermeable, se produce en el sitio de la burbuja una sobre presión. Si el hormigón es seco y poroso ésta presión puede eliminarse por la parte inferior; pero si el hormigón es rico en cemento y como consecuencia bastante impermeable y compacto, o bien en el caso que esté húmedo o mojado, aquel alivio de la presión no puede tener lugar debido a que los poros están obturados. En este caso se produce en cada uno de los puntos una sobre presión de los gases que puede alcanzar 0.5 atmósferas. Esto es suficiente para que en tales puntos se desprenda la capa de cartón-fieltro o la masa adhesiva, venciendo la eventual adherencia con el hormigón y se originen pequeñas ampollas en la superficie, casi impercibibles al principio. Al interrumpirse la radiación solar a la puesta del sol o por interposición de nubes, por lluvia o por una causa cualquiera que haga bajar la temperatura, se contraen y endurecen los materiales bituminosos y llegan a adquirir una rigidez que les impide recuperar su forma primitiva. Aun cuando el enfriamiento llegue al aire o vapor encerrados, lo hace siempre con retraso por la mala conductividad térmica del material, por lo cual a pesar de la disminución consiguiente del volumen de gases y la condensación del vapor de agua, la capacidad de la cavidad, donde estaban encerrados ya no varía, debido a la rigidez adquirida por el asfalto y el cartón que la formaban. En el hueco en cuestión se produce una disminución de presión que da origen a una aspiración de nuevas cantidades de aire y de humedad procedentes del hormigón hasta restablecer el equilibrio de las presiones entre el exterior y el interior, con lo cual la cantidad de aire y de agua en dicha cavidad queda aumentada. Al reproducirse el proceso de calentamiento se renueva el ciclo de fenómenos físicos mencionados y va creciendo progresivamente la cantidad de aire y de vapor de agua encerrados en la ampolla. Esta se va hinchando hasta reventar o, lo que es más frecuente, hasta desprender la lámina bituminosa ven-

ciendo su adherencia.

La esperanza de que una capa de bitumen pueda resistir desde el principio a la acción de tales procesos, por el hecho de cerrar u obturar los poros superficiales es engañosa por dos razones: en primer lugar porque es prácticamente imposible cerrarlos eficazmente con una sola capa aplicada sobre ellos, y en segundo lugar, porque como indica Hermann, el aire y el vapor de agua por sus choques moleculares (de 800 a 1500 metros por segundo) al golpear la película plástica de la capa bituminosa aplicada, puede vencer su adhesión que en la mayoría de los casos no excede de 1 kg/cm^2 . En estos puntos es donde, a nuestro modo de ver, pueden iniciarse los procesos de arranque mencionados."

En el artículo transcrito hay una teoría bastante razonable y comúnmente aceptada del modo en que se forman estas burbujas y el peligro mayor de que esto ocurra está en la ejecución de los trabajos en épocas húmedas o lluviosas. Por lo tanto, en todos los casos será siempre aconsejable usar cartón hasta cierto punto permeable al vapor de agua. Antes de iniciar el trabajo de impermeabilización siempre convendrá esperar todo el tiempo necesario, para que la superficie de hormigón esté lo más seca posible.

a) Ejecución del trabajo

Para pendientes que no pasen de 20 grados, los pliegos de cartón se colocan paralelos al alero; con pendientes más fuertes se disponen perpendicularmente al alero. En todo caso debe procurarse que las fajas de cartón no tengan más de 5 metros. Según el tipo de cementante plástico que se use para la impermeabilización, así será la temperatura a la cual deberá el mismo usarse. La temperatu-

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

ra en la caldera y en el punto de aplicación, de acuerdo con la naturaleza de los productos y la forma de colocación serán las siguientes:

	temperatura en la caldera	temperatura en punto de aplicación
A base de bitumen	de 200 a 220 C	de 180 a 200 C
A base de alquitrán de hulla	de 160 a 180 C	de 150 a 160 C
A base de brea especial de alquitrán	de 140 a 150 C	de 110 a 130 C

b) Impermeabilización con una sola capa de cartón-fieltro

Este tipo de impermeabilización es un recurso que se utiliza para construcciones de poca importancia, como barracas, almacenes de herramienta, por economía o en forma provisional en trabajos de mayor envergadura. Las pendientes mínimas para el recubrimiento con una capa no pegada en toda su superficie es de 25 grados; para revestimiento de una capa, pero pegada en toda la superficie, la pendiente

puede ser de 1,5 grados. La pendiente mas conveniente para impermeabilizaciones de una sola capa es de 10 grados.

La operación de revestir una cubierta con cartón, solo debe ejecutarse en tiempo muy seco. Las fajas de cartón hay que colocarlas paralelas a la canal de bajada de agua empezando el trabajo desde la canal hacia la cumbre. Uno de los peligros en la impermeabilización con una sola capa lo constituye el viento. Para evitar lo más posible una acción destructora del mismo es mejor emplear fajas de cartón de sólo 2,5 m. de longitud. Naturalmente, el número de juntas aumenta notablemente y por lo tanto, aumenta también el peligro de falta de hermetismo pero puede contrarrestarse esta posibilidad si se cortan las hojas de cartón con un ángulo de 30 o 45 grados en las aristas.

c) Impermeabilización con dos o más capas

La impermeabilización a base de dos o más capas de cartón-fieltro se usa para construcciones de más importancia y de mayor duración. Como en el caso anterior, la pendiente mínima es de 1,5 grados siendo la más adecuada entre 4 y 8 grados. Si el techo es de madera se acostumbra clavar la primera capa y pegar las sucesivas en toda su extensión. Si eventualmente al momento de efectuar el clavado no se está provisto de clavos de cabeza ancha especial, habrá que fabricar pequeños discos de lata y clavar el cartón con clavos normales pasándolos al centro de los discos. Siempre será preferible utilizar los clavos especiales que aunque más caros, dan un ahorro notable en tiempo de trabajo con respecto a los discos de lata.

Cuando se ha terminado de clavar la primera capa se procede con las capas adicionales. Supóngase el caso que se trate de una impermeabilización de cuatro capas. Las tres capas que faltan por poner se colocan de modo que ca

da capa tenga un traslape con la capa precedente de $2/3$. Este tipo de impermeabilización es del que se usa generalmente, ya que ofrece mucha seguridad contra temporales y aguaceros y puede ser garantizado por un largo número de años.

d) Juntas

En todos los trabajos de impermeabilización, revisten un carácter de suma importancia la forma en la cual se efectúen las juntas. Según el caso, el encargado deberá escoger si se usa una junta móvil o una rígida. Si en los encuentros se emplean piezas metálicas, lo mejor será usar juntas móviles. En los revestimientos con varias capas, el metal puede interponerse entre algunas de las mismas. Todas las piezas de metal deben clavarse al soporte con distancias máximas entre clavo de 5 cm.; esto se acostumbra para evitar eventuales deformaciones del metal que puedan ocasionar fallas en el hermetismo de la impermeabilización. En las cumbreras, las fajas de cartón deben ser colocadas de tal manera que una misma faja cubra una vertiente y unos 15 a 20 cm de la vertiente opuesta también. Una variante consiste en poner una faja en la cumbre que cubra parejo los dos lados. Especial atención habrá que poner con las chimeneas, antenas, canales colgadas en el alero y las juntas de dilatación. La deficiencia en la perfecta impermeabilización de estos detalles da lugar a fallas considerables que comprometen la totalidad del trabajo de impermeabilización.

En la impermeabilización con cartón-fieltro el acabado final es siempre de color del bitumen empleado o sea, negro. Esto influye sobre la temperatura de los locales inferiores debido a la radiación; por lo tanto, es aconsejable extender sobre la superficie un acabado de arena muy fina con el color más claro posible. Mejor toda-

vía si se coloca una capa de polvo de aluminio que se puede echar con un cepillo suave simultáneamente con la capa de sellado.

Estos tipos de impermeabilización no son transitables y se dañan fácilmente, si se usan para zonas o terrazas de paso. Para protegerlas contra el tránsito necesitan una capa protectora. Lo que generalmente se usa es una capa de ladrillo de cemento pegada sobre una capa de arena. Si la terraza tiene baranda de mampostería a su alrededor debe dejarse a todo lo largo de la misma por lo menos 3 cm. libres, para que el ladrillo pueda moverse con los cambios de temperatura y con los movimientos de las capas inferiores, sin que se produzcan grietas.

e) Mantenimiento de la impermeabilización

Los agentes atmosféricos lógicamente poco a poco dañan la parte expuesta de la impermeabilización. La frecuencia de los mantenimientos depende de los materiales que se han empleado, de la orientación y pendiente de la cubierta. La protección del trabajo con una capa fina de arena, con polvo de aluminio o pintura de aluminio, además de evitar el aumento de temperatura como se ha dicho anteriormente, servirá para prolongar la duración de la misma impermeabilización. Si se notaran en el revestimiento costras, ampollas o grietas habrá que cortar los pedazos deteriorados y substituirlos con pedazos nuevos, manteniendo siempre generosos traslapes. El dueño de la construcción deberá proveer un mantenimiento sistemático de la capa impermeable. Debido a la acción del sol, el betún se vaporiza dejando el cartón-filtro seco e inelástico. Lo lógico por parte del dueño de la construcción sería llamar a intervalos regulares de tiempo al contratista que realizó el trabajo para que inspeccione él mismo y pueda localizar eventuales daños o deterioros y pueda repararlos.

Es indispensable arreglar la capa impermeabilizante inmediatamente al descubrirse una imperfección. Si el tiempo no lo permite, habrá que efectuar una reparación en frío para evitar daños mayores y posteriormente a la mayor brevedad posible, efectuar la reparación final.

Durante la aplicación de la capa impermeable se deberá evitar lo siguiente:

- 1) Sobrecalentar el bitumen por espacios largos de tiempo antes de la aplicación. Esto hará evaporar los aceites livianos del bitumen y cambiará sus propiedades físicas. La ductibilidad del bitumen se reducirá a modo de perder parte de su elasticidad. Además el sobrecalentamiento del bitumen aumentará las dificultades de aplicar las cantidades especificadas entre las capas de cartón-fieltro.
- 2) Usar el cartón-fieltro húmedo o parcialmente mojado; el bitumen caliente no tiene la cantidad necesaria de calor para evaporar la humedad y por lo tanto, no secará el cartón al momento de la aplicación.
- 3) Dejar partes de la capa superior al descubierto, sin la debida protección.

El dueño de la construcción deberá estar bien informado sobre la importancia de seguir un mantenimiento periódico. Habrá que poner una estricta limitación al paso sobre las superficies impermeabilizantes, reduciéndolo solo a los casos muy necesarios. Si se efectúan trabajos posteriores en un techo impermeabilizado se deberá llamar al contratista que efectuó el trabajo, para que supervise y eventualmente al final, repare los daños ocasionados.

VI Fibra de vidrio:

Los dos tipos de fibra más conocidos son la fibra corta Owen y la fibra larga Gossler.

En el sistema Gossler, el estiramiento de las fibras se realiza mecánicamente. El procedimiento Gossler permite fabricar fibras continuas de un diámetro medio de 18 micrones y de longitud ilimitada. El sistema Gossler se compone esencialmente de un horno de pequeña capacidad con un tambor rotativo.

En el sistema Owens el estiramiento y la ruptura de las fibras se obtiene por medio de un chorro fuerte de gas. Las fibras producidas en esta forma resultan de una longitud media de 12 cm y con un diámetro promedio de 14 micrones. El tipo más empleado para trabajos de impermeabilización y de aislamiento térmico y acústico es del tipo Owens, aunque se tiende en la actualidad a usar el tipo Gossler, fabricando rollos de 150 metros de largo y en ancho de 100 a 120 cms., según la aplicación a que se le destine.

El peso unitario de este velo de fibra de vidrio puede ser de tres tipos:

Liviano	de 35 a 40 gr./mc.
Medio	de 50 a 60 gr./mc.
Pesado	de 70 a 90 gr./mc.

Las características técnicas de este tipo de velo de fibra de vidrio son las siguientes: Muy elevada resistencia a la tracción en el sentido longitudinal; elevado coeficiente de adherencia velo-bitumen, por lo cual puede constituir una óptima armadura; no es capilar porque está constituida, a diferencia de los tipos orgánicos, de fibra compacta.

a) Empleos:

Desde el punto de vista industrial, la forma en que la fibra de vidrio es producida más, es en rollos de 1,00 metro de ancho y de 20,00 metros de largo y se usa esencialmente como soportes inorgánicos de productos bituminosos en la impermeabilización de techos, de paredes y de fundiciones en general. Como soporte inorgánicos de productos bituminosos en la protección anticorrosiva de las tuberías metálicas enterradas.

La fibra de vidrio puede ser empleada en la impermeabilización de techos con bitumen en caliente o con emulsiones bituminosas en frío.

La porosidad del producto admite un buen anclaje de las varias capas, evitando la formación de ampollas de aire y por lo tanto, forma un estrato continuo, monolítico en la totalidad de la superficie impermeabilizada.

La fibra de vidrio en rollos es de fácil empleo también en estructuras complicadas, sobre paredes verticales y resuelve bajo casi todos los aspectos técnicos el problema de la impermeabilización siempre que la cantidad y la calidad del material impermeabilizante sea oportunamente considerada y escogida, en relación al lugar, al tipo de estructura por impermeabilizar y siempre que el trabajo sea ejecutado por mano de obra especializada.

A fin de estar seguros de la futura eficiencia de la impermeabilización de este tipo, deberán tomarse muestras durante la ejecución de los trabajos, sobre las cuales se efectúan pruebas de laboratorio para determinar el peso por unidad de superficie, su alargamiento plástico bajo el efecto de esfuerzos de tensión, la permeabilidad a la presión del agua y la resistencia a altas temperaturas o a prue

ba acelerada de efectos climatéricos ASTM D529. El resultado de esta última prueba da elementos de juicio para poder calcular en forma aproximada la resistencia de la capa impermeable en función al tiempo.

En una impermeabilización con fibra de vidrio se aconseja la protección de la capa superior para poderla defender del paso (acción mecánica) para reducir las variaciones de temperatura (función térmica) para evitar los efectos de la insolación directa y para defenderla de la exposición a los agentes atmosféricos (función química). Esta protección se alcanza colocando encima pintura de aluminio, capas de arena fina o ladrillo de cemento según las condiciones del trabajo.

b) La fibra de vidrio en los revestimientos anticorrosivos de las tuberías de acero:

El número de tuberías enterradas aumenta considerablemente de año en año. Las redes de agua potable, petróleo, etc., son cada día de mayor importancia, construyéndose cada vez tuberías más grandes que transportan fluidos o gases a grandes distancias. Estas instalaciones están generalmente construidas con tuberías de acero soldadas. El acero llena generalmente todas las especificaciones requeridas para una resistencia mecánica y para resistir la acción de los materiales transportados; pero tiene el inconveniente que puede ser atacado en mayor o menor grado por la tierra que lo envuelve, según el tipo de terreno en que se encuentre enterrado. Por esto, la protección de las tuberías de acero ha sido objeto de mucho estudio durante los últimos años y actualmente ninguna tubería de acero se entierra sin la preventiva operación de revestimiento. El fin del revestimiento consiste esencialmente en evitar, por un largo período de tiempo que el suelo pueda desarrollar un ataque electro-químico sobre la superficie

de las tuberías.

El luchar contra este fenómeno nos pone frente a un problema de impermeabilización. La adherencia entre el metal y el revestimiento utilizado debe estar enteramente asegurada, aunque el coeficiente de dilatación del metal y el de la protección sean diferentes.

c) **Composición del revestimiento:**

La condición necesaria de impermeabilidad y de aislamiento dieléctrico ha llevado a la utilización de alquitranes y de betunes oxidados que se adhieren perfectamente al metal por medio de la interposición de una delgada película de barniz que constituye la capa de amarre. Ya que las características físicas de estos materiales son generalmente deficientes sea al frío o al calor y, debido a la escasa resistencia mecánica de los mismos, es indispensable reforzarlos con armaduras perfectamente acopladas a las capas aplicadas. La armadura debe tener la característica de formar con la masa plástica un todo monolítico para ser resistente a los ataques químicos y alcanzar una larga duración.

La fibra de vidrio responde perfectamente a estos requisitos. Las fibras que se usan para estos casos son largas, de más o menos 20 micrones de diámetro, trenzadas a modo de dar a todo el conjunto la resistencia necesaria a la tracción en el momento de efectuar el recubrimiento.

d) **Realización del revestimiento:**

Para ejecutar correctamente el revestimiento deben tomarse las siguientes precauciones:

- 1) Trabajar al cubierto, si el tiempo es húmedo o lluvioso.

so.

- 2) Limpiar la tubería con un cepillo metálico, eliminando toda suciedad.
- 3) Aplicar sobre el metal la primera capa de barniz de secado rápido.
- 4) Envolver la primera capa de fibra de vidrio con bitumen en caliente y proceder inmediatamente a poner una segunda capa de fibra de vidrio que penetre en el bitumen y cuidar de dejar la superficie final más uniforme posible.

El espesor total del revestimiento es normalmente de 3 a 4 mm., cuando se usan materiales bituminosos, y de 1 a 1,5 mm., cuando se usa fibra de vidrio.

Para efectuar estas operaciones que pueden ser ejecutadas manualmente, hay maquinarias muy simples y no muy costosas que efectúan todas las operaciones

e) Problemas encontrados en el manejo de fibra de vidrio

El manejo de la fibra de vidrio en trabajos de impermeabilización, presente el problema que las fibras pueden romperse dando origen a pequeños fragmentos que se separan de la masa. Estos fragmentos cuyo diámetro no pasa de milésimos de milímetro y debido a su pequeña longitud (2-3 mm.) y por ser cuerpos duros y rígidos, pueden penetrar con facilidad en la piel de los trabajadores; por otra parte los fragmentos más livianos quedan en suspensión en el aire penetrando en las vías respiratorias, causando picazón e irritación. Sin embargo, los doctores M. Duvoir, L. Derobert y Lesire, después de haber tenido bajo examen riguroso a más o menos treinta obreros dedi-

cados por varios meses a la colocación de fibra de vidrio, han presentado un informe en el cual consignan sus impresiones y observaciones. Después de haber examinado las irritaciones de las cuales se quejaban los obreros y que se presentaban siempre sobre los miembros directamente en contacto con el producto o sea, manos y brazos, llegaron a la conclusión de que la irritación y la picazón que la fibra de vidrio provoca, desaparecen a las pocas horas sin necesidad de tratamiento especial y nunca se ha presentado una infección secundaria debido a ella. El doctor Hagen en sus estudios ha dicho que la piel, después de un cierto período se adapta sin ningún problema.

El doctor Gardner de la Escuela de Salud Pública de Harvard, llegó a la conclusión que ni la fibra de vidrio ordinaria ni la bituminada pueden producir enfermedades progresivas crónicas y la irritación cutánea que produce puede ser eliminada con una ducha de bastante presión y el uso abundante de jabón.

La fibra de vidrio ha tenido una aceptación favorable para muchos tipos de impermeabilización, así como para trabajos térmicos como fabricación de celdas frigoríficas o aislamiento de locales y viviendas en lugares sumamente calientes. También se recomienda para resolver los problemas de aislamiento termo-acústico y la reducción de nivel sonoro en los establecimientos industriales.

Como dato interesante puede decirse que como aislante térmico, 8 mm. de fibra de vidrio, tienen las mismas propiedades de:

- 220 mm de concreto
- 150 mm de ladrillo leno
- 50 mm de ladrillo tipo zap
- 30 mm de madera
- 25 mm de poma

VII Techos de lámina:

Cuando se trate de un techo de lámina, el tipo de impermeabilización a usarse dependerá de la importancia, la naturaleza y el destino de la construcción.

Por ejemplo, la impermeabilización de un techo de lámina de una central eléctrica requerirá el uso de materiales de la mejor calidad y por lo tanto, de mayor costo de los que usarían para un modesto edificio de carácter provisional, destinado a guardar materiales, en cuyo caso se usarán materiales más económicos, aunque sean de menor resistencia.

En cualquier caso, el ingeniero deberá escoger lo más conveniente, teniendo en cuenta factores particulares como la presencia de humos, de vapores ácidos, pendiente, exposición a los vientos, la posibilidad de un mantenimiento fácil, etc.

En el caso de construcciones de importancia se podrá escoger cualquiera de los métodos descritos en las páginas anteriores. Si la construcción no es de mucha importancia se deberá tratar de impermeabilizar los puntos más vulnerables de todos los techos de lámina o sea donde los clavos perforan las láminas y penetran en las costaneras. En estos puntos el agua baja a la costanera y contribuye a que rápidamente la madera de las mismas se pudra. Para evitar esto, se encuentran en el comercio cubre-clavos especiales en forma de sombrero, hechos de cartón-filtro rellenos de cemento plástico. Una vez terminado el techado, bastará cubrir todos los clavos con estos sombreritos para eliminar estas futuras infiltraciones. Para colocar esta sencilla, pero muy útil protección en los techos de lámina, es suficiente presionar el sombrerito con la mano, el cemento plástico servirá como protector-adhesivo y el cartón-

fieltro servirá como protección para una larga duración contra el envejecimiento debido a los factores atmosféricos.

CAPITULO V

CONSIDERACIONES FINALES

En nuestro medio estamos acostumbrados a encargar a las diferentes compañías establecidas en el país, el trabajo de impermeabilización. La mayoría de las veces las compañías contratistas efectúan una inspección ocular y en base a la experiencia que tienen ofrecen el trabajo de impermeabilización que consideran adecuado. Lo importante es que el contratista que cotiza sea de reputación reconocida, para estar satisfechos del trabajo que se va a efectuar. Esta no es la mejor manera de hacer estos trabajos. El ingeniero que diseña un edificio tiene también que diseñar el tipo de impermeabilización correspondiente. Al encargar la ejecución al contratista, debe saber de antemano qué tipo de impermeabilización se colocará y con qué materiales se construirá. Es muy importante tratar que los materiales que se vayan a emplear sean de la mejor calidad, para evitar los costos elevados de mantenimiento o de reparación. El costo de ejecutar un nuevo trabajo de impermeabilización al fallar el precedente es del orden del 25 al 30% más caro, debido al trabajo de remoción y limpieza que debe efectuarse. La mayoría de los daños en un trabajo de impermeabilización se presentan dentro de los dos a los cuatro años de haber sido ejecutado.

En la impermeabilización a base de cartón-filtro debe tenerse cuidado de protegerlo contra la lluvia a modo de que no se humedezca. No se podrá nunca efectuar un trabajo en forma eficiente si el techo está húmedo. Si se forman ampollas o grietas, debe recordarse que es al contratista al que se le atribuyen estas fallas, de manera que ocasionalmente se podrá encontrar frente a pérdidas económicas cuantiosas. Para mantener su buena reputación, el contratista deberá resistir toda presión de parte del

constructor y recomendar la ejecución de una capa económica temporal, solamente cuando pueda ser en adelante sustituida por la capa final de protección.

Los cambios bruscos de temperatura y las temperaturas frías también ocasionan rupturas en las capas de impermeabilización. Cuando la temperatura baja el bitumen llega a perder una gran parte de su elasticidad y llega a adquirir las mismas propiedades de los sólidos y a comportarse como el metal y el concreto sufriendo contracciones. El valor promedio del coeficiente de expansión y contracción del bitumen sólido es aproximadamente de 0,000054, en comparación con el de concreto que es de 0.000006.

La aplicación no uniforme del bitumen sobre la capa final será otra causa de tener áreas débiles en la impermeabilización que no resistirán los esfuerzos que allí se presenten. Otros puntos que pueden producir rupturas en la capa de impermeabilización son las juntas de dilatación en los techos que provocan sobre las capas de impermeabilización una concentración de esfuerzos. Para evitar los problemas derivados por las juntas de dilatación se recomienda cubrir estas juntas con una tira reforzada de material antes de proceder a la instalación de la primera capa de cartón-fielto. De este modo se proveerá la superficie de un fondo continuo donde se pueda obtener una distribución uniforme de la capa de bitumen, para ofrecer una adhesión continua a la primera capa de cartón-fielto.

Otro factor que puede afectar la duración de un trabajo de impermeabilización es el ciclo alternado de mojado y secado que en nuestro medio es muy pronunciado. Esto causa en las fibras del cartón-fielto un debilitamiento que puede llevar a la ruptura. Esta falla puede producirse después de varios años de aplicada la capa impermeable y puede suceder al poco tiempo, si la última capa de bitu-

men no se aplica con todo esmero.

También los movimientos diferenciales de una estructura pueden ser la causa de una destrucción de la capa impermeable. No se puede esperar que la capa sea de una calidad tal como para poder resistir los esfuerzos inducidos por los movimientos estructurales del techo o del edificio. Un diseño estructural del techo defectuoso puede dejar inservible la impermeabilización que sobre él se haya efectuado.

Además de los factores enumerados que llevan a la destrucción de la capa protectora existen otros más que también destruyen la impermeabilización y que en cada caso deberán ser determinados para poder estar en condiciones de poder ponerles remedio. Para poder analizar las causas de una prematura destrucción de la capa impermeable es necesario investigar detalladamente todos los componentes de la estructura, las condiciones del techo al momento de la aplicación, el diseño y el tipo de techo usado, las condiciones climáticas durante la ejecución del trabajo, etc.

Por lo general se dificulta determinar con seguridad las causas que concurrieron para la destrucción de la capa impermeable, pero es de suma importancia lograr la máxima seguridad, ya que de estos datos dependerá el trabajo a ejecutarse posteriormente. Las mejores en las capas impermeables se pueden obtener sólo cuando los errores pueden ser analizados correctamente y eliminados en las futuras construcciones. El contratista también es el responsable muchas veces de la destrucción prematura de la impermeabilización, debido ya sea al desconocimiento de las especificaciones ya sea al motivo de la economía llevada al extremo. Esto último sucede cuando el contratista debido a la competencia ha bajado el precio a tal punto, para ob

tener el contrato, que ya no puede obtener una ganancia razonable y en algunos casos el precio es tan bajo que no cubre ni el costo de una impermeabilización de calidad. En estas ocasiones tratará de reducir los costos sobrepasándose a las especificaciones y a las reglas comunes de un buen trabajo. Cómo podrá el contratista hacer esto? No podrá disminuir el número de capas a poner porque se podrá notar con facilidad, pero podrá ponerlas de baja calidad y también podrá bajar la cantidad de bitumen empleado hasta alrededor del 40% sin que una persona no especializada pueda notar la diferencia. Si se baja la cantidad de bitumen entre las capas de cartón-filtro se tendrá muy poca adhesión y en casos extremos la separación total entre las capas. Si la capa final que según especificaciones debe ser tres veces mayor que la aplicada entre estratos, está debajo de la cantidad requerida, aparecerán rupturas muy pronto, tendremos baja resistencia a los efectos climáticos, a los daños que el paso eventual de personas pueda producir, no podrá resistir a eventuales contracciones y la capa entera se debilitará por completo.

No está de más hacer hincapié nuevamente en que el ingeniero debe diseñar la capa impermeabilizante a poner en una construcción para lo cual podrá hacer uso de la mayor información que pueda encontrar. Deberá basarse en los consejos y las recomendaciones de los fabricantes que proporcionan los materiales para efectuar el trabajo.

Los fabricantes de los materiales impermeabilizantes en continua evolución competitiva son los que favorecen los estudios y los financian para encontrar materiales que día a día respondan más a las exigencias requeridas. Como resultado de estos estudios se obtienen datos que favorecen la colocación y duración de una impermeabilización.

Mucha atención deberá ponerse cuando se efectúan

instalaciones posteriores a la impermeabilización. Al instalar equipos de ventilación, de drenaje, antenas de torre, etc., se puede perjudicar a veces totalmente un buen trabajo de impermeabilización. El contratista no podrá ser nunca responsable de los daños que estas instalaciones puedan producir. Habrá que tener el cuidado de efectuar todo tipo de cambio y de instalación antes de ejecutar el trabajo de impermeabilización.

CONCLUSIONES:

- 1) Guatemala como país con una estación de lluvias muy copiosas y con un alto porcentaje de humedad y sales en sus suelos que presenta un marcado problema en los techos y paredes de las construcciones que se ejecutan, requieren de trabajos de impermeabilización en la mayor parte de los casos.
- 2) Existe un fuerte desconocimiento de la técnica de impermeabilización en nuestro medio, por lo que se considera conveniente y necesario incluir en uno de los cursos correspondientes de la carrera de Ingeniería Civil la técnica de este tipo de trabajos con mayor extensión y profundidad.
- 3) No existe absolutamente ninguna reglamentación en el país que rija esta materia, por lo que la Municipalidad de Guatemala y la Dirección General de Obras Públicas deberían emitir las normas de orientación y especificaciones pertinentes para guiar y a su vez obligar a ingenieros y técnicos dedicados a trabajos de impermeabilización a efectuarlos eficientemente y ajustados a dichas prescripciones.
- 4) El presente trabajo trata los aspectos de la impermeabilización en forma general, por lo que se deja abierto el campo para que con asistencia del laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería cada aspecto pueda ser ampliado en lo particular en futuros trabajos de tesis, ensayando con los materiales de construcción usados en Guatemala, a modo de establecer los métodos más efectivos a ser aplicados en nuestro medio. Entre estos sería aconsejable efectuar un estudio sobre las propiedades impermeabilizantes de la me z-

cla de cal con estearatos.

*
* *

APENDICE

Normas establecidas para trabajos de impermeabilización aprobadas por el Ministerio de Obras Públicas de Francia.**Impermeabilizaciones:**

Los trabajos de impermeabilización de terrazas constituyen un conjunto que incluye el piso para la impermeabilización, con las pendientes, el aislamiento térmico, la impermeabilización propiamente dicha, las juntas verticales y la evacuación de agua de lluvia. Todo esto deberá incluirse al momento de cotizar un trabajo de impermeabilización y las ofertas deberán ser presentadas conforme a los elementos descriptivos y recomendaciones incluidas en los puntos siguientes:

SEGURO:

Los trabajos de impermeabilización serán cubiertos por un seguro especial contra los riesgos de deficiencias de impermeabilización y eventuales daños a terceras personas. Antes de efectuar el último pago a la compañía impermeabilizadora, ésta deberá presentar el duplicado de la póliza de seguro la cual indique claramente que los trabajos están asegurados en las condiciones previstas y por una duración de 10 años. La garantía principia al terminar los trabajos y a más tardar dentro de los tres meses siguientes se levantará un acta haciendo notar claramente la fecha de iniciación de la garantía.

 AISLAMIENTO TERMICO:

El aislamiento térmico será obligatorio para las construcciones para uso de vivienda. El aislamiento térmico

deberá ser ejecutado con materiales adecuados, no sujetos a putrefacción. Tendrá que ser colocado de modo que el "shock térmico" sobre la impermeabilización sea el menor posible. La conductibilidad térmica del conjunto deberá ser inferior a 1,1 (K.cal.mc.h.C.).

PENDIENTES:

La pendiente de las terrazas será de 1,5%, para impermeabilizaciones con asfalto y del 2% para impermeabilizaciones de capas múltiples, capas bituminosas armadas o protegidas con repellos plásticos. Si están previstos canales de concreto la pendiente longitudinal de los mismos deberá ser de 0,5 al 1% y con un ancho mínimo de 30 cms. El plano de pendientes deberá ser incluido entre los planos del proyecto conjuntamente con los detalles de ejecución de juntas.

La impermeabilización propiamente dicha:

La impermeabilización deberá pertenecer a uno de los siguientes cinco grupos:

a) Asfalto: Se realizará del modo siguiente:

1 Capa de cartón-filtro ligeramente impregnado de l tipo llamado papel Kraft.

1 Capa de mortero asfáltico con un espesor mínimo de 7 mm.

1 Capa de asfalto colado con un espesor de 15 mm.

Todas las juntas verticales estarán constituidas por capas de mortero asfáltico con un espesor total mínimo de 8 mm. y con una capa de asfalto colado.

b) Capas múltiples con cemento volcánico:

1 Mano de impregnación con ligante hidrocarburado o en forma de emulsión.

5 Capas de cartón-fieltro tipo 27 I o sea del tipo de peso de 0,800 kg/mc., alternado con 5 capas de cemento volcánico.

El cemento volcánico se obtiene añadiendo a la pez de alquitrán un cierto porcentaje de aceite de antracene (destilación a 310. grados C.), resina, azufre y algunas veces bitumen.

c) Capas múltiples de cartón-fieltro con tratamiento de superficie:

1 Capa de impregnación.

4 Capas de cartón-fieltro tipo 27 S o sea del peso de 1,350 kg/mc., alternadas con 4 capas de ligante - aplicado en caliente.

d) Estratos múltiples con capas de bitumen armado:

1 capa de impregnación.

1 cartón-fieltro tipo 36 S (1,000 kg/mc.).

1 capa de ligante aplicada en caliente.

1 capa de bitumen armado tipo 40 (4,000 kg/mc.)

1 capa de ligante aplicada en caliente.

1 cartón-fieltro tipo 27 I (0,800 kg/mc.)

1 capa de ligante en caliente.

e) Capas múltiples con cemento plástico:

1 capa de impregnación.

1 cartón-fieltro tipo 36 S (1,800 kg/mc.)

1 capa de cemento plástico

- 1 capa de cartón-filtro tipo 36 S.
- 1 capa de cemento plástico.
- 1 capa de cartón-filtro 36 S.
- 1 capa de ligante aplicada en frío.

Características de los productos:

El contratista deberá presentar certificaciones de los análisis efectuados sobre los materiales a usar y que tendrán que tener las características siguientes:

a) Asfalto:

Serán permitidos sólo los materiales siguientes:

Asfalto producido únicamente con rocas naturalmente impregnadas de bitumen que contengan un mínimo del 6% de bitumen natural. Después de pasar por el molino deberán ser fundidas añadiendo bitumen natural refinado que asegure al producto las propiedades indicadas para los trabajos de impermeabilización. El asfalto deberá contener del 15 al 17% de bitumen puro (soluble en CS₂).

Piedrín: deberá ser de río o derivado de roca porfirica, sílicea o calcárea dura. Deberá estar libre de materias que puedan obstaculizar una homogeneidad en la mezcla.

Dimensión del piedrín: en todos los casos deberá ser mayor de 1 mm. y menor de 7 mm. La temperatura de calentamiento de los productos en las calderas no deberá nunca sobrepasar 230 grados C. con una tolerancia del 10%.

b) Cemento volcánico:

Pez de alquitrán obtenido por destilación a alta tem-

peratura.

Punto de reblandecimiento mayor de 40 grados C.

Ductibilidad después de calentamiento a 60 grados C. durante 72 horas: mayor de 500 mm. a 15°C.

Cartón-fieltro: Absorción de agua inferior al 20% en peso del fieltro (muestra de 20 x 20 cms. sumergida 24 horas, sin protección lateral).

Peso del fieltro 27 I: 0.800 kg/mc.

Naturaleza del material para el fieltro: 80% de lana, algodón o yute mezclados.

Tracción a 20 grados C., sobre el cartón-fieltro: sentido longitudinal mayor de 3,5 kg/cmc. Alargamiento mayor del 3%.

Sentido transversal: mayor de 3,5 kg/cmc. Alargamiento mayor del 3,5%.

c) Capas múltiples de cartón-fieltro:

Ligante, debe contener por lo menos el 65% soluble en CS₂ y el punto de ablandamiento debe ser de 90 grados C. Ductibilidad después del calentamiento a 60 grados C. durante 72 horas:

mayor o igual a 20 mm. a 25°C

Pérdida de calentamiento a 163 grados C. durante 5 horas: menor del 1% del peso contenido de bitumen puro.

Cartón-fieltro: absorción de agua inferior al 5% del peso del fieltro.

Peso del fieltro 27 S kg/mc. 1,400 (fieltro 320 gr/mc., bitumen 150% o sea 480 gr./mc., ligante superficial 600 gr/mc.)

Material base: 80% lana, algodón o yute mezclados.

Tracción a 20 grados C., sobre el cartón-fieltro:

Sentido longitudinal: mayor de 5,5 kg/cmc.

Alargamiento del 3%

Sentido transversal: mayor de 5 kg/cmc.

Alargamiento del 4%.

d) Estratos múltiples con capas de bitumen armado:

Ligante, debe contener por lo menos el 65% soluble en CS₂ y punto de ablandamiento menor de 90 grados C.

Ductibilidad después de calentamiento a 60 grados durante 72 horas:

20 mm. a 25°C

Pérdida por calentamiento a 168 grados C., durante 5 horas equivalente al 1% del contenido de bitumen puro.

Capa de bitumen armado:

Peso de la tela: 300 gr/mc.

Peso del bitumen de impregnación: 450 gr/mc.

Peso del bitumen de superficie: 3280 gr/mc.

e) Capas múltiples con cemento plástico:

Ligante, con un contenido soluble en CS₂ mayor del 65%.

Pérdida por calentamiento a 163 grados C., durante 5 horas: menor del 7%.

Filtro: Absorción de agua inferior al 8% del peso del filtro.

Protección de terrazas inaccesibles:

Las protecciones permitidas serán las siguientes:

Para impermeabilización con asfalto colado: 4 cms., de piedrín.

Para impermeabilizaciones con cemento volcánico: 3 cms. de arena premezclada con una emulsión bituminosa y 4 cm. de piedrín.

Las impermeabilizaciones con capas múltiples serán protegidas con una mano de emulsión bituminosa (al 60%) a razón de 1 litro por metro cuadrado y 4 cms., de piedrín o 2 cms., de piedrín prebituminado separado de la capa de impermeabilización por un cartón-filtro del tipo 27 S.

Protección de terrazas accesibles:

Cualquiera que sea el tipo de impermeabilización usada, la protección de las terrazas accesibles deberá ser asegurada por medio de ladrillos de cemento sin armar, de 4 cms. de espesor y de un tamaño máximo de 0,50 x 0,50 mts. Estos ladrillos se pondrán sobre una capa suelta de arena de río con un espesor de 2 cms. Las juntas entre ladrillos deberán tener 2 cms. de ancho y preferentemente llenadas de asfalto. También se podrá usar una torta de concreto hecha en la obra sobre una capa de arena de río de por lo menos 2 cms. de espesor, con juntas transversales y longitudinales, por lo menos cada metro. El espesor del concreto deberá ser de 4 cms.

Indicaciones particulares:

El contratista deberá llevar al lugar de la obra, maquinaria, herramientas y materiales. Todos los trabajos deberán ser ejecutados a perfecta regla del arte, por obreros especializados. Ningún defecto de fabricación o de ejecución podrá ser aceptado.

Una tolerancia máxima del 5% podrá ser admitida sobre las características ya indicadas de los materiales a emplear; los primeros análisis correrán a cargo del cliente. Si las diferencias encontradas fueran superiores al porcentaje indicado, se efectuará un segundo control esta vez a cargo del contratista. Si el segundo análisis confirmara el primer resultado, todo el material será rechazado.

El contratista deberá presentar una lista detallada de los productos a usar y sus características, deberá presentar todos los elementos de construcción, los planos de las pendientes y de las juntas. Un diseño completo del conjunto total de la impermeabilización y una lista de precios deta

llados.

Todas las ofertas presentadas en forma diferente, no se rán tomadas en consideración.

Como se puede ver en Francia han hecho serios esfuerzos para que los ingenieros y los técnicos especializados puedan tener la posibilidad de conocer todo lo que se necesita para proyectar y dirigir los trabajos de impermeabilización.

BIBLIOGRAFIA:

- 1) "Le costruzioni in cemento armato". Dott. Ing. Attilio Arcangeli. Editore Ulrico Hoepli Milano.
- 2) "Guía práctica sobre materiales para pisos usados en Guatemala". Tesis, Ing. Armando A. López Oviedo, Guatemala.
- 3) "Desecación Higiénica de los locales húmedos". Dott. Ing. Giovanni Massari. Compañía Editorial Continental S.A.
- 4) "Roofing Estimating Applying Repairing". James McCawley. Shelter Publications, Chicago.
- 5) "La impermeabilizzazione di terrazze, di tetti piani e di altre opere murarie". Dott. Ing. Mario Balzano. Editore Ulrico Hoepli, Milano.
- 6) "Manuale pratico completo per l'assistente tecnico stradale". Giuseppe Astrua. Editore Ulrico Hoepli, Milano.
- 7) "Manual Teórico-práctico del Hormigón". (Beton Kalender). Librería El Ateneo Editorial, Buenos Aires.
- 8) "Il Geometra nelle costruzioni civili e rurali". Naldo Rogiani e Domenico Correggia. Editore Ulrico Hoepli, Milano.
- 9) "Pavimentazioni stradali". Dott. Ing. Bruno Bolis e Dott. Ing. Aldo Di Renzo. Editore Ulrico Hoepli, Milano.

- 10) "Costruire Correttamente". Pier Luigi Nervi. Editore Ulrico Hoepli, Milano.
- 11) "Materiales y procedimientos de construcción". Arq. Fernando Barbará Z., Editorial Herrero S. A.
- 12) "Construcción Racional de la casa". Arq. E. A. Griffini. Hoepli S.L., Barcelona.
- 13) "L'impiego del bitume nelle costruzioni stradali". Aldo Di Renzo. Editore Ulrico Hoepli, Milano.
- 14) "Malte e prefabbricati". Bruno Bolis. Editore Ulrico Hoepli, Milano.
- 15) "Chimica applicata ai materiali da costruzione". Dott. Ing. Mario Pieri. Editore Ulrico Hoepli, Milano.
- 16) "Tratado de Construcción". H. Schmitt. Editorial Gustavo Gili, S. A.
- 17) "Materials of Engineering". Moore and Moore. International Student Edition. Kogakusha Company Ltd.
- 18) "Larousse Medical Illustré". Galtier-Boissiere. Editorial Larousse.
- 19) "Roof Failures-Understand them and avoid them". C.E. Lund. Publicación en una revista.
- 20) "Folleto de casas comerciales en general."

- 10) "Costruire Correttamente". Pier Luigi Nervi. Editore Ulrico Hoepli, Milano.
- 11) "Materiales y procedimientos de construcción". Arq. Fernando Barbará Z., Editorial Herrero S. A.
- 12) "Construcción Racional de la casa". Arq. E. A. Gri-
noffini. Hoepli S.L., Barcelona.
- 13) "L'impiego del bitume nelle costruzioni stradali". Al-
do Di Renzo. Editore Ulrico Hoepli, Milano.
- 14) "Malte e prefabbricati". Bruno Bolis. Editore Ulrico
Hoepli, Milano.
- 15) "Chimica applicata ai materiali da costruzione". Dott.
Ing. Mario Pieri. Editore Ulrico Hoepli, Milano.
- 16) "Tratado de Construcción". H. Schmitt. Editorial
Gustavo Gili, S. A.
- 17) "Materials of Engineering". Moore and Moore. In-
ternational Student Edition. Kogakusha Company
Ltd.
- 18) "Larousse Medical Illustré". Galtier-Boissiere. Edi-
torial Larousse.
- 19) "Roof Failures-Understand them and avoid them". C.E.
Lund. Publicación en una revista.
- 20) "Folletos de casas comerciales en general."

(f) Germano Bezzina M.

Vº Bº

(f) Ing. Otto E. Becker M.
Asesor

Vº Bº

(f) Ing. Emilio Beltranena M.
Director del Centro
de Investigaciones

IMPRIMASE:

(f) Ing. Amando Vides T.
Decano