

GERARD BLANCHER

Director del «Centre Scientifique et Technique
du Bâtiement»

SABER CONSTRUIR

HABITABILIDAD
DURABILIDAD
ECONOMIA
de los EDIFICIOS

10862

CON LA COLABORACION DE

J. Berthier, L. Chabrel, M. Croiset, G. Demarre,
L. Fahn, P. Fallard, R. Uzac

SEGUNDA EDICION



editores técnicos asociados, s.a.

Magnón, 26 — Barcelona-12 — España

1974



Primera edición española, traducida del francés
por el Prof. Dr. Arquitecto

BUENAVENTURA BASSEGODA MUSTE

Título de la obra original:

SAVOIR BATIR

Publicada por EYROLLES Editeur - París

© EDITORES TÉCNICOS ASOCIADOS, S. A., Barcelona 1974

Depósito Legal. B. 54204 - 1973

ISBN 84-7146-032-7

Impreso en España

Printed in Spain

GERSA, Llorens y Barba, 38, BARCELONA-13

640
B6274
1974

Compara (donde f. técnica) p. 13. Expend. VII-17-79

INDICE DE MATERIAS

Breve biografía del traductor

Introducción

Título I

GENERALIDADES

Capítulo primero.—EDIFICAR ES RESOLVER UN PROBLEMA 3

Capítulo II.—LA DEFINICION EXIGENCIAL DE LOS EDIFICIOS 11

Exigencias de habitabilidad psicofisiológicas 12

Exigencias acústicas 12

Exigencias higrotérmicas 13

Exigencias de pureza del aire (física, química, biológica, olfativa) 15

Exigencias de iluminación (natural o artificial) y calidad de la luz 16

Exigencias de ambiente espacial 18

Exigencias de irradiación 19

Exigencia estética 20

Exigencia de seguridad 21

Facilidades de acceso desde la vía pública 23

Exigencia de habitabilidad sociológica o exigencia de adaptación de la
vivienda a la vida del individuo y de la familia 24

Exigencias económicas 26

Exigencia de durabilidad 26

Exigencia de costo 28

Habitabilidad de los edificios antiguos 28

Exigencia acústica 29

Exigencia higrotérmica y de ventilación 29

Exigencias de protección contra la polución de aguas 29

Exigencias de iluminación natural y artificial 30

Exigencias relativas al espacio interior y exterior de la vivienda 30

100387

Exigencias de estabilidad	30
Exigencias de seguridad sónica en caso de incendio	31
Exigencias de acceso desde la vía pública	31
Exigencias de adaptación al modo de vivir	31
Exigencias aplicables a las construcciones en interés de la comunidad	33
Evolución de las exigencias	34
La reglamentación	35
Capítulo III.—CONOCIMIENTO DE DATOS EXTERIORES, SEAN O NO NATURALES	37
Conocimiento de las condiciones naturales	37
Datos climáticos	37
Las secuencias y los tipos de tiempo	38
Los microcimas	38
Datos sísmicos	39
Datos diversos	39
Datos acerca del suelo local	40
Datos exteriores no naturales	40

Título II

ALGUNAS CIENCIAS DE LA HABITABILIDAD

Capítulo IV.—LAS EXIGENCIAS HIGROTÉRMICAS Y LAS CONDENSACIONES	45
La noción de balance	46
El balance de las calorías en invierno	46
El balance de las calorías en verano	47
El balance del agua	48
Las ventilaciones naturales	59
Objeto de una ventilación	59
Motores de la ventilación natural	59

Capítulo V.—LA HUMECTACIÓN DE LAS PAREDES POR EL FENÓMENO DE CONDENSACIÓN EN LA MASA

Teoría del fenómeno de condensación en la masa	65
Caso de una pared homogénea a temperatura uniforme	65
Caso de una pared homogénea entre dos ambientes de temperaturas diferentes con depósito de humedad	67
Caso de una pared formada por dos capas de materiales de características diferentes	69
Condensación capilar	72
Capilaridad	73

Capítulo VI.—LA HABITABILIDAD SOCIOLOGICA O ADAPTACION DE LA VIVIENDA A LA VIDA FAMILIAR

Deseos, necesidades, motivaciones, funciones	76
El modo de vivir	77
Las molestias y las coacciones	78
Los tipos sociales en relación con la vivienda	79
Los métodos de la sociología de la vivienda	80
Enseñanzas de alcance general	82
La función comida	85
La función sueño de los padres	86
Sueño, juego, trabajo de los hijos	86
Reunión, juego, trabajo de los adolescentes	87
Higiene corporal	87
Secado de la ropa	88
Función trastero	88
Relaciones necesarias entre los lugares que satisfacen las diversas funciones	88
Las funciones «colectivizables»	89

* Capítulo VII.—LA SEGURIDAD

La noción de riesgo	91
El precio de la vida humana	92
La seguridad de las estructuras sustentantes	94
La seguridad contra incendios	95
La seguridad contra incendios	99

Título III

LA CIENCIA DE LA DURABILIDAD

Capítulo VIII.—CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA EXTENSIÓN DE DURABILIDAD

Los enemigos de la durabilidad	107
Ruina por tensión excesiva o por resistencia insuficiente	111
Deterioros debidos a excesivos esfuerzos exteriores	111
Ruina por movimientos diferenciales	111
Ruina por deterioro de la materia	112
Ruina por deterioro de la materia	117

Capítulo IX.—LAS VARIACIONES DIMENSIONALES DE LOS MATERIALES MINERALES

Deformaciones de los materiales minerales bajo el efecto de fuerzas exteriores	119
Deformaciones y tensiones en tracción y compresión	121
Tensiones y deformaciones en rotura	122
Tensiones y deformaciones en rotura	122

Medida y control de deformaciones y tensiones	122
Datos experimentales	123
Consecuencias de las deformaciones bajo cargas	130
Variaciones dimensionales propias de los materiales de construcción	131
Efecto del agua. Retracciones y tumefacciones	131
Medida de las variaciones diferenciales debidas a la humedad	132
Datos experimentales	133
Variaciones dimensionales bajo el efecto de la temperatura	140
Medida	140
Datos experimentales	140
Consecuencias de las variaciones dimensionales propias	143
Capítulo X. — VARIACIONES DIMENSIONALES EN LAS MATERIAS PLASTICAS	145
Los termoplásticos	145
Los termoendurecibles	145
Variaciones dimensionales vinculadas a la naturaleza de las materias plasticas	146
Variaciones dimensionales bajo el efecto de tensiones exteriores	146
Variaciones dimensionales dependientes de la configuración de los termoplásticos	149
Deformación de los productos de extrusión	149
Deformación de los productos moldeados por inyección	150
Deformación de los productos fabricados por compresión	151
Deformación de los productos laminados	151
Variaciones dimensionales de hojas configuradas en caliente	151
Variaciones dimensionales de las espumas	151
Configuración de los termoendurecibles	152
Conclusión	154
Capítulo XI. — LAS VARIACIONES DIMENSIONALES DE LA MADERA Y DE LOS MATERIALES DE ELLA DERIVADOS	155
Retractibilidad	155
Dilatibilidad y elasticidad	159
Deformación instantánea bajo carga	159
Deformación diferida bajo carga (fluencia)	159
Materiales derivados de la madera	160
El contrachapado	160
Los tableros de fibras y de virutas	160
Las maderas tratadas	162
Consecuencias constructivas del vicio de la madera	162

Capítulo XII. — LOS MOVIMIENTOS DIFERENCIALES EN LOS COMPLEJOS EMPLEADOS COMO ELEMENTO DE RELLENO	163
Definición de un complejo	163
Condiciones de temperatura y de humedad en que pueden hallarse los paramentos de un complejo	165
Condiciones de temperatura	165
Condiciones de humedad	166
Consecuencias. Deformaciones del complejo	167
Ejemplos	169
Capítulo XIII. — CONSECUENCIAS DE LAS VARIACIONES DIMENSIONALES Y DE LOS MOVIMIENTOS DIFERENCIALES	171
Ejemplos concretos	173
Capítulo XIV. — ALTERACIONES DE PIEDRAS Y HORMIGONES Y CORROSION DE METALES	177
Las piedras	179
Las fábricas guarnecidas	183
Los hormigones y morteros	183
Morteros	184
Hormigones ordinarios	185
Hormigón armado	185
Impermeabilización de fábricas y hormigones por medio de guarnecidos y pinturas	188
Guarnecidos	188
Asfalto	188
Yeso	190
Corrosión de los metales	191
Entramados de acero	198
Precautiones en el proyecto de entramados de acero	198
Protección del acero	198
Cubierta de palastro cincado, aluminado o emplomado. Hojas de zinc y de aluminio. Hojas de inox	204
Los metales en fachadas	207
El aluminio en fachadas	207
Plomo	209
Cobre	210
Conclusiones sobre la ciencia de la durabilidad	210

Título IV
LA ECONOMIA

Generalidades 213

Capítulo XV.— LA DUALIDAD PRECIO-VALOR 215

Los precios 216

Formación de los precios de venta 218

Apreciación del valor de una construcción: El método de los «más» y los «menos» 222

La noción de productividad 225

La productividad de la mano de obra 227

Examen de operaciones reales 230

Capítulo XVI.— COMO ACTUAR SOBRE LOS COSTOS 235

El encargo 236

Memorandum 237

Documentos que el propietario ha de dar a conocer a su arquitecto 237

Reconocimiento de los suelos 238

Datos que el propietario debe imponer a su arquitecto 238

Características de calidad de obras e instalaciones 242

El proyecto 245

Elección de solución 246

Elección de la técnica 249

La memoria descriptiva 251

Pliegos de condiciones para la ejecución de los trabajos 252

El expediente de ejecución 253

Consulta de empresas 254

Las cláusulas administrativas 259

El cuadro de marcha o «planning» 261

Estudio de la organización y de la marcha del tajo 265

La coordinación 265

Técnica de ejecución 271

Capítulo XVII.— P = $\sum$ p_i 273

El sector mano de obra 274

Efecto de la repetición 274

La mecanización 276

¿Fábrica o tajo? 277

El precio de la mano de obra 277

El sector materiales 279

Elección de materiales baratos 279

Producir económicamente los componentes y los elementos 280

Influencia de la automación 285

Realidad de esperanzas 285

Capítulo XVIII.— LA INTEGRACION COMO MEDIO DE INDUSTRIALIZACION 287

Diferentes clases de integración 288

La empresa integrada 291

Capítulo XIX.— LA IDONEIDAD TECNICA DE LOS MATERIALES Y ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS 293

La normalización y el documento de idoneidad. La coordinación dimensional 293

Las normas de calidad 294

La coordinación dimensional 300

Conclusión 303

ANEXO 305

BREVE ISAGOGÉ DEL TRADUCTOR

Nos percatamos hoy, a cada paso, de que los técnicos que alardean de modernos están en contra de los métodos tradicionales y pugnan por industrializar la edificación, a través de racionalizarla y mecanizarla y, aún, a través de la cibernética, convertir en automático el trabajo intelectual del constructor. Los sistemas tradicionales se han hecho lentos y caros, y exigen una mano de obra avezada, que cada día escasea más. Se impone la evolución de la industria edificatoria.

Pero como dijo el profesor Nadal con acierto, si hay métodos tradicionales que no tiendan a evolucionar es porque cumplen, de lleno la función exigida y se fundan en el éxito de anteriores experiencias, y será cuando pensar que todas las innovaciones, que hoy consideramos como la vanguardia de la edificación, serán a no tardar la tradición del mañana. Al correr de la historia, todo progreso humano ha surgido del montón confuso de frustraciones en los sistemas que no han llegado a cuajar.

En el proceso de evolución de nuestra industria, se admite sólo como tendencia eclética la de colocar en obra grandes elementos prefabricados, por procedimientos racionalizados. Dichos elementos se fabrican en serie y el trabajo se desarrolla en cadena, a base de una perfecta planificación del tajo. El obrero queda liberado de labores duras y monótonas y las máquinas actúan a pleno rendimiento durante la obra.

Ante tan ameno paisaje industrializador, el eminente profesor Gérard Blachère, director del «CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT», con sede en París, ha escrito, con la colaboración de varios especialistas de dicho Centro, este libro, de modesto volumen y de rico contenido, para llamar la atención de los técnicos sobre los problemas científicos y socioeconómicos, que al presente plantea la construcción de edificios. Edificar, afirma, consiste en resolver científicamente un problema, a saber, el problema de las exigencias del ocupante de la casa

(habilitad, durabilidad y economía) y de la colectividad alemana, u base de los datos naturales, de los datos exteriores y de las condiciones normales de ocupación. Es preciso dar de lado al empirismo y zamarrear a los arquitectos que se creen geniales artistas, iluminados por el Porfucito, cuentos sólo a la sublimidad de sus obras maestras.

A lo largo de los capítulos de su enjundioso manual, Blachère señala, con claridad meridiana, los puntos esenciales para el despliegue del raciocinio en el vasto campo de la disciplina tratada y la importante ayuda que al constructor ofrecen las normas de calidad y el documento de idoneidad técnica para el empleo de los materiales.

El avisado lector tendrá ocasión de prodigar merecidos encomios al autor, por la oportunidad y la competencia con que ha desarrollado un tema tan sugestivo.

Por lo que me atañe, agradezco hondamente a Editores Técnicos Asociados, S. A., el honor de encargarme la versión española de tan brillante publicación, en cuya tarea traductora he pretendido excluir la tracción al espíritu de aquélla. Cual quería el sagaz maestro Freyssinet, me ha guiado el amor al oficio y la fe en la eficacia de todo esfuerzo tenaz y perseverante.

BUENAVENTURA BASSEGODA MUSTÉ

INTRODUCCION

La publicación de un libro para decir a los constructores de emisoras de televisión y a los realizadores de pila atómicas que pueden y deben construir científicamente resultaría una perogrullada. Me permito esperar que el lector aceptará sin esfuerzo que no ocurre exactamente lo mismo para la construcción de edificios. Los autores de proyectos de edificios, en su casi totalidad, no pueden estudiar científicamente sus proyectos. Muchos ignoran, sin duda, que puedan estudiarse así, y otros muchos creen, al contrario, que no se puede.

¿A qué se debe esto? A que, por cierto, con absoluta evidencia se han construido viviendas, como quien planta berzas o escarda cebollinos, mucho antes de disponer de medios científicos, es decir, del conocimiento exacto de los fenómenos pertinentes.

Y también a que los arquitectos y la mayoría de los ingenieros que se dedican a la edificación no han tenido, a lo largo de sus estudios, oportunidad de enterarse del hecho de que las ciencias ya no se contentan con resolver problemas de instalaciones más o menos accesorias, sino que se apoderan del edificio y eliminan de él todo empirismo.

Pero, explicar no equivale a justificar. Las colectividades humanas tienen inmensa necesidad de construcción, necesidades que además crecen con un ritmo sumamente rápido, en virtud de la demografía, *galopante* en tantos lugares, y de la elevación del nivel de vida. Aquéllas no podrían admitir que, si el edificio no se considera dentro del campo científico por los que asumen su concepción, integrado por verdaderas industrias, sino del sector económico de lo pretérito y, a consecuencia de este hecho, llegar a ser, comparativamente, cada vez más caro, como objeto cuya prefabricación no está industrializada, es decir, racionalizada, mecanizada y, pronto, automatizada, y se convirtiera en un objeto de lujo. No cabría admitir que el edificio se trueque poco a poco en un objeto de lujo, como lo es una tela basta, pero tejida a mano.

Es preciso, pues, que quienes deban excogitar proyectos de edificios, acepten concebirlos científicamente, partiendo de datos ciertos, físicos o económicos, a fin de que conciban industrialmente un producto de primera necesidad, el edificio, en una civilización industrial.

Esto atañe particularmente a los arquitectos, quienes deben, manteniéndose dentro del cuadro de una muy bella creación en síntesis, abandonar las maneras de pensar que todavía muestran apego a la escolástica, a saber, a modos de raciocinio sobre premisas supuestas, para lanzarse ya de una vez al pensamiento científico, que consiste, en esencia, en no esquivar más que en lo que está seguro, por evidencia experimental.

La arquitectura gárrula, siempre censurable, debe dejar de ser una logomaquia y el proyecto ha de venir sostenido por la certeza científica, de suerte que sea posible justificar con lógica convincente sus disposiciones.

Cuando los autores de proyectos lleguen a pensar así, veremos desaparecer esa infinidad de tentativas fracasadas, a través de las cuales, a cada esbozo del proyecto, se cree haber conseguido mejorar los anteriores. Y veremos que los esfuerzos se concentran en los puntos verdaderos para lograr un progreso, a menudo a costa de una acción colectiva (trabajo en equipo).

De tal guisa, el arquitecto, que es esencialmente el creador, conducirá la construcción a la forma que, en nuestro siglo, ha de revestir y que revestirá indefectiblemente.

Respecto a los ingenieros, desearíamos ayudar a quienes la práctica ha enseñado a edificar, a ordenar sus conocimientos y completarlos, y a explicar a los que salen de las escuelas que conocer el edificio no es tan sólo dominar algunas de las técnicas que en él concurren, sino esforzarse en plantear y resolver el problema de conjunto, que se define como creación de un edificio para un fin determinado. Deben, al mismo tiempo, evitar la confusión entre obras públicas y edificación, disciplinas que echan mano de muchos más conocimientos diferentes que comunes. La pretensión de algunos ingenieros de obras públicas de saber edificar ha contribuido no poco a desviar de la ciencia a los mismos arquitectos, porque podían ver, con tanta evidencia, que los *sabios* por antonomasia, los ingenieros eran, o son, tan a menudo, incapaces de pensar y resolver los problemas de la edificación.

Ha llegado la hora de aprender a usar ciencia para edificar. Quienes de ello estén persuadidos, tienen el deber moral de predicarlo y fomentarlo.

El lector no hallará en este modesto volumen la totalidad de las ciencias de la edificación y quien acá buscare recetas quedará defraudado. Hemos querido dar lo fundamental del cuadro general del concepto científico del edificio y ejemplos de ciencias elegidas, en general, entre las menos conocidas. Con preferencia a conocimientos de pormenores, hemos tendido a señalar el espíritu de la edificación científica.

Título I

GENERALIDADES

CAPITULO PRIMERO

EDIFICAR ES RESOLVER UN PROBLEMA

De acuerdo con la tradición, antaño, edificar consistía en aplicar, para satisfacer un programa particular, unos procedimientos sancionados por la experiencia.

La creación radica en trazar planos y alzados, aclarados, si es preciso, por las secciones y por las memorias adjuntas. La ejecución se confía a oficios o empresas, que reivindicán la facultad de resolver los problemas, perfectamente dominados, que plantea la realización de obras del todo conocidas.

Si el edificio así levantado es satisfactorio, se debe, a la vez, a que el tiempo ha eliminado tanto los conceptos como las ejecuciones peligrosos y a que el usuario, por no ser capaz de imaginar más que lo que conoce, se contenta con la repetición indefinida de lo que siempre ha visto.

Este sistema ha sufrido los primeros impactos con la aparición de las instalaciones de comodidad, las cuales, al principio, fueron puras y simplemente añadidas al edificio: la fontanería, la calefacción, la electricidad se proyectan y realizan después de terminada la construcción. (En Austria, todavía se procede así y los contratistas de calefacción no quieren intervenir hasta que el edificio ha sido recibido.)

Otros impactos reconocen su origen en la aparición de estructuras, trasunto de las de obras públicas: esqueleto metálico y, luego, hormigón armado; tales novedades acarrearban trastornos en la ejecución de la obra gruesa. Y su aplicación exigía cálculos, que en segunda se confían al ingeniero.

No nos dimos cuenta, a la sazón, de la profundidad de los cambios acarreados. Por ejemplo, en el período de entreguerras, se han edificado, al amparo de la tradición, construcciones de hormigón armado: cuajadas con ladrillo hueco, que son una ofensa a la acústica y a los efectos aéreos. Pero, no nos atrevíamos a creer que pudiera existir otra manera de concebir el edificio más que la tradicional. Así pues, la novedad recibió el nombre de *tradicional*, eludiendo así los problemas que plantea el

convencimiento de la incapacidad de la tradición para suministrar los instrumentos intelectuales indispensables para el empleo de las novedades reales de nuestro siglo industrial.

Después del 1945, se ha acelerado el ritmo de aplicación de novedades.

Aparecieron procesos de construcción más revolucionarios y, no obstante, fue preciso tiempo para que los más atrevidos reconocieran que la referencia a la tradición había prescrito.

Esta evidencia, que se manifestó paulatinamente, no apareció a los que tenían la misión de redactar los proyectos, sino a quienes *debían decir si los nuevos materiales y procedimientos eran aceptables*. De una nueva solución no cabe decir si es buena o mala por la sola referencia a una solución antigua de un problema no planteado.

Esto salta a la vista en la *paradoja del muro*. Un muro tradicional, aceptable en el clima de la meseta central, es el de cantería de 35 cm de tizón, con enlucido interior de yeso.

El muro no tradicional, en el que se indaga si es aceptable, será comparado al muro de cantería, como índice de referencia. Vamos a cotejar sus pesos, sus resistencias, sus porosidades, sus dilataciones, sus aislamientos térmicos, etc. ¿Y después? ¿Tienen, en todo, iguales características el muro nuevo y el muro antiguo? Esto no es posible más que si el muro nuevo es un muro de cantería de 35 cm con pañete de yeso, lo cual contradice la afirmación de que el muro es nuevo. Por tanto, las características del muro nuevo son diferentes de las del muro tradicional de referencia. ¿Hay en ello ventaja o inconveniente? Nada nos permite, por ahora, decidirlo. Por otra parte, si mediamos un poco, ni siquiera sabemos por qué el muro tradicional es bueno.

Si, por consiguiente, queremos emitir juicio sobre el muro nuevo, *es preciso que definamos la función que ha de desempeñar* en la construcción y verifiquemos si la cumple. Mas, tal función en el campo tradicional, jamás ha sido definida. *Todo el mundo ignoraba si convenía que el muro tuviera cierta porosidad, cierto aislamiento, en general, ciertas características físicas determinadas.*

Además, comprobamos muy fácilmente que dicha función no es independiente de la exigida a otros elementos de la construcción. El muro será diferente según sea o no sustentante, desde luego, pero también según que los demás elementos constructivos sean o no muros, según que la pared esté o no protegida de la intemperie por salidizos, cornisas, etcétera.

En pocas palabras, *la función muro posee un contenido variable según la organización de conjunto adoptada para la construcción*. No es,

por tanto, a nivel de las funciones de los diferentes elementos que podremos añañarnos sobre terreno firme.

Hay que subir aún más, para considerar la finalidad que se quiere alcanzar al construir el edificio, donde hallar base segura.

Pero, ¿es posible formar la lista de todo lo que exigimos a un edificio?

Nuestra respuesta es: *Si, es posible y vamos a demostrarlo a continuación.*

Ya desde ahora, subrayamos que este proceso de pensamiento, que se ha desarrollado en el Centro científico y técnico de la Edificación, en París, obligado a ensayar los nuevos materiales y procedimientos de construcción para otorgarles el beneficio, conduce el modo de abordar el problema constructivo a la manera ordinaria de plantear los problemas industriales. Se empieza siempre por plantear el problema que debe ser resuelto, en relación con las pruebas exigidas. Y será válida cualquier solución que responda al conjunto de las exigencias manifestadas.

Se dirá, empero, que, cuando se redacta el *programa* de una construcción ya es, en efecto, lo que se hace. Si, en parte. El programa de un inmueble de viviendas, por ejemplo, dará indicaciones sobre el volumen general del edificio, el número y la composición de las viviendas, el tipo de las mismas respecto a los reglamentos de ayuda financiera del Estado, el precio. Pero, no define lo que se entiende por vivienda.

Dicha laguna queda colmada, en parte, por el reglamento de la construcción. Tal vez sólo mañana, como remate de nuestra actuación para definir la vivienda mediante el enunciado de las exigencias, se conseguirá un reglamento que de la definición completa de la vivienda.

De momento, retenemos que, además del programa explícito del cliente, quien no apunta más que a una operación privada, hay un programa implícito y general, que se expresa en exigencias y que constituye el desarrollo, la definición del vocablo *vivienda*. Claro está que lo válido para la vivienda, también rige para oficinas, escuelas, hospitales, talleres, salas públicas para asambleas, etc. A lo sumo, hay que observar que la vivienda es, con mucho, el local mejor definido por los reglamentos oficiales.

Dejamos para el capítulo siguiente el pormenor de las exigencias del hombre respecto a los locales en que mora (asimismo, del ganado para el establo y aún del grano para los silos) y decimos aquí cómo se pueden clasificar dichas exigencias:

Hay las manifestadas por el hombre, como animal vivo, o sea:

exigencias fisiológicas
exigencias psicológicas

las manifestadas por el hombre, cual ser inteligente

las del hombre, como ser social
exigencias sociológicas
 y, por fin, las del *homo economicus*
exigencias económicas

Cabe reagrupar los tres primeros tipos de exigencias bajo la rúbrica común *exigencias de habitabilidad*, al paso que las exigencias económicas pueden descomponerse en una exigencia de *durabilidad* y una exigencia de *costo* o económica propiamente dicha.

Algunas de las ciudades exigencias, tienen carácter absoluto. No cabe transigir con la proporción de óxido de carbono admisible en el aire que se respira. Otras van vinculadas a la educación y también a los recursos: son las que suelen recibir el nombre de exigencias de comodidad o de bienestar.

Hace unos años, propusimos la adopción de tres niveles al respecto: modesto, medio y superior. La Asociación de la Salud pública americana contempla cuatro niveles: no morir, no estar enfermo, estar en condiciones de trabajo eficaz, estar en condiciones agradables. Cuatro niveles son muchos y, además, dichos niveles entremezclan lo absoluto con lo relativo. Nuestros tres niveles, hoy, ya nos parecen una precisión excesiva para la mayor parte de las exigencias.

En realidad, es suficiente considerar, por un lado, las exigencias absolutas y, por otro, un valor de las exigencias relativas, con relación al cual se aplicará un aumento para los ricos y una reducción para los pobres.

Sea de ello lo que fuere, podemos, pues, establecer una lista de exigencias con sus niveles respectivos.

Es posible aún formular otra lista de exigencias: las de la colectividad dentro de la cual se construirá el edificio.

Una comunidad de edificios crea un entorno caracterizado por determinadas magnitudes: nivel sonoro, polución del aire, del agua, etc. Para que esas magnitudes queden por debajo de los límites del edificio, es preciso que cada cual respete cierta disciplina y no contribuya, alende determinado valor, a la creación de molestias colectivas. Las exigencias de la colectividad son la resultante de dichos valores.

Los edificios, por otra parte, deben mostrar congruencia con las exigencias de sus moradores en el sentido en que se alzan. Esto es de una claridad meridiana, pero no es inútil recordarlo. En efecto, todos hemos visto edificios concebidos para una zona costanera, de clima tropical húmedo, erigido en lo interior del país, donde reina clima sahariano.

Hay que reunir, por tanto, datos naturales, datos climatológicos y datos sísmicos.

Los datos climatológicos son, en esencia: la temperatura y las heladas, la higrometría, los vientos, el asoleo (o nubosidad), la lluvia y la nieve.

Insistiremos en lo que precede al tratar de las condiciones naturales (Cap. III). En el anexo, figuran mapas climatológicos y sísmicos.

Junto a los datos naturales, hay que atender a los datos exteriores impuestos: el aire para la ventilación de los edificios queda viciado a causa de las aglomeraciones. El nivel exterior será el que sea, en cada caso particular, según los diferentes tránsitos: aéreo, ferroviario, por carretera. Tales hechos se imponen al constructor, que no puede zafarse de conocer los valores de la polución o del nivel sonoro, para edificar en consecuencia.

Más adelante, volveremos sobre estos datos.

Es indispensable una postrema consideración: la de las condiciones de ocupación. Debe ser evidente para todo hijo de vecino que un edificio no puede satisfacer las exigencias de su categoría más que si está ocupado en condiciones definidas —de hecho, definidas por el uso corriente—, para una vivienda, será el uso propio de un buen padre de familia. Si el ocupante cierra las entradas de aire de ventilación y pone a hervir agua durante todo el día, se producirán inevitables condensaciones, si anda con zapatos claveteados por el piso de linóleo, éste no podrá durar diez años, etc.

Por un instante, hemos considerado tres modos de ocupación: mediocre, mediana y superior. Esta precisión es quizá inútil. Pero hay que tener presente que la significación del término *ocupación normal* no es la misma en una vivienda de cuatro piezas ocupada por seis personas que en otra lujosa de igual número de aposentos, donde viven dos o tres personas. Cuanto más modesta es la morada, tanto más la ocupación influye en la construcción. Tenemos aquí una verdad a menudo ignorada, que explica los fracasos sufridos siempre que se pretende construir a precios más bajos para habitantes más pobres. Se llega a un equilibrio, por debajo del cual no hay solución posible.

En verdad, las viviendas hacinadas y, con mayor razón, las de los inciviles piden más cualidades de durabilidad que los pisos de los *burgueses*.

Resumiémos: exigencias del ocupante, incluso las exigencias económicas, a saber, exigencias de habitabilidad, de durabilidad y de economía, exigencias de la colectividad, datos naturales, datos exteriores impuestos, condiciones normales de ocupación, he aquí el conjunto de datos para plantear el problema. *Edificar es resolver este problema*.

Ahora, sustentamos el criterio que se puede y, por consiguiente, se debe resolverlo con base científica y ya no empíricamente. Esto equivale a decir que disponemos de conocimientos científicos suficientes para resol-

ver el problema que acabamos de plantear, es decir, que la acústica y la tecnología aplicadas a los edificios y asimismo la iluminación, la resistencia de materiales, la sociología y la economía están ya bastante avanzadas para lograr la susodicha solución.

En los capítulos siguientes, tendremos ocasión de demostrarlo para las ciencias que se nos podían antojar más discutibles: la economía, la sociología y la ciencia de la durabilidad. Para las demás, remitimos a los tratados especializados.

Se podrá así comprobar que, en efecto, merced a las ciencias aplicadas a la edificación, cabe razonar y, a menudo, calcular las soluciones; en definitiva, determinar las características físicas exigibles a determinados elementos de la construcción, en un campo definido, lo que suele llamarse las *reglas de calidad* para tales elementos.

El problema nos fue planteado en términos de exigencias humanas respecto al conjunto del local y, ahora, la aplicación de las ciencias nos da reglas de calidad para los elementos constructivos.

Conviene observar que elemento constructivo debe ser interpretado en sentido amplio: es, tanto como un muro, la instalación de calefacción, el sistema de ventilación, la distribución interior.

A fuer de exactos, hemos de reconocer que el estado de nuestros conocimientos carece, en realidad, de la total perfección para permitirnos expresar todas las reglas de calidad bajo la forma de métodos de cálculo en que intervengan los valores de magnitudes físicas correctamente definidas.

A decir verdad, esas reglas de calidad se expresan de tres maneras:

— *El caso perfecto.* El alcance de nuestro saber permite expresar la regla bajo la forma de un método de cálculo en el que figuren las magnitudes físicas características de los datos naturales o exteriores impuestos y las magnitudes físicas características de los materiales de estructura.

Es la *expresión científica*. Por ejemplo, se sabe calcular una estructura sustentante en función de las cargas naturales, las sobrecargas y los módulos de resistencia de los materiales.

— *El caso intermedio.* No sabemos calcular las estructuras, pero somos capaces de definir la obra satisfactoria, o, frente a la descripción del buen oficio, según las normas de ejecución y de materiales. Dichas definiciones se refieren a menudo a índices tecnológicos, referidos a la marcha de ensayos. Es la *expresión tecnológica*. Por ejemplo: un embaldosado durable se obtendrá colocando en obra, de acuerdo con la norma pertinente, las baldosas fabricadas según la respectiva norma. Tales baldosas, en particular, sometidas al ensayo de abrasión con disco de arena, no acusarán una entalladura superior a 12 mm.

— Por fin, el *caso de ignorancia*. La regla de calidad se expresa por repetición de la propia exigencia humana. Es la *expresión exigencial*. Por ejemplo, un tempano de fachada deberá resistir el choque de un saco de arena de 50 kg. al caer de 2 m de altura. Es la transcripción, bajo forma de un ensayo semi-natural, de la verificación directa de la siguiente exigencia: un hombre que tropieza y choca con el tempano no debe atravesarlo.

Puede resultar más cómodo el empleo de la expresión tecnológica o exigencial de una regla de calidad, incluso en caso de conocer la expresión científica, dado que puede ser más expedito el ensayo de una estructura o la aplicación de una receta tecnológica que enfascarse en cálculos y medidas.

Las reglas de calidad destinadas a asegurarse la satisfacción de las exigencias térmicas, acústicas o de iluminación y de estabilidad presentan, en general, expresión científica.

Al contrario, las reglas de calidad destinadas a satisfacer la exigencia de durabilidad no tienen casi nunca expresión científica, porque nuestra ciencia de la durabilidad está aún en pañales. Por otra parte, la expresión exigencial resulta ineffectiva, dado que la durabilidad no puede demostrarse a través de una experiencia instantánea, no cabe probarla más que por la persistencia. Es, pues, la expresión tecnológica la que se impondrá para las reglas de calidad que traducen la exigencia de durabilidad.

Añadamos que es raro que se pueda, de hecho, enunciar reglas cabalmente suficientes para garantía de la durabilidad. Quedará casi siempre, en grado mayor o menor, la necesidad de una apreciación acerca de la validez de las reglas dadas. Insistimos en ello.

Las reglas de calidad vienen dadas, en las normas, por ciencia. Nos ocupamos en darlas, más completas, por elemento constructivo.

CAPITULO II

LA DEFINICION EXIGENCIAL DE LOS EDIFICIOS

En el capítulo precedente, hemos explicado que los términos *vivienda, aula, oficina, etc.*, podían venir desarrollados en un programa preciso, expresado en exigencias.

Hemos dicho que esas exigencias eran de naturaleza fisiológica, psicológica, sociológica o económica; que podían agruparse también en exigencias de habitabilidad, de durabilidad y de economía y que de dichas exigencias, unas eran absolutas, porque son indispensables para la vida o para la salud, y otras, relativas porque trascienden de lo que, en general, llamamos la comodidad.

Evocamos, al final, las exigencias de la comunidad.

Más adelante, se dará la lista de las exigencias. Es evidente que ofrecen una importancia variable. Sin embargo, parece inútil establecer entre ellas una jerarquía, porque todas ellas han de ser cumplidas.

Los niveles que aquí figuran son los exigibles a construcciones de nueva planta. Esto quiere decir que las exigencias de carácter relativo se fijan al nivel que corresponde a las costumbres y, también, a las posibilidades económicas corrientes.

Los niveles serían diferentes en un país más rico. Así se comprueba en la exigencia higrotérmica en verano, para la cual no es lógico establecer un nivel que requeriría el acondicionamiento de aire. Al revés, es seguro que los niveles serían más bajos en un país en vías de desarrollo.

Queda por hacer una observación. Hay quien ha intentado plantear el problema del *habitat* no en función de exigencias humanas, es decir, de condiciones de ambiente interior, sino en función de la resistencia a la intemperie (frío, calor, lluvia). Si el problema se aborda así se comprueba que los medios empleados para defenderse contra un agente ecológico entraña a menudo perjuicios para el interior. Por ejemplo, si se asegura

el cerramiento del habitat para luchar contra el frío y la lluvia, se provoca la polución del aire interior con los productos de la respiración y de la combustión y el vapor de agua. Para oponerse a ellos hay que ventilar y, de esta suerte, se introducen otras molestias. Este proceso puede compararse al funcionamiento del cuerpo humano, en el que el ejercicio de las funciones saludables crea toxinas que es preciso eliminar bajo pena de envenenamiento.

Pero, es imposible querer seguir paso a paso este proceso. He aquí lo que precisa decir: Cualquiera que sea el origen del agente nocivo (ruido, hedor, vapor, gas, etc.), tanto si procede del exterior como si se produce en el local, el nivel interior se fija a una cota determinada, que es la exigencia humana.

Veamos, ahora, la lista de las exigencias.

EXIGENCIAS DE HABITABILIDAD PSICOFISIOLÓGICAS

Exigencias acústicas

Por lo que atañe al nivel sonoro, hay una exigencia fisiológica absoluta:

Los ruidos superiores a 85 decibelios son dolorosos y, a la larga, provocan lesiones.

Pero las exigencias de comodidad cubren por completo esta exigencia absoluta.

Consisten, en esencia, en un máximo nivel sonoro, (dado en decibelios A, o sea, en decibelios medidos con un sonómetro de filtro A), variable según la actividad del individuo:

Descanso nocturno: de 25 a 30 dB A.

Descanso diurno: de 30 a 35 dB A.

Lectura, trabajo intelectual: de 35 a 40 dB A.

Trabajo doméstico, ocupaciones familiares de 35 a 45 dB A.

La exigencia de comodidad acústica fija así un mínimo nivel sonoro:

El silencio prolongado en demasía engendra angustia. No es recomendable que el nivel sonoro sea inferior a 20 dB A.

INCIDENTES SONOROS

Se carece de elementos adecuados para caracterizar los incidentes sonoros molestos; se sabe, que dicha molestia depende no sólo de la intensidad del ruido, sino también de su timbre, su significado y su repetición. Las reglas de calidad se limitan, al presente, a impactos sobre el techo.

Al capítulo de exigencias acústicas se pueden añadir las exigencias relativas a *vibraciones perceptibles por el tacto*.

El cuerpo humano es muy sensible a las mismas; una vibración de 0,3 mm de elongación, con frecuencia de 10 Hz, provoca una sensación ingrata.

Del cuadro, que sigue, sacado de estudios alemanes, es fácil deducir una exigencia.

	Frecuencia en Hz			
	5	10	20	
Amplitud de la vibración en milímetros	$1 \cdot 10^{-1}$ a $2,8 \cdot 10^{-2}$ $4 \cdot 10^{-1}$ a $1,1$ $> 1,1$	$5 \cdot 10^{-2}$ a $1,5 \cdot 10^{-2}$ $1,2 \cdot 10^{-1}$ a $3 \cdot 10^{-1}$ $> 3 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$ a $7,5 \cdot 10^{-3}$ $4,5 \cdot 10^{-2}$ a $8 \cdot 10^{-2}$ $> 8 \cdot 10^{-2}$	Apenas perceptible Desagradable Muy desagradable

Exigencias higrotérmicas

Esta exigencia debería expresarse esencialmente en consideración a los fenómenos que alteran la piel o las mucosas que están en contacto con el aire.

Nos incumbiría hablar del flujo de calorías a través de la piel, de la cifra de evaporación en la superficie de la epidermis o de las mucosas de la nariz y de la garganta, del contacto húmedo de la piel con los paramentos.

Se admite, de ordinario, que esta expresión realmente *humana* de la exigencia se sustituya por exigencias de temperatura, de velocidad y de higrometría, así como de la radiación del ambiente, respecto a las cuales queda en conexión directa el estado físico de la piel.

En el aspecto higrotérmico, no hay, de hecho, exigencia absoluta alguna respecto al frío; el hombre sabe abrigarse lo suficiente para resistir a las bajas temperaturas.

Respecto a ambientes de mucho calor y creciente humedad, tenemos un límite: 37° y saturación o más de 50° y poca humedad.

Por lo que atañe a higrometría, hay un mínimo del orden del 30 % por debajo del cual se produce irritación de las mucosas.

Pero estas consideraciones carecen de interés, dado que las exigencias absolutas quedan del todo cubiertas —y de sobra— por las exigencias relativas a la comodidad. Y dentro de este campo, al presente, evolucionan con celeridad hacia la exigencia de un *clima*, de estricta definición, hecho probado por la prolongación de los períodos de calefacción y por el desarrollo de la climatización. Lo cual no quiere decir que dicha evolución sea favorable para la salud.

Definiremos el ambiente por la temperatura del aire, su higrometría, la temperatura de las paredes y la velocidad de las corrientes de aire.

Para el invierno, la exigencia puede formularse así:

La temperatura seca resultante (integrada por el efecto de la convección y de la radiación y que, en primera aproximación, puede tomarse igual a la semisuma de la temperatura del aire y de la correspondiente a los paramentos) ha de ser igual a 22°, y la higrometría no debe bajar del 30 %.

Para el verano, la exigencia habitual es que la temperatura efectiva no ha de exceder de 24°, siendo la temperatura efectiva la resultante del efecto de la temperatura y de la humedad, temperatura que, en aire saturado de humedad da la misma sensación que el ambiente considerado (caracterizado por su temperatura y su higrometría). Así, 24° efectivos equivalen a 26,5° resultantes, con higrometría del 70 %, o a 28° con 30 %.

Procede hacer dos observaciones al respecto:

Esta exigencia no puede venir satisfecha durante la canícula (con varios días a más de 35°) más que mediante un acondicionamiento del aire. Asimismo, para la comodidad en verano, no se puede definir una exigencia, sino tan sólo reglas de calidad relativas a protección solar, grueso y aislamiento de muros, que permitirán mantener la temperatura interior a un nivel tan moderado como posible sea.

Por otra parte, la definición de la comodidad estival a base de fijar un máximo de temperatura efectiva está hoy a punto de ser abandonada para dar paso a un nuevo índice técnico propuesto por el ingeniero Givoni, de Haifa, partiendo del límite de secreción sudorífica.

CORRIENTES DE AIRE

En la práctica, no molestan más que durante el invierno. Las corrientes de aire a las que están expuestas las partes desnudas del cuerpo no han

de tener un grado resultante inferior en 3° al de la habitación. La velocidad del aire, en los diferentes puntos de ésta, no debe exceder de 0,10 m/s.

SEGUREDADE DE LOS PARAMENTOS

Ha de ser total para la vista y para el tacto, en todas las piezas que no sean de servicio, en las que puede desaparecer momentáneamente.

Los cristales no quedan sometidos a tal exigencia.

HOMOGENEIDAD DE LAS TEMPERATURAS

Esta exigencia debe ser tomada en consideración tanto a causa de las particularidades de distribución de ciertos fluidos de caleo y de la convección del aire como de la existencia de superficies radiantes y de paramentos fríos (en especial cristales) que dan lugar a variaciones importantes de temperatura seca resultante en diferentes partes del cuerpo.

Parece que la regla debiera ser que las desigualdades de temperatura resultante entre dos partes del cuerpo no excedieran de un número limitado de grados: 2° entre cabeza y pies, por ejemplo, en el caso de calefacción por el suelo.

Exigencias de pureza del aire (física, química, biológica, olfativa)

Hay que tener en cuenta: polvo, gases, microorganismos, hedionda.

Respecto al *polvo*, problema despreciable en la habitación, no disponemos de ningún dato preciso, pero a las veces es molesto por la suciedad que provoca. No se prevé lucha contra él más que impidiendo la polución general de la atmósfera, sin establecer recursos filtrantes para el aire de las viviendas. Si el acondicionamiento de aire prospera no es para evitar el polvo.

El problema de los *gases* tiene importancia mucho mayor. Aquí carecen de interés los que existen en el aire exterior; éste se admite tal cual está. Los únicos gases que consideramos son los que se producen en la vivienda, esto es, el anhídrido carbónico CO₂ y el óxido de carbono CO.

Las exigencias de ordinario admitidas son las siguientes:

la concentración de CO₂ ha de ser inferior a 0,1 %.

la concentración de CO ha de ser inferior a 0,003 %.

Adviértase que estas reglas, en verdad, no tienen base científica. Sin embargo, el efecto de una débil concentración permanente de CO no es bastante conocido.

Los higienistas manifiestan temor de los *microorganismos*. Pero lo mismo que el polvo, éstos vienen de fuera. La creencia de que el asoleo los destruye es errónea, por desgracia; los rayos ultravioleta bactericidas no figuran en el espectro de radiación solar que recibimos en las ciudades a alturas próximas al nivel del mar. No disponemos de organizaciones constructivas adecuadas para luchar contra los microbios, salvo la ventilación.

La exigencia *olfativa* es indudable. Reconocemos nuestra impotencia para definirla y digamos que si las exigencias higrotérmicas y de pureza química del aire están satisfechas, gracias a una ventilación activa, habrá grandes probabilidades de que el ambiente olfativo sea satisfactorio.

Señalemos que, a fin de cuentas, en este campo tan importante de la pureza del aire, que, desde tanto tiempo ha, preocupa a los higienistas, estamos bastante mal armados para fijar las exigencias funcionales.

Exigencias de iluminación (natural o artificial) y calidad de la luz

La comodidad visual depende de la luminosidad de los objetos situados en el campo visual y del espectro de la luz. Las cualidades que atañen a la luminosidad son el máximo, el mínimo, el contraste y la estabilidad.

— LUMINOSIDAD MÍNIMA

Las exigencias no se fijan en luminosidad, sino que se ha preferido atender a la iluminación (la luminosidad depende de ella, pero también depende de la naturaleza y del color de la superficie iluminada).

Dentro de las habitaciones, la iluminación de los sitios de trabajo y de los planos de circulación debe ser cuando menos de 20 lux, salvo, claro está, durante el sueño o la ausencia de los ocupantes.

Según los lugares y las ocupaciones, los niveles de iluminación mínima recomendables vienen expresados por las cifras de la tabla de la página siguiente (Asociación francesa de iluminación, 1963).

— LUMINOSIDAD MÁXIMA

Hay una luminosidad máxima por encima de la cual no sólo mengua la agudeza visual, sino que se presenta la fatiga y lesiones después. Como

quiera que este máximo no se alcance, en la práctica, más que por exposición directa al sol, no es fundamental la definición de la exigencia de luminosidad máxima. Basta procurar que los planos de trabajo puedan quedar protegidos del sol.

— CONTRASTES DE LUMINOSIDAD

Los contrastes dan origen al deslumbramiento y, por consiguiente, conviene, en general, que ninguna zona que pueda entrar en el campo visual tenga una luminosidad superior a diez veces o inferior a diez veces la luminosidad del campo de trabajo. Pero también son esos contrastes que permiten la visión. Hay, pues, una noción de mínimo exigido, pero todavía mal conocido.

ESTABILIDAD LUMINOSA

El ojo se cansa si el campo visual queda sometido a variaciones periódicas de luminosidad. En la práctica, éstas no se deben más que a las singularidades de funcionamiento de las lámparas. En vez de dar una exigencia humana, cabe, pues, resignarse a la siguiente regla de calidad:

La intensidad de parpadeo de las lámparas (variación del flujo luminoso instantáneo respecto al flujo medio) no debe exceder del 20 %.

	Mínimo	Recomen-
	lux	dable lux
Baños. Iluminación general	50	100
Espejos (sobre la cara)	200	500
Dormitorio. Iluminación general	50	—
Camas y espejos	200	500
Cocina. Hogar, fregadero, mesas	100	200
Leónieras o cuartos de niños	70	200
Estancia. Iluminación general sobre el plano de trabajo	70	200
Lectura intermitente	150	—
Lectura prolongada	300	500
Costura intermitente	200	500
Trabajo escolar en casa	300	500
Banco de pequeño taller	150	300

— ESPECTRO DE LA LUZ

Parece verosímil que, salvo el caso en que el color tiene intervención notable en el trabajo, el alumbrado monocromático no produce fatiga ni, mucho menos, lesiones.

— OSCURIDAD NECESARIA PARA EL SUEÑO.

Esta preocupación ha alcanzado gran importancia en los edificios con grandes superficies acristaladas. Una parte nada despreciable de seres humanos se despiertan al aumentar la luz por la mañana. No ha sido llevado a cabo el estudio de estas condiciones despertadoras. Podemos admitir, como primera indicación, que, de día, con postigos o cortinas cerrados, o, de noche, a consecuencia, del alumbrado artificial de la calle, la iluminación sobre los ojos del que duerme no pase de 0,2 lux.

Exigencias de ambiente espacial

— INTERIOR

Esta exigencia entra en el dominio de la psicología. No basta que en un aposento uno pueda permanecer o moverse, es preciso también que goce de ciertos aspectos y de ciertas proporciones. Apenas hemos iniciado el estudio de este tema. Se presume la necesidad de considerar un mínimo absoluto para la menor dimensión de un cuarto y, si es oblongo, un límite de alargamiento (razón longitud a anchura) y también que la altura no sobrepase a la menor dimensión.

Resulta aventurado el fijar límites inferiores. Antaño había la costumbre de evitar, para los cuartos vivideros, que la menor dimensión fuera inferior a unos 2,50 m y que el alargamiento fuera, a lo sumo, de 1,60 m (para los aposentos pequeños o medianos, es decir, de superficie inferior a unos 20 m²).

Es errónea la tentativa de fundar la definición de un mínimo de altura sobre exigencias de pureza del aire o de comodidad térmica. En efecto, al disminuir la altura se rebaja el volumen y, por tanto, se hacen más difíciles de alcanzar las exigencias de pureza del aire, pero es evidente que cabe subsanarlo mediante la ventilación.

En los pisos bajo azotea, reducir la altura es acercar el techo, manantial de calor en ciertos climas. Pero el inconveniente se atenúa si aislamos en forma oportuna la azotea.

La definición de una exigencia absoluta de altura de las viviendas es, pues, un claro problema de ambiente espacial.

EXTERIOR

Se trata de una exigencia psicológica y muy afín a las costumbres. Su necesidad de satisfacción es esporádica; durante la semana, en la oficina o el taller, de día, y en el hogar, de noche, el hombre que trabaja no ve el cielo ni los árboles y, apenas, la calle. ¿Sufrir por estas causas? Carecemos de investigaciones sobre el particular y, como consecuencia, no podemos precisar la exigencia.

Exigencias de irradiación

Dado que el hombre puede vivir fuera, no tiene por qué preocuparse de la protección, en casa, de las radiaciones naturales que resultarían nocivas.

¿Debe, en cambio, afanarse para dejar penetrar en su vivienda radiaciones naturales bienhechoras, es decir, principalmente la radiación solar y, en su defecto, sustituirla por una radiación artificial?

En la radiación solar, tenemos el ultravioleta bactericida y el ultravioleta antituberculoso: más, por decirlo, está demostrado que dicha radiación, recibida en la ciudad de baja altura, ya no contiene parte apreciable de los mismos.

Los rayos infrarrojos, al par que los rayos luminosos de gran longitud de onda, son estimulantes naturales de la nutrición y del crecimiento. Pero en esencia, esas radiaciones se encuentran en la luz difundida por la bóveda celeste; desde este punto de vista, poco importa que las ventanas estén orientadas al norte o al mediodía. Hasta el momento, nos resulta imposible determinar las dosis necesarias, y, en definitiva, no procede formular para la vivienda ninguna exigencia humana en tales aspectos.

Es preciso, por fin, limitar a un nivel admisible la producción de radiaciones nocivas en la construcción.

A tenor de las reglas establecidas por la Comisión nacional americana para la protección de los trabajadores contra las radiaciones atómicas, el hombre no debe recibir más de 5 rems (el rem es una unidad de equivalencia de efecto: 1 rem = 1,2 röntgen en rayos γ y β , pero 1 rem = 0,1 a 0,5 röntgen en rayos α) al año, en promedio, ni más de 3 rems en 13 semanas consecutivas, ni más de 0,096 röntgen por semana. Las dosis mortales son de orden mucho más elevado, algunos centenares de röntgen en dosis única.

Las dosis sucesivas se acumulan, con un coeficiente reductor por antigüedad, que es de 0,04 a 30 días, pero ya después su decrecimiento es muy lento. Para ser letal, una radiación continua debiera ser, al parecer, del orden de uno o varios röntgen por semana.

La radiación natural al aire libre y al nivel del mar es de 0,1 rems por año.

Las caídas radiactivas dan al presente, de 0,001 a 0,002 rems.

Los relojes luminosos y otros indicadores del mismo tipo dan unos 0,005 rems al año.

Los exámenes radioscópicos pueden acusar fuertes dosis: de 0,1 a 1 rem y más; constituye el máximo riesgo de radiación para el hombre moderno.

En las actuales condiciones de la construcción y de las instalaciones fijas en viviendas, la limitación necesaria de la radiación no obliga a tomar ninguna precaución.

La radiactividad de los materiales de construcción es muy débil.

Una casa de madera daría una dosis de 0,01 röntgen por año.

de ladrillo	0,04	"	"	"
de granito	0,04 a 0,05	"	"	"

Exigencia estética

Por medio de esta expresión, harto discutible, queremos significar el aspecto interior de la vivienda:

— el color;

— la llanura y la aspereza de las superficies;

— el plomo, la escuadra y la rectitud de líneas.

Conviene distinguir, de un lado, las imperfecciones: manchas en los colores, acuerdos defectuosos, desplomos, flechas, etc. Las exigencias a este respecto no podrían ser más que muy subjetivas.

Pero otra categoría de preocupaciones tiene más importancia: se refiere a las libertades que cabe tomar dentro del canon de vivienda tradicional.

Hay que decidir si los muros han de ser planos y verticales, si los techos, planos y horizontales, o si, al contrario, podemos admitir las salas

circulares, hemisféricas o sin forma geométrica sencilla (estilo Ronchamp).

Las superficies de muros y techos, ¿han de ser lisas o tolerar para-mientos ondulados o almohadillados?

Por lo que atañe al color, la experiencia ha demostrado que la policromía es admisible y, con frecuencia, afortunada, pero hay otros muchos efectos de color que no han sido ensayados.

Carecemos de base en todos esos puntos, que merecerían algún estudio y, por encima de todo, una experimentación, pero sin dejarla sólo a la fantasía de los artistas, sino algo sistemática. Los resultados hallarían aplicación directa a numerosos proyectos de fabricación de grandes elementos constructivos.

Exigencia de seguridad

a) La exigencia contra el hundimiento es absoluta. Debe tomarse en sentido amplio:

El inmueble no debe venirse abajo por la acción de su peso o del viento —o, como veremos, de los terremotos—, durante toda su vida normal.

Pero, a la vez, ninguna de sus partes debe sufrir ruina por su propio peso ni bajo las sobrecargas que pueda recibir.

Como sobrecarga, hay que tomar en consideración no sólo las sobrecargas normales, sino también las sobrecargas, si se sufre decir *normalmente anormales*; una cornisa debe resistir el peso de un hombre de ella suspendido, una hoja de puerta el peso de un niño, etc.

b) La vivienda debe poner a los habitantes y a sus bienes a cubierto de malhechoras ingerencias humanas.

No se puede exigir la seguridad absoluta, porque no se trata de conseguir que la vivienda pueda resistir a un asedio en regla.

La exigencia podría ser que la vivienda quede a salvo de ser forzada a golpe de pico o con la ganzúa. Hay que suprimir los puntos vulnerables que puedan ser accesibles por escalada.

La instalación de señales de alarma que funcionen en caso de allanamiento de morada se considera como exigencia de calidad superior, en vivienda colectiva, y media, en vivienda aislada.

c) La vivienda debe poner a los habitantes y sus bienes a cubierto de la penetración de animales peligrosos o indeseables.

En general, acá no hay que defenderse más que de insectos y roedores.

La vivienda y sus dependencias deben tener sus aberturas dispuestas en forma que sean inaccesibles a los roedores. Se incluyen también las canalizaciones.

Si la situación de la vivienda es propicia a la abundancia de mosquitos, los dormitorios se protegerán contra ellos.

Si la vivienda está situada cerca (algunas decenas de kilómetros) de regiones infestadas por comejenes, la construcción debe ser inacabable por dichos insectos xilófagos.

d) La vivienda estará proyectada de manera que los habitantes no sufran ningún daño corporal, si el edificio es fulminado por un rayo.

e) De igual modo, el edificio, en función de su situación respecto a las vías de circulación, se proyectará de tal suerte que el choque de un vehículo contra el inmueble no cause daño corporal alguno a los habitantes. Dentro de esta línea de ideas, debe desaconsejarse la construcción de viviendas por debajo del cono de viento de las pistas de aviación.

f) En caso de incendio, los ocupantes, incluso los enfermos o inválidos, han de poder ponerse o ser puestos a salvo sin sufrir daños corporales.

g) Los riesgos de ocupación son los que resultan, para los habitantes, del cumplimiento normal de las funciones de la vida corriente y familiar: andar, empleo de los diferentes aparatos.

g-1) La seguridad de circulación interna exige:

— Un resbalamiento limitado en los suelos. Cabe enunciar como exigencia que el coeficiente antideslizante U , medido con el péndulo de impacto del departamento de standards de Washington, sea superior a 0,4.

La ausencia de obstáculos en el suelo, proyecturas o salientes locales, pedriscos, salvo los umbrales de puertas, que son tolerados si su altura no excede de 5 cm (en realidad esta exigencia depende por entero de las costumbres locales).

La ausencia de obstáculos a la altura del hombre normal para evilar calabazadas (dintel, etc.), tanto en las circulaciones horizontales como en las verticales.

g-2) La seguridad de uso exige que sean nulos los riesgos.

- mecánicos;
- de electrocución;
- de asfixia;
- de explosión.

Facilidades de acceso desde la vía pública

La vivienda ha de ser accesible desde la vía pública por rampas, escaleras o ascensores, en condiciones de seguridad idénticas a las de circulaciones interiores, aumentadas en las siguientes:

Las circulaciones desde la vía pública a la entrada de la vivienda deben estar iluminadas: alumbrado mínimo del suelo (del orden de 5 lux) permanente o con minuterio.

Es de desear que la puerta de entrada a la vivienda quede protegida de la lluvia y, en las zonas de montaña o de clima crudo, del viento.

La disposición de los accesos ha de permitir como mínimo el paso de un objeto de $2,20 \times 0,75 \times 0,50$, de un enfermo echado ($2,30 \times 0,60$) o de un féretro ($2,16 \times 0,71 \times 0,50$).

Además, se considerará como exigencia absoluta no subir a pie más de cuatro pisos (o sea 12 m), como exigencia de comodidad media, no subir a pie más de tres pisos (o sea 9 m) y como exigencia de comodidad superior, no subir a pie más de dos pisos (o sea 6 m).

Los medios mecánicos deben ser tales que la espera sea corta. La exigencia de comodidad impone una espera que no exceda de un minuto.

Pero es preciso percatarnos que la duración de la espera no sólo depende de la instalación, sino también de la ley de repartición en el tiempo de la llegada de los usuarios.

Si todos los ocupantes de un rascacielos llegan a sus puertas en fila sin solución de continuidad, los últimos formarán cola ante los ascensores de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ de hora.

En consecuencia, hay que contentarse con indicar un gasto máximo de la máquina en ciertas condiciones y una demora máxima entre la parada de dos cabinas en el mismo rellano. Prácticamente, diremos:

Para ser autorizados, los ascensores deberán sujetarse a la Orden del Ministerio de Industria de 16 de octubre de 1964, que aprueba el Reglamento de aparatos elevadores (B. O. E. 6-11-1964. Revisado en 30-6-66).

Tenemos aquí un ejemplo de expresión de una exigencia a través del enunciado de la regla de calidad, cuyo cumplimiento basta para satisfacerla.

EXIGENCIA DE HABITABILIDAD SOCIOLOGICA O EXIGENCIA DE ADAPTACION DE LA VIVIENDA A LA VIDA DEL INDIVIDUO Y DE LA FAMILIA

La vivienda debe poder cobijar con corrección las actividades de la vida familiar.

Nos limitaremos aquí a dar unas indicaciones generales:

a) Superficies en planta.

Para una familia de tres o más personas:

- 14 m² de superficie útil por persona en categoría modesta.
- 18 m² en categoría mediana (a título indicativo).
- 22 m² de superficie útil por persona en categoría superior (a título indicativo).

b) La atribución a cada función de una pieza especial, o por lo menos de una pieza en la que se desarrollen el menor número de otras funciones, se manifiesta como elemento de comodidad.

Las dificultades de servicio doméstico han motivado la concentración de funciones, al mismo tiempo que el afán de restringir los costos disminuye las superficies totales. Esto es mera comprobación. La comodidad no va, empero, en igual sentido.

c) Necesidad de una distribución de alojamiento que corresponda al modo de vivir de los inquilinos.

d) Existencia de solares (suficientes en superficie y en dimensiones lineales) y de facilidades (tuberías) que consientan la instalación de los equipos caseros necesarios para el ejercicio de las diversas funciones, singularmente los volúmenes de colocación relativos a cada función, la instalación para guisar, para lavar, para secar la colada, sin olvidar el buzón y el timbre.

e) Existencia de cierto número de comodidades indispensables o útiles para el ejercicio de las actividades familiares.

En las viviendas de protección oficial, definidas por el Decreto de 24 de julio de 1963, están en vigor las ordenanzas técnicas de 12 de julio de 1955.

Como ampliación damos unas prescripciones francesas.

SERVICIOS DE FLUIDOS

a) La vivienda debe disponer de agua fría corriente. El agua ha de ser potable, apta para cocer los alimentos y lavar la ropa. Las necesidades domésticas por día y por habitante se fijan en 100 litros (caso de duchas) y 210 litros (caso de baños grandes).

La presión hidrostática vendrá regulada de manera que asegure, en condiciones normales de gastos, un caudal suficiente y sin borbotones (del orden de 0,5 litros por segundo en la cocina y de un litro por segundo en el aseo).

b) La vivienda debe disponer de corriente eléctrica de baja tensión, cuya potencia oscile entre 2 y 6,5 kW, según su importancia.

c) La distribución de gas del alumbrado es facultativa. Pero en todo caso, una pieza, al menos, de la vivienda se equipará en forma que sea capaz, sin peligro, de usar un gas combustible en botella o de red general.

d) Es indispensable un calentador o una distribución de agua caliente. La exigencia de categoría modesta corresponde a un caudal de 2,5 l/min en el fregadero. Las exigencias de comodidad mediana y superior son de caudales de 4 l/min en el fregadero y de 8 l/min en el baño.

Las temperaturas del agua que fluye deben alcanzar los siguientes mínimos: baños y aseos, 40°C; cocina, 65°C. Nunca excederán de 70°C.

DESAGÜES

a) Las aguas sucias y las aguas fecales deben ser evacuadas por tubería sin estancamiento y sin retroceso de líquidos, gases o sólidos.

b) La evacuación de basuras es, para más de cinco plantas, una exigencia de comodidad modesta; para menos de tres plantas, una exigencia de comodidad mediana.

TELECOMUNICACION

a) El teléfono es una exigencia absoluta para toda vivienda de categoría mediana o superior.

b) La posibilidad de instalar antena de radio y de televisión constituye una exigencia absoluta.

CLAVAZÓN EN LOS PARAMENTOS

En las piezas de habitación, una al menos de las paredes ha de ser *clavable* u oclible. El medio de fijación (clavo, de ordinario) debe aguantar una carga de 3 kg.

FACILIDAD DE MANIOBRA Y DE CONSERVACIÓN

La conservación o mantenimiento de la vivienda y la maniobra de las instalaciones no han de exigir un esfuerzo físico exagerado.

EXIGENCIAS ECONOMICAS

Exigencia de durabilidad

Consiste en que las exigencias precedentes vengan cumplidas durante una vida normal, a despecho del uso y de los agentes destructores corrientes, merced a un entretenimiento normal o a pesar del mismo.

La vida normal, durante la cual la vivienda debe continuar siendo una vivienda según su definición exigencial o intrínseca, se fija en los textos como de 50 años. Es a la vez poco y mucho.

Es poco, porque, a este ritmo, todos los años habría que desalojar un crecido número de viviendas (280 000 en Francia). En realidad y salvo excepciones, los edificios de construcción corriente aguantan 100 años y más. Pero mucho antes y quizás antes de 50 años estarán ajados y con desgaste y desfase en sus instalaciones y exigirán elevados gastos de conservación y reforma. La conservación tiene por base mano de obra y, por esto, su costo relativo aumentará fatalmente. Algunas investigaciones invitan a pensar que, al cabo de sesenta años, resulta más económico reconstruir que reparar. Dejando de lado la vetustez de las instalaciones, contra la cual poco se puede, la exigencia de durabilidad de 50 años para los acabados y las instalaciones es severa, incluso con la facilidad interpretativa, que autorizan los reglamentos. Las partes de la construcción, que pueden recambiarse, tal vez no duren más allá de 25 años.

Es claro también que la exigencia de durabilidad del edificio depende de las condiciones de financiación. Una vivienda, cuya inversión se amortiza en 45 años, no puede durar menos.

DEFINICION EXIGENCIAL DE LOS EDIFICIOS

En definitiva, no procede formular más exigencia de durabilidad que la de 50 años. Más adelante (cap. VIII) volveremos sobre el tema.

El uso normal ya ha sido evocado en el capítulo anterior.

Hay que tener en cuenta los efectos destructores del entretenimiento normal: frotado, lavado, empleo de detergentes baratos, etc.

A fin de que quede normalmente asegurado, el entretenimiento no ha de entrañar demasiado tiempo ni gastos excesivos. No disponemos de informaciones satisfactorias acerca de este problema. Como primera indicación *grosso modo*, diremos que la conservación normal (diaria y periódica) no debería suponer, por año, más de 300 horas de trabajo de una persona, aumentadas en tantas veces 50 horas como dormitorios haya en la morada, y que su costo anual, excluyendo las horas de trabajo, no debe exceder de 2400 pesetas, aumentadas en 600 por dormitorio.

La vivienda ha de conservar un mínimo de calidad, a despecho de la acción de algunos agentes anormales:

Incendio: En caso de incendio, debe quedar asegurada la integridad de las personas. Cabe admitir el riesgo de que el inmueble quede reducido a pavesas.

Una exigencia de calidad superior será la habilitación de un volumen (caja fuerte), en el cual los documentos y los objetos de valor puedan resistir el fuego. Pero dicho espacio puede muy bien situarse en un mueble.

Terremoto: En caso de concusión sísmica, se exige también la seguridad de las personas. Esto supone *ipso facto* que los daños causados no afectan a las estructuras sustentantes.

Explosiones, bombardeos: Su intensidad no reconoce límites. Además de exigencias reglamentarias especiales, hay que admitir que las exigencias de resistencia a la gravedad, al viento y al incendio dan la seguridad normal contra dichos fenómenos.

Para poner término a la cuestión de la durabilidad, afirmamos que una serie de exigencias corresponde a la preocupación siguiente:

La vivienda debe continuar siendo habitable, a pesar de averías, huelgas y carestías. Nos ceñiremos a examinar el caso de privación de agua corriente, de gas, de combustibles y de electricidad.

Contra la privación de agua corriente, la única previsión, de eficacia limitada, estriba en la presencia de un depósito, en la casa. No se puede exigir, excepto en caso local de penuria trónica.

Contra la privación de gas, de determinados combustibles o de electricidad, considerada como medio de calefacción o de cocción, la precaución consiste en prever recursos sucedáneos.

Una exigencia razonable será:

para la calefacción, disponer de caldeo sucedáneo en una habitación o los dispositivos necesarios para su instalación, es decir:

una subida de humos;

un enchufe de corriente eléctrica, de suficiente potencia (1 kW por 30 m²), si la calefacción ordinaria no es eléctrica, o una instalación de caldeo por gas;

para la cochura, disponer de un recurso sucedáneo, enchufe para cocina eléctrica, gas en botellas (auténtica preocupación familiar).

Contra la privación de electricidad, agente motor de todas las instalaciones, no existe medio práctico alguno, en la vivienda individual, de hacerse con un sucedáneo.

En un bloque de viviendas, se considerará como exigencia de calidad superior la presencia de un grupo electrógeno de emergencia, que permita, cuando menos, el funcionamiento de frigoríficos, de ascensores y de una iluminación restringida. Por otra parte, esta exigencia debiera quedar satisfecha siempre para la alimentación de ascensores en los edificios de más de ocho plantas.

Exigencia de costo

Ciemos, para fijarla en la memoria, la exigencia económica número uno, que reza, en términos generales: el costo de construcción y el costo de conservación deben ser congruentes con las previsiones expresas o con las posibilidades.

HABITABILIDAD DE LOS EDIFICIOS ANTIGUOS

Según dijimos, los niveles de exigencias serían diferentes para un país de desarrollo económico diferente. Son distintos también, si tampoco precupa la calidad de los inmuebles edificables, sino de la de los edificios antiguos. Para éstos, se trata de decidir si siguen siendo habitables o, más a menudo, a qué nivel precisaría elevarlos para que merezcan la consideración de habitables. Es claro que, en este caso, cabe no ser tan exigente como en el de un edificio de nueva planta, salvo, dicho se está, por lo que respecta a exigencias absolutas.

Damos, ahora, un proyecto de definición de las condiciones mínimas de habitabilidad. Se notará que este proyecto está, con evidencia, formulado a base de la consideración de las exigencias.

Exigencia acústica

El aislamiento sonoro entre dos viviendas contiguas, en sentido horizontal o vertical, debe corresponder a un atado de 100 kg por m² de peso, sin puerta de comunicación, es decir, 40 dB.

Exigencia higrorémica y de ventilación

La vivienda ha de poder ser calentada y, al efecto, disponer, si no hay calefacción central, de una salida de humos en la cocina y, en otra pieza, una instalación de calefacción que comprenda:

- bien una subida de humos;
- bien un tubo de evacuación de los gases quemados por la instalación de un aparato de gas;
- bien atabes o ventosas para la instalación de un aparato de gas en circuito estanco;
- bien un enchufe eléctrico para la potencia necesaria y suficiente para el caldeo de la habitación.

Cabe exigir tuberías suplementarias en los apartamientos de tres o más piezas, donde el clima lo exija, y, en particular para excluir los riesgos de condensación del vapor de agua en las habitaciones frías.

La cocina y el cuarto de baño, si lo hay, deben estar ventilados en condiciones tan seguras y eficaces como en las viviendas nuevas.

Los suelos sobre sótano, cámara de aire o terraplén, los muros perimetrales o divisorios y los techos bajo cubierta se establecerán en forma tal que el agua freática y el agua llovediza no puedan traspasar por ellos ni impregnarlos mucho tiempo.

Por fin, la distribución de gas y la ventilación de las piezas donde éste se emplea, deben ajustarse a los reglamentos vigentes.

Exigencias de protección contra la polución de aguas

En los edificios de habitación y sus aledaños, las cañerías de traida de agua, los aparatos a ellas acoplados y los depósitos deben ser instalados

de manera que no puedan dar origen a la polución de la red de distribución, sobre todo, por el desague de los residuos.

Exigencias de iluminación natural y artificial

La mitad del número de aposentos principales y cocina (calculado por exceso, si dicho número es non) o el cuarto, si está aislado, deben recibir luz directa de espacios libres (vías públicas o patios) tales que un cuadro horizontal de 4×4 , al nivel del alféizar del vano quede por entero exento y que la paralela al lado más alejado del cuadro, trazada en el plano vertical a 8 m. de altura, se proyecte en el cielo en una anchura de 4 m. cuando se la mira desde una altura de 1,20 m sobre el suelo de la pieza.

Todos los cuartos han de poseer vanos que den al aire libre y la dimensión de las partes acristaladas no debe ser inferior a $1/10$ de superficie del suelo.

En cada pieza principal y en la cocina, tienen que instalarse dos puntos de luz, de los cuales uno al menos sea enchufe.

Exigencias relativas al espacio interior y exterior de la vivienda

Las piezas habitables o secundarias han de tener una dimensión media de 10 m^2 .

El volumen mínimo de una pieza habitable o secundaria debe ser de 15 m^3 .

La altura bajo techo es superior a 2,20 m si la vivienda tiene aberturas en dos fachadas, y a 2,50 m en caso contrario.

En ambos casos, las caras inferiores de las vigas pueden quedar a una altura inferior, pero siempre a más de 2 m.

Por excepción a lo antedicho, la altura bajo techo puede ser de sólo 2 m en las casas de planta baja o de planta baja y un piso, situadas entre espacios libres, a distancia de 6 m normal a la fachada, y libremente accesibles a los ocupantes de los alojamientos.

Exigencias de estabilidad

Ninguna de las partes del edificio ni su conjunto ha de ser susceptible de ruina, rotura o deformaciones molestas, bajo el efecto de los esfuerzos previsibles.

En particular, los suelos deben ser capaces de soportar sobrecargas de 150 kg/m^2 y ser bastante planos para permitir la holgada circulación interior, así como la limpieza y las atenciones caseras.

Exigencias de seguridad somática en caso de incendio

El comportamiento de la construcción en caso de incendio y las salidas para la evacuación de sus ocupantes han de ser las mismas que en los edificios de nueva planta.

Exigencias de acceso desde la vía pública

Las viviendas han de tener acceso desde la vía pública por medio de avenidas, pasillos o rampas, cuya pendiente no exceda del 12 %, y escaleras, con pendientes a lo sumo igual al 100 %.

Dichos accesos deben ofrecer una anchura igual, al menos, a 0,80 m y no presentar obstáculos molestos o peligrosos a la circulación.

Los accesos se iluminarán con luz natural o artificial.

La entrada tendrá efecto sin necesidad de atravesar locales de uso privado para otros.

Exigencias de adaptación al modo de vivir

1) VIVIENDAS PROPIAMENTE DICHAS

Se llaman viviendas propiamente dichas los locales en que la familia ocupante o el inquilino aislado puede desarrollar todas las funciones de la vida, incluso cocinar, lavar y secar la ropa.

Para todas las exigencias de esta índole, fijamos a seguido un nivel mínimo. Para algunas de ellas, se señala una segunda categoría. Si este nivel es alcanzado, la vivienda tiene asignada una cota, cuyo importe se indica. El total de las cotas para un alojamiento debe ser igual o superior a seis.

a) La vivienda ha de contener una pieza para servir de cocina, que pueda equiparse con aparatos de gas, con la seguridad reglamentaria.

b) El agua potable debe manar encima del fregadero de la cocina, con gasto suficiente, merced a empalme con la red de abastecimiento público, si existe, o por proceder individual, salvo imposibilidad práctica.

Cuando no hay red de distribución, la presencia de agua en el fregadero por recurso individual, da una cota de 1 punto.

La existencia de un calentador de agua potable da una cota de 1 punto.

c) La cocina ha de tener un fregadero con sifón y evacuación al exterior.

d) La vivienda ha de poseer un W. C. privado situado en el terrazo o a un descansillo de distancia en caso de edificio colectivo, o situado en el solar, en caso de vivienda individual.

La presencia de un W. C. en el interior de la vivienda da una cota de 2 puntos.

e) La vivienda, además del fregadero, tendrá un lavadero-ducha.

Por excepción, los alojamientos con un cuarto-cocina, en lugar de lavadero-ducha, pueden contentarse con un lavabo de 60×50 y las viviendas de 2 cuartos-cocina podrán limitarse a las instalaciones de traida de agua, de evacuación y de ventilación necesarias para el servicio de una cabina amovible para ducha, cabina que proporciona el propietario, en caso de alquiler.

La existencia de un cuarto de baño, con suelo embaldosado y lavadero-ducha, da una cota de 2 puntos. El lavabo en dicho cuarto o en otro, da una cota de 1 punto y la pila, otro punto.

f) El fregadero, el W. C. y los aparatos sanitarios vierten en las tuberías de desagüe, si es posible, y su instalación debe ajustarse a las prescripciones oficiales.

g) En el inmueble colectivo, una disposición eficaz para secar la ropa, de propiedad común, aunque no esté situada en la vivienda, da una cota de 2 puntos.

h) La vivienda va provista de una acometida eléctrica, si hay línea general en la localidad. Su potencia es, cuando menos, de 1,5 kW/A.

Una potencia de 3 kW/A da una cota de 1 punto y la de 6 kW/A una cota de 2 puntos.

i) Una distribución interior tal que los dormitorios se comuniquen con la entrada, mediante un trayecto que no atraviese los demás cuartos, da una cota de 1 punto.

La existencia de una pieza de superficie superior a 16 m^2 da una cota de 1 punto.

2) CUARTOS AISLADOS

Se entiende por cuarto aislado un local destinado a ser habitado por un individuo o por un matrimonio, sin que en él sea posible satisfacer todas las funciones de la vida doméstica, en particular, que no permita guisar, lavar ni secar la ropa.

Para dichos cuartos, el nivel mínimo de exigencias de adaptación al modo de vivir es el siguiente:

a) El cuarto debe comprender el uso de un W. C. colectivo, situado al mismo nivel o con desnivel de media altura, para el servicio de 5 cuartos, a lo sumo.

b) El cuarto ha de disponer de un lavabo conectado con las tuberías de desagüe, si las hay.

c) El cuarto estará provisto de un empalme eléctrico, si hay red en la localidad. Su potencia se fija en 1 kW/A.

d) El cuarto tendrá una superficie de 10 m^2 , cuando menos.

EXIGENCIAS APLICABLES A LAS CONSTRUCCIONES EN INTERES DE LA COMUNIDAD

Estas exigencias limitan los perjuicios producidos por una construcción, con el intento de lograr para la comunidad unas condiciones generales, que permitan satisfacer las exigencias de los habitantes, a través de las soluciones habituales y, en todo caso, que no creen problemas insolubles o de difícil solución.

He aquí una lista de dichas exigencias:

Los locales, cualesquiera que sean, no han de convertirse en focos de ruido de intensidad superior a 85 dBA, medida a 1 m de los lindes, por fuera del solar.

Las construcciones no deben echar a la atmósfera humos que contengan, por caloria producida en el hogar, más de 0,4 g de materias, sólidas o líquidas, a 150°C ni más de 1 g de azufre.

No hay que verter, de las viviendas a la calle, aguas de fregadero, de lavado u otras aguas sucias. La disposición de los desagües debe estar prevista en los planos de instalaciones domésticas.

Los depósitos de las basuras que han de ser evacuadas de los edificios se organizarán de acuerdo con las ordenanzas municipales y sin que los desperdicios puedan ser alcanzados por insectos, roedores y otros bichos caseros. Además, hay que taparlos de modo que no desprendan malos olores.

Las cañerías de agua en los edificios se dispondrán en forma que no se produzca polución de la red de abastecimiento por aguas sucias o por otras materias.

Las fachadas de las casas, indistintamente, no han de reflejar como espejos los rayos solares.

Evolución de las exigencias

Conviene no perder de vista que las exigencias humanas, tanto si se trata de edificios antiguos como nuevos, quedan sometidas a una evolución al correr del tiempo.

Para las exigencias psicosomáticas, esta evolución parece seguir un camino definido. La primera manifestación de la misma es un aumento cuantitativo: más calor en invierno, más fresco en verano, más luz, etc. Se llega incluso a la exageración: 24° en el rigor invernal, 17° en el estío. Luces destimbradoras.

Comienza, entonces, el tránsito hacia el refinamiento; no interesa sólo la cantidad, sino la calidad: uniformidad de temperatura, eliminación de puntos calientes o fríos, espectro y estabilidad de la luz, etc. La forma postera del refinamiento parece ser la posibilidad de graduar el ambiente a su sabor.

Por lo que atañe a la evolución de las exigencias sociológicas, resulta la misma que la del modo de vivir. Una cosa es indudable: nuestra forma de vida evoluciona hacia más ocios; allende de esto, la previsión es más difícil. ¿Vamos hacia viviendas con espacios adecuados para diferentes tipos de ocios? ¿Vamos hacia la generalización del habitat secundario o, tal vez, hacia una residencia principal fuera de la ciudad con apeadero en ella? ¿Acaso no se alterará la estructura de la familia y los padres se distanciarán de los hijos? Otros tantos puntos de interrogación.

La evolución de las exigencias económicas vendrá regida por un imprevisto: menos mano de obra, consideración en razón directa del costo y que puede reaccionar sobre la durabilidad, prefiriéndose construcciones que no requieran entretenimiento alguno.

En conclusión, no se eche en olvido que un edificio ha de durar muchos años y permanecer, en lo posible, adaptado a exigencias tal cual sean en lo futuro, obligando a meditar sobre su evolución probable.

La reglamentación.

Pedir a un local que satisfaga las exigencias humanas para el habitat equivale a sentar sus condiciones de habitabilidad. Es también a lo que tiende el reglamento de la construcción que los Estados promulgan con vistas a proteger la salud de los ciudadanos y a asegurarles el bienestar.

¿Cuál ha de ser, pues, la relación entre el reglamento y la lista de exigencias humanas?

Es evidente que el reglamento ha de tomar como base las exigencias humanas. Cabe imaginar que se contente con hacer obligatorio su cumplimiento; ésta es la manera más flexible de reglamentar, que fija los fines y no los medios. De tal guisa, el progreso técnico y las nuevas soluciones que éste acarrea no hallarían el menor obstáculo. Esto implica, sin embargo, que los autores de proyectos, tanto como los inspectores de obras, sepan tanta ciencia como para verificar, por sí mismos, que las disposiciones tomadas asegurarán la satisfacción de las exigencias, a no ser que los anexos al reglamento den sus buenas *recetas* para cumplir lo exigido.

El reglamento puede también abandonar, de modo total, o parcial, la expresión de las exigencias, para acudir a las reglas de calidad. Entonces, el reglamento resulta más concreto, pero también más cuajado.

Parece que la tendencia actual aspira a un reglamento *exigencial*, acompañado de indicaciones para su aplicación. En todo caso, el reglamento debe referirse, en forma explícita o implícita, a una previa lista de exigencias humanas.

CAPITULO III

CONOCIMIENTO DE DATOS EXTERIORES SEAN O NO NATURALES

El problema, que intentamos resolver al construir, parte de datos conocidos, por un lado, las exigencias del habitante, que acabamos de reseñar y, por otro, los datos exteriores.

Estos, que vamos a examinar, son, por una parte, naturales y, por otra, debidos a la actuación del mismo hombre.

CONOCIMIENTO DE LAS CONDICIONES NATURALES

Las condiciones naturales son :

- los llamados datos ecológicos o meteorológicos : temperatura, higrometría, precipitaciones de lluvia y de nieve, viento, radiación solar y del firmamento ;
- los datos sísmicos y otros datos diversos ;
- los datos del suelo de la localidad.

Datos climáticos

Los datos sobre el clima vienen suministrados por el Servicio meteorológico nacional. A partir de dichos datos, se han especificado zonas en que los datos naturales son comparables con respecto a un determinado problema.

Por ejemplo, al final del libro, se halla el mapa de repartición de España en cuatro regiones climáticas : septentrional, central, meridional y

mediterránea, relacionadas con el problema de la calefacción. Los mapas sólo nos ofrecen un principio de solución y constituyen una cómoda síntesis de varios datos naturales.

En el caso presente, los mínimos y máximos absolutos y los números de grados-días constituyen una característica de la necesidad de caldeo. Pero si llegáramos a aplicar principios, nuevos por completo, a la satisfacción de la exigencia higrotérmica, deberíamos desconfiar de los mapas y acudir de nuevo a los propios datos meteorológicos.

Las secuencias y los tipos de tiempo

De ordinario, los datos meteorológicos vienen dados por la indicación de los valores extremos y de diversos promedios. Para la temperatura, por ejemplo, se indica, por mes, la temperatura máxima absoluta, el promedio de las máximas y el promedio de las mínimas.

Hasta hoy, no hallamos una presentación que sería muy útil a menudo, a saber, las *secuencias*. Tendría interés saber que, en una localidad, la temperatura del aire puede mantenerse durante quince días seguidos superior a 35°, cosa que no se deduce de los valores máximos y promedios.

Sería a la vez muy interesante conocer la concomitancia de valores de diferentes fenómenos. Para caracterizar un clima es indispensable poder considerar los valores simultáneos de la temperatura del aire, de la radiación y de la higrometría y, aún, de las precipitaciones y del viento. En suma, un clima se caracteriza por tipos de tiempo y el modo con que los diversos tipos se suceden a lo largo de los días.

El estudio de los tipos de tiempo y de sus secuencias no ha sido abordado todavía. A falta de informaciones generales, es necesario, pues, reunir el mayor número de datos directos de la región y la interpretación de los resultados obtenidos en las construcciones existentes tendrá gran utilidad.

Los microclimas

Las informaciones meteorológicas se recogen en estaciones, cuyo número es obligadamente limitado (64 en España). ¿Podemos, con ellas conocer en grado suficiente las condiciones meteorológicas reales en todas partes donde se construye? En absoluto.

Hay dos niveles de dificultades, correspondientes a dos escalas topográficas diferentes, y que se confunden muchas veces bajo el nombre de consideración del microclima. A 15 ó 30 km de distancia, las variaciones de las condiciones meteorológicas son sensibles, en especial, en la proxi-

midad del mar y de los relieves orográficos: una alta montaña forma pantalla a la lluvia o a los vientos fríos. La presencia de un lago suaviza la temperatura. Toda vía más, la diferencia de la temperatura y de la humedad entre la orilla del mar y la zona situada a 10 km hacia el interior es muy notable. Esperemos que, un día, serán mejor conocidas esas diferencias de clima. Entretanto, el constructor hará muy bien en informarse sobre dichas singularidades, las cuales proponemos llamar *singularidades de la localidad* o *clima local* (frente al clima regional que da el Servicio meteorológico).

La otra dificultad estriba en conocer los datos meteorológicos a escala del propio sitio, dado que, ya no a algunos kilómetros, sino a unas decenas de metros de distancia, dichos datos pueden ser muy diferentes. El edificio estará situado en una cresta castigada por el viento o unos metros más abajo, al abrigo de la falda; estará adosado a una vertiente meridional o a una vertiente septentrional (la solana y la umbría de las montañas) o a levante o a poniente. Un alcor, unos árboles incluso, pueden modificar las condiciones de insolación.

Sería de desear que aquí diéramos cifras de las variaciones comprobadas con el intento de orientar las aproximaciones. Es preciso confesar nuestra ignorancia y contentarnos con señalar el problema de las *singularidades de sitio* o de *microclima* propiamente dicho.

Datos sísmicos

Cualquiera admitirá sin dificultad que son indispensables providencias para edificar en zonas sometidas a terremotos. El problema se inicia con la determinación de las zonas sísmicas, puesto que el hombre es harto olvidadizo de las catástrofes, que no se reproducen sino al cabo de largos intervalos.

Partiendo de antiguas crónicas y de registros de la época contemporánea, se ha trazado el mapa sísmico de España, en el que se viene a los ojos que hay regiones en las que el peligro de concusiones sísmicas no es despreciable, llegándose al grado VIII de la escala de Mercalli (nundimiento de edificios de fábrica). Las zonas más castigadas son las del valle del Guadalquivir, Cádiz, Málaga, Granada, Murcia y Badajoz.

Datos diversos

Nos limitamos a citar las nieblas salobres y los rociones en el rompiente del mar.

Datos acerca del suelo local

Creemos que no hay necesidad de insistir sobre el insoslayable conocimiento de las características del suelo encima del cual se va a edificar. Tales características deben ser conocidas temprano para que no constituyan una sorpresa que obligue a trastornar el proyecto o a adoptar métodos técnicos onerosos.

Los sistemas de exploración de terrenos pueden consultarse en los tratados de Geotecnia.

DATOS EXTERIORES NO NATURALES

Estos datos corresponden a las condiciones creadas en las aglomeraciones por la presencia y la acción del hombre. A diferencia de las condiciones naturales son, por una parte, cambiantes y, por otra, siempre hay posibilidad de actuar contra ellas.

Los principales son:

— *El nivel acústico exterior*, resultante del tráfico aéreo y del transporte por carretera y por vía férrea. Este nivel varía sin cesar: el desahorro y auge de los transportes lo aumenta, en particular, en las calles de intensa circulación o como consecuencia de la puesta en servicio de aviones más ruidosos. Pero puede también bajar fortuitamente o con propósito deliberado: la anulación de un aeródromo deja en silencio zonas enteras, de igual modo que el cierre de una calle de tránsito pesado o la apertura de una desviación. Con medidas reglamentarias cabe o cabría suprimir los claxons, los escapes ruidosos y no data de ayer la supresión del alboroto nocturno.

La fluctuación de los datos no facilita la solución. De ahí que hagamos votos para que, al fin, los planes de urbanismo especifiquen el nivel máximo tolerable en las diversas zonas de aglomeración y que, en su aplicación, las autoridades extremen el celo en negar el permiso a toda realización que ponga en peligro de transgredir el máximo.

— *La polución atmosférica* que resulta de las combustiones (calefacción, motores) y de las industrias (química, energía nuclear). Esta polución ha ido en aumento desde hace un siglo. Pero las providencias reglamentarias que se han tomado o que se pueden tomar son capaces de mejorar la situación de un modo espectacular, y otro tanto ocurre con las modi-

fificaciones de la propia industria. Aquí, también, se trata de temas de urbanismo.

Citemos, para agotar la cuestión, algunos *datos luminosos*, de diferente carácter: reflejos del sol en fachadas espectaculares (o simplemente muy blancas), deslumbramiento o intermitencias en anuncios luminosos, faros de automóviles, etc.

Estos diversos datos exteriores deben ser anotados por el constructor, quien así estará seguro de no haber prescindido de nada.

Por el contrario, tendrá que respetar las exigencias que formule la colectividad respecto a su construcción, a fin de que ésta no agrave los datos exteriores, llevándolos allende de la medida admisible.

Las exigencias de la colectividad para el edificio son:

- 1) no emitir ruidos de intensidad excesiva;
- 2) no contaminar el aire allende el límite fijado;
- 3) no producir fenómenos luminosos molestos;
- 4) respetar las reglas locales sobre evacuación de aguas sucias, de desperdicios orgánicos y de toda clase de basuras.
- 5) no perturbar el servicio de las redes que alimentan la casa con los diferentes fluidos y, por encima de todo, no ensuciar la red de abastecimiento de agua potable y no desequilibrar la distribución de electricidad.

Título II

ALGUNAS CIENCIAS DE LA HABITABILIDAD

CAPITULO IV

LAS EXIGENCIAS HIGROTÉRMICAS Y LAS CONDENSACIONES ⁽¹⁾

No entra en nuestra intención dar aquí la exposición de los conocimientos necesarios en los diversos sectores de la habitabilidad fisiológica, esto es: el asoleo, la higrotermia y la ventilación, la acústica, la iluminación y la estabilidad de las construcciones, exposiciones que se hallarán en los tratados de las especialidades respectivas.

La habitabilidad fisiológica exige satisfacer las exigencias fisiológicas del hombre que permanece en un local, a despecho de las condiciones exteriores, las poluciones y las molestias de la presencia misma del hombre.

Para resolver el problema así planteado, es, ante todo, indispensable conocer los datos exteriores, dado que, de una manera completamente general, estos datos exteriores intervienen en la realización de las condiciones interiores.

Aquí no se da una necesidad ineluctable, sino una situación de hecho.

Todas las soluciones hasta hoy empleadas para llevar a cabo una construcción acusan una influencia de las condiciones exteriores.

Los muros perimetrales no son tan perfectamente alérganos o insonoros que nos permitan dejar de lado la temperatura del aire exterior o la radiación solar o el nivel acústico.

El aire que respiramos en nuestros locales no procede de fábrica, sino que se toma del exterior, y no podemos desinteresarnos de su polución.

Al contrario, las soluciones que merecen calificarse como *baratas*, que son las que, en la práctica, aplicamos al presente para satisfacer las exigencias fisiológicas, quedan bajo la estricta dependencia de las condiciones exteriores. Es, pues, una condición indispensable para el estudio de un proyecto de edificio el conocer con precisión los datos exteriores, a los cuales estará sometida la construcción.

⁽¹⁾ Redactado con la colaboración de M. Crousier, Jefe de la División Higrotérmica del C.S.T.B. y de M. Jambertier, Ingeniero del C.S.T.B.

En el capítulo precedente, hemos hablado de las condiciones exteriores que son naturales o que son consecuencia de la presencia del hombre. Al amparo de las ciencias de construcción y de reglas de calidad, vamos sólo a dar, mediante algunos ejemplos, la demostración de que la *habitabilidad se juzga y se calcula*.

LA NOCIÓN DE BALANCE

Para muchas exigencias fisiológicas, la respectiva satisfacción de las mismas resulta un asunto de balance.

Un elemento benéfico se produce y se consume; el nivel de comodidad depende del balance entre producción y desaparición.

Un elemento perjudicial se produce y se elimina: aquí también el balance es significativo.

Esta noción de balance es capital en higrtermia y en ventilación: constituye la manera óptima de captar el conjunto del problema en dicho campo.

En higrtermia, cabe considerar dos balances: el de las calorías y el del agua.

El balance de las calorías en invierno

— Se trata de un balance a dos niveles: en primer término, el balance del hombre y, después, el balance del local. Ambos acusan cierto paralelismo.

Para que el hombre goce de bienestar térmico, es preciso que los cambios de calorías a través de su epidermis se sitúen en un determinado horcajo. En invierno, nos interesa la cifra máxima de estos valores de cambio. Si, en efecto, la salida de calorías del cuerpo hacia el exterior es demasiado acentuada, se tiene sensación de frío.

En vez de fijar el valor máximo admisible de esas pérdidas de calorías, en el capítulo precedente hemos expresado la exigencia, en temperatura resultante (que integra los efectos de conservación y de radiación), lo cual resulta equivalente: para la comodidad de un hombre en paños menores e inmóvil, hace falta que la temperatura efectiva alcance los 22 grados.

El balance del local es el siguiente:

Ciertos elementos transmiten calorías hacia el local:

— aparatos emisores de calor;

— aparatos que eventualmente emiten calorías (cocina, calentador de agua, subidas de humos, etc.);

— habitantes que desprenden calor animal;

— por fin, muros, tabiques, suelos que emiten calorías, porque, de momento, están más calientes que el aire ambiente (emisión por convección) o los paramentos de enfrente (emisión por radiación).

Otros elementos absorben calorías:

— ventilación que trae aire frío y expulsa aire caliente;

— muros, tabiques, suelos, que, en un momento dado, están más fríos que el aire ambiente o los paramentos de enfrente.

La determinación, en cada instante del estado térmico de un local con paredes dotadas de inercia, sometidas a datos exteriores variables, es un problema difícil, que se ha resuelto teóricamente de un modo completo, mediante la introducción de ciertas hipótesis simplificadoras, y, prácticamente, con auxilio de computadoras analógicas.

Pero del simple hecho que la emisión o absorción de calorías es función unívoca de la temperatura interior, se deduce que, en cada instante, una sola temperatura interior es capaz de equilibrar el balance de entradas y salidas de calorías.

Para actuar sobre esta temperatura de equilibrio, hay que operar sobre uno de los términos del balance: aumentar la emisión y disminuir la pérdida produce un aumento de temperatura interior y viceversa.

El balance de calorías debe estar equilibrado, no sólo en el conjunto del local, sino también en cada parte del mismo y, con más exactitud (puesto que se trata, en parte, de un equilibrio por radiación) para cada superficie elemental, cualesquiera que sean su orientación y posición, suponiendo su coeficiente de absorción igual al coeficiente medio de absorción del hombre.

El balance de las calorías en verano

El problema del verano se presenta exactamente igual al del invierno, cuando se dispone de un generador de frigorías y se trueca el vocablo *caloría* por el de *frigoría*, en todo lo expuesto.

Si no se dispone de un generador de frigorías, resulta imposible dominar la temperatura interior. Esto es exacto en régimen permanente, pero no lo es en caso contrario. Los muros pueden desempeñar el papel de emisores de frigorías a ciertas horas y de emisores de calorías en otras.

Si la temperatura exterior presenta un salto no despreciable entre el día y la noche (y si, por otra parte, el mínimo nocturno no queda muy alejado de la temperatura confortable), es posible proceder de la manera siguiente, empleando *muros ad hoc*: Por la noche, ventilación del local con todas las ventanas abiertas; los muros se enfrían. Por la mañana, desde el momento en que la temperatura del aire exterior excede de la temperatura superficial de los muros, se cierran los vanos del local, tanto a la ventilación (bajo reserva de mínimo) como a la radiación. Los muros emiten frigerías desde que el aire o los paramentos confrontantes están más calientes que aquéllos, y, de esta guisa, moderan la temperatura dentro del local.

¿Cuáles son las condiciones para la óptima mejora? Disponer de muros que absorban y liberen la mayor cantidad posible de calorías, en el momento oportuno. Por consiguiente, muros macizos, diatérmicos, con gran superficie de contacto con la atmósfera.

Al mismo tiempo, es evidente que precisa disminuir las aportaciones y, por tanto: extremado aislamiento de los muros perimetrales y de las techumbres, pintura blanca en los haces exteriores, quitasoles en muros y azoteas, protección de los huecos para reducir el paso de la energía solar. Todo esto, ya hace tiempo que se ha dejado por sentido, pero suelen olvidarlo o ignorarlo los constructores.

El balance del agua

Es, sin duda, menos conocido el *balance del agua*.

Entre las exigencias higrotérmicas, hemos señalado el deseo de que los paramentos de nuestras viviendas estén secos. Esto significa que el agualluvia no ha de rezumarse en ellos, por traspaso, pero no es esto lo que queremos examinar aquí. Esto significa también que el vapor de agua no se condense en la superficie de los muros, es decir, que no haya *condensaciones*. La exigencia de durabilidad tiene como corolario, en numerosos sistemas constructivos, que los muros estén secos.

¿Cuál es el mecanismo de estas *condensaciones superficiales*?

EL PUNTO DE ROCÍO

El aire contiene vapor de agua, cuyo peso por metro cúbico o la presión parcial vienen limitados, a una temperatura dada, por un peso y una presión de saturación.

El diagrama psicrométrico da la representación de los pesos de saturación en función de las temperaturas. Si, a una temperatura dada, el peso

de vapor por metro cúbico no es más que una fracción del peso de saturación, esta fracción se llama porcentaje o grado de humedad relativa.

En el diagrama se representan las curvas correspondientes a porcentajes determinados de humedad relativa (fig. 1).

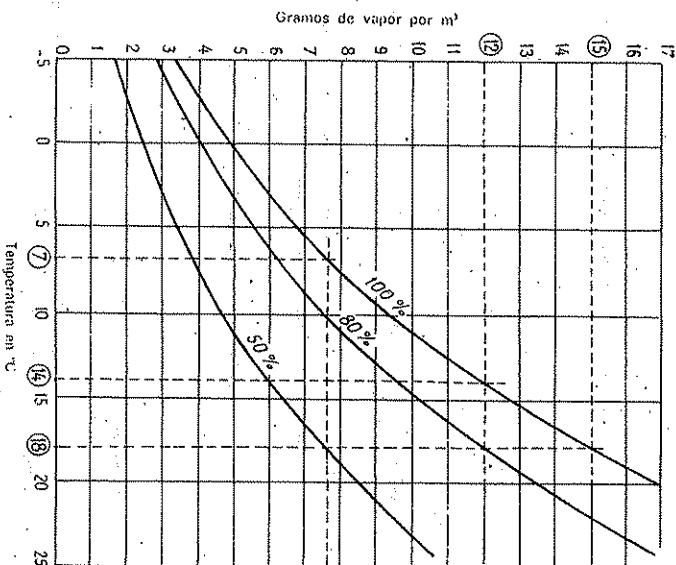


Fig. 1.—Diagrama psicrométrico.

El enfriamiento de una masa de aire saturado produce la condensación de un peso de agua igual a la diferencia entre el peso de saturación del agua a la primera y a la segunda temperatura.

Si se enfría el aire no saturado, el porcentaje de humedad relativa irá creciendo hasta alcanzar la temperatura para la cual el peso de agua contenida en el aire es el peso de saturación. Esta temperatura se llama *punto de rocío* para la mezcla de aire y de vapor de agua considerada.

Si la temperatura cae por debajo del punto de rocío, hay condensación. El aire húmedo contenido en un aposento se enfría rara vez en su masa; esto apenas puede ocurrir por mezcla con aire más frío. Se observa entonces una neblina de minúsculas gotas. Pero lo que suele acon-

tecer es que, al contacto con los paramentos fríos, es decir, cuya temperatura superficial es inferior al punto de rocío, se producen las condensaciones.

LA TEMPERATURA DE LOS MUROS EXTERIORES

Vamos a situarnos en el caso de que el muro no emita calor, es decir, en que esté calentado por el aire y la radiación interior y se enfría por su haz exterior.

Sabido es que cabe admitir para los cambios térmicos en esas condiciones que la temperatura del aire interior T_i y la temperatura θ_i del paramento interior quedan ligadas al flujo térmico por la relación: $Q = h_i(T_i - \theta_i)$ en la que h_i llamado coeficiente de cambios superficiales interiores, tiene un valor normal de kcal/m²/h/°C.

El flujo a través del muro es función lineal del inverso de la resistencia térmica y de la diferencia de temperatura entre ambos haces:

$Q = \frac{1}{R}(\theta_i - \theta_e)$ y la resistencia térmica R es tanto mayor cuanto más débil es el coeficiente de conductibilidad λ y mayor el grueso e del muro $R = \frac{e}{\lambda}$, o sea, $Q = \frac{e}{\lambda}(\theta_i - \theta_e)$.

Por fin, los cambios en el paramento exterior son: $Q = h_e(\theta_e - T_e)$ siendo h_e función del viento. Se toma, de ordinario, igual a 18.

T_e es la temperatura del aire exterior o, si hace sol, la temperatura aire-sol equivalente. La temperatura aire-sol es una temperatura exterior ficticia T_e tal que el flujo $\frac{1}{K}(T_i - T_e)$ sea igual al flujo real. Se establece que $T_e = T_e + \frac{\alpha R}{h_e}$ donde α es el coeficiente de absorción del muro y R la radiación por él recibida.

De las tres anteriores expresiones del flujo Q , se deduce primero, en régimen permanente, la expresión del flujo en función de la oscilación de temperatura.

$$T_i - \theta_i = \frac{Q}{h_i}$$

$$\theta_i - \theta_e = Q \frac{\lambda}{e} \quad \text{por adición dan } T_i - T_e = Q \frac{1}{\lambda} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e}$$

$$\theta_e - T_e = \frac{Q}{h_e}$$

Introduciendo el coeficiente K , definido por $Q = K(T_i - T_e)$, se obtiene $\frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e} = \frac{1}{K}$; K se llama coeficiente de pérdida calorífica por unidad de superficie y suele expresarse en kcal por m² y hora.

Por ser $h_i = 7$ y $h_e = 18$, $\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} = 0.20$. Luego $\frac{1}{K} = 0.20 + \frac{e}{\lambda}$.

De las fórmulas que anteceden podemos deducir una expresión de θ_i :

$$\theta_i = T_i - \frac{K}{h_i}(T_i - T_e)$$

Repetimos que todo esto sólo es válido en régimen permanente.

Señalemos, además, que la ecuación $Q = \frac{\lambda}{e}(\theta_i - \theta_e)$ no es, exacta más que si el paramento considerado es de dimensión infinita en su plano y cuyas características son idénticas en todos los puntos de un plano paralelo a los haces.

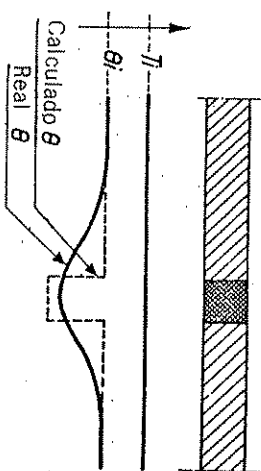


FIG. 2.

Ahora bien, nuestros muros reales no sólo son limitados sino que ofrecen puntos singulares: pies derechos, jambas de vanos, entregas de suelos, etc., que son de naturaleza diferente de una pared normal. Lo corriente es que dichos elementos estén formados por materiales menos aislantes que el espesor del muro; constituyen puntos débiles en el aislamiento térmico.

La distribución de las temperaturas interiores en los puntos débiles no presenta la discontinuidad brutal que resultaría de aplicar la fórmula $\theta_i = T_i - \frac{K}{h_i}(T_i - T_e)$, dado que hay cambios térmicos laterales entre el muro aislante y el elemento diatérmico.

Estos cambios producen un doble efecto:

— Elevan la temperatura θ_i en el punto débil.

— Aumentan el coeficiente K. es decir, la pérdida térmica.

— Ejercen, pues, un efecto favorable desde el punto de vista de las condensaciones, pero desfavorable para el balance térmico.

El punto débil puede venir caracterizado por la razón ρ_m de la oscilación de temperaturas entre el aire y el paramento, en el punto más frío del punto débil, en sección ordinaria.

$$\rho_m = \frac{T_i - \theta_i \text{ mínimo}}{T_i - \theta_i \text{ corriente}}$$

El coeficiente ρ_m es una constante característica del punto débil.

Se tiene, pues,

$$T_i - \theta_i \text{ mín} = \frac{K \rho_m}{h_i} (T_i - T_e)$$

HUMEDAD DEL AIRE

Si ahora determinamos el grado de humedad del aire interior, estaremos en condiciones de decir si habrá o no condensación.

Este grado de humedad es el resultado de un balance entre la producción de agua en el local y su eliminación.

La producción de agua varía según la naturaleza de la construcción.

Al contrario, su eliminación se hace siempre igual: mediante la ventilación. Estudiaremos aquí el caso de la vivienda.

PRODUCCIÓN DE AGUA

La vida del ser humano va acompañada de un incesante desprendimiento de vapor de agua; en nuestros climas, este desprendimiento se efectúa, en esencia, por la vía respiratoria: el aire espirado es más húmedo que el inspirado. El desprendimiento de agua, función de la temperatura y del trabajo efectuado, varía entre menos de 50 g/h y 300 g/h o más. En las condiciones ordinarias de habitación, se puede decir que un hombre emite un peso de vapor de agua del orden de 1 kg por día.

Las actividades de la vida de familia producen igualmente cantidades importantes de vapor de agua, a veces durante varias horas seguidas.

Una comida (cocción y lavado de la vajilla) produce de 1 a 1,5 kg de vapor de agua (por evaporación de agua caliente o hirviendo).

Una colada (excluido el secado) produce unos 2 kg. El secado de la ropa supone la producción de varios kg de agua.

Hay que observar que toda operación de secado consiste en una transformación de agua líquida en vapor de agua y representa la emisión de un peso de vapor de agua igual al del agua que debe quitarse a la ropa para secarla.

La combustión del gas en aparatos no conectados a conductos de evacuación produce una difusión importante de vapor de agua en la pieza: 900 g por m³ de gas del alumbrado.

Es preciso señalar que, al contrario del desprendimiento de vapor de agua por el individuo, las emisiones debidas a las actividades caseras son discontinuas.

En total, para una familia de 4 personas, admitimos las cifras siguientes:

— Producción punta de 1 kg de vapor de agua por hora en una cocina o un cuarto de aseo, durante un tiempo de 2 a 3 h.

— Producción media de 0,3 kg por hora en el conjunto de la vivienda.

Conviene observar que cuanto más hacinada está la vivienda, tanto más pobre resulta y hay que aumentar las cifras susodichas.

Se puede definir el carácter de la ocupación respecto al riesgo de condensación, dando la producción horaria media de vapor de agua referida al metro cúbico.

Una vivienda *burguesa* se caracterizará por una producción media de 2 g/m³-h.

Una vivienda congestionada: 8 g/m³-h.

Una vivienda social: 5 g/m³-h.

ELIMINACIÓN DEL VAPOR DE AGUA POR VENTILACIÓN

La ventilación elimina un volumen de aire interior y lo sustituye por aire fresco. Si p_i y p_e son los pesos de vapor por m³ de aire fresco, la renovación de un m³ por hora acarrea la eliminación de $p_i - p_e$ gramos de vapor de agua: $p_i - p_e$ es el poder desecante del aire exterior, para el ambiente interior.

Si V es el volumen del apartamento y N el número de renovaciones por hora (es decir, la razón del gasto de ventilación al volumen de la vivienda), la ventilación elimina: $NV(p_i - p_e)$ de vapor de agua por hora.

Para fijar las ideas, recordemos que N es, de ordinario, del orden de 1. V del orden de algunas centenas de m^3 y que $p_i - p_e$ varía de algunos gramos, en tiempo templado y húmedo a 15 g, en tiempo frío.

El poder de eliminación de la ventilación varía, por tanto, de algunos hectogramos por hora a algunos kilogramos.

Para evitar la condensación en los muros (excepto los cristales), como exige el ocupante, hemos de elegir un conveniente conjunto de disposiciones relativas al aislamiento de los muros, a saber: K y ρ_m , la temperatura interior T_i , o sea, la calefacción y la humedad del aire interior, o sea la ventilación. Las ciencias de la edificación nos permiten resolver nuestro problema y decir que la renovación de aire N debe ser tal que rebaje la cantidad de agua a un valor que cumpla la condición de que el punto de rocío correspondiente, en el diagrama psicrométrico, sea inferior a la temperatura $\theta_{im} = T_i - \frac{K\rho_m}{h_i}(T_i - T_e)$.

Exactamente, el incremento del agua al cabo de t horas es igual a $\frac{Q - NV(p_i - p_e)}{V}$ g/ m^3 , donde Q es el gasto de vapor.

El régimen permanente, es decir, gasto Q y renovación V constantes, y sin condensación, es decir, p_i inferior al peso de saturación correspondiente a θ_i , tenemos humedad constante, el incremento de humedad es nulo y se tiene: $N > \frac{Q}{V(p_{sat} - p_e)}$, donde p_{sat} es el peso de saturación correspondiente a θ_i , es decir,

$$N > \frac{u}{p_{sat} - p_e}$$

Vamos a ver que satisfacer con exactitud la exigencia en cualquier tiempo y lugar resulta muy difícil. Tomemos el lugar más expuesto, la cocina, con un desprendimiento de vapor de agua de un kg por hora, durante, a veces, 3 horas.

Con un aislamiento térmico perfecto $K\rho_m = 0$, es decir, $\theta_i = T_i$ y con la máxima calefacción, $T_i = 22^\circ$, no puede evitarse la condensación más que si la humedad es inferior a 19 g por m^3 . (En el caso de $\theta_i = T_i$, es evidente que la condensación se produciría tanto en el aire como en los muros.)

Si el volumen de la cocina es de 15 m^3 , el aire de la misma puede contener un máximo de 0,285 kg de vapor de agua. Dicho en otras pa-

labras, en este caso técnicamente perfecto, es indispensable una renovación de 4 volúmenes por hora para evitar las condensaciones.

Podríamos adelantar que, acaso, el vapor producido en la cocina se dispersa en el volumen total de la vivienda. Es posible que se produzca, pero es contrario a la exigencia olfativa de pureza de aire; si el aire de la cocina difunde en las demás piezas, los olores y los aerosoles grasientos también se esparcen por toda la vivienda. Esto es inadmisibles. Mantenemos, pues, $N = 4$ con aislamiento perfecto y temperatura de 22° .

Si volvemos a la realidad, pero una realidad excelente, por ejemplo, $K = 1$, $\rho_m = 1,2$, $T_i = 22^\circ$, resulta $\theta_i = 16,5$ y veremos que N debe ser igual a 6 para evitar las condensaciones, cuando al exterior hace un frío de -10° en forma continua.

Una construcción de calidad hoy admitida, con $K = 1,5$, $\rho_m = 1,5$ y $T_i = 18^\circ$, tendrá un θ_{im} de 9° en los puntos débiles y exigirá una renovación de aire $N = 10$.

Por fin, una construcción con puntos débiles importantes, con un $K\rho_m$ que exceda de 2,5, con mala calefacción ($T_i = 14^\circ$), debería tener una renovación de aire igual a 12.

Veremos, más adelante, que con el antiguo sistema de ventilación de las cocinas, a base de un orificio de ventilación en el suelo y otro en el techo, en tiempo de calma, el gasto de renovación no llega a 1. Es entonces imposible evitar las condensaciones en las cocinas, cual demuestran los hechos.

En los reglamentos de construcción, se admite que algunas condensaciones pasajeras puedan tolerarse en las cocinas: las pinturas de éstas y de las salas de baño han de ser aptas para soportar esas condensaciones; pinturas impermeables, a fin de evitar chorreadas, cabe establecer paramentos absorbentes: cielo raso de yeso o de isorel blando. Estas soluciones pueden ser causa de olores persistentes.

Pero hoy sabemos que la ventilación natural puede concebirse de una manera mucho más eficaz: ventilación del conjunto de la vivienda, con extracción por tubos en las piezas de servicio. En el período de calefacción, que es a la vez el período de los riesgos de condensación, la renovación del aire en la cocina por este sistema alcanzará $N = 3$ ó 4 para el caso de 4 piezas en las peores condiciones. Igual resultado cabe obtener con ventilación mecánica. De ahí que podamos afirmar que, con una ventilación moderna, una buena calefacción (22°), un perfecto aislamiento térmico, las condensaciones en la cocina pueden resultar realmente eventuales.

Hasta aquí, hemos prescindido del efecto de condensación en los cristales. Indicamos que era admisible, porque la ventana se construye para

recibir condensaciones; el agua de condensación se evacua al exterior por orificios previstos al efecto. Pero en tal caso, el agua en los cristales no puede eliminar cantidades considerables de vapor de agua y así reemplazar la ventilación insuficiente.

La cantidad de agua que puede condensarse sobre una determinada superficie de cristal, o gasto de condensación, es poca. Ello se debe a dos causas:

1) La condensación sobre el cristal rebaja la humedad del aire contrario al mismo, que ha cedido esta agua; es preciso que este aire se renueve y venga sustituido por aire más húmedo, para que prosiga la condensación.

2) La condensación desprende calor; cada gramo de agua condensada emite 580 calorías. El cristal se calienta y se difiere la condensación.

En efecto, un metro cuadrado de vidrio semidoble condensa 70 g por hora, cuando la temperatura interior es de 22°, la temperatura exterior de 0° y la higrometría del 90%. Esta evacuación es despreciable.

Subrayamos que sería razonable, para reducir los gastos de calefacción, mejorar notablemente el coeficiente de aislamiento de las vidrieras (vidrio doble), lo cual quita aún más interés a esta cuestión de la condensación en los cristales.

Estudiamos, ahora, el caso de un aposento, colocándonos, primero, en las circunstancias de una ventilación antigua: el cuarto, prácticamente, no está ventilado, si no hace viento. Durante el día, la humedad, en la hora punta de cocina, será el vapor producido en ésta y, por desgracia, difundido por toda la vivienda, cuyo volumen (fig. 4) es del orden de 175 m³.

La humedad alcanzada en una hora es de 6 g/m³; habrá condensación desde el instante en que θ_i sea inferior a 7.3°. Esta temperatura es alcanzada con facilidad, cuando no hay calefacción central, puesto que $\theta_i = 7.3^\circ$ corresponde, para $T_e = 0$ a $T_i = 9^\circ$ y, para $T_e = -10^\circ$, a $T_i = 12$ con un coeficiente K de 1.4 y a $T_i = 10^\circ$ y 13° para K = 2.1.

En el caso de un cuarto de 12 m³, donde duermen dos adultos, durante el sueño, el desprendimiento de vapor de agua por metro cúbico será de 3 g. La exhalación es continua. Si el dormitorio está mal caleado, por ejemplo, 5° para -10° al exterior, habrá condensación desde el momento en que la renovación de aire sea inferior a una vez por hora, con un $K_{0.90}$ de 1.5. Habrá condensación siempre que no haga viento, porque entonces la renovación es inferior a 1.

En un cuarto mal caleado es, por otra parte, poco verosímil que la renovación de aire no sea insignificante: los ocupantes del cuarto cierran todas las entradas de aire para evitar enfriamiento, dado que la renova-

ción de aire es de aire frío procedente del exterior de la casa. Por consiguiente, una pieza mal caleada tiene condensaciones, porque, con deficiente calefacción, ha de estar por fuerza mal ventilada.

Al revés, en el caso de una vivienda provista de un sistema de ventilación natural o mecánico, que da, sin la menor duda, una renovación por hora, los peligros de condensación debida a la respiración de los alojados son despreciables y los riesgos debidos a las horas punta de cocina son insignificantes, en iguales condiciones, si el coeficiente de aislamiento alcanza cierto valor, que depende, claro está, del clima de la región.

AISLAMIENTO INDISPENSABLE

En la página siguiente damos el cuadro de esos coeficientes, el cual, además, se ha construido también considerando la comodidad de verano, y que constituye la regla de calidad para el aislamiento de paredes, expuesta en forma física.

Las categorías de la vivienda son cualidades de ocupación: S, superior; M, mediana; 3°, mediocre o mala.

Respecto a estos coeficientes K corrientes, los puntos débiles deben tener $\rho_{0.90}$ inferiores a 1.5.

En la construcción llamada tradicional, es decir, con esqueleto de hormigón armado y conglomerados de hormigón o ladrillo hueco, las reglas de calidad precedentes no suelen ser respetadas. Entonces, hay que saber que ese *tradicional es malo*.

Para que sea satisfactorio es preciso:

- un ladrillo de cinco huecos con guarnecido exterior e interior, que da un K de 1.2 y un peso de 300 kg por m²;
- un conglomerado de hormigón de cinco huecos;
- un bloque de hormigón ligero de 25 cm (puzolánico, escoria dilata);
- un bloque de hormigón celular de densidad 0.6 en 20 cm, o de densidad de 0.8 en 25 cm.

Observemos que aquí tenemos una traducción tecnológica parcial de la regla de calidad.

Hemos elegido nuestro ejemplo para los períodos fríos. Las estaciones intermedias no dejan de aparecer riesgos, dado que si las temperaturas no son bajas, el poder desecante del aire puede hacerse muy débil. Ciertamente que, en tal caso, puede practicarse la ventilación por ventana abierta. Pero persiste el riesgo en locales mal ocupados.

y la del aire exterior

$$\rho_e = \rho_o \frac{273}{T_o}$$

en las que ρ_o es la masa a 0 grados.

La variación de presión de 0 a h se expresa por:

$$\Delta p_i = -h \rho_i = -h \rho_o \frac{273}{T_i} \text{ al interior}$$

$$\Delta p_e = -h \rho_e = -h \rho_o \frac{273}{T_e} \text{ al exterior}$$

Esta diferencia de variación de presión $\Delta p_e - \Delta p_i$ es el motor del tiro térmico; si se pone en comunicación el recinto con el exterior a los niveles 0 y h , se producirá a través de las aberturas un movimiento de aire tal que las pérdidas de carga, resultantes de estos movimientos a través de los orificios, permite escribir:

Pérdida de carga en 0 + Pérdida de carga en $h = \Delta p_e - \Delta p_i$. Este valor es igual a $h \rho_o \frac{T_i - T_e}{T_i T_e}$, que difiere poco de $0,44 h (T_i - T_e)$ expresado en pascals para h en metros (0,004 en mm de agua).

Así, el tiro térmico entre la entrada y la salida de una ventilación de cocina ($h = 2$ m, $T_i - T_e = 15^\circ$) es de 1,2 pascal ó 0,12 mm de agua.

A la altura de un tubo de un inmueble de 20 m de altura, será de 12 pascals ó 1,2 mm de agua.

ACCIÓN EÓLICA

La presión del viento se expresa por $\frac{V^2}{1,6}$ que, si V se mide en m/s, da la presión en pascals.

Dicha presión vale $C_s \frac{V^2}{1,6}$, siendo C un coeficiente comprendido entre + 0,8 y - 0,5, para un paralelepípedo rectangular, correspondiendo la presión máxima al centro de una fachada normal a la dirección del viento y la depresión máxima al centro de la fachada a sotavento.

Como presión media anual, puede tomarse 9 pascals.

Los vientos de presión superior a 50 soplan durante el 10 % del tiempo
 » » » » a 110 » » » 1 %
 » » » » a 190 » » » 0,1 %

El valor máximo alcanzado es del orden de 500 pascals.

Lo primero que es preciso considerar es la preeminencia de la acción del viento sobre el tiro térmico y también la enorme variabilidad de la misma (en intensidad tanto como en dirección).

El problema de la ventilación natural estriba en hallar un sistema que asegure la mínima renovación sin viento y que no exceda la máxima con viento.

Se comprende que esto lleve a aprovechar la fuerza escasa, pero constante, del tiro térmico y a limitar la acción eólica. En verdad, el tiro térmico no existe más que si se caldea. Pero en los periodos sin calefacción, la ventilación puede conseguirse abriendo las ventanas y su funcionamiento se hace diferente por completo.

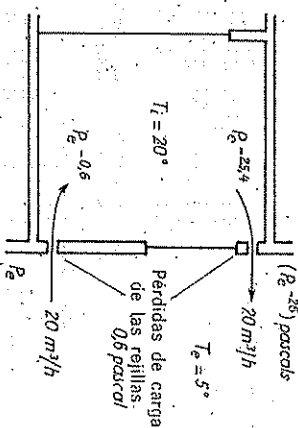


FIG. 3.—Tiro térmico en una cocina.

¿Cómo funciona, en realidad, la ventilación en una antigua vivienda colectiva, es decir, sin tubos de aireación, y sólo con dos agujeros arriba y abajo en la cocina?

El tiro térmico entre orificios, para 5° al exterior y 20° al interior, es de 1,2 pascal.

Las pérdidas de carga de entradas y salidas de aire pueden tomarse iguales a 0,6 pascal para un gasto de $20 \text{ m}^3/\text{h}$ (rejilla ligeramente engastada). En teoría, pues, se va a establecer en la cocina un gasto de $20 \text{ m}^3/\text{h}$, estando, en promedio, la cocina en equilibrio de presión con el exterior cuando la presión interior es de 0,6 pascal inferior a la del exterior, en el nivel bajo y de 0,6 pascal superior, en el nivel alto (fig. 3).

Pero en realidad, las cosas ocurren de otro modo:

Supongamos un viento de cara contra la fachada de la cocina: la sobrepresión en esta fachada y la depresión en la fachada opuesta tienen tendencia a crear una ventilación a través de todo el edificio. El gasto

de esta ventilación viene regulado por las pérdidas de carga de las ventanas de la fachada opuesta, de los orificios y ventanas de la fachada de la cocina y por las pérdidas de carga de las puertas interiores.

Si, por ejemplo, la velocidad del viento es de 2 m/s, cosa que ocurre durante el 80 % del tiempo, la sobrepresión en la fachada de la cocina es de 2 pascals y la depresión en la fachada opuesta es de 1,25 pascals. La diferencia de presión motriz es de 3,25 pascals. El régimen se establecerá con un gasto transversal de unos 55 m³, repartidos a la entrada en: 0 para la rejilla alta, 10 m³ para los resquicios de la ventana y 40 m³ para la rejilla baja (pérdidas de carga: 0,8 pascal en la rejilla baja, promedio de 0,4 en la ventana, 0 en la rejilla alta).

La pérdida de carga en la puerta interior será de 1,4 y la correspondiente a la ventana de salida también 1,4 (fig. 4).

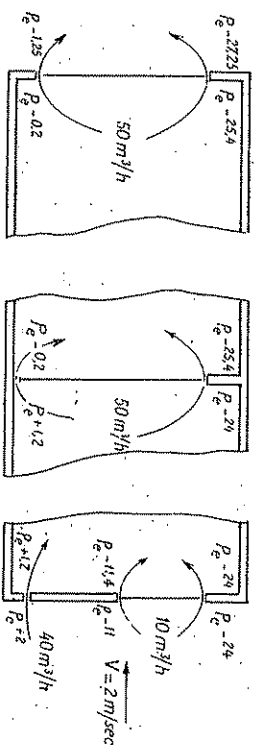


Fig. 4. — Tiro provocado por el viento a través de una vivienda.

Se ve que ya no hay ventilación de arriba abajo en la cocina, pero sí a través de la vivienda, con transporte de olores y de vapor de agua hacia los locales vivideros.

El sistema clásico de ventilación de las cocinas resulta ilusorio.

En la realidad de una vivienda colectiva, los fenómenos se complican por la existencia de la caja de escalera y del hecho que las puertas de los rellanos son poco estancas. Los apartamentos quedan así en comunicación unos con otros a través de los pasos, con escasa pérdida de carga, de las puertas de piso, por la caja de la escalera, que tiene su propia temperatura, en general intermedia entre la de los apartamentos y la exterior, y que además comunica con el exterior de manera más o menos directa. Si tenemos en cuenta aun que los efectos del viento son también función de la altura, imaginaremos fácilmente que algunas viviendas pueden estar en depresión respecto a la caja de escalera y otras en sobrepresión. De ordinario, son los pisos altos los que están en depresión y los bajos en sobrepresión. Esto explica un fenómeno muy conocido: el estado de la portera perfuma la escalera.

El establecimiento de una ventilación natural correcta exige:

- 1) que se aproveche lo mejor que sea posible el tiro térmico, empleando tubos de sección holgada;
- 2) que se dominen las entradas de aire, es decir, que se reduzca el efecto del viento a los límites admisibles: puertas de piso herméticas, igual que las ventanas, entradas de aire de sección menores que las hoy toleradas y provistas de dispositivos autorregulables en los sitios expuestos al viento;

- 3) que se aproveche el viento para aumentar el tiro en los tubos de ventilación, merced a un aspirador estático. Pueden fabricarse capaces de crear un tiro superior a $\frac{V^2}{1,6}$ pascals, prácticamente cualquiera sea la inclinación del viento.

Cabe así conseguir que, en el conjunto de la vivienda, la ventilación no sea transversal y tenga efecto siempre del exterior hacia los tubos.

Logrado esto, es claro también que la corriente de aire debe ir de las piezas menos vitadas a las de mayor polución o, dicho de otro modo, de las piezas de vivir (estancia, dormitorio) a las piezas de servicio (cocina, W. C., cuarto de aseo). Así se evitan los olores ingratos y las condensaciones.

Si se observa que el volumen de los locales de servicio es menor que el de los de vida diurna y nocturna, caeremos en la cuenta de ser posible en aquellos una renovación de aire superior a la de éstos.

En una vivienda de 4 piezas, con 4 entradas de aire que, en promedio dé, cada una, 30 m³/m, podremos tener 60 m³ de salida por la cocina, esto es, una renovación N igual a 4, repartíendose los otros 60 m³/h entre el cuarto de aseo y el W. C.

El problema de la igualdad de tiros en las salidas de aire de los pisos superpuestos, al mismo tubo, queda bastante resuelto con la adopción de tubos de pérdida de carga total reducida (0,15 pascal) y buenos aspiradores estáticos.

Así, quedan conocidos los fenómenos que rigen la ventilación natural y descritas las soluciones racionales, dejando atrás el empirismo.

LA MOLESTIA DE LAS ENTRADAS DE AIRE

Harto sabido es que las clásicas entradas de aire en las viviendas son a menudo ocultas por los ocupantes, porque son causa de corrientes de aire frío insupportables.

La molestia de las entradas de aire ha sido computada, la exigencia correspondiente establecida (cap. II) y descritos los medios que aseguren una ventilación sin molestias. Todos ellos se fundan en los mismos principios: caldeo del aire admitido por las entradas, colocando éstas de manera que la corriente pueda lamer una superficie calorífera (radiador, suelo radiante) o mezclarse con aire caliente (radiador).

Una solución perfecta desde este punto de vista consiste, dicho se está, en ventilar con aire caliente procedente de un calefactor, tanto si esta entrada sea consecuencia de la calefacción o que por sí constituya dicha calefacción.

LA HUMECTACION DE LAS PAREDES POR EL FENOMENO DE CONDENSACION EN LA MASA ⁽¹⁾

CAPITULO V

La exigencia de durabilidad, tanto si se trata de la estabilidad o de las cualidades térmicas, impone, en muchas soluciones, que el material que forme las paredes, perimetrales permanezca seco.

En particular, con los nuevos métodos de construcción, se ha procurado repartir las diferentes funciones de la pared (estanquidad, aislamiento, resistencia mecánica) entre los materiales que la integran: el haz exterior de estas paredes es, en general, impermeable al agua líquida y no han de cumplir tal condición los materiales situados en el interior de las mismas. Puede, entonces, parecer posible el empleo de materiales con cierta susceptibilidad al agua, siempre y cuando no queden humedecidos por condensaciones en su masa.

Vamos a estudiar este fenómeno de condensación en la masa y demostrar que, a la noción vaga y antropomórfica, *a menudo sentimental*, del muro que respira, cabe oponer el conocimiento científico de los fenómenos.

Recordemos que se puede asimilar la humedad relativa a la razón de la presión parcial del vapor en un momento dado a la presión parcial del vapor en saturación.

TEORIA DEL FENOMENO DE CONDENSACION EN LA MASA

Caso de una pared homogénea a temperatura uniforme

Consideremos, para empezar, el caso sencillo de una pared constituida por un material homogéneo seco y no higroscópico (fig. 5), que está a temperatura uniforme igual a la de los ambientes interior y exterior.

(1) Redactado con la colaboración de M. Бакштейн, jefe de División del C.S.T.B.

Supongamos que esta pared separa dos ambientes de presiones parciales de vapor de agua en el aire P_i y P_e , siendo $P_i > P_e$.

La diferencia de presión $P_i - P_e$ provocará un movimiento de vapor de agua a través de la pared. Es el fenómeno llamado *difusión*, que sigue la ley de *Fick*, mientras no se deposite humedad en el grueso de la pared.

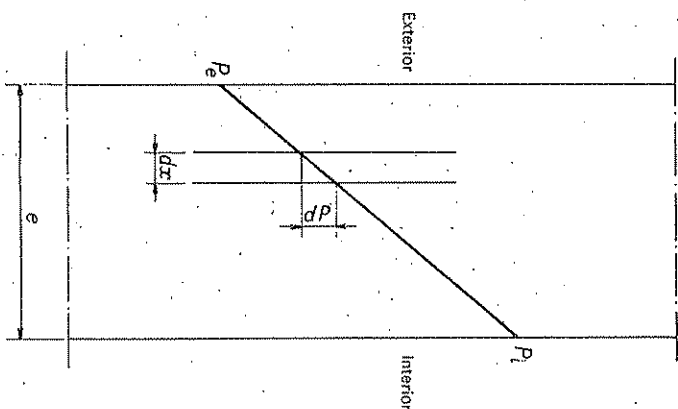


FIG. 5.—Variación de la presión parcial de vapor a través de un muro seco.

Esta ley dice que la cantidad de vapor de agua que se difunde a través de la unidad de superficie de la pared, en la unidad de tiempo, cantidad que designamos por *densidad de flujo de difusión*, es proporcional a la diferencia de presión $P_i - P_e$ e inversamente proporcional al espesor e de la pared:

$$g = \pi \frac{P_i - P_e}{e} \quad (1)$$

π es una característica del material que constituye la pared, a saber, la *permeabilidad* al vapor de agua; en primera aproximación, podemos considerarla como independiente de la temperatura. Si las previsiones se

expresan en mm de mercurio, el tiempo en horas y las dimensiones en metros, viene dado en g/mh mm Hg.

De hecho, la permeabilidad tiene dimensiones de velocidad y cabe expresarla de manera más sencilla, tomando como unidad de presión g/m², porque entonces π viene dada en m/h.

La razón $\frac{\pi}{e}$ corresponde a g/m²h mm Hg o en inverso de hora l/h; se refiere a una capa de espesor unidad del material homogéneo y se llama *permeancia* de la capa considerada.

Se puede observar la analogía entre permeabilidad π y conductividad λ y entre permeancia $\frac{\pi}{e}$ y conductancia $\frac{\lambda}{e}$.

Para un elemento de pared infinitamente delgado, de espesor dx , la ley de Fick toma forma de ecuación diferencial:

$$g = -\pi \frac{dP}{dx} \quad (2)$$

Como que supusimos que no se producía humedad en el interior de la pared, en tanto no se deposite humedad en ella, g se mantiene constante, de lo cual resulta que la presión de vapor disminuye linealmente de un haz a otro de la pared $\left(-\pi \frac{dP}{dx} = \text{const.} \right)$, pasando de P_i a P_e .

La variación de la presión parcial del vapor de agua en el interior de la pared y la cantidad de agua difundida a través de la misma pueden ser, en este caso, muy fácilmente determinadas.

Caso de una pared homogénea entre dos ambientes de temperaturas diferentes con depósito de humedad

Otras consideraciones van a permitirnos indicar cómo varía la presión parcial P en el interior de la pared, cuando hay depósito de humedad en ella.

Una condición previa, a la que debe obedecer la presión P , es que, en todo punto de la pared, no puede ser más que inferior o igual a la presión de saturación P_s a la temperatura del punto considerado.

$$P \leq P_s \quad (3)$$

Habiendo admitido que no hay producción de humedad en el interior de la pared, la densidad de la corriente de difusión g puede ser constante

(caso anterior) o disminuir, pero en ningún caso, puede aumentar. Esta condición puede expresarse por

$$\frac{dg}{dx} \leq 0 \quad (4)$$

Hemos visto en el caso precedente que, en tanto $P < P_s$, no había depósito de humedad y que, por consiguiente, g era constante; las condiciones precedentes (1) y (2) son susceptibles de escribirse de manera más precisa:

$$\begin{aligned} \text{si } P < P_s, \quad \frac{dg}{dx} &= 0 \\ \text{si } P = P_s, \quad \frac{dg}{dx} &< 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Sean θ_1 y θ_2 las temperaturas en cada uno de los haces de la pared, que es posible determinar fácilmente de las temperaturas T_1 y T_2 de los ambientes de contacto con cada paramento y de la conductividad térmica del material, como hemos visto antes.

La temperatura en el interior de la pared varía linealmente de θ_1 a θ_2 . Conociendo la temperatura en cada punto, se deduce, con auxilio de tablas o diagramas (fig. 1), la presión de saturación del vapor de agua en cada punto, lo que permite trazar la curva P_s .

Spongamos que la recta $P_1 P_2$ corta a la curva P_s en dos puntos P_{s1} y P_{s2} ; una variación de la presión parcial según $P_1 P_2$ ya no es posible, dado que entre P_{s1} y P_{s2} , $P < P_s$. Se depositará agua en el interior de la pared, hasta rebajar P al valor P_s .

Vemos, pues, cómo establecer el diagrama de la presión parcial en el interior de la pared de tal suerte que se cumplan las condiciones (5). Se demuestra sin dificultad partiendo de un estado sin condensación y haciendo variar P_1 o P_2 , o θ_1 , o θ_2 que el régimen que se establece es el siguiente:

Partiendo de P_1 , la presión parcial P empieza por decrecer linealmente ($P < P_s$, luego $\frac{dg}{dx} = 0$), para acordarse tangencialmente en P a la capa de saturación P_s ; entre P_1 y P_s no hay depósito líquido, $P < P_s$ y $\frac{dg}{dx} = 0$ (g constante).

A partir de P' , $P = P_s$ hasta llegar a P'' , punto de contacto de la tangente trazada por P_s a la curva P_s ; entre P' y P'' se depositará agua

$$P = P_s \quad \text{y} \quad \frac{dg}{dx} < 0$$

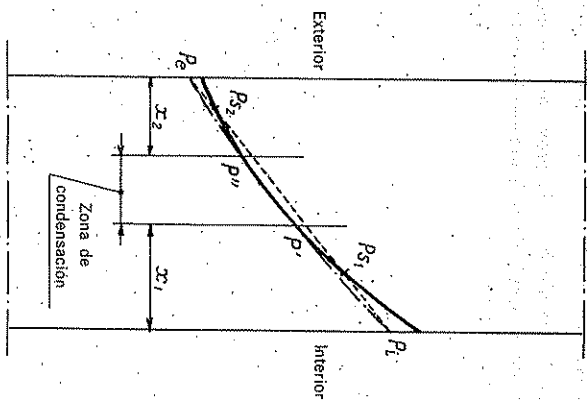


Fig. 6. — Estado de las presiones parciales en un muro, entre dos ambientes de diferente temperatura.

Alende P'' la presión del vapor vuelve a variar linealmente según $P'' P_2$, $P < P_s$ y no se deposita humedad $\frac{dg}{dx} = 0$.

$$Q = \pi \frac{P_1 - P'}{x_1} - \pi \frac{P'' - P_2}{x_2} \quad (\text{fig. 6})$$

Caso de una pared formada por dos capas de materiales de características diferentes (fig. 7 a 10)

Cuatro casos pueden contemplarse según la conductividad y la permeabilidad relativas de un material respecto al otro.

Del examen de las figuras se colige que los riesgos de condensación son escasos, si la capa exterior es más permeable que la interior (figs. 8 y 10) y tanto más cuanto más aislante es la capa exterior (fig. 10); en este caso, no hay que temer ningún peligro de condensación. Al contra-

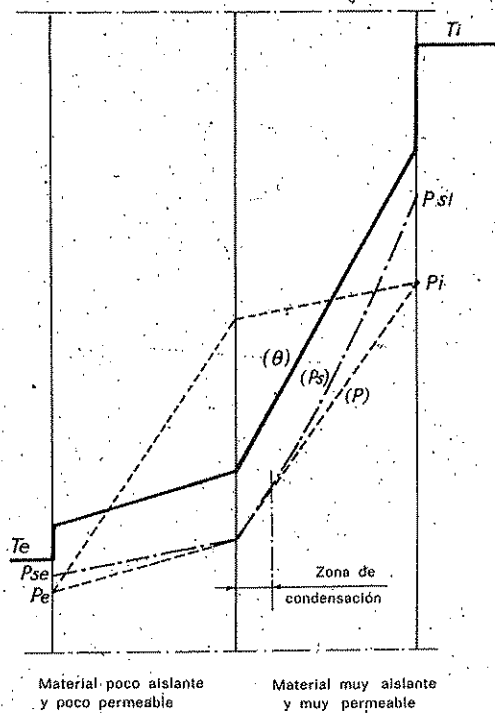


FIG. 7.

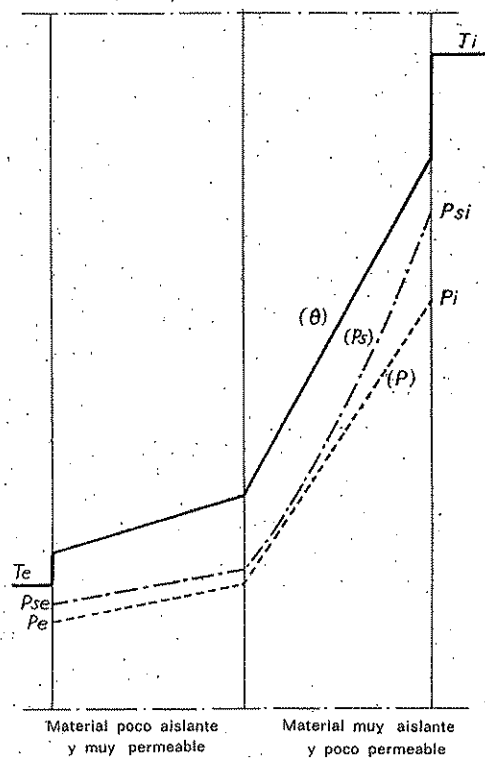


FIG. 8.

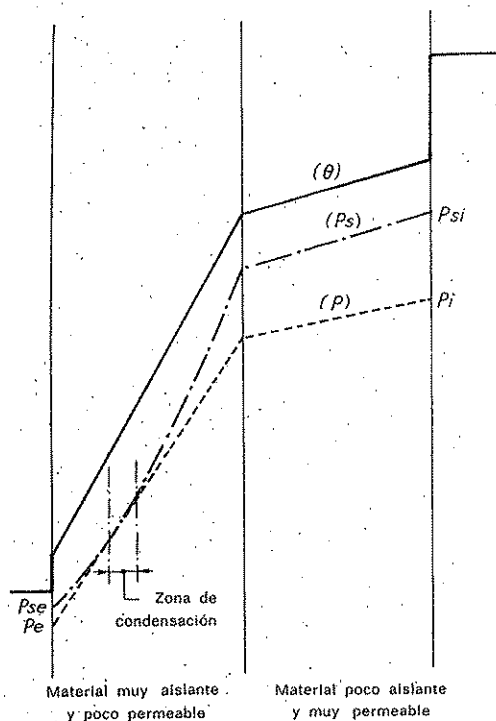


FIG. 9.

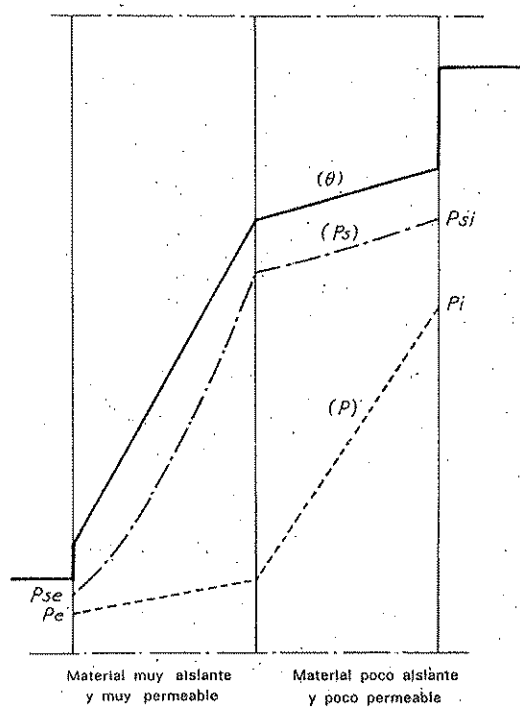


FIG. 10.

rio, en los casos en que la capa exterior es menos permeable que la interior (figs. 7 y 9), son probables condensaciones, e incluso seguras si, además, la capa exterior es menos aislante que la interior (fig. 7).

El método halla aplicación cuando la pared tiene más de dos capas de materiales homogéneos.

Hay ventaja en trazar los diagramas para una pared ficticia, en la que cada material no figure con su espesor real, sino con el inverso de su permeancia $\frac{e}{\pi}$. De este modo, una densidad de corriente de difusión constante se traduce por una recta sin quebranto al pasar de un material a otro, lo cual, en particular, permite la determinación sencilla del depósito de humedad.

CONDENSACION CAPILAR

Hemos supuesto que, en el interior de la pared, no había producción de humedad, pero de hecho, los materiales de construcción encierran cierta humedad, debida al fenómeno de condensación capilar.

Los materiales porosos, en equilibrio dentro de un ambiente de temperatura y humedad relativas determinadas, no están, en general, completamente secos.

En un poro, la presión capilar ejerce sobre el agua líquida una tensión que se opone a su evaporación, en atmósfera no saturada. La presión capilar es tanto más elevada cuanto más fino es el poro; a cada dimensión de intersticio corresponde un grado de humedad relativa, allende el cual el agua se condensa en él y este grado es tanto mayor cuanto más fino es el poro.

Un fenómeno de igual naturaleza se produce en los materiales fibrosos, quedando el agua retenida por adsorción sobre las fibras.

A cada humedad relativa del aire corresponde un grado de humedad de equilibrio y, para cada material se puede trazar un diagrama que relacione dicho grado de humedad en un ambiente a la temperatura y a la humedad de equilibrio del mismo ambiente.

El agua así contenida en el material o agua *higroscópica* puede trasladarse, en fase de vapor, bajo la acción de un gradiente de presión parcial y este movimiento viene a superponerse a los fenómenos de difusión.

Capilaridad

Desde el momento en que los fenómenos de condensación en la masa provocan un depósito de humedad en el interior de la pared, se crea un desequilibrio entre la concentración de la humedad de la capa de material donde se produce la condensación y las capas contiguas; este gradiente de concentración provoca un movimiento de agua, en fase líquida, que va de los sitios húmedos a los secos. Cada material puede ser clasificado, respecto a este fenómeno, por lo que se llama su *capilaridad*.

Este fenómeno se superpone al de difusión de vapor y tiende a reparar en la masa del material el agua que se condensa en un tarazon de este material y llega a modificar de manera sensible la distribución de la humedad, prevista en virtud de la precedente teoría.

Hemos supuesto que se establecía, en el interior de la pared, un régimen térmico permanente, es decir, que las temperaturas interior y exterior eran constantes. Pero la temperatura del aire exterior varía de un momento a otro del día, lo que influye, en las temperaturas del interior de la pared, en forma tanto más sensible cuanto menos inerte sea. Estas variaciones de temperatura van a modificar igualmente el equilibrio descrito, suponiendo el régimen permanente.

Materiales	Kcal/mh °C util	Permeabilidad al vapor g/mh mm Hg
— Cerámica	1,5	0,008
— Hormigón		
— Hormigón con áridos pesados	1	0,0036-0,0037
— Hormigón poroso	1 -1,2	0,0150-0,008
— Hormigón celular	0,2-0,3	0,027-0,011
— Yeso	0,4	0,013
— Morteros de guarnecido	1	0,008-0,0036
— Amianto-cemento: no comprimido	0,55	0,0020-0,0025
— comprimido	0,8	0,0010-0,0015
— Tablero de fibras minerales	0,035	0,07-0,05
— Madera (abejo)	0,10	0,006
— Tablero de fibras leñosas	0,055	0,025
— Corcho	0,037	0,016-0,003
— Materia plástica dilatada		
— Poliestireno 20 kg/m ³	0,032	0,001-0,002
— Poliestireno 15 kg/m ³	0,032	0,002-0,003
— Poliuretano		
— (celulas cerradas)	0,034	0,001-0,002
— Cloruro de vinilo	0,036	0,00007
— Urea-formol	0,0032	0,027

La teoría, por tanto, debe ser completada para tener en cuenta estos diferentes fenómenos, pero en la forma expuesta más arriba, permite prever de la manera más sencilla cuáles son las paredes en que es cierta la condensación en la masa, qué capas de la pared serán invadidas primero por esta condensación, y determinar los recursos adecuados para evitar el fenómeno en las paredes, donde pudiera ser perjudicial.

Una aplicación directa de ello se hace en los muros con cámara de aire ventilada, en los tableros sandwich y en la organización de azoteas.

Para terminar, en la página anterior damos un cuadro de coeficientes de aislamiento λ y de las permeabilidades de cierto número de materiales.

CAPÍTULO VI

LA HABITABILIDAD SOCIOLOGICA O ADAPTACION DE LA VIVIENDA A LA VIDA FAMILIAR

En el capítulo que antecede, hemos demostrado de qué manera la ciencia nos permite dominar problemas tales como los de las condensaciones y de la ventilación, a fin de prever construcciones que satisfagan plenamente a las exigencias.

Vamos a abordar una exigencia que proceda de muy otras disciplinas científicas y demostrar que aquí también la ciencia abastece al autor de proyectos, quien se sentiría culpable si ignorase los conocimientos que están, de hoy en adelante, a su disposición.

En la lista de exigencias del ocupante de un local de determinado destino, hemos consignado una exigencia general de adaptación del local a dicha finalidad, es decir, a su uso específico, que no radica tan sólo en que en él se pueda residir confortablemente, sino que también sea posible hacer allí aquello para lo que el local se ha construido.

Nos concretaremos aquí, en especial, a la vivienda, pero cabe desarrollar consideraciones homólogas para oficinas, obradores, escuelas, hospitales.

Lo que vamos a tratar ahora es, pues, la adaptación de la vivienda a su uso, que no es otro que el de albergar la vida del individuo y de la familia, durante las horas en que las personas no pertenecen a ninguna agrupación humana más que a la familia.

Este estudio de la adaptación de la vivienda a la vida del individuo y de la familia deriva de las ciencias humanas y, casi siempre, de la psicología y de la sociología.

Se trata de verdaderas ciencias, en cuya aplicación hay que sortear dos escollos. El primero, que amaga a los sociólogos, es el de limitarse

a consideraciones generales, en la exposición de los casos observados, sin intentar, dentro de lo posible, contribuir a resolver los problemas concretos que cada día plantea la construcción de alojamientos a los arquitectos y a los propietarios. El objeto de la ciencia radica en conocer para prever. Si en nuestro campo de actividad no fuéramos capaces de prever, la sociología de la vivienda carecería de interés para nosotros, los constructores.

El otro bajo, que amenaza, en especial a los no sociólogos, consiste en atribuir a la sociología posibilidades de previsión tan rigurosas como las de la física. El hombre es un sistema con un mínimo colosal de parámetros, tantos que nunca es susceptible de definición, ni siquiera de lejos. Su variedad es infinita. No cabe acercarse a la previsión de su comportamiento sino a través de recursos estadísticos, pero conviene desconfiar mucho de la aplicación abusiva que de la ciencia estadística hacen algunos expertos en ciencias humanas. Jamás hay que olvidar que los cálculos estadísticos descansan siempre, por lo menos, en dos hipótesis: la primera es que la magnitud que se pretende circuir estadísticamente exista en realidad; la segunda es que los datos que se introduzcan en el cálculo obedezcan a ciertas reglas de dispersión respecto a la magnitud: repartición gaussiana o, al menos, dispersión sometida a una regla. Hay que mediar sobre esto, antes de explicar métodos estadísticos refinados, pues, de lo contrario, como ocurrirá a menudo, el instrumento matemático conduce a resultados ridículos, porque no se ha asegurado la exactitud (o el grado de inexactitud) de las premisas.

Ha llegado el momento de definir algunas nociones.

Deseos, necesidades, motivaciones, funciones

Es preciso, ante todo, distinguir los *deseos*, es decir, la manifestación directa de las apetencias de los ocupantes respecto a su vivienda presente o futura.

Estos deseos son una resultante derivada por cada individuo de sus *necesidades* reales. Pero a menudo vienen a ser una torpe o inexacta traducción de las necesidades.

La misión del constructor estriba en satisfacer, no los deseos, sino las necesidades. Y el arte o la ciencia, como se quiera, del sociólogo, consiste en develar los deseos, de poner en claro las *motivaciones*, para remontarse a las necesidades.

En nuestro léxico habitual, estas necesidades no son más que *exigencias humanas*.

He aquí una lista incompleta de estas necesidades o exigencias:

- la necesidad de independencia de las personas o de los subgrupos de personas respecto a la familia total y, como corolario, la necesidad de separación topográfica de los lugares en que se realizan diversas funciones;
- la necesidad de poder, cuando se quiera, reunir toda la familia;
- la necesidad de apropiación del espacio por el individuo y por el grupo familiar;
- la necesidad de estar íntimamente satisfecho de su vivienda, por lo que atañe a la idea que uno se forma del alojamiento que se debe tener para vivir bien reputado y, como corolario, la necesidad de gozar de buena reputación;
- cubriendo ampliamente las necesidades anteriores, la necesidad general de adaptación de la vivienda al modo de vivir.

Vayamos ahora a las funciones:

Los individuos que componen la familia emplean el tiempo que pasan en su vivienda en una sucesión continua de actividades: comer, dormir, leer, oír la radio, ver la televisión, recibir a amigos, etc. Estas actividades son las que se clasifican en un número limitado de funciones.

Si se averigua dónde, cuándo y cómo los miembros de la familia se entregan a las diversas actividades o funciones de la vida familiar, se posee un cómodo documento que reproduce el comportamiento de la familia, que podemos llamar inventario o análisis funcional del modo de vivir.

El modo de vivir

La impresión funcional de los modos de vivir es objeto de críticas, porque resultaría una visión simplista de las cosas. Constituye también una visión simplista pretender que el inventario funcional diga más cosas de las que contiene. Con seguridad, el análisis funcional de un modo de vivir real no informa sobre los deseos ni sobre las necesidades y el inventario funcional del modo de vivir deseado nada dice sobre las motivaciones. Esto no es razón para dejar de emplear el análisis funcional como un sistema muy eficaz de anotar un modo de vivir, sin pretender explicarlo o juzgarlo.

El idioma funcional es también de cómodo empleo para exponer al arquitecto el programa de una vivienda. Solamente los arquitectos muy diuchos en sociología pueden recibir directamente un programa con expresión de las necesidades.

Damos aquí el cuadro de 18 funciones que parece cómodo considerar.

Funciones:

- | | |
|--|---|
| 1. <i>Dormir</i>
Padre
Madre
Otros adultos
Niños | 9. <i>Asearse</i>
Padre
Madre
Otros adultos
Niños |
| 2. <i>Comida</i>
Padres
Niños | 10. <i>Trastero</i> |
| 3. <i>Comida especial</i>
Domingo
Invitados. | 11. <i>Vestíbulo</i> |
| 4. <i>Recibir</i> | 12. <i>Ocios y distensión</i>
Padre
Madre |
| 5. <i>Guiar</i> | 13. <i>Juegos</i>
Niños |
| 6. <i>Lavar</i> | 14. <i>Trabajo, aparte de las aficiones</i>
Padre
Madre |
| 7. <i>Secar la ropa</i> | 15. <i>Trabajo escolar</i> |
| 8. <i>Planchar</i> | 16. <i>Aficiones</i>
Otros |
| | 17. <i>W.C.</i> |
| | 18. <i>Garaje de bicicletas y cochecitos</i> |

Ni que decir tiene que las funciones son, de hecho, muy diferentes según las familias; así, la función *distensión de los adultos* abarca la lectura, la radio, la televisión, los juegos y muchas otras actividades. La consideración de esta función-relaje no tiene interés más que en la medida en que todas las variantes coinciden bastante y lleva a consecuencias de suficiente parecido para que su definición sea práctica, tanto para el sociólogo como para el arquitecto, como suele ocurrir.

Las molestias y las coacciones

Si la vivienda ocupada por una familia no responde a las *necesidades* de ésta, nacerán molestias y coacciones. La molestia, que es la dificultad material creada por la mala disposición del alojamiento, se distingue de la coacción, que es el sentimiento de insatisfacción, las tensiones intra-familiares que resultan de esta mala disposición. Un ejemplo aclarará el concepto:

La dimensión de los cuartos para niños y el número de éstos obliga a que uno o varios tengan que hacer sus deberes en la sala común.

Entonces, los padres, o no se resignan a la calma y al silencio y el hijo sufre, en su trabajo, la molestia del ruido, o, al contrario, se condenan al silencio y sufren una coacción que puede transformarse en irritación, en animosidad inconsciente contra el niño.

LOS TIPOS SOCIALES EN RELACION CON LA VIVIENDA

Cual dijimos al principio, la sociología no interesa al constructor más que en la medida en que permite prever el comportamiento de las familias que se van a alojar o, mejor dicho, las necesidades de estas familias con vistas a la vivienda.

Ahora bien, es a todas luces excepcional que se pueda observar sociológicamente las mismas familias que se van a alojar, siquiera porque las más veces, no se las conoce individualmente al construir.

La propia condición de la sociología en materia de viviendas radica en que sea posible, tras la consideración de algunas características fáciles de indagar, la clasificación de las familias, que van a constituir la *clientela* de los futuros albergues, en grupos o tipos que ofrezcan un mismo modo de vivir o necesidades comunes respecto a la morada.

Tal posibilidad no ha sido, de hecho, demostrada al presente. Serían indispensables encuestas sobre los núcleos diferentes por los ingresos y la ocupación (es decir, la categoría socioprofesional), por el origen geográfico, por el tipo de estructura familiar (predominio del padre o de la madre, conflictos) y por otros criterios.

Hasta el momento, sólo se ha podido, en los resultados de encuestas, tener en cuenta categorías socioprofesionales. Debido a esta circunstancia, ni siquiera sabemos si es posible prever las necesidades de una determinada familia, sin llevar a cabo en ella una encuesta a fondo y a base sólo de caracteres fáciles de deducir, ni afirmar de qué modo una clientela se distribuye entre diversos tipos familiares de necesidades definidas.

Una hipótesis simplista y a menudo justificada permite zafarse del problema: consiste en admitir que la clientela de una operación será análoga a la de una operación ya llevada a efecto en la vecindad. Al estudiar la gente de esta última, cabe, pues, conocer las necesidades de la clientela de la futura operación. Y por operación *vecina* hay que entender tan vecina por la geografía como por el carácter.

sivas, porque, en primer lugar, dan información completamente segura y, después, porque la conversación inquisidora permite llegar a las motivaciones.

La aplicación de los conocimientos es necesario que pase por la *experimentación*. En un campo como el de la vivienda, en el que se emprenden 40 000 operaciones distintas al año, parece que la simple aproximación del concepto y de la observación inmediata constituiría una experimentación. Hay que deplorar que, ni siquiera una sola vez se hayan podido explicar de manera precisa las intenciones, antes, y verificar, después, por observación de la realidad, cuán satisfactorias son estas intenciones. Pero la cosa ya está en marcha.

La experimentación debe ser llevada así:

Las familias elegidas para ocupar las viviendas, base de la experiencia, entre los tipos interesados por el problema propuesto, serán en número suficiente para que los caracteres específicos de cada familia no influyan en forma determinante sobre los resultados: un número mínimo podría ser el de seis familias para cada tipo.

El comportamiento de las familias será observado por el sociólogo en su antigua residencia. Su comportamiento en la vivienda experimental será observada tras el final del período de choque por traslado (seis meses como mínimo).

Vamos ahora a enterarnos del contenido de la sociología de la vivienda.

ENSEÑANZAS DE ALCANCE GENERAL

Entre las necesidades, hemos señalado dos exigencias complementarias: poder aislarse y poder reunirse. Esta dualidad es esencial, característica del ser social. Nunca hemos de perderlo de vista.

Precisa enriquecer esta noción de la consideración de la necesidad de reunión de la familia en subgrupos y, en primer término, los padres por un lado y los adolescentes por otro. Desde el momento en que se afirma la personalidad de los jóvenes, es decir, en la práctica, a partir de la pubertad, empiezan a distanciarse de la familia, esto es, en cierto modo, a llegar a ser extraños a ella. Hay que considerar, pues, que la familia con los adolescentes, se convierte en un caso de cohabitación.

El adolescente necesita relaciones sociales y, en general, estas relaciones se establecen, de preferencia, con camaradas, no por fuerza de su sexo, sino de su edad. Si no puede ver a sus camaradas en casa, los verá fuera; es el caso más general. Pero esto no resulta tan aceptable.

El problema del adolescente radica en aprender a madurar, en desbarbarse de numerosas ilusiones sobre el mundo y los hombres. No es permaneciendo entre *jóvenes*, más o menos encuadrados por adultos (que son falsos adultos en el sentido de que no siguen la vida normal de los adultos), que se facilitará la transformación del joven en tallado.

Las sociedades primitivas resuelven, de ordinario, este problema de manera mucho más eficaz; cuando hay un aparte entre jóvenes, es corto y la iniciación transforma muy rápidamente los adolescentes en adultos.

La disposición de la vivienda desempeña un papel importante en este tránsito de la adolescencia; si el adolescente puede sentirse libre sin huir de su familia, tiene más probabilidades de evitar una crisis. La organización del domicilio debe manifestar, por tanto, que los padres no son los únicos que han de reinar en la vivienda. Los adolescentes han de recibir a sus compañeros; es lo que suele llamarse la exigencia de segundo living o de *living infantil*. Siquiera materialmente, esta estancia de adolescentes puede ser el cuarto que antes sirvió para los juegos de los peques y para los trabajos escolares después, ambas nociones son distintas: El cuarto de los niños no corresponde a un deseo de recepción y, en absoluto, a un deseo de segregación. Es, en esencia, una solución a la exigencia del ejercicio correcto de la noción juego y trabajo para los niños (ver más abajo). Lo que demuestra, es que la necesidad social de los adolescentes puede venir satisfecha por otra fórmula. En efecto, los padres pueden habilitar un segundo living para ellos en su dormitorio, si éste es bastante grande.

Así pues, la sala de juego-living de los niños o el dormitorio-living de los padres permiten separar los subgrupos familiares, de no estar, como suele decirse vulgarmente, unos encima de otros.

También los padres, que se comprenden en estos términos colectivos; los padres, el matrimonio, apetecen estar cada cual en casa, sin verse obligados a salir para estar solos. En la vivienda *burguesa* del siglo pasado, esto se resolvía mediante el despacho para el marido y el tocador para la señora.

Tal vez quepa encontrar 5 m² para una pieza dedicada a uno o a otro. De pasada, observemos que el deseo del niño para las aficiones diversas suele venir motivado por la necesidad de estar solo.

Estas necesidades: intimidad, reunión en subgrupo, reunión en toda la familia no han de confundirse con otra noción, la de la separación de las áreas de reposo y de las de actividad. A menudo esta separación se ha elevado a la categoría de dogma. Sin embargo, no halla justificación más que, si en la familia, unos se mueven mientras los otros descansan. La separación debe ser respetada para los cuartos de niños; la función sueño-niño ha de quedar separada de la función distensión-padres (televisión).

Hay que prever un cuarto tranquilo para instalar un enfermo. Para una familia que cuenta con miembros que trabajan de noche y duermen de día, hay también necesidad de separar una o más piezas de reposo de las piezas activas (cocina, estancia), es decir, la función sueño para algunos respecto a los cuartos activos. Pero, en general, la separación de las zonas de reposo y de actividad, entraña un derroche de superficie; en las viviendas en que el espacio está medido con avaricia, la mitad del mismo ¿no serviría más que a la función inconsciente de dormir?

En realidad, la noción justa es radicalmente distinta; es claro que el desarrollo de todas las funciones de la vida en un mismo local, significa la solución barbara primitiva y es probable que la mayoría de nosotros apreciaría como el *desideratum* el poder disponer de piezas reservadas para una sola función, que es lo típico de los hoteles particulares del siglo pasado. Este lujo no es posible como solución general, pero cabe soslayar la sobrecarga de funciones en ciertos aposentos y, en cambio, compensar todo lo posible; descargar la cocina en beneficio de la estancia para las funciones de permanencia, exonerar ésta en provecho del segundo living o de los cuartos con ciertas funciones de distensión o de trabajo.

Otro objeto de estudio general, relacionado con las cuestiones de intimidad: *las circulaciones y el vestíbulo*.

El vestíbulo es indispensable para la intimidad respecto al exterior y desempeña también un papel práctico: en él nos quitamos las prendas de abrigo y cambiamos de ambiente antes de penetrar en la intimidad del hogar.

Las circulaciones interiores deben respetar la libertad de las personas que componen la familia. Luego, supresión de piezas superfluas a otras. La doble circulación, es decir, el acceso a los cuartos a través de la estancia por un lado y a través del servicio por otro no es más que un pésimo remedio.

Hacen falta, pues, circulaciones interiores independientes de las piezas principales. No resulta oneroso, porque puede conseguirse concentrando la vivienda, operación de poco costo, cual veremos después. Incluso es posible dilatar la distribución hasta confiarle otra finalidad: sala de juego, por ejemplo, admisible donde la circulación sólo sirve para los cuartos de niños.

Una palabra, para terminar, acerca de la *superficie* de las viviendas.

Dos series de trabajos, uno de ellos sobre el estudio de los comportamientos padres-hijos en las familias y el otro, más estadístico, sobre la actitud de mayor o menor satisfacción respecto al domicilio, han permitido establecer la superficie de habitación necesaria para cada familia y comprobar la existencia de dos techos:

— el techo patológico, por debajo del cual no se puede descender sin peligro de perturbación grave de la salud física o mental de los ocupantes.

— el techo crítico, por debajo del cual no es posible asegurar el equilibrio individual y familiar.

Expresados en m² por persona, el techo patológico se sitúa entre 8 y 10 m², y el techo crítico entre 12 y 14. Sería de desear que no se bajara de 16 m² por persona o sea 80 m² para una familia de cinco personas. Es natural que estas cifras no sean más que indicativas; la calidad material de la residencia y de sus instalaciones puede hacer más soportable el espacio reducido. La edad de los individuos que integran la familia condiciona también la necesidad de superficie.

Tras estas observaciones generales relativas al conjunto de la vivienda, vamos a abordar el pormenor de ciertas funciones.

La función comida

¿Dónde hay que comer? Hay diferentes clases de refacciones: la comida de gala, con invitados, la comida en familia completa, la comida en que faltan algunos de sus miembros o en que los comensales se escalonan, y el desayuno.

Las exigencias son diferentes para cada tipo; nadie acepta una comida de gala en la cocina, pero, en ella, casi todo el mundo admite el desayuno o las comidas escalonadas. Es en la comida de toda la familia, que suele ser la cena, que se acentúan mejor los modos de vivir. Hay, por un lado, un viejo tabú en los medios relacionados con la burguesía. La propia burguesía o clase media, directivos o empleados, no comen en la cocina, porque hace aldeano o hace plebeyo. La tradición está en la acera opuesta en los medios rurales y obreros. Sobre esto vienen a acutiar las actuales dificultades que incitan a simplificar el trabajo del ama de casa, desde luego, si está ocupada fuera de ella, pero no solamente en este caso.

De lo que resulta, que el deseo de poder comer en la cocina se da en algo más de la mitad de las familias.

La mejor solución, que ya se ha llevado a efecto en la vivienda social de cuatro piezas, consiste en disponer en la cocina un *rincón para comer*, para 4-5 personas. Tenemos así una *cocina-comedor* que deja en libertad de comer donde se quiera. Y si no se emplea nunca o rara vez ese rincón, no resulta un espacio perdido, porque siempre serán útiles algunos metros cuadrados suplementarios en la cocina, pieza de demasiado plurales funciones.

Cabe también, como en Alemania, disponer de un eventual comedor, que un juego de tabiques móviles separe a voluntad de la cocina o de la estancia.

En todo caso, es muy útil estar informado, por lo que atañe al lugar de comer, sobre los gustos de la clientela para la cual se construye. Pero, no obstante, el 98 % rechaza la cocina incorporada a la estancia, que solemos imaginar como una sala de estar con rincón-cocina, mas el usuario opina, y el ambiente le da la razón, que es una cocina en la que debe permanecer.

La función sueño de los padres

Es bastante constante la superficie apetecida para el dormitorio de los padres. Este dormitorio viene condicionado, ante todo, por su forma (se prefiere cuadrada), tanto como por su superficie (12 m² al menos) por la presencia de los muebles tradicionales, con la cama en un eje central. El dormir de los padres conserva, en la mayoría de las familias, un carácter ritual, definido a la vez por este deseo del mobiliario tradicional y por el hecho que el cuarto donde duermen los padres queda condenado a prohibición perenne de las actividades de los demás.

Es más, si hay cohabitación, es el matrimonio viejo o el viudo, quienes han de ocupar el cuarto conyugal, por corresponder a su autoridad. Ceder el dormitorio al matrimonio joven es abdicar.

Esto explica el fracaso de las camas en alacena y de los divanes esquinados, así como también el de los planos en que se prevé para el matrimonio un cuarto incorporado al living; sean cualesquiera los inconvenientes, lo corriente es que sea un niño o un adulto el que deba dormir en ellos.

No echemos en olvido la posibilidad de aprovechar, según se dijo, el dormitorio para funciones ajenas al sueño. A cambio de un pequeño suplemento de superficie, puede servir para el trabajo y la distensión de uno u otro de los padres o de ambos.

Sueño, juego, trabajo de los hijos

En el conjunto de las categorías sociales, no se admite más que dos hijos del mismo sexo por cuarto de 10 m². Allende de esto, se pide un aumento de superficie o un cuarto más. Los tipos familiares, que no se resignan a que los niños jueguen y trabajen en la cocina o en la estancia, manifiestan el deseo de cuartos para niños de mayor superficie. El cuarto

infantil abarca entonces tres funciones: sueño, juego y trabajo escolar de los niños y, por consiguiente, debe ser ampliado.

Cuando hay dos, y con mayor razón, cuando hay tres cuartos de niños, se comprueba que la asignación a cada uno de ellos de una superficie para trabajo y juego da menos rendimiento que la creación de un espacio común para el juego, y eventualmente, para el trabajo: los living-niños. Se puede trazar un plano con cortinas o tabiques móviles que permitan habilitar alcobas de reducida superficie durante el día y que, durante el sueño, participen del volumen general. La fórmula living-niños facilita también la vigilancia del conjunto infantil. En efecto, la mayor parte de familias numerosas (más de tres o cuatro hijos de edades próximas) es favorable a esta solución. Algunas amas de casa han transformado el lavadero en sala de juego, con excelente resultado (la superficie necesaria es de 8 m²). Fórmula que merece ser estudiada por los arquitectos.

Los cuartos en que los niños juegan y trabajan deben poder ser vigilados por el adulto presente en el hogar, de ordinario, la madre. Según el modo de vivir, ésta suele estar de preferencia en la cocina o en la estancia; las disposiciones previstas son diferentes. La proximidad de la cocina o de la estancia al cuarto para los niños, deseable durante el día, se hace molesta por la noche. Esta dificultad puede ser resuelta, por ejemplo, mediante una doble puerta que encuadre un trastero o mediante la interposición del living-niños entre la sala de estar de los padres (cocina o comedor) y el dormitorio de los niños. Todo esto entraña un problema delicado, muy importante, que no deja de tener solución.

Reunión, juego, trabajo de los adolescentes

Remitimos a lo que dejamos dicho antes sobre la necesidad de un espacio especial reservado a estas funciones.

Higiene corporal

La sala destinada especialmente al aseo corporal, impuesta por las reglas de la vivienda social, es, hoy, una necesidad absoluta. Carecemos de información completa sobre el grado de satisfacción inherente a las instalaciones de lavadero-ducha, muy frecuente en viviendas de alquiler medido, el baño aseo, el plato ducha y la pila clásica.

Al contrario, muy conocido es el problema del aseo simultáneo de todos los miembros de la familia. La existencia de dos lavabos, el de los padres y el de los hijos, será pronto reconocida como una exigencia mínima. Casi tan apremiante resulta la exigencia de que estos dos lavabos estén en locales separados. Esta regla no se cumple más que en las vivien-

das sociales de 5 piezas. Pero, de hecho, es insoslayable desde el momento en que hay un niño en la casa, es decir, a partir de las 3 piezas.

A falta de un segundo lavabo, el fregadero de la cocina lo suplir. Pé-sima solución.

Los tipos de modos de vivir con muchas visitas y recepciones exigen un lavabo para los invitados (y en comarcas cálidas, incluso una ducha para ellos).

Secado de la ropa

El secado de la ropa plantea un problema delicado. Por una parte, a consecuencia del desarrollo de las máquinas lavadoras, va aumentando el peso de la ropa lavada en casa y, a veces, la dimensión de las piezas lavadas. Por otra parte, la exigüidad de la vivienda social hace seguro el peligro de condensación, si se tiende la ropa en un local que no esté ventilado. Además, esta misma parvedad da lugar a que, si ha sido posible prever un local para *tendedero*, muy a menudo se destina a trastero. Por fin, el secado natural es deficiente durante una parte del año.

Hay que prever, pues, el secado de la ropa en una pieza bien ventilada (por ejemplo, cuarto de aseo ventilado por tubo, en un inmueble colectivo) y, para lograr un secado correcto en cualquier estación, nos vemos llevados a un sistema de secado activado en armario o alacena. La actividad puede obtenerse por sencillo caleo.

Función trastero

La necesidad de un cuarto trastero debe distinguirse de la exigencia de un volumen de ordenación para cada función. El trastero es, al contrario, el lugar donde se almacenan los objetos de uso periódico o excepcional. Su necesidad es notable en familias numerosas (cunas, juguetes, ropa de niño, etc.) y en las familias que se trasladan con frecuencia (militares, funcionarios: maletas, cantinas, etc.). Siempre, el trastero ha de ser un local seco, accesible, alumbrado, en una palabra, apto para cumplir su destino.

RELACIONES NECESARIAS ENTRE LOS LUGARES QUE SATISFACEN LAS DIVERSAS FUNCIONES

Hemos comprobado la necesidad de repartir, lo mejor posible, entre las piezas de una vivienda las diferentes funciones de la vida del individuo y

de la familia. Pero, es posible destacar un cierto número de obligaciones de alejar o de acercar los lugares en que se desarrollan diversas funciones: son otras tantas trabas para los proyectistas. De ellas, unas son harto conocidas, otras, no.

La función aseo personal ha de estar próxima a los lugares de sueño y alejada del vestíbulo (excepto para el lavabo de los invitados).

La función W.C. debe situarse cerca de los locales de sueño, cerca del vestíbulo (para los huéspedes) y lejos de la cocina.

La función cocina se situará cerca del local para las diferentes comidas, pero alejada de los dormitorios (a fin de evitar que el ajetreo matutino despierte a los que aún duermen).

Los locales donde juegan y trabajan los niños han de quedar bajo la mirada vigilante de la madre y, por tanto, inmediatos a los sitios en que ésta permanece a la hora en que los hijos los ocupan. Ello depende del modo de vivir: la madre puede estar de preferencia en la cocina o en la estancia.

Los locales de esparcimiento deben quedar alejados de los dormitorios de quienes no son principales usuarios; la estancia y las leoneras debieran, desde este punto de vista, estar lejos, es decir, con perfecta separación acústica.

Las funciones «colectivizables»

En rigor, la mayor parte de las funciones son *colectivizables* y lo han sido o lo son en sociedades diferentes de la nuestra. Sólo el sueño de los padres ha gozado siempre de relativa intimidad. Pero, hay sociedades en que marido y mujer no duermen juntos.

Sea ello lo que fuere, hay un claro deseo de individualizar hasta el máximo el ejercicio de todas las funciones; así, el paso de lo colectivo a lo privado en la función W.C., o sea corporal, se retiene como un progreso, lo mismo que el aposento privado tras el hacinamiento. Pero, en este camino, surgen las consideraciones económicas.

¿Cuáles son, pues, las funciones cuya colectivización es admisible o apetecida? Son:

la vigilancia y el juego de los niños, en general
las aficiones, el lavado de la ropa (a máquina), corrientemente,
el tendido de la ropa, más difícil.

Es evidente que la colectivización se soporta tanto mejor cuanto más aceptable es el clima general de relaciones entre los ocupantes del grupo.

Algunas actividades se interrumpirán y se reanudarán, según las circunstancias y las personas.

Por fin, hay que advertir la necesidad de locales para funciones normalmente colectivas: reuniones, actividades de club siempre son bien acogidas, pero no nos asombremos si, en ciertos períodos, no sirven para nada.

Citemos, sin comentarlas, las necesidades particulares de los viejos y de los mutilados.

Y observemos que si aquí hemos tratado de la vivienda, otro tanto podríamos escribir sobre los locales de naturaleza diversa.

CAPÍTULO VII

LA SEGURIDAD

En la lista de exigencias del ocupante respecto a su alojamiento, hemos señalado como muy importante, la de seguridad.

Recordemos aquí las subdivisiones:

- exigencia de que no se hunda la construcción o parte de ella,
- amparo contra las malhechoras invasiones de hombres y animales,
- protección contra el rayo, contra los choques exteriores,
- seguridad de las personas en caso de incendio,
- seguridad de la circulación en el inmueble,
- seguridad en el uso de los aparatos.

Excepto la protección contra invasiones y contra el rayo (y contra los choques exteriores, hasta cierto punto), cabe advertir que la exigencia no estriba en asegurar contra riesgos exteriores, sino contra los peligros creados por la propia construcción. Es un aspecto de la autoinoxicación de que hablabamos al principio del libro.

Las exigencias que hemos recordado son las que figuran en nuestra lista bajo la rúbrica: *exigencias de seguridad*. Pero, hay que cerciorarse de que la seguridad está en juego también en todas las exigencias que entrañan un nivel absoluto. Por ejemplo, la pureza del aire significa un máximo absoluto en la dosis de óxido de carbono. Mantener esta dosis por debajo de dicho máximo es una exigencia de seguridad.

A la noción de seguridad se refiere asimismo la de conservar un mínimo de calidades en la construcción, en caso de huelgas o carestía.

LA NOCIÓN DE RIESGO

Antes de seguir adelante, podríamos emprender un breve análisis de la noción de riesgo. Proponemos clasificar los riesgos en tres órdenes.

El riesgo de primer orden es el creado por la torpeza del usuario: un hombre de perfecta agilidad no caerá nunca por una escalera, por empinada que sea. Pero vemos a gente torpe que se rompe los huesos por caída en una circulación sin obstáculos. Los riesgos de primer orden son habituales en los edificios. Todo lo que añade a choques, caídas, falsas maniobras hace intervenir un riesgo de este orden.

La actitud lógica frente a estos riesgos radica en adoptar medidas adecuadas para que el bimonio *número de accidentes* — *deseμβolo necesario para atenuar el peligro* sea satisfactorio. Insistimos más adelante en esta consideración que, llevada al límite, trae a las mentes el precio de la vida.

El comportamiento teórico consistiría en trazar la curva riesgo-gasto y elegir un punto de esta curva como tope de riesgo. Naturalmente, carecemos de medios para el trazado de la curva. Pero, podemos efectuar, en ciertos casos, cálculos aproximados que permitan orientar nuestra actitud. El número de asfixiados por escapes de gas es de 520 al año. Si nos enteramos de que es posible emplear una señal de alarma que cueste una cantidad conocida aproximadamente y de la cual se espera que evitará la mitad de los casos, resulta relativamente fácil tomar una decisión en vista del precio de las vidas salvadas.

En general, se puede decir que el tope de seguridad al que se ha llegado, deriva de un desarrollo empírico de hechos históricos, pero que somos capaces de apreciar la oportunidad de cierta modificación propuesta para el tope actual.

Observemos, por otra parte, que la educación del hombre se plasma en función de los riesgos corrientes de su hábitat y que, de tal suerte, el tope empírico actual casi merece ser tenido como un tope normal. En este sentido, una modificación importante de las condiciones del riesgo entraña siempre una agravación latente, dado que el público no está educado para estas condiciones modificadas. Por consiguiente, una modificación beneficiosa, para ser recomendable, debe ampliamente manifestarse beneficiosa, hasta el punto de modificar de modo notable las costumbres y los reflejos.

Esos riesgos de primer orden distan mucho de ser despreciables: el hombre es distraído, envejece y se hace torpe, el joven es atolondrado, el niño carece de educación. He aquí algunas cifras que demuestran la impor-

tancia de los riesgos. Los tomamos de un estudio de Mac Quinn en la ciudad de Aberdeen. El tope de accidentes domésticos, en esta ciudad, es de 1 por 1000 habitantes y mes (42 % de hombres y 58 % de mujeres). Los topes varían mucho con la edad.

Los niños de edad preescolar (1 a 4 años) representan el 9 % de la población y sufren el 35 % de accidentes (tope 4/1000 al mes).

Los niños de edad escolar representan el 14 % de la población y sufren el 20 % de los accidentes.

Las personas de 15 a 64 años (66 % de la población) sufren el 36 % de accidentes.

Por fin, las personas de más de 65 años (10 %) sufren el 8 % de accidentes.

De cada 100 accidentes, 10 son quemaduras, 10 cortes, 17 envenenamientos, 11 asfixias de críos y 3 caídas de ancianos.

En las clases modestas, los niños son víctimas de más accidentes.

La distribución general es como sigue: caídas, 35 %, cortes 28 %, quemaduras por fuego o agua hirviendo 17,5 %.

La importancia de estas cifras demuestra cuán rentable puede resultar la adopción de providencias y tanto más cuando se constituye para familias de numerosos hijos y con escasas posibilidades.

Los riesgos de segundo orden son aquellos cuya causa es exterior al individuo, pero cuyas consecuencias dependen de la habilidad de éste. Hacemos ejemplos típicos de este segundo orden de riesgos en la circulación: un transeúnte comete la imprudencia de cruzar una calle por delante de un vehículo en marcha, hecho ajeno al conductor del auto. Pero el resultado depende en gran parte de la habilidad de manobra del mismo.

Hay pocos casos de riesgos de segundo orden tan claros en el edificio, por ejemplo, la actitud frente a la iniciación de un incendio.

Como caso extremo, cabe citar el de un habitante de Orleansville, quien preocupado, con razón, en los peligros de un terremoto, había meditado sobre la conducta a seguir en caso de un sismo nocturno: correr con una almohada encima de la cabeza para amortiguar la caída de cornisas y revocos, a lo largo de un itinerario preñado, hasta una salida próxima y quizá debido a ello salir sano y salvo.

Nosotros trataremos los riesgos de segundo orden, según las circunstancias, como de primero y, más a menudo, como de tercer orden.

Los riesgos de tercer orden son aquellos del todo independientes, en sus causas y efectos, de la habilidad de los usuarios. Constituyen riesgos

muy importantes en el edificio, singularmente el riesgo de hundimiento y el de ruina por incendio.

EL PRECIO DE LA VIDA HUMANA

Según anunciamos, deseáramos dedicar unas líneas a la noción de valor de la vida humana. No quisiéramos darles un sentido trágico espec-tacular, sino tan sólo obligar a la reflexión. Por más que se diga, la vida humana tiene un valor en dinero, y éste influye sin cesar en nuestras deci-siones.

Los valores de las indemnizaciones concedidas por los tribunales a las familias de las víctimas de un accidente dan una primera indicación: estas indemnizaciones representan a la vez la pérdida material sufrida por las familias y el *pretium doloris*. Son del orden de más de un millón de pesetas.

Es posible, sólo en valor económico, capitalizar en rendimiento de la actividad de la víctima: 100 000 pesetas de ingresos es el interés al 5 % de un capital de dos millones de pesetas (y si dichos ingresos no se han de percibir más que durante un número limitado de años, su valor es inferior: un capital de 770 000 pesetas, colocado al 5 %, puede ser consumido, ca-pital e intereses en 10 años, con una anualidad constante de 100 000 pesetas). Se puede, también, tener en cuenta el capital invertido en la formación del hombre: sus gastos de *crianza* y de instrucción. Se llega a cifras parecidas.

Pero, se dirá, todos estos cálculos son odiosos: hay en la vida humana un aspecto trascendente que le da un valor por encima de los cálculos. Sin duda, pero es un hecho: se cuentan los créditos para la supresión de las encrucijadas mortales en las carreteras —por no citar más que un ejemplo entre mil.

Y vamos a proponer una definición, colmada de buen sentido, sobre el valor de la vida, e incluso de nuestra propia vida: el precio que nos negamos a pagar para conservarla.

Al parecer, en los países civilizados, es en la carretera donde nuestra vida resulta más barata. 5000 km de autopista ahorrarán 10 000 vidas humanas en los veinte años próximos y durante años nos negamos a finan-ciarlas. Sin embargo, esto no estimaba el precio de la vida humana más que en el de 50 metros de autopista, o sea 600 000 pesetas. Claro que no todos morimos en las carreteras, pero, al no construir autopistas, morirá un 1 por 1000 más en aquéllas. La muerte por 600 000 pesetas corresponde a una probabilidad de 1 por 1000 de nosotros. Acaso, la negativa a pagar

impuestos se escuda en esta baja probabilidad. Lo que equivale a privarnos de transitorios, de *foiré-gras* y de espectáculos para elevar a 600 000 pesetas el precio de un hombre en la carretera.

Así, en todas las circunstancias, el precio de la vida es el que nos negamos a pagar, para que otro, tal vez nosotros mismos, la conserve.

Y terminemos estas líneas pesimistas con la siguiente advertencia: la gestión lógica sería la de reparar los créditos consignados para el aumento de la seguridad de manera que el precio de la vida sea el mismo en todas las circunstancias, es decir, que los desembolsos necesarios para salvar una vida humana sean iguales en todos los campos.

Vamos, ahora, a examinar con más pormenor dos problemas de se-guridad: la seguridad contra el peligro de hundimiento de las estructuras sustentantes y la seguridad contra incendios.

LA SEGURIDAD DE LAS ESTRUCTURAS SUSTENTANTES

Durante largos años no se sabía calcular las obras; se ignoraba tanto la magnitud de los esfuerzos como la capacidad de resistencia de las es-tructuras. Se trazaban los edificios según reglas empíricas, según la expe-riencia y la intuición y algunos espíritus atrevidos, intentaban construir más ancho y más alto con menos material. Si una estructura se hundía, era porque se habían pasado de rosca.

A lo largo del siglo pasado aparecieron simultáneamente materiales fa-bricados (acero, cemento), con características más universales que las de los productos naturales, y métodos de cálculo. Hemos subrayado los es-fuerzos debidos al viento y a la nieve. Y así hemos llegado a ser capaces de relacionar las tensiones (calculadas) bajo el efecto de cargas y sobre-cargas con las características de los materiales. La razón de la tensión, calculada a la tensión límite (de rotura elástica) se llama *coeficiente de se-guridad*. Su significación no puede ser otra que la de esta definición. En particular, sería totalmente falso creer que la estructura, cuyo coeficiente de seguridad es *n*, puede soportar cargas *n* veces mayores. Y a *fortiori*, sería absurdo someterla a *ensayo* bajo una carga de esta intensidad.

Por un lado, las tensiones no son función lineal de las cargas y, por otro, si se acepta un coeficiente de seguridad, es para tomar en considera-ción las sorpresas, los errores, el trabajo de mala mano, de los cuales vamos a tratar. Ensayar el edificio sin seguridad es suponer que todo en él es perfecto. La verdadera manera de ensayarlo es comprobar que trabaja tal como se ha supuesto antes del cálculo o como de éste se deduce, o sea

medir sus deformaciones bajo la variación de la carga y referir estas medidas a los valores de las deformaciones deducidas del cálculo.

Hasta hoy, la determinación de los coeficientes de seguridad de las diversas estructuras era esencialmente empírica. En los últimos años, se ha estudiado concienzudamente el contenido del concepto de dicho coeficiente, con el intento de lograr una mejor determinación de las condiciones de seguridad.

Para quedar a cubierto de los riesgos de hundimiento, hay que empezar por tener en cuenta los *errores cometidos en el valor de cargas y sobrecargas* admitido para el cálculo: el peso propio queda poco expuesto a error. Las sobrecargas no naturales pueden exceder del valor aceptado. Es resultado de una sencilla distracción. Amontonar libros hasta una altura de 2 m en una pieza cuyo suelo se ha calculado para 250 kg/m² es algo que puede ocurrir. Se trata de un riesgo que no admite cifra. Sin embargo, podemos tomar una precaución invariable, verdadero margen de seguridad.

Las sobrecargas naturales son aleatorias; por ejemplo, disponemos de datos sobre la velocidad del viento en una estación meteorológica que dista 50 km del sitio en que se va a construir y esto durante treinta años. Lo que deseáramos conocer, en tal caso, es el viento de 10 años, de 100 años, de 1000 años. Estamos lejos de conseguirlo. Hay, pues, una incógnita acerca de las cargas naturales.

En definitiva, llegamos a la conclusión de que no conocemos la mayor parte de las sobrecargas naturales que es preciso tener en cuenta. Y que podemos señalar un margen para las sobrecargas artificiales.

Hay que tomar, después, en consideración la *dispersión de las cualidades de los materiales*: según la fabricación, según el lugar varían dichas cualidades. Suele admitirse que estas dispersiones de calidad pueden ser representadas por curvas de Gauss o sus derivadas. Es necesario andar con tiento para no incurrir en un error bastante frecuente en resistencia de materiales que consiste en desplegar un enorme aparato matemático sobre bases que no son físicamente verdaderas. La curva de Gauss *cuelja* aproximadamente en algunos casos (cuando las dispersiones son suma de gran número de errores parciales, todos pequeños y aleatorios). Pero, con sus ramas asimétricas, no encaja nunca por completo. Es ridículo emprender cálculos en los que intervengan puntos alejados de la curva de Gauss.

Si se mide la resistencia de un material bien definido, que nos esforzamos en fabricar idéntico a sí mismo, como el acero, ya se obtienen curvas que no coinciden con las de Gauss. Pero, ¿podemos hablar de la curva de dispersión de las cualidades del hormigón, que aún no ha sido trazada? ¿Tiene sentido la noción de resistencia media del hormigón, definido por un

pliego de condiciones? En realidad, los desarrollos probabilistas sobre la seguridad (1) carecen de interés para la determinación exacta de la seguridad, precisamente porque no se conocen las leyes de las dispersiones. Establezcamos sólo que los materiales están más o menos dispersos y, a menudo, más que menos; en especial, los hormigones tienen características que dependen:

- de las cualidades de los conglomerantes y áridos,
- de la calidad de fabricación,
- de la calidad de la puesta en obra,
- de las condiciones de curado;

de lo que resulta, con la misma memoria simplista, que es posible llegar a calidades diferentes en la proporción de 1 a 3 y más.

La calidad del hormigón depende del *esmero* en la mano de obra. Un hormigón basto y un hormigón cuidado no son el mismo material; esto es lo que hay que ver antes de hablar de dispersión. Y como que el hormigón cuidado es precisamente el que tiene poca dispersión, nos damos cuenta de no estar lejos de un círculo vicioso.

La *forma* que se da al material en la obra no coincide exactamente con la de los diseños del proyecto. Se padecen errores, cuyas consecuencias pueden ser importantes; por ejemplo, colocación de las barras metálicas en la sección de un elemento de hormigón armado.

En fin, el *cálculo* presenta insuficiencias. No nos referimos aquí a errores de cálculo (operaciones equivocadas, etc.), que cabe evitar por verificación. Nos referimos a que, para hacer abordable el cálculo, se asimila la estructura a un modelo simplificado; es imposible saber *a priori* cuánto se apartan los esfuerzos calculados de los reales. Todo lo que sabemos es que, con cierto coeficiente de seguridad, los *gaceros son raros*.

A grandes rasgos, se puede decir: el coeficiente de seguridad admitido cubre los riesgos derivados de:

- la ignorancia de las sobrecargas,
- la dispersión de los materiales y los errores geométricos de la obra,
- la insuficiencia de los cálculos.

El querer expresar estos riesgos por medio de leyes matemáticas y deducir de la aplicación de dichas leyes un coeficiente de seguridad a la

(1) El Comité europeo del hormigón ha aceptado el método semiprobabilista del profesor Eduardo Torroja, fundado en el cálculo de seis variables estocásticas.

ruina que alcance 10^{-4} , 10^{-5} o 10^{-6} nos parece una absoluta fantasía. No disponemos y, sin duda, no dispondremos nunca del conocimiento de las leyes reales comprobadas, indispensables para calcar sobre ellas una expresión analítica de las leyes y, mediante ella, calcular. Nuestros coeficientes de seguridad, en lo esencial, se mantendrán empíricos, es decir, que partiremos de coeficientes conocidos, como fruto de una conquista técnica considerable; decenas de millares de estructuras, millones de construcciones que desafían la pesantez y los agentes ecológicos. ¡Valiosa información! A partir de aquí, ningún trastorno, sino franca mejora.

— Si conocemos mejor las sobrecargas naturales, disminuye una incertidumbre.

— Si producimos materiales con menos dispersión, ocurre otro tanto.

Y también, si sabemos calcular mejor (cálculo en rotura, por ejemplo) o con mayor generalidad, prever mejor el comportamiento de las estructuras, merced a la observación de obras reales y al ensayo de modelos reducidos.

En verdad, no es el perfeccionamiento de la filosofía del coeficiente de seguridad que permitirá calcularlo mejor, sino que es el perfeccionamiento del cálculo y de la ejecución que podrá influir en dicho coeficiente.

Y las consideraciones posibilistas podrán guiar esta variación del coeficiente de seguridad.

Un ejemplo, que tomamos de Robert Levi, demuestra lo que cabe esperar de las susodichas consideraciones. En virtud de ciertas hipótesis, los riesgos de ruina, resultantes de la dispersión de ciertos datos que intervienen en la seguridad, vienen caracterizados por una expresión en la que figura la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los errores cuadráticos, promedios α , β , γ de los datos: $\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2$. Entonces, esta expresión es la razón de la tensión calculada a la tensión normal de ruina, para un determinado valor del riesgo. Esta fórmula permite calcular la repercusión, a igual peligro, sobre el cociente tensión de ruina—tensión calculada en la corrección de una dispersión (es decir, de la mengua de un error cuadrático)—. Robert Levi advierte que la disminución del 10 al 6 % de una de las dispersiones permite rebajar la razón de tensiones de 3,5 a 3,1 a igual riesgo. Se trata, por cierto, de una indicación importante, que convendría acentuar con ensayos y observaciones, pero que constituye la supresión de tanteos.

LA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS

Constituye un aspecto importante de la seguridad. Ya hemos definido la exigencia en este campo: que los ocupantes de los locales sinistrados puedan escapar sanos y salvos.

Resulta interesante el estudio de cómo se puede, en forma lógica, deducir de esta exigencia reglas de calidad aplicables a la construcción y a los medios de salvamento.

Para satisfacer a la exigencia, cabe imaginar soluciones que estriban en un solo principio.

Es posible, por ejemplo, aceptar como solución la de no incorporar al edificio ningún material combustible (1) o de no admitir ninguna ocasión de inflamación de cualquier cosa.

Es posible, al contrario, tomar como solución un dispositivo de evacuación instantánea; algo parecido al asiento proyectable de los pilotos de aviones rápidos.

Es posible, también, acudir a la solución de un dispositivo de extinción de sobreafluencia potencia y de intervención instantánea.

Y pueden hallarse efectivamente aplicaciones bastante puras de estos sistemas límites. Sin embargo, la práctica dice que la aplicación lisa y llana de un recurso extremo no es admisible, y se busca una solución mixta, en la que se mezclan disposiciones que tienen por objeto:

— limitar la importancia y la duración del fuego, al reducir las masas combustibles.

— limitar los riesgos de ignición y de propagación de un incendio, mediante reglamentación del empleo de materiales inflamables.

— prescribir dispositivos de evacuación que sean seguros, es decir, que no sean cortados por el propio fuego (llamas, o lo que es también grave, humo) y que permitan a todo el personal evacuar los lugares en un tiempo limitado y simultáneo, imponer recursos para que el personal siga indemne hasta ser evacuado.

(1) Se distingue: material combustible, es decir, capaz de oxidarse en una reacción exotérmica y material inflamable, es decir, susceptible de arder con llama más o menos viva y transmitirla.

Un material inflamable es combustible. La, recíproca no es cierta, en condiciones ambientales de temperatura y de presión.

— promulgar disposiciones de lucha contra el incendio, que permitan dominarlo desde el principio o, al menos, antes de que haya cortado las evacuaciones necesarias o invadido los locales donde se refugia el personal no evacuado, o provocado el hundimiento de partes de la construcción todavía ocupadas.

Se ha censurado la legislación relativa a estas diversas providencias por ser empírica y, a veces, excesiva. Ciertamente es indispensable que, en todo reglamento de seguridad respecto al riesgo de incendio, quede claramente expuesto *cómo* debe estar asegurado por el efecto concurrente de diversas medidas. Si no se hace así, seremos incapaces de aplicar las reglas con inteligencia.

Vamos a tomar como ejemplo dos tipos de edificios.

PRIMER EJEMPLO

Inmuebles de habitación de menos de 28 metros de altura. En estas construcciones la seguridad se consigue así:

No se tienen en cuenta ni la masa de combustible ni los peligros de inflamación. La seguridad se afirma en la certeza de evacuar los habitantes antes de haber sufrido a causa del incendio. Dicha evacuación se hace principalmente por la escalera; pero, como el humo puede haberla invadido, se confía en la gran escalera de los bomberos para asegurar la evacuación. Cada vivienda debe tener una ventana accesible a los bomberos (o dicha ventana ha de poder ser alcanzada sin necesidad de escalera de salvamento).

Para reducir el riesgo de invasión de humo en la caja de escalera, se exige que las puertas de rellano resistan un cuarto de hora a las llamas; si la puerta de la vivienda sinistrada está cerrada, los ocupantes del edificio disponen de un cuarto de hora para ponerse a salvo por la escalera o los bomberos habrán debido extinguir el fuego en media hora (puesto que los ocupantes están detrás de una puerta que permite también, un cuarto de hora). Por la misma razón, está prohibida una comunicación directa de un cuarto de calefacción o de una simple bodega con la caja de escalera.

Al flanco de estas disposiciones que aseguran la evacuación, hay otras que, al mismo tiempo protegen a los habitantes: suelos cortafuegos de una hora, puertas de rellano, de un cuarto de hora y otras reglas para impedir la transmisión del fuego por la fachada. Y asimismo disposiciones para evitar el hundimiento del edificio antes de la evacuación: estructura con una hora de resistencia al fuego.

Por fin, los servicios de extinción están organizados para intervenir con celeridad, apagar el fuego y salvar a los habitantes.

De esto, debe retenerse, en particular, el papel importante que desempeñan los humos, que amenazan con bloquear la evacuación, lo que obliga a prever que los locales deberán seguir siendo habitables (es decir, ni incendiados ni arruinados) hasta que se haya podido extinguir el fuego o asegurar la difícil evacuación por ventanas y escaleras. Hay que saber que incluso un bombero entrenado, no atraviesa más de 10 metros de densa humareda. Cuando se contemplan sistemas de seguridad fundados en la rápida evacuación, lo que entraña la venta de economía en las medidas orientadas hacia asegurar la durabilidad de la construcción en el incendio, hay que adoptar providencias que garanticen en forma *absoluta* dicha acelerada evacuación, cualquiera que sea la invasión de humos.

SEGUNDO EJEMPLO

Seguridad de los inmuebles de gran altura. Es imposible la evacuación rápida al pie de un edificio muy alto: un rasacielos alberga a varios miles de personas que no pueden ser evacuadas con perfecto orden, sin pánico, por las escaleras de salvamento. La evacuación por los ascensores presenta el mismo peligro de pánico. De todos modos, resulta prolongada (3/4 de hora son casi un mínimo). Además muchos tienen miedo de averías. Por fin, hay que tener en cuenta la invasión del inmueble por el humo que sube por una caja de ascensor, si éste sirve para evacuar el piso incendiado. Así pues, es preciso lograr la seguridad sin contar con una evacuación rápida y total. Entonces, el principio de seguridad estriba en dar salida a los ocupantes hacia lugares próximos y protegidos, la localización del fuego en un área limitada y su extinción en menos de dos horas. De donde se colige la obligación de compartimientos en locales resistentes al fuego durante dos horas, una reducción severa de las materias inflamables, una protección efectiva contra la invasión de humos, un servicio de alarma avezado, constituido por el personal del inmueble (si se trata de oficinas o de hoteles) y un servicio exterior pronto para intervenir en segunda y que encuentre *in situ* numerosos elementos para la lucha contra el fuego.

Si a las anteriores disposiciones se añade la adopción de medidas para mantener la vida normal en el edificio (en particular, el ajeteo habitual por ascensores, pero atravesando los pisos incendiados en recinto resistente al fuego), a fin de evitar el pánico, tendremos los principios de seguridad en este caso. En consecuencia, aquí, el principio esencial no es el haber evacuado en el tiempo T, sino que se haya dominado el fuego en el tiempo T.

No llevamos la intención de exponer la ciencia del comportamiento al fuego en las construcciones. Pero quisiéramos recordar las nociones de duración de la resistencia al fuego y de inflamabilidad.

La duración de la resistencia al fuego es el tiempo durante el cual, en el incendio, el elemento constructivo continúa desempeñando su función que, por lo que ahora interesa, es la de aguantar o de separar.

Hay que prever las duraciones de resistencia al fuego, y, al efecto, *ensayar*. Y normalizar el incendio, es decir, la variación de temperatura en función del tiempo. Así se ha hecho. En la medida en que esta norma manifiesta el desarrollo de un eventual incendio, la indicación de la duración de la resistencia al fuego está llena de significación.

En el campo de la inflamabilidad, no ocurre lo mismo. Observemos, en primer término, que la noción que debemos considerar es más amplia que la de inflamabilidad: es la reacción a la inflamación que precisa tener en cuenta; no sólo en qué condición el material se inflama, sino cómo se propaga la llama, qué energía se libera y si hay humos abundantes o gases tóxicos.

Por todas partes, se ha procurado y aún se procura caracterizar todo este comportamiento por un ensayo único, del que se deduce una clasificación única. Resulta siempre inútil pretender la caracterización de un problema de n parámetros por una referencia o un índice único. El ensayo oficial francés de reacción al fuego, uno de los mejores, el ensayo con epirradiador, echa mano de cuatro criterios:

- el plazo de inflamación,
- la altura media de la llama,
- la altura máxima de la llama,
- la superficie quemada;

lo que constituye una tentativa para captar la complejidad del problema. Sin embargo, este ensayo, que se aplica mal a cierta índole de materiales, y a la clasificación que de él resulta no permiten prever el desarrollo del fuego en un local donde dichos materiales están. Cabe decir que, en todas partes, se han apresurado en exceso a normalizar un ensayo y hay que volver a la observación de los fenómenos reales. Así se hace en laboratorios de ensayos de incendios reales. Y la progresión hacia ensayos más manejables que los a escala natural, va haciéndose con prudencia, con modelos reducidos a la escala, todavía grande, del tercio.

Siempre que nos separamos de un camino completamente lógico, los hechos nos llaman al orden.

Aquí se pone fin a los ejemplos que queríamos dar de las ciencias de la habitabilidad. Todas las que no hemos tratado: acústica, iluminación, termología, estabilidad, etc., son también verdaderas ciencias que permiten prever, a través del cálculo, el comportamiento de las obras. En todos estos

campos, para que nuestras construcciones sean más satisfactorias de lo que ahora son, es de esencial necesidad la difusión de conocimientos entre los constructores. Ciertas ciencias, como la de la percepción del espacio por el hombre, están aún en manillas; estos campos constituyen la excepción.

En el título siguiente, se abordará otra ciencia, que permite satisfacer una exigencia económica: la ciencia de la durabilidad.

Título III
LA CIENCIA
DE LA DURABILIDAD

CAPITULO VIII

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA EXIGENCIA DE DURABILIDAD

De las diversas exigencias que formulamos respecto a nuestros edificios, la *durabilidad*, que es exigencia de índole económica, es una de las que trae consecuencias más importantes.

Se expresa así: todas las exigencias humanas han de ser satisfechas durante n años, si son normales las condiciones naturales, si está asegurada la mantenimiento, si la ocupación es corriente y si ciertas partes de la construcción son renovadas cada p años, si esto está admitido y ha sido previsto. Es, repetimos, una exigencia de carácter económico, directamente ligada a la exigencia de costo. Si ésta se expresa en los siguientes términos: «y usted me construirá todo esto por no más de tanto», la exigencia de durabilidad la completa: «quiero de buena gana pagar cierto precio, pero para determinada duración, con conservación fácil y poco cara».

Ahora bien, la exigencia de costo máximo queda establecida por la costumbre y también por el lugar que ésta ha abierto a la construcción en nuestras inversiones generales. En Francia, la renovación cada cincuenta años de los 15 millones de viviendas supone 300 000 viviendas al año, lo que equivale de 12 a 15 mil millones de francos y representa el 1,5 % del producto nacional. Cabe muy bien cambiar el valor exigido a la durabilidad (sin llegar hasta la eventualidad de cambiar de casa todos los años), pero no se puede cambiar mucho la masa de la inversión anual en viviendas. El contrarresto de una reducida durabilidad ha de ser, pues, un costo reducido: una casa que durará diez años en vez de cincuenta, deberá ser cinco veces más barata o aproximadamente (es aceptable algo más, dado que una vivienda con esperanza técnica de vida de cincuenta años, por fuerza, no durará tanto tiempo: siniestros, expropiaciones, vetustez, etc.). Por consiguiente, no hay que prestar atención a los argumentos de los que dicen: «No es razonable, en el siglo en que vivimos, exigir una vivienda que dure cincuenta años» y que quieren vendernos una casa de diez

años de vida probable, al mismo precio que una casa susceptible de durar cincuenta años, al menos.

En la definición de durabilidad, hemos empleado la expresión «todas las exigencias humanas quedarán satisfechas». Esto se presta a muchos comentarios: es muy cierto que las cualidades de lo nuevo no pueden conservarse idénticas: lo nuevo no puede seguir siendo nuevo con el uso. ¿Admitiremos, pues, que ciertas exigencias no estén más que en parte cumplidas? Esto depende, con seguridad, de las exigencias. Las absolutas, las fisiológicas deben estar suficientemente satisfechas, al paso que las contingentes pueden cumplirse parcialmente. Podemos decir que se establece un equilibrio entre el disgusto de una insatisfacción parcial y el de un traslado a una nueva vivienda. Entre las contingentes hallamos, en primer plano, las exigencias de aspecto: grietas inocuas, la pérdida de esplendor son insatisfacciones de esta índole. Prescindiendo de lo que la conservación permite recuperar, queda un deterioro que no ha de ser muy grave para que se repunte admisible. Sólo el uso fija las pérdidas de calidad aceptables.

Por otra parte, aunque el edificio no prestare servicio, se haría vetusto en uno u otro punto, llegaría a ser obsoleto. Es difícil prever la velocidad de obsolescencia, por no ser ésta constante a lo largo del tiempo, pero es inconscusa. Hasta hoy ha sido lenta y, sobre todo, no ha sido definitiva: se ha instalado calefacción central en los castillos de Luis XIII. Una vivienda burguesa, construida en 1912, sigue siendo un apartamento excelente. Quizá no ocurre lo mismo con un alojamiento obrero de igual época: si no hay imposibilidad absoluta de instalar en él calefacción central y cuarto de aseo, hoy ineludibles, el costo de la reforma será a menudo demasiado elevado respecto al valor de la vivienda remozada.

En último término, ¿hay que pensar que las viviendas han de continuar durante cincuenta años cumpliendo exigencias tales como las que se formulan a cada momento, en función de la natural evolución? Si, por cierto, a beneficio de un breve retraso, el cual se juzga como una molestia equivalente a la de un traslado. He aquí una comprobación que viene a corregir seriamente, como ya lo habíamos previsto, la consideración de la relación precio-durabilidad. Es probable que, dando de lado a los caprichos de la moda, aceptaríamos viviendas *up to date*, que duraran 10 años y costarían sólo tres veces menos que los alojamientos de 50 años.

Hemos dicho, también, en la definición de la durabilidad que se admitiese que ciertos elementos de la construcción pudiesen ser cambiados cada *p* años. Es evidente, que tal cambio es una carga. Por esto, para una sana crítica de la relación precio-durabilidad, hay que concretar dichos cambios: como tradición, podemos decir que se admite el repintado cada cinco años, los guarnecidos y la corrección de filtraciones cada diez años, la puesta al día de cubiertas, cada veinticinco años. Cuando, por ejemplo, apare-

cieron los pavimentos plásticos delgados, debíamos haber comprobado si la economía de 180 pesetas por m², que significaba su empleo, respecto al entarimado de taracea, era suficiente para reducir a diez años la duración. En realidad, parece que, si es posible soportar el gasto, un entarimado clásico (parquet) es más ventajoso. Pero los topes de precios en las construcciones no consienten el parquet, sino sólo el pavimento plástico.

En otros campos, es de esperar que veamos obras baratas, con una durabilidad del orden de los diez años, que pretenden sustituir a otras tradicionales mucho más duraderas, y esto por una razón esencial: la confusión entre la duración apetecida para la construcción y la duración de la responsabilidad legal. El artículo 1591 del Código civil establece la responsabilidad de diez años para el arquitecto y para el contratista respecto a la estabilidad y la habitabilidad de la construcción, es decir, que sin prueba de lo contrario a su cargo, deben reponer las cosas a su primer estado. Los interesados se aseguran contra el riesgo que de él dimana y las compañías de seguros someten los proyectos y la dirección a la oficina *Veritas et securitas*. Pero los aseguradores y sus oficinas de control no suspiran más que por doblar el cabo de los diez años desde la conclusión de la obra.

Después de esto, el diluvio. De ello resulta que muchos tienen la convicción de que el único plazo de durabilidad digno de ser tomado en consideración es este de los diez fatídicos años. Pero sabemos que es un error de bulo.

Es curioso: comprobar que la durabilidad, noción tan esencial, hasta que se ocupó el *Centro científico y técnico del edificio*, no fue objeto de una exposición coherente de conocimientos. La ciencia de la durabilidad nunca había sido expuesta. Esto se debe, creemos, al hecho que, de todas las ciencias de la edificación es, sin duda, la más compleja y con más lagunas.

De hecho, disponemos de pocos medios para prever la durabilidad de una materia nueva. En verdad, al paso que para todas las demás exigencias cabe practicar la prueba directa e inmediata de su satisfacción, a través de un ensayo real, no ocurre lo propio para la durabilidad. En efecto, sólo al cabo de cincuenta años se ha llevado a cabo la prueba de que una obra posee tal durabilidad: los ensayos llamados de envejecimiento acelerado no tienen ningún valor probatorio, ni en teoría ni en la práctica: en teoría, porque nada nos autoriza a considerar que los ciclos acelerados que se emplean produzcan los mismos efectos que el desarrollo normal de las circunstancias de vetustez, antes al contrario; y en la práctica, porque se ha comprobado que los materiales se comportan de diferente manera frente al envejecimiento natural y al acelerado. Ahora bien, si se trata de un material o de una obra nuevos, es muy larga la espera de cincuenta años. Y al cabo de este lapso ya no se fabri-

can los mismos materiales ni se construyen las mismas obras. Volvemos sobre este asunto, en el capítulo de la aptitud de empleo y de la normalización. Pero ya veremos ahora que, al menos, cabe prever una parte de los ataques a la durabilidad del material (corrosión, erosión, etc.). Y siempre hay causas de ruina extrínsecas al material, tales como las tensiones excesivas, los movimientos diferenciales, que se pueden prever y cuyos efectos es posible calcular.

Sería falso creer que estamos del todo desarmados frente a los problemas de durabilidad; al contrario, podemos prever una parte notable de lo que va a ocurrir:

Por lo demás y para las obras nuevas, hay un tipo de reconocimiento de la durabilidad y, más generalmente, de la idoneidad de empleo, que es el certificado de aptitud técnica librado por el organismo oficial competente. Este documento de idoneidad constituye el beneplácito de los expertos, según el juicio derivado de lo que se verá en los capítulos siguientes y de las enseñanzas sacadas de las breves aplicaciones que cabe conocer, así como de la exigencia suministrada por las diversas *torturas* a las que se somete la obra nueva. Dicho criterio sobre la durabilidad no parece malo, dado que, en Francia, ha permitido admitir mayor número de materiales y de tipos de nuevas estructuras que en el resto del mundo y que han sido raros los casos de errores.

Para las obras tradicionales, en que la durabilidad queda asegurada por el respeto a las reglas del arte, o sea, por el empleo de materiales normalizados, de acuerdo con los pliegos de condiciones, es preciso, no obstante, atender a no salir de la *zona de seguridad*.

Con el intento de perfeccionamiento o de necesidad, cada día se emplean materiales y métodos de construcción más diferentes de los que antaño eran usuales; si, al hacerlo, se quiere evitar la transgresión de los límites de seguridad, hay que meditar sobre lo que se haga y saber por qué la obra tradicional se comporta a maravilla; esto es casi tan difícil como estudiar un nuevo sistema.

Para terminar esas generalidades, subrayamos que la noción de durabilidad es inseparable de la noción de conservación. Un pliego de condiciones describe la manera óptima de levantar una obra, pero ésta no será durable más que si se conserva como es debido. El pliego, pues, debería indicar siempre el entretenimiento necesario, que jamás será nulo.

LOS ENEMIGOS DE LA DURABILIDAD

Se pueden distinguir tres grandes causas perturbadoras de la durabilidad, es decir, de ruina de los edificios o de los elementos que los integran.

— Las tensiones excesivas o las resistencias insuficientes que provocan roturas o deterioros.

— Los movimientos diferenciales de los elementos de un edificio, que dan lugar a puestas en carga intempestivas, a grietas y a dislocaciones.

— Los ataques al propio material integrante, como son alteraciones internas, corrosiones y pérdidas de materia.

Ruina por tensión excesiva o por resistencia insuficiente

La ruina puede reconocer como causa el efecto de una tensión tomada en consideración, pero mal calculada. La exigencia de durabilidad coincide aquí con la de estabilidad. Comentarios sobre el tema se hicieron en el capítulo consagrado a la seguridad y a sus coeficientes.

Puede ser también una índole de tensión que no se ha tenido en cuenta en el cálculo; estas tensiones resultan, prácticamente todas, de movimientos diferenciales y las trataremos en el pertinente apartado.

Deterioros debidos a excesivos esfuerzos exteriores

Los simples deterioros proceden, en particular, de choques cuyo efecto puede ser una deformación, esto es, abollar una cara, albear una arista, desportillar una esquina, desconchar o desprender guarnecidos. Los choques violentos pueden acarrear la destrucción de los elementos o su estallido.

Se ha establecido una lista con los tipos de choque que caracterizan los diferentes ataques a los que un elemento constructivo puede quedar expuesto:

— Los choques de seguridad, que representan la caída de un cuerpo humano, se realizan con un saco de arena de 50 kg que cae de 2 m (ensayo de un panel interior) o de 1,50 m si el elemento ensayado va completado con parachoques.

— Los impactos suaves se materializan con una pelota de 3 kg que caiga de 20 cm (exterior) o de 10 cm (interior).

— Los impactos duros se efectúan con una bola de acero de 1 kg que caiga de 1 m al exterior, en plan terreno, y de 500 g que caiga de 75 cm al exterior, en los pisos altos, y en el interior.

Es difícil de prever el comportamiento al choque de un elemento y, al presente, lo más seguro es el ensayo real. Sin embargo, es posible advertir que, para evitar la rotura al choque de seguridad de los materiales frágiles en tableros, hay que apoyarlos sobre un bastidor de alfarías en cuadricula, por ejemplo:

— Para una placa de amianto-cemento de 10 mm de grueso, es necesaria una cuadrícula de 50×50 cm de malla, para 100 kg/m², en caso de una placa de 8 mm de espesor, una malla de 35×40 cm, para 75 kg/m².

Se puede también aplicar al material frágil, pegándolo sobre otro continuo y flexible (espuma plástica, tablero blando de fibras, corcho) o duro (espuma plástica rígida); una placa de amianto-cemento de 6 mm de grueso, en bocadillo de poliestireno dilatado, resiste al choque de seguridad de 75 kg/m², si la densidad del poliestireno es de 40 kg/m³; con un poliestireno de 15 a 20 kg/m³, en 3 cm de espesor, las placas de amianto-cemento ordinario deberían medir de 8 a 10 cm de grueso.

Numerosos materiales de gran aspecto son frágiles: vidrio, palastro esmaltado. He aquí algunos datos relativos al vidrio:

— El vidrio templado resiste al choque duro en 5, 7, 8 u 11 mm igual que al choque de seguridad, si está encajado en hoja de ventana por los cuatro lados. Pero si no está sujeto, más que por dos bordes, ha de tener 11 mm.

— Al contrario, el vidrio armado es muy frágil. No resiste al choque duro, incluso para 25 cm de altura de caída.

Las maneras de sujeción tienen, claro está, notable importancia contra choques duros; han de resistir el impacto, pero también absorberlo de modo elástico; el aguanie del elemento sujeto queda así muy favorecido.

Las diferentes colas no se comportan de igual manera; una cola, es decir, la película delgada obtenida por evaporación, por precipitación y evaporación o por polimerización puede tener elasticidad, resistencia o plasticidad distintas. Por regla general, las colas más elásticas y plásticas son las que ofrecen mejor resistencia a los choques (colas de neopreno).

Ruina por movimientos diferenciales

La segunda e importante causa contraria a la durabilidad la constituyen los movimientos diferenciales.

Un edificio es un conjunto de materiales heterogéneos rigidamente unido a un suelo que es, a su vez, también heterogéneo. Este enlace al suelo, que hace inmóviles a nuestras construcciones, es importante, no sólo por los movimientos verticales o asientos de los cimientos, sino porque se opone a los movimientos horizontales de las estructuras. Un navío es también una construcción de mucha importancia, cuyo apoyo vertical tiene reacciones más diversas y variaciones más rápidas que las de un terreno, pero es una construcción libre en sentido horizontal: un barco se dilata y se contrae libremente. Y además, en lo esencial de su estructura y de su envolvente es, en general, homogéneo. Pero en los edificios, la regla es la heterogeneidad y no son las construcciones de exposiciones construidas por completo por un solo material que forman una notable excepción.

PRIMER PUNTO: *el edificio es heterogéneo y está rigidamente unido al suelo.*

SEGUNDO PUNTO: todos los elementos de una construcción y el suelo experimentan sin cesar pequeñas variaciones dimensionales debidas a numerosas causas, y estas pequeñas variaciones difieren de un elemento a otro. *Hay, pues, movimientos diferenciales de elementos trabados entre sí.* Los enlaces entre elementos pueden, en algunos casos, impedir estos movimientos. De ahí, entonces, las grietas, los estallidos y las ruinas, ya mecánicas directas, ya debidas a la acción del agua a través de los elementos deteriorados y privados de protección.

¿Cuáles son las causas de las variaciones dimensionales?

La *dilatación térmica* es muy conocida; nos oponemos a sus efectos mediante las juntas consentidas. La temperatura de los elementos constructivos puede variar de -20°C al exterior, en invierno a $+85^{\circ}\text{C}$ y más, al sol o cerca de los aparatos de calefacción. La variación puede cambiar mucho entre elementos contiguos: por ejemplo, al sol, un muro macizo enjalbegado podrá no llegar a 15°C , al paso que, al lado, el palastro negro bajo vidrio estará a 100°C .

Además, los coeficientes de dilatación térmica presentan diferencias notables: el del cloruro de polivinilo es igual a siete veces el del plomo y el cinc, diez veces el del acero, que vale $1 \cdot 10^{-5}$ por grado.

Recordemos que un coeficiente de 10^{-5} da, entre -20 y $+80^{\circ}\text{C}$, para un elemento de 5 m de longitud, una dilatación lineal de 0,5 cm.

Menos conocidas, en general, son las variaciones higrométricas.

Sin embargo, los egipcios ya explotaban sus canteras, provocando la ruptura de la roca por el acunamiento debido a la humedad de tacos de madera, previamente mojados.

Las variaciones dimensionales por humedad son muy diversas y pueden ser muy importantes.

— Los metales, cuerpos que no absorben agua permanecen inmunes.

— Las piedras, los hormigones ordinarios o celulares, la cerámica quedan sometidos a variaciones tanto más sensibles cuanto más porosos son.

— Los plásticos sufren variaciones considerables.

— La madera se dilata intensamente en sentido normal a las fibras y mucho menos en sentido de las mismas.

El grado de humedad de los materiales es muy variable: para un material empleado en el interior, puede pasar del estado de equilibrio con la atmósfera al 20 % de humedad de un inmueble bien caldeado en tiempo frío, al estado de equilibrio con una atmósfera saturada de humedad en las estaciones intermedias (1). Accidentalmente, un material puede encontrarse en contacto con agua: fuga, defecto de estanqueidad del revestimiento.

Para los materiales exteriores, el grado de humedad variará desde el equilibrio con el aire seco del verano soleado al estado de imbibición por la lluvia.

Por fin, no echemos en olvido que muchas estructuras o sus órganos se fabricaron por vía húmeda, hormigones y yesos, en particular, y que partiendo de su estado inicial muy húmedo, se secarán con más o menos rapidez.

Las retracciones y tumideces deben distinguirse de las simples variaciones dimensionales por higrimetría, puesto que acompañan a un fenómeno físico o químico, como el aumento de volumen en el fraguado del yeso (seguido de una retracción por desecación) o la retracción del hormigón. Señalemos también el entumecimiento tanto de la cerámica o, mejor dicho, las variaciones lentas de la tierra cocida en presencia de la humedad.

Expuesto a la humedad, el material cerámico, experimenta, amén del consabido hincharamiento reversible, otra tumidez permanente. El valor de ésta es muy variado, pero puede exceder no poco del $100 \cdot 10^{-5}$ en algunos meses del año. Por otra parte, no es permanente en absoluto, porque parece que disminuye al cabo de algunos años. Recocho a 600°C , parece volver a las dimensiones iniciales.

En cambio, las tumideces obtenidas en autoclave a 150 ó 180°C no guardan relación con los observados en la realidad. Del conjunto de estas observaciones se saca la impresión de que la hincharón lenta de la tierra

(1) Todos los años se comprueban fácilmente estas variaciones en los muebles y en la carpintería interior.

cocida es la resultante de diferentes fenómenos de efectos opuestos y diversamente acelerados por la temperatura.

Los plásticos pueden presentar importantes movimientos irreversibles en condiciones normales; el calor y las radiaciones ultravioleta llegan a provocar la migración de plastificantes, operar transformaciones internas tales como el fin de la reticulación, o producir verdaderos recochos. Las variaciones dimensionales son, a veces, considerables: $1/100$ para baldosas de pavimento expuestas al sol.

Otra causa de variación dimensional, poco conocida a menudo, es la *tensión* a la que está sometido un elemento. La carga de un elemento ocasiona tensiones ya reversibles, inmediatas o diferidas, ya diferidas irreversibles o *fluencias*.

Las deformaciones bajo carga vienen caracterizadas por el módulo de elasticidad E . Y este módulo es muy variable de uno a otro material y bastante variable entre dos especies de una misma familia. Por ejemplo, el módulo E de la cerámica varía de menos de $100\,000$ bar (1.02 kg/cm^2) a $400\,000$, al paso que el módulo de la madera es de 4000 , normal a las fibras y de $100\,000$ en dirección a las mismas, y el del acero $2\,000\,000$. Estas diferencias modulares significan reparticiones, a veces imprevistas, de las cargas: un elemento rígido toma la carga que se había previsto asignada a otro elemento más resistente pero menos compresible, y el elemento rígido se rompe. Del mismo modo se explican los despergues debidos a acortamientos diferentes, bajo la carga, entre dos partes de un conjunto heterogéneo, en particular de un revestimiento y su soporte.

Las fluencias producen los mismos efectos, acentuados en la medida en que son relativamente más importantes. Es conocida la fluencia de los plásticos y también, aunque de manera imperfecta, la de los hormigones. Pero todos los materiales fluyen: las piedras, la cerámica, la madera. Hay que recordar siempre este hecho. Por haberlo olvidado, se ha visto, por ejemplo, el aplastamiento de tabiques cerámicos en edificios con estructura de hormigón armado, en la que el esqueleto, muy cargado, fluye (1).

Siguen todavía limitados nuestros conocimientos sobre algunos de los fenómenos antes citados (fluencia) y, en especial, sobre sus combinaciones. ¿Cuál será el estado final de un guarnecido (que tiene retracción propia, pero que puede fluir), tendido sobre un soporte que se hincha o sobre una junta que se abre por retracción de sus labios?

En todo caso, debe dar una enseñanza de orden bastante general: los movimientos propios de los materiales (retracciones y tumideces), al par que las desecaciones tienen una variación de tipo asintótico, con velocidad

(1) Hay que distinguir entre aplastamiento por fluencia o por retracción.

de variación máxima, recién fabricado. Siempre hay ventaja en no emplear productos recientes; al cabo de tres meses, una gran parte de los movimientos posibles ya se ha efectuado, con lo que se reduce notablemente el peligro de desórdenes.

Las diversas variaciones dimensionales, pero sobre todo las debidas a la temperatura, a la higrotermia y a las variaciones específicas, traen consecuencias particulares, cuando actúan sobre los materiales de placas o tableros, es decir, de elementos extensos según dos dimensiones y delgados en la tercera.

Estas variaciones provocan, entonces, *curvaturas*, a la vez antiestéticas y peligrosas; esto último puede anular la estanquidad y también porque motivan en las sujeciones de las placas esfuerzos imprevistos, pero considerables. Una placa de 2×1 m fijada en ocho puntos puede desatrollar en algunas de sus sujeciones un esfuerzo superior a 100 kg. Se viene a los ojos la importancia en el caso de empleo para cuajar, por ejemplo, en un elemento de carpintería de taller.

Hay que señalar, por fin, y no es la menos importante, la causa de movimientos diferenciales derivados de los *asientos de las cimentaciones*. Queda fuera de nuestro propósito abordar este asunto, dado que está tratado por completo en otros manuales, pero no podíamos dejar de aludirlo.

Así pues, el edificio, lejos de ser inerte, está constantemente hostigado por movimientos diferenciales, que pueden desatar esfuerzos importantes y tanto más considerables cuanto mayor es el módulo de elasticidad de los materiales examinados. Esto no ha de asustarnos, dado que ya se han construido edificios que aguantan firmes; pero debemos pensar en ello cuando aportamos innovaciones.

Por ejemplo, en la mampostería tradicional, la piedra no sufre retracción y se emplea seca; las juntas son de mortero de cal que no se rellena y es plástico; de ahí que estas juntas no se agrieten. Por otra parte, esta fábrica tradicional de cal y canto va revestida con un guarnecido de mortero de cal bastante plástico, impermeable, porque no se fisura y que, si hace falta, estanca las juntas.

Una construcción formada por grandes placas de hormigón se llama también mampostería; pero estas placas sufren variaciones dimensionales del orden de un milímetro. Cuando, hace algunos años, se contentaban con retundir las juntas sencillas, este procedimiento ha sido causa de decepciones; puesto que las juntas se agrietaban y perdían la estanquidad. En el caso en que pueden experimentar variaciones del orden de un milímetro, las juntas no pueden considerarse como de fábrica. Pero hay juntas capaces de absorber movimientos de tal entidad: son las de construcciones de madera, que se hacen estancas, no por continuidad de ma-

teria, sino por la forma de la junta y, en especial, por el recubrimiento sin contacto capilar. Al adoptar formas análogas, se han obtenido juntas de grandes tableros perfectamente estancas.

Ruina por deterioro de la materia

La tercera causa mayor contraria a la durabilidad es el *deterioro* de la propia sustancia del material por transformación de la materia o su desaparición. Este deterioro presenta diversas formas, deslavado de hormigones, corrosión electrolítica, reacciones fotoquímicas, oxidación, acción biológica de hongos o de insectos, etc.

Estas acciones se estudiarán más adelante.

CAPITULO IX

LAS VARIACIONES DIMENSIONALES DE LOS MATERIALES MINERALES⁽¹⁾

Los materiales que es corriente designar con el vocablo *minerales*, sin duda porque hacen intervenir, sin transformación muy importante, los productos extraídos del suelo, tienen, al revés de los productos más elaborados, que son los metales o los plásticos, una reputación de inmutabilidad, de cuerpos *inertes*, como suele decirse, aunque en verdad nada quiere decir. Los materiales minerales no poseen estabilidad dimensional más que en apariencia y todos, por causas diversas, *se mueven* más o menos a lo largo de su existencia. Un conocimiento, tan exacto como posible sea, del mecanismo y, sobre todo, de la amplitud de estos movimientos se hace cada día más necesario, por el hecho de los progresos logrados en otros campos y por la aparición de materiales nuevos, cuyo empleo lógico no cabría imaginar, sin conocer las acciones a las cuales se verán sometidos por parte de sus vecinos.

La misma noción de tradicional, con frecuencia adherida a los materiales aquí considerados, se ve también, ahora, algo superada.

La evolución de las técnicas de empleo de estos materiales se caracteriza por una rapidez de ejecución aumentada sin cesar y la investigación de una manipulación cada vez mejor de los materiales: pero entonces se echa de ver fácilmente que tamaño movimiento de un material constructivo, que carecía de efecto apreciable, cuando intervenía en una estructura generosamente dimensionada, puede conducir a perances serios, cuando el límite de seguridad se ajusta en exceso.

Sin embargo, estos materiales constructivos minerales son, casi siempre, de composición compleja, difícil de definir con precisión y, además, en el hormigón y el yeso, resultado de reacciones fisicoquímicas asimismo mal definidas y entrañando numerosas incógnitas. Allende de esto, sus movimientos al correr del tiempo resultan de la influencia de parámetros muy diversos, de los cuales, algunos difíciles de separar, como la temperatura y la humedad; por fin, estas variaciones oscilan entre magnitudes

(1). Redactado por M. CHABREI, Jefe de la División de Materiales Minerales del Servicio de Estudio de Materiales del C.S.T.B.

relativamente bajas, habida cuenta de la rusticidad de los materiales, lo que complica todavía más su medida.

Pero no es cierto que el conocimiento de cifras exactas sería aquí tan útil, si se considera la falta relativa de definición de los mismos materiales, y sólo el conocimiento de la marcha de los fenómenos y de su importancia relativa de un material a otro, debería bastar al constructor para establecer, en la medida de lo posible, las condiciones de preparación de los materiales, cuyo empleo ha previsto; en todo caso, esto debería dictarle las condiciones de colocación en obra.

En el capítulo precedente, se han enumerado las causas principales de variaciones de las dimensiones de los materiales. Son, primero, los agentes exteriores a los que se hallan normalmente sometidas las construcciones en servicio, definidos por las condiciones de entorno, o sean, para las principales:

- intemperie: lluvia, nieve, viento, radiación solar;
- características del aire ambiente: temperatura, higrometría, pureza;
- características propias de los elementos contiguos al edificio considerado: suelo, construcciones.

Por otra parte, el uso normal de la vivienda hace intervenir:

- cargas y sobrecargas de explotación que vienen a añadirse al peso propio de la construcción;
- calefacción y ventilación de los locales;
- choques y vibraciones;
- conservación normal.

No hay que perder de vista que algunos de estos factores intervienen desde el principio de la obra y que su efecto eventual sobre el material empleado debe ser contemplado desde la primera edad del mismo.

El material, singularmente en su corta edad, puede ser víctima de transformaciones químicas o fisicoquímicas más directamente relacionadas con sus condiciones de fabricación que a su entorno cuanto está en obra (fraguado de los conglomerantes).

Las variaciones dimensionales que añaden a los materiales pueden ser:

— ya deformaciones forzadas, consecuencia de los diversos esfuerzos a que están sometidos: cargas derivadas del peso muerto y de las sobrecargas de cualquier naturaleza, esfuerzos transmitidos por los movimientos del terreno;

— ya las variaciones intrínsecas, que no tienen efecto sobre el material más que en la medida en que éste no puede deformarse libremente a consecuencia de su enlace con otras partes de la estructura: movimientos debidos a cambios de la textura interna de la materia o a variaciones de su temperatura o de su higrometría.

Designaremos por *deformaciones* los movimientos del primer tipo y por *variaciones dimensionales* los segundos.

Dicho se está que, en la realidad, ambos tipos de fenómenos intervienen a la vez y es claro, por no citar más que un ejemplo, que el efecto de las cargas aplicadas sucesivamente a un muro de hormigón se superponen desde el comienzo de la construcción a los fenómenos de retracción de fraguado o de dilatación térmica.

DEFORMACIONES DE LOS MATERIALES MINERALES BAJO EL EFECTO DE FUERZAS EXTERIORES

Todos los elementos constructivos sufren esfuerzos exteriores, de los cuales algunos son permanentes y sensiblemente constantes, como el peso propio, al paso que otros pueden ser eventuales (esfuerzos resultantes del modo de ejecución de la obra) o variables (sobrecargas ecológicas); estas cargas son, en general, verticales, pero pueden actuar en dirección diversamente inclinada (empuje de tierras, viento); ellas provocan en los diferentes elementos de la construcción tensiones, cuyos dirección y sentido son función de la actuación en la obra del elemento considerado: tensiones de compresión, de tracción o tangenciales.

Un material sólido experimenta bajo el efecto de esta tensión dos tipos de deformación:

- deformaciones elásticas cuya amplitud final es función de la magnitud de la tensión e independiente del tiempo de aplicación de la misma;
- deformaciones plásticas cuya amplitud viene determinada a la vez por la magnitud de la tensión y el tiempo de aplicación de la misma.

Estas deformaciones consisten en:

- alargamiento o acortamiento paralelos a la dirección de las tensiones (deformación de compresión o tracción); están entonces caracterizadas por la razón de la tensión al recorrido unitario (módulo de elasticidad longitudinal);
- rotaciones (deformación por esfuerzo cortante) y, en este caso, vienen caracterizadas por la razón del ángulo de rotación del plano con-

siderado a la tensión (módulo de elasticidad transversal), sin olvidar las variaciones en el plano normal a la tensión.

Deformaciones y tensiones en tracción y compresión

Las deformaciones en el sentido de los esfuerzos de cuerpos sólidos homogéneos e isótropos vienen definidas por la ley de Hooke:

$$\Delta l = \frac{P}{E} l$$

en la que $\frac{\Delta l}{l}$ representa la deformación unitaria, P la tensión y E un módulo llamado *módulo de Young*. Pero de hecho, para los materiales minerales complejos empleados en construcción, las deformaciones bajo las cargas físicas reales no son nunca perfecta y completamente elásticas, incluso para cargas alejadas de la de rotura, es decir, que la deformación no es función lineal de la carga y, cuando ésta cesa, el cuerpo no recupera exactamente su dimensión inicial; ha habido fluencia.

Hay que observar, a la inversa, que si se obliga al material a una deformación Δl durante mucho tiempo, la tensión inicial f disminuye en forma progresiva a lo largo del tiempo, por relajación, hasta un valor $f' < f$.

Tensiones y deformaciones en rotura

Cuando la tensión que sufre el material crece, llega un momento en que alcanza un valor suficiente para dar origen a una deformación destructiva de la cohesión del material; es la *tensión de rotura*, a la que corresponde una *deformación de rotura*. De lo que precede, resulta que el valor de esta tensión puede variar, para un material dado, según las condiciones de su aplicación; en particular, crece con la velocidad de la puesta en carga.

Medida y control de deformaciones y tensiones

Los materiales minerales, y en particular el hormigón, son materias eminentemente heterogéneas, cuyas características intrínsecas no tienen valor fijo y dependen de la dimensión de los elementos considerados. Por esto, es corriente medir las resistencias a deformaciones y a rupturas de estos materiales por medio de probetas de forma sensiblemente constante, por lo menos para un material dado. Las cargas y coeficientes de defor-

nación en rotura se determinan, entonces, sobre estas probetas a través de ensayos de compresión en prensa.

Al aplicar los resultados obtenidos, hay que tener en cuenta la forma exacta en que se ha efectuado la medición y, en particular, la forma y las dimensiones de la probeta de ensayo.

Sea de ello lo que fuere, estos ensayos de aplastamiento son de uso corriente para determinar la resistencia en rotura por compresión de los materiales y su deformación bajo dicha carga. Los resultados que proporciona la prensa permiten trazar el diagrama carga-deformación y deducir del mismo los coeficientes de deformación instantánea bajo diversas cargas.

Observemos que para ciertos materiales fabricados en forma compleja, tales como los ladrillos huecos y las rasillas, que se prestan mal a ensayos de compresión en probetas cúbicas, el coeficiente de elasticidad se deduce de la medición de velocidad del sonido en la materia o de la frecuencia de resonancia bajo vibración forzosa de probetas standard de dicha materia; el coeficiente así determinado, que se llama *coeficiente dinámico*, es siempre ligeramente superior a las demás medidas; es la tangente en el origen de la curva esfuerzo-deformación. Otros métodos (cuerdas vibrantes, *strain-gauge*) pueden, además, ser empleados para determinar la evolución de las deformaciones y tensiones de los materiales *in situ*, en las estructuras reales. Pero en este caso, es muy difícil aislar las causas; variaciones de temperatura, sobrecargas, retracción, fluencia.

Datos experimentales

La experiencia demuestra que la mayor parte de materiales minerales son cuerpos frágiles, es decir, que no admiten más que débiles deformaciones antes de la rotura y que, en general, *estas deformaciones antes de rotura son tanto más acentuadas cuanto más débil es la tensión de rotura del material considerado*. Esto equivale a decir que el aumento de resistencia va acompañado de una disminución del alargamiento de rotura y de un aumento proporcional más intenso de los módulos de rotura.

Para estos mismos materiales minerales, las tensiones de rotura en compresión son, en general, mucho mayores que las tensiones de rotura en tracción y éstas del mismo orden de magnitud que las tensiones de rotura al esfuerzo cortante.

Los modos de rotura en tracción y en compresión son, por añadidura, sensiblemente diferentes, acaeciendo la rotura por tracción de un solo golpe, al paso que por compresión, por debajo de la tensión de rotura, aparecen grietas mucho antes de la carga máxima; de ello resulta que los coeficientes de deformación son más bajos en compresión que en tracción.

Tabla I. — CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y ELASTICIDAD
de los principales materiales minerales (valores promedios)

Designación de los materiales	Masa en estado seco kg/cm³	Resistencia mecánica a los 28 días		Coeficientes de deformación		Observaciones
		Compresión kg/cm²	Tracción kg/cm²	Instant. E × 10⁻⁵ en kg/cm²	Diferida	
PIEDRAS (1)						(1) En primera aproximación: $R_t \cong \frac{1}{6} a \frac{1}{10} R_c$ $E_t \cong 15\,000 \sqrt{R_c}$ (2) Muy variable según el origen de la piedra.
Caliza blanda	1450 a 1850	50 a 120	5 a 15	0,6 a 10	0,5 a 6,0	
» semiblanda	1850 a 2150	110 a 300				
» firme	2150 a 2350	275 a 550	25 a 75	2,2 a 6,0	2,0 a 4,0	
» dura	2350 a 2600	500 a 1200				
» dolomítica	2600 a 2800	1000 a 1800	80 a 200	5,5 a 7,0	5,5 a 7,0 (2)	
ARENISCA	2000 a 2300 2300 a 2700	300 a 500 500 a 1700	—	0,6 a 1,4 1,0 a 3,5 (1)	—	(1) En primera aproximación: $R_t \cong \frac{1}{6} a \frac{1}{10} R_c$ $E_t \cong 4600 \sqrt{R_c}$
GRANITOS	2500 a 2700	900 a 1500	—	2,0 a 6,5 (1)	—	(1) En primera aproximación: $E_t \cong 11\,500 \sqrt{R_c}$
CERAMICA	1700 a 1800	promedios (1) 150 1.ª calidad 400 mediocres 50	—	0,9 a 1,5	—	(1) Según el modo de fabricación y la temperatura de cocción.
Ladrillo matizo corriente						
Ladrillo hueco	1800 a 1900	25 a 80 (1) trozo de 200 hasta 1000 (2)	60 a 120	2 a 3,5 y más	Probablemente 50 a 80 % del módulo instantáneo	(1) Resistencia por cm² de sección en bruto, incluso huecos. (2) Resistencia de materia integrante.

HORMIGONES pesados para:						
Hormigón armado ... granulometría normal dosis 350 kg/m³.	2200 a 2500	300 a 500 y más	$R_t \cong \frac{1}{8} a \frac{1}{15} R_c$	3 a 4,0 (1) y más	Valor generalmente admitido: $E_d \cong \frac{1}{3} E_t$	(1) Según las normas HA 60. $E_t \text{ inst} \cong 27\,000 \sqrt{R_t}$ $E_t \text{ dif} \cong 9\,000 \sqrt{R_t}$ donde R_t = resistencia a compresión medida en cilindro el día t .
Apisonado granulometría sin triar dosis 200 kg/m³.	2000 a 2100	200 a 350		2,5 a 3,3		
Conglomerados	1900 a 2100	100 a 250		1,5 a 2,8		
Porosos	1600 a 2000	40 a 150	algunos kg	alrededor de 2,5	—	Dispersión muy elevada Gran importancia del factor conservación.
HORMIGONES ligeros con adición de:						
Puzolanas o escoria dilatada	macizos o semiporosos 1200 a 1600 porosos 1000 a 1200	40 a 100 (y más si d.a > 1600) 15 a 20	5 a 20 (1) y más si d.a 1600 algunos kg	0,5 a 2,0 (2) 0,2 a 1,5 (3) 1,5	—	(1) $R_t \frac{1}{5} a \frac{1}{9} R_c$ $\cong 15 a 20$ (2) Módulos dinámicos. (3) Coeficientes de deformación instantánea.
Piedra pómez	800 a 1400	20 a 120	—	0,3 a 0,7	—	Todos los hormigones ligeros acusan una disminución de sus características mecánicas en zona húmeda. (de 10 a 20 %)
Arcilla dilatada	500 a 700	140 a 250	—	—	—	
Vermiculita	300 a 800	5 a 15	—	0,03 a 0,1 1 a 1,8	—	
Hormigones celulares de autoclave	500 a 700	35 a 60	—	0,15 a 0,30	—	$m = 80 a 120$ (1) Deformabilidad bajo carga hasta el 15 %.
Hormigones de virutas .	500	3 a 10	—	* ? (1)	—	
Amianto-cemento	1600 a 2000	—	100 a 170 (1) hasta 250	1,0 a 1,5 hasta 2,0		Módulo variable según la dirección. (1) Valores muy influidos por el grado de humedad.

NOTA: Los valores dados en la tabla son órdenes de magnitud para materiales de buena calidad corriente. En algunos casos pueden ser notablemente sobrepasados en uno u otro sentido.

57

UNIVERSIDAD DEL VALE
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

A consecuencia de las diferencias que hay entre las resistencias a compresión y a tracción sería del mayor interés adquirir un conocimiento más exacto de las deformaciones en tracción de los materiales minerales, fundamental para el estudio de las quebraduras que son su manifestación extrema; sería también muy útil conocer con precisión las deformaciones a largo plazo de los materiales. Por desgracia, estas deformaciones han sido menos estudiadas, porque son de difícil medición directa y casi siempre hay que contentarse con apreciarlas por deducción, partiendo de observaciones aisladas, llevadas a cabo en laboratorios o en las obras.

A título indicativo, la tabla I da, para los principales materiales constructivos, los valores más corrientes de resistencias a rotura en compresión y tracción y los coeficientes de deformación instantánea determinados como pendiente media de la curva deformación-tensión en compresión en la zona de deformación elástica o de deformación diferida.

En primera aproximación, los datos de la tabla bastan para formarse una idea del orden de magnitud de las deformaciones experimentadas por los materiales, en función de la carga que se les aplica: es así que, por ejemplo, en la hipótesis de un muro de cantería (piedra blanda) con un módulo $E = 80\,000 \text{ kg/cm}^2$, que trabaja en compresión simple, y despreciando la deformación propia de las juntas, la deformación, tras la puesta en carga, debiera ser, para una altura de piso de 3 m. del orden de $\frac{8 \times 3000}{80\,000} = 0,3 \text{ mm}$ y que, en el caso de un muro de hormigón apisonado, de módulo $E = 150\,000 \text{ kg/cm}^2$, trabajando a 30 kg/cm^2 , la misma deformación sería del orden de $\frac{30 \times 3000}{150\,000} = 0,6 \text{ mm}$.

Observación: los coeficientes que aquí se han tomado son los coeficientes instantáneos que no tienen en cuenta las deformaciones lentas por fluencia; estos módulos no son forzosamente constantes en el tiempo y varían en función de la humedad de equilibrio del material o de su resistencia mecánica en especial si esta última varía igualmente en el tiempo, lo que ocurre en morteros y hormigones (caso de hormigones fluidos bajo carga desde su vertido); a las deformaciones así calculadas vienen a añadirse las variaciones dimensionales espontáneas, de las que trataremos más lejos.

CASO PARTICULAR DE HORMIGONES Y MATERIALES CERÁMICOS

De algunos trabajos realizados sobre el problema de las deformaciones lentas de los productos cerámicos parece deducirse que estos materiales son poco sensibles a los fenómenos de fluencia y que sus deformaciones bajo carga constante quedan estabilizadas prácticamente al cabo de

menos de un año, quedando las deformaciones elásticas instantáneas de cuatro a ocho veces superiores a las deformaciones por fluencia.

Los coeficientes de elasticidad de las tierras cocidas cubren una zona muy ancha; se puede decir *a priori* que el coeficiente es tanto más elevado cuanto más alta ha sido la temperatura de cocción y más esmerada la preparación de la arcilla (amasado, extrusión, secado). Para los hormigones, la zona en que se sitúan los coeficientes de elasticidad queda aún más abierta, a causa de la extrema variabilidad de las características y de las dosificaciones de conglomerantes y áridos. Para estos materiales, los fenómenos de fluencia son, no obstante, algo mejor conocidos merced a los innumerables estudios suscitados por el desarrollo del empleo de los hormigones en las técnicas del hormigón armado o pretensado.

Los resultados de estas investigaciones demuestran que la importancia y la evolución de las deformaciones por fluencia están, para un hormigón determinado, sujetas a los principales parámetros siguientes:

— *la duración de la carga*: evolución lenta según ley asintótica, pudiendo la deformación final alcanzar de tres a cinco veces la deformación elástica instantánea (a cinco o seis años) (fig. 11);

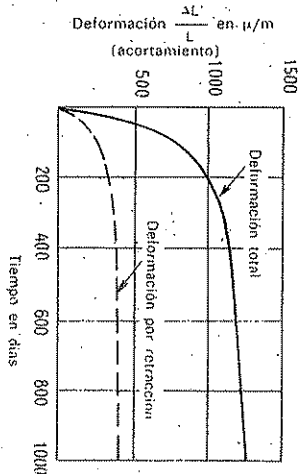


Fig. 11. — Variación típica de la deformación por fluencia en compresión continua de un hormigón conservado en aire con 75 % de humedad (dosificación 350 kg/m^3).

— *la época de carga*: la deformación, en conjunto, es inversamente proporcional al valor de la resistencia del hormigón en el momento de aplicación de la carga (fig. 12); en el caso de hormigones frescos cargados, la deformación elástica se produce alrededor de 1/4 a 7 días, la mitad en un mes y 3/4 en un año;

— *la magnitud de la tensión*: las deformaciones son sensiblemente proporcionales a la tensión que provoca la fluencia y a la duración de su aplicación (fig. 12);

— *el modo de curado y la composición del hormigón*: las deformaciones siguen una ley paralela a las de retracción, que veremos más adelante, y vienen, en particular, muy acentuadas por la sequedad del ambiente;

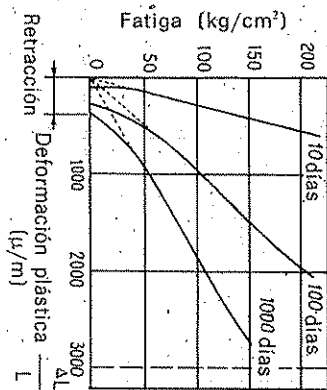


Fig. 12. — Fluencia en compresión continua. Efecto de la intensidad de la carga para diferentes épocas de actuación.

— *el volumen solicitado*: tanto las deformaciones por fluencia como las de retracción decrecen cuando aumenta el volumen de la pieza solicitada.

Estas deformaciones pueden alcanzar valores importantes que, acumulados a las retracciones llegan a exceder de un mm por metro (fig. 11).

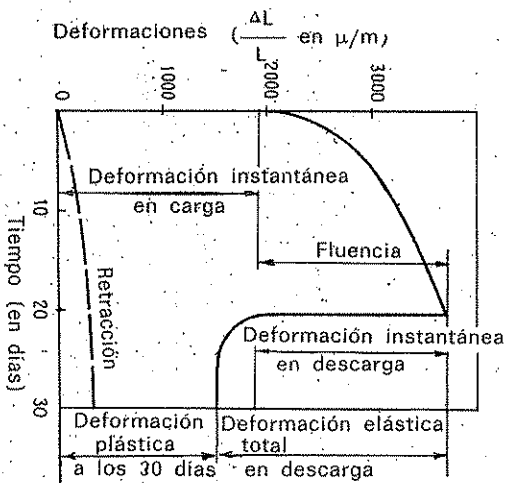


Fig. 13. — Efecto de descarga. Pasta pura de cemento, mantenida con 50 % de humedad.

Observemos que si por otra parte, al término de una carga de larga duración, la pieza solicitada se descarga, acusa una deformación instantánea parcial en sentido inverso, seguida de una ligera deformación diferida (fig. 13), cuya amplitud es del orden del 10 al 20 % de la deformación instantánea.

Al cotejar los resultados de esas diversas investigaciones y las observaciones hijas de la experiencia, el Comité europeo del hormigón se ha visto impelido a precisar para este material, en sus recomendaciones a los constructores:

1) Que si σ_{am} representa la resistencia media a compresión prevista para el hormigón a los d días de edad, expresada en kg/cm^2 , el módulo de deformación longitudinal del hormigón a la edad d puede ser estimado con aceptable aproximación por la fórmula:

$$E_{am} \text{ (en kg/cm}^2\text{)} = 21\,000 \cdot \sqrt{\sigma_{am}}$$

para las cargas instantáneas o rápidamente variables, mientras las tensiones en la obra, en condiciones de servicio, sean inferiores a $0,3 \sigma_{am}$.

2) Que la deformación debida a la fluencia puede estimarse proporcional, a igualdad de todo lo demás, a la deformación instantánea, que varía en el tiempo como la retracción hidráulica y que puede expresarse así:

$$\epsilon_f = \epsilon_i \cdot \varphi_0 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \xi \cdot \delta$$

donde ϵ_i es la deformación instantánea bajo la tensión que provoca la fluencia y puede deducirse de:

$$E = 21\,000 \cdot \sqrt{\sigma_{am}}$$

φ_0 , α , β y ξ son coeficientes que tienen en cuenta respectivamente:

φ_0 la humedad del ambiente,

α el valor de la menor dimensión de la pieza,

β la composición del hormigón,

ξ la edad del hormigón en el instante de ser cargado,

δ es un coeficiente que permite apreciar la parte de deformación diferida correspondiente a un lapso dado.

Las normas para el cálculo y ejecución de obras de hormigón armado (HA 61), en ausencia de providencias especiales, autorizan a tomar como valor de los módulos de deformación longitudinal del hormigón, expresados en kg/cm^2 , a la edad de d días:

$$E_{am} = 7\,000 \cdot \sqrt{\sigma_{am}} \text{ para cargas y sobrecargas permanentes,}$$

$E = 21\,000 \cdot \sqrt{\sigma_{am}}$ para cargas rápidamente variables cuya duración de aplicación es inferior a 24 h.

En estas fórmulas σ_d es la tensión de rotura en compresión del hormigón en el día d (1) expresada en kg/cm^2 , y son utilizables en tanto que las tensiones en obra no excedan el 30 % de σ_d .

Consecuencias de las deformaciones bajo cargas

De todo lo que antecede, por variables que sean las cifras adelantadas, cabe deducir que el orden de magnitud de las deformaciones en rotura de los materiales minerales es siempre muy bajo; que, además, la resistencia a tracción y a esfuerzo cortante de estos materiales son, en general, mediores y que procede, salvo un artificio como el hormigón armado, limitar todo lo posible las tensiones de esta naturaleza, mediante una aplicación adecuada.

Pero el hecho dominante que precisa considerar es éste: las deformaciones que, consideradas separadamente, no serían molestas, siendo homogéneas, se hacen peligrosas desde el momento en que varios materiales trabajan de consuno, a consecuencia de las tensiones elevadas que pueden suscitar en uno u otro de dichos materiales por movimientos derivados de una diferencia entre las cargas soportadas por el mismo material en dos elementos adyacentes, o de una diferencia de elasticidad de dos materiales contiguos igualmente cargados.

Es, pues, esencial para el constructor la determinación concienzuda de las características relativas a la elasticidad de los diversos materiales que emplea y tenerlas en cuenta mediante afortunadas disposiciones constructivas, como:

- organización de juntas flexibles en el caso de aplacados o de estructuras delgadas, concebidas como no sustentantes y que, sin dicho artificio, resultarían solidarias de los muros de carga (tabique, aplacados de paramento);
- búsqueda de perfecta homogeneidad de características en los diversos materiales sustentantes de un mismo plano horizontal;
- intento de repartición homogénea de las cargas en estos mismos planos horizontales.

El constructor, cuando él mismo fabrica el material que usa (hormigón), deberá, además, esforzarse en conferirle, en función del uso previsto, las características de deformación más apetechibles, mediante la elección juiciosa de sus componentes y de las condiciones de dosificación o de endurecimiento, teniendo presente que, por regla general, como se dijo, el coeficiente de deformación, en igualdad de circunstancias, crece

(1) Medida en probeta cilíndrica.

más de prisa que la resistencia a rotura en tracción y que un material presenta una capacidad de alargamiento tanto menor cuanto más resistente es.

VARIACIONES DIMENSIONALES PROPIAS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Los materiales de construcción van envueltos por el aire ambiente, cuyas características físicas son esencialmente variables; están sometidos a la lluvia, a las heladas y a la radiación solar, factores climáticos sujetos, de por sí, a incesantes variaciones.

Algunos de ellos están, por fin, expuestos, en su primera edad, a transformaciones químicas o fisicoquímicas.

Por la acción de estos agentes exteriores, se hallan en perpetua evolución hacia un equilibrio siempre diferido. Para el caso de los materiales minerales en su aplicación a la vivienda, los factores físicos más importantes de estas variaciones son, en la práctica, la temperatura y la acción del agua (vapor, líquida o sólida); la composición química del aire, si quiera actúe, puede, no obstante, ser tenida como de importancia secundaria para la estabilidad dimensional.

Por otra parte, el efecto del hielo corresponde, de hecho, a los fenómenos de transformación, pérdida de materia o corrosión de los que luego se hablará.

Efecto del agua. Retracciones y tumideces

Por regla general, todos los materiales minerales actúan una disminución de dimensión si pierden agua (y, al revés, hinchazón si absorben humedad). Esta *retracción* a temperaturas normales tiene por causa principal la evaporación del agua libre del material y la variación de la tensión superficial que resulta para el líquido todavía retenido en los intersticios submicroscópicos del mismo.

Sobre algunos materiales el agua ejerce también una acción química, con modificación de la estructura cristalina de la materia; es el caso, por ejemplo, de los fenómenos de fraguado, que se presenta en los materiales a base de cemento o de yeso, pero también parece darse, en grado muy variable, en los materiales cerámicos.

El primero de los citados modelos de intervención del agua conduce a variaciones dimensionales casi enteramente reversibles; el segundo, al

contrario, se traduce en variaciones, en parte al menos, irreversibles (entumecimiento de yesos, retracción de fraguado en cementos, tumidez diferida en materiales cerámicos).

Hay que advertir que estas variaciones son a menudo difíciles de distinguir de las debidas a los efectos de la temperatura y que ponen en juego fenómenos de evolución, en general, muy lenta.

Medida de las variaciones diferenciales debidas a la humedad

Esta medida se efectúa sobre la distancia que separa dos puntos de referencia, marcados en la superficie de la pieza que se ensaya o sobre la que separa ambos extremos de la probeta.

La medición propiamente dicha puede efectuarse por método óptico, lo que es obligatorio, si se quieren seguir las variaciones de dimensión a partir de la fabricación del material, cuando no posee todavía una cohesión suficiente para autorizar su manipulación, o mediante comparadores, en seguida que el material presenta la resistencia deseada.

Dada la estrecha interdependencia que hay entre el efecto de la temperatura y de la dosis de agua, estos ensayos se llevan a cabo según ciclos de exposición convencionales, siempre sensiblemente idénticos, de manera que se disponga de resultados comparables.

Dada por otra parte la lentitud de la evolución de los fenómenos de puesta en equilibrio higrométrico de los materiales interesados, los ensayos precedentes se hacen, en laboratorio, sobre probetas prismáticas de reducida sección (4×4 o 7×7 cm) y una gran superficie de evaporación.

Por idénticas razones, las condiciones de medición se eligen relativamente extremadas: por ejemplo, inmersión en agua (en vez de exposición en ambiente saturado) y permanencia en ambiente del 50 % de humedad relativa, o, si el material lo permite, desecación en estufa ventilada a 50 ó 100°C, pero en este caso, como es lógico, la medición en seco debe efectuarse después del entumecimiento de las probetas.

Siempre, las pesadas y mediciones de longitud se hacen a intervalos de tiempo regulares, de suerte que sea posible seguir la evolución de las dimensiones del material y referir dicha evolución a la del secado.

Datos experimentales

MATERIALES CERÁMICOS

Los materiales cerámicos, por su modo de fabricación, quedan secos por completo, a la salida del horno y se hinchan, por tanto, desde el momento en que se les expone al aire ambiente, en el que experimentan la acción del agua, vapor o líquido.

A lo largo de la coctura, los materiales arcillosos de base se han deshidratado y, después, liberadas las sílices y la alúmina, han reaccionado entre sí y con los álcalis y otros componentes para dar nuevos compuestos.

La absorción de agua por estos compuestos provoca un entumecimiento, por cierto bastante débil, que es reversible por caldeo a temperatura inferior a 100°C o, más lentamente, por exposición a una atmósfera más seca. El orden de magnitud de estas tumideces y retracciones reversibles permanece, en general, inferior, para los estados extremos (inmersión en agua y desecación a 60°C, por ejemplo), a algunas décimas de mm/m (0,12 a 0,15 mm/m como máximo para productos corrientes, es decir, una variación relativa de 12 a 15 · 10⁻³).

Obsérvese que, sin embargo, son dignos de consideración por el hecho de la mediocre capacidad de deformación del material, es decir, de su módulo de elasticidad relativamente alto y de las rápidas elevaciones de las tensiones que pueden originar, en el supuesto, más o menos sancionado por la realidad, de materiales privados de libertad de variación dimensional.

Observaciones efectuadas sobre estos materiales, desde hace algunos años, demuestran, además, que interviene otro fenómeno, según dijimos: es una tumidez irreversible muy lenta, pero susceptible, a largo plazo, de alcanzar valores mucho más importantes que los precedentes entumecimientos reversibles. Esta tumidez puede ser aguijada por recocido a 600°C como mínimo. Es difícil explicarla por proceso físico y todo lleva a creer que se debe a una reacción de combinación del agua con algunos elementos del producto cocido, sílice y silicatos amorfos.

En el estado actual de los estudios, parece que la velocidad de evolución y la amplitud final de esta tumidez dependen, en primer término, de la composición química de la arcilla de origen, de la temperatura de coctura y quizás, en menor grado, de la atmósfera y del proceso del horno; estas magnitudes, al contrario, están poco o nada influidas por el procedimiento de preparación de la arcilla (amasado, extrusión, secado).

En fin, la evolución del fenómeno parece que no viene notablemente acelerada, a temperatura normal, por la acción intermitente del agua líquida (lluvia). Esta evolución, algo rápida las primeras semanas, se hace

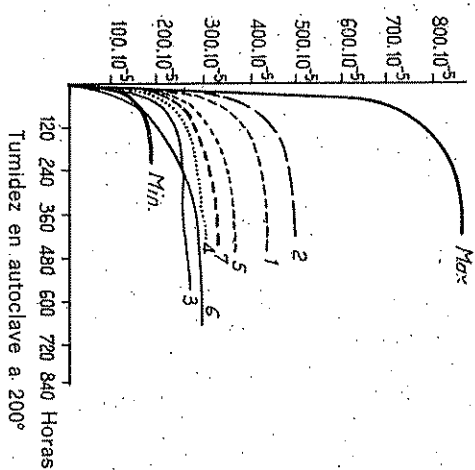
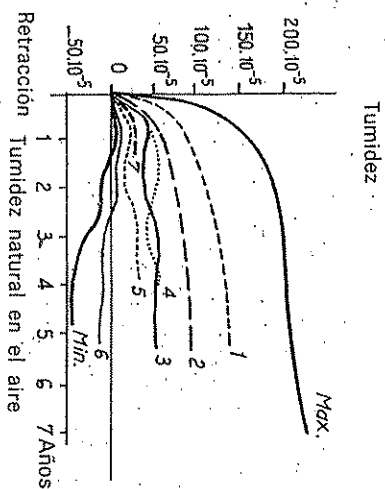


Fig. 14.—Cada curva numerada da el promedio de expansión de un producto, comprobado en una muestra.

más lenta al cabo de tres a seis meses; pero todavía es sensible pasados tres años (máximo del orden de 0,03 mm/m, cada seis meses) y podría llevar a tumideces finales que van desde cantidades despreciables a 1 y hasta 3 mm/m (fig. 14), a una variación relativa de $100 \cdot 10^{-5}$ y más.

HORMIGONES Y MORTEROS

La experiencia demuestra que, en atmósfera saturada, los hormigones experimentan pocas variaciones a lo largo de su endurecimiento y de los años siguientes; pero cuando es baja la humedad relativa del aire, se retraen de manera continua hasta un valor sensiblemente constante, siempre que sean iguales las demás circunstancias, cualquiera que sea la época de intervención del cambio de atmósfera. A la inversa, dentro del agua, el hormigón se hincha un poco, pudiendo esta dilatación alcanzar valores sensibles en caso de hormigones con áridos o morteros muy porosos.

La evolución del fenómeno está vinculada a la evaporación del agua y a las modificaciones que de ella derivan en el estado de equilibrio de los meniscos internos, que es, a su vez, función de la dimensión de los capilares o huecos intersticiales y de la tensión del vapor junto al agua. Su amplitud depende, por otra parte, de la capacidad de resistencia ofrecida por el material a los esfuerzos de retracción que resultan de dicha modificación de equilibrio.

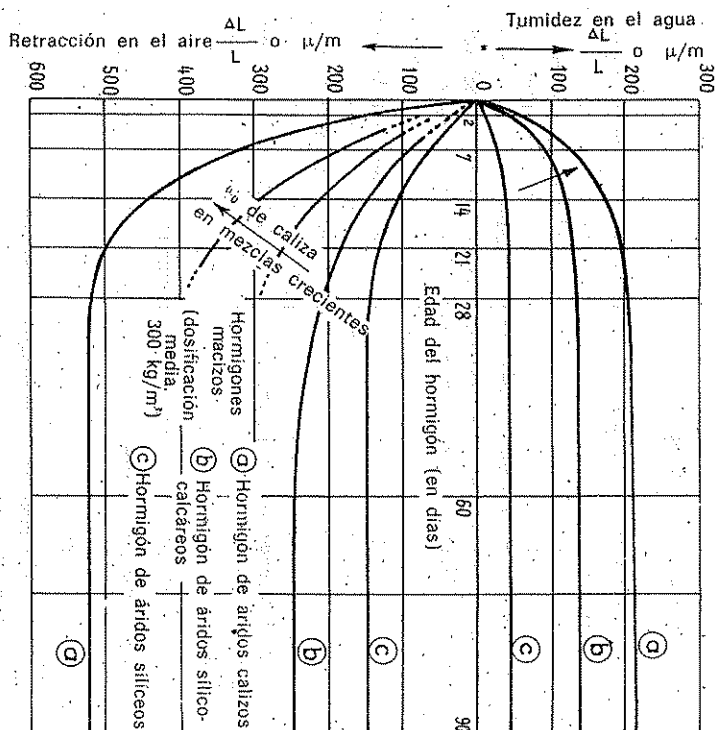
En forma más precisa, la observación manifiesta que:

- la retracción de un elemento de hormigón, a una temperatura dada, es tanto más intensa y su evolución tanto más rápida, cuanto más seco es el ambiente de conservación del elemento;
- la retracción final de un hormigón queda apenas influida por la dimensión de la estructura, vaciada según su forma, pero dicha dimensión tiene, al contrario, una influencia notable en la velocidad de evolución del fenómeno; parece que, de hecho, esta evolución es función del cuadrado de la razón del volumen a la superficie;
- la retracción final del hormigón, para condiciones dadas de exposición está, además, en estrecha dependencia de las condiciones de preparación y de la composición del hormigón, que determinan sus características mecánicas y elásticas; en particular:

— la retracción es tanto más intensa cuanto más bajo es el módulo de elasticidad propio del árido (caso de áridos ligeros) (figs. 15 y 16), o cuanto más relacionada es la trabazón del esqueleto de dicho hormigón (por ejemplo, poca compacidad o elevada dosis de agua).

De pasada, hemos de notar que una exposición demasiado rápida del hormigón a una atmósfera seca puede ocasionar un principio de retracción por evaporación antes del fraguado, que es muy importante por el hecho de ausencia de resistencia del material (caso de guarnecidos o chapas horizontales delgadas sobre soportes absorbentes). Además:

— la retracción es tanto más pronunciada cuanto más numerosos (en promedio) son los huecos intersticiales susceptibles de intervenir en el



fenómeno. Se comprueba, en efecto, que la retracción aumenta, en igualdad de circunstancias, con el tanto por ciento de elementos finos, principalmente de cemento;

— la retracción final es también, desde luego, función de la naturaleza del conglomerante, y la experiencia demuestra que este último tiene una retracción sensiblemente proporcional a su superficie específica (de donde, retracción más importante de los conglomerantes de alta resistencia inicial y fino molido).

Observamos, también, que los productos adicionales solubles, incorporados a veces al cemento para acelerar su fraguado o para permitir el hormigonado en tiempo frío (Cl_2Ca), ejercen a la par una acción nefasta sobre la retracción, al modificar las características de tensión superficial en el origen del fenómeno.

Indiquemos los órdenes de magnitud de las retracciones:

$40 \cdot 10^{-5}$ para hormigones macizos de árido pesado.
 $25 \cdot 10^{-5}$ para hormigones porosos de árido pesado.

$50 \cdot 10^{-5}$ para hormigones compactos, de áridos ligeros, puzolanas, escorias dilatadas, arcillas dilatadas.

$100 \cdot 10^{-5}$ para hormigones de vermiculita y perlita.

y para las variaciones reversibles por humedad entre estados extremos:

$25 \cdot 10^{-5}$ para hormigones macizos de árido pesado.

$10 \cdot 10^{-5}$ para hormigones porosos de árido pesado.

$10 \cdot 10^{-5}$ para hormigones de puzolanas, escorias dilatadas, arcillas de igual condición.

$70 \cdot 10^{-5}$ para hormigones de vermiculita y perlita.

HORMIGÓN CELULAR DE ALTOCEMENTO

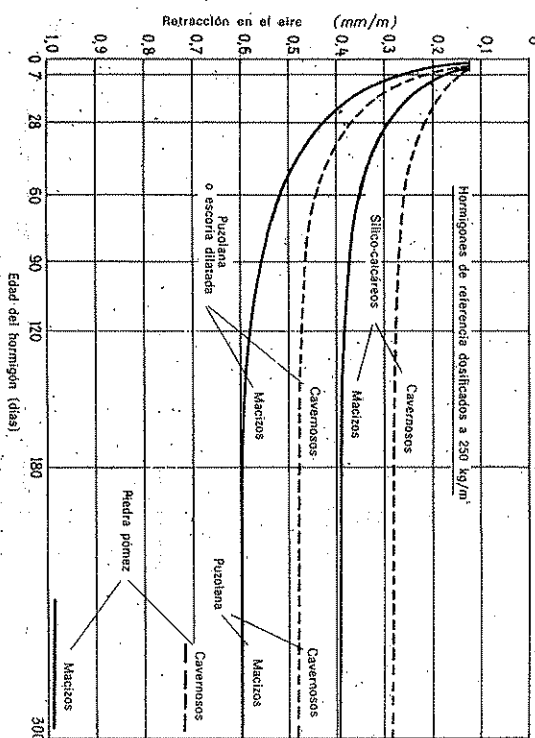
El hormigón celular nada tiene de común con los hormigones ordinarios, dado que debe su textura a la reacción silicocalcárea empleada también en la fabricación de ladrillos hidráulicos.

Apenas se puede hablar de retracción, sino de variación en el secado inicial, $50 \cdot 10^{-5}$.

Las variaciones higrométricas, según el certificado de idoneidad técnica, deben ser inferiores a $60 \cdot 10^{-5}$. Fabricaciones muy esmeradas pueden dar $30 \cdot 10^{-5}$, pero las chafallonas alcanzan $100 \cdot 10^{-5}$.

YESOS

Los yesos, como es sabido, son mezclas, en proporción variable, de diversas variedades alotrópicas de semihidrato SO_4Ca , $1/2\text{H}_2\text{O}$ y de an-



hidrido SO_4Ca ; ambos componentes tienen la propiedad de fraguar en presencia de agua, por cristalización bajo forma de red de finos cristales entrecruzados de hidrato $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, pero las condiciones de este fraguado varían mucho según el componente considerado y, en definitiva, es muy difícil definir un yeso con precisión. Además, no son puros los productos comerciales y las impurezas influyen del mismo modo sobre las variaciones dimensionales del material preparado.

Sea de ello lo que fuere, la observación enseña que, a partir del amasado (es decir, de la mezcla del yeso con el agua), el yeso empieza siempre por acusar un ligero turgido que se prolonga hasta un poco allende el principio del fraguado, después de un aumento de volumen que dura todo el tiempo del fraguado hasta el final de la reacción de hidratación y, por fin, una retracción de secado, en general menos importante que la anterior tumidez (fig. 17).

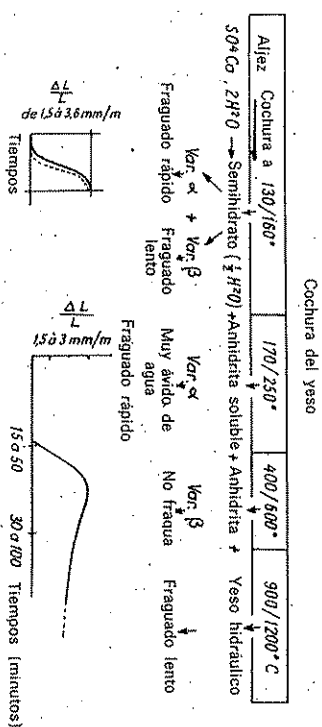


Fig. 17. — Variaciones dimensionales de un yeso después del amasado.

Por ulterior absorción de humedad, el yeso, como los demás materiales, se hincha de nuevo y se retrae inversamente por secado.

La amplitud de estas variaciones dimensionales y su forma en el tiempo dependen de la composición del yeso empleado, pero dependen también de su finura. Por regla general:

- la tumidez varía en el mismo sentido que los tantos por ciento de yeso no cocido y de las impurezas frías, singularmente la arcilla;
- disminuye también con la dosis de agua de manipulación.
- la retracción que sigue a la tumidez es menor que la acusada por los cementos (a causa de ser más grosera la estructura);
- esta retracción, por lo demás, aumenta precisamente con la presencia de impurezas finas, como la arcilla.

Hay que observar que la evolución de estas variaciones es más rápida que en el cemento, lo cual está vinculado al hecho de que la evolución de la resistencia de un yeso viene condicionada tan sólo por la de su secado, y que la reacción de hidratación propiamente dicha se acaba, en la práctica, en un plazo inferior a una hora.

Además, siendo exotérmica la reacción de fraguado de un yeso, la dilatación debida al aumento de temperatura se superpone a la hinchazón de fraguado del material.

El orden de magnitud de estas diversas variaciones de dimensión para los diferentes tipos de yeso más empleados en construcción es de:

- 150 a $350 \cdot 10^{-4}$ para la tumidez inicial,
- 20 a $150 \cdot 10^{-4}$ para la tumidez residual,
- 150 a $200 \cdot 10^{-4}$ para las variaciones dimensionales entre estados extremos de humedad.

AMIANTO-CEMENTO

El amianto-cemento, preparado bajo forma de pasta líquida, que luego se seca, contiene una proporción importante de conglomerante. Por otra parte, el amianto, incorporado en forma de fibras, apenas puede oponerse a las variaciones dimensionales; en efecto, las variaciones son muy importantes:

- Amianto-cemento ordinario: $170 \cdot 10^{-4}$.
- Amianto-cemento comprimido: $220 \cdot 10^{-4}$. Amianto-cemento celulosa ordinario: $250 \cdot 10^{-4}$.
- Amianto-cemento comprimido y sometido a autoclave: $110 \cdot 10^{-4}$.
- Amianto-cemento-celulosa comprimido: $290 \cdot 10^{-4}$.

PIEDRAS

Las piedras también se hinchan por absorción de humedad; parece que no puede hallarse una relación entre esta característica y las demás propiedades de la piedra, tales como la densidad, la dureza o la resistencia al aplastamiento.

Carecemos de información acerca de estas tumideces, que son debidas: orden de magnitud: $10 \cdot 10^{-4}$ entre estado seco a 20° y equilibrio en atmósferas con 50 % de humedad, para las calizas.

VARIACIONES DIMENSIONALES BAJO EL EFECTO DE LA TEMPERATURA

Las variaciones dimensionales de los materiales minerales bajo el efecto de la temperatura pueden alcanzar, dentro de las condiciones corrientes de empleo, amplitudes del mismo orden que las debidas a la humedad, de las cuales vimos que era difícil separarlas. Están, pues, muy lejos de ser despreciables.

A las temperaturas más elevadas, a las que están sometidos algunos elementos del edificio, como las subidas de humos, adquieren aún mayor importancia, dado que, en tal caso, van acompañadas a menudo de modificaciones de estructura interna, que son, a su vez, causa de variaciones dimensionales.

La velocidad de su evolución depende del poder difusor del material, que puede ser muy variable, lo que, como consecuencia, acusa a veces movimientos diferenciales entre materiales sometidos simultáneamente a temperaturas que siguen la misma curva de variación. Esto obliga a intervenir nuevos factores: coeficiente de conductibilidad térmica, densidad aparente y calor específico del material considerado.

Por regla general, esta velocidad de evolución es infinitamente superior a la de las variaciones derivadas de la higrimetría; del orden de varios millares de veces más.

Medida

El principio de su medida es el mismo que el de las variaciones en función de la higrimetría, pero la dificultad esencial reside aquí en la necesidad de mantener este último factor constante, dentro de lo posible, durante la medición.

Datos experimentales

MATERIALES CERÁMICOS

El coeficiente de dilatación de los materiales cerámicos, a la temperatura ordinaria, se toma, en general, igual a $0,5 \cdot 10^{-5}$ por grado o $0,6 \cdot 10^{-5}$ por grado. Sin embargo, puede variar dentro de ciertos límites

alrededor de estos valores, principalmente en función de la composición mineralógica de la arcilla. En particular, las arcillas calizas parecen dar productos más sensibles a la dilatación.

De manera general, la curva de las variaciones de dimensión en función de la temperatura permanece sensiblemente lineal hasta temperaturas harto elevadas (500 a 600 °C) (fig. 18).

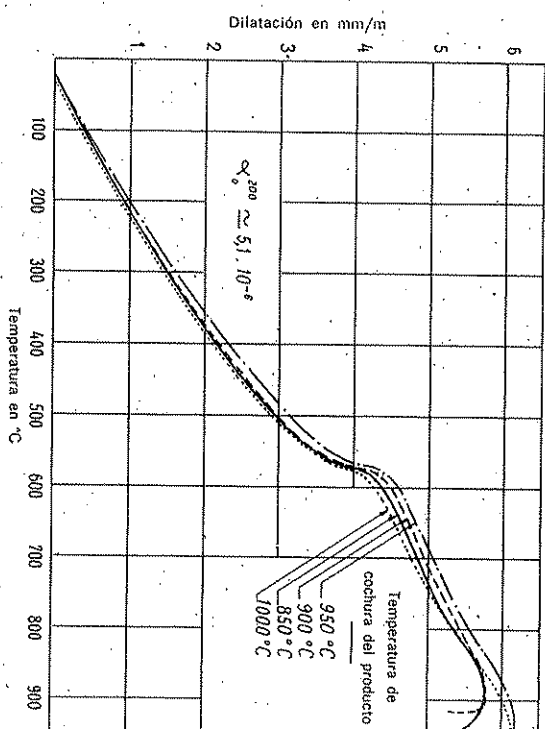


Fig. 18.—Registro con un dilatómetro Chevenard de las curvas de dilatación de arcilla cocida a diferentes temperaturas.

Estos coeficientes figuran entre los más bajos de los relativos a materiales minerales, lo que explica el amplio empleo de la cerámica en las aplicaciones en que se pretenden propiedades refractarias.

HORMIGONES

Es difícil medir un coeficiente de dilatación de los hormigones, a causa de la incidencia que para estos materiales tiene cualquier elevación de temperatura sobre su equilibrio higrotérmico. El coeficiente que se puede deducir de la curva de deformaciones en función de la temperatura queda siempre influida por dicha incidencia y tanto más, es evidente, cuanto más elevada sea la temperatura.

En el caso del hormigón, intervienen también variaciones térmicas en su fabricación, dado el carácter exotérmico de la reacción de fraguado de los conglomerantes. A pesar de esta circunstancia, que puede tener importancia en el caso de hormigones colados en grandes masas, resulta casi despreciable en el caso de elementos para la construcción, por lo menos en los preparados con conglomerantes de tipo Portland.

El coeficiente medio de dilatación del hormigón corriente a temperatura ordinaria es del orden de $1 \cdot 10^{-5}$ por grado. Tiene el mismo orden de magnitud que el de las piedras calizas empleadas en edificación o el de los áridos silíceos corrientes.

Este valor puede parecer bajo, pero conviene observar que, en ciertos casos extremos de pésima exposición (losas de cubierta revestidas con hidrófugo negro protegido o membrana delgada dispuesta delante de un aislante térmico eficaz), los elementos de la construcción, bajo el efecto sucesivo de la radiación solar y de una lluvia tormentosa, pueden acusar diferencias de temperatura, en breve tiempo, que llegan de 50 a 80°C y que las deformaciones correspondientes son entonces superiores a $50 \cdot 10^{-5}$, lo que no es moco de pavo.

El valor de este coeficiente es función casi exclusiva del coeficiente de dilatación propio del árido, ingrediente principal del hormigón, y el módulo de elasticidad de la pasta conglomerante; en general, es algo más bajo para los áridos ligeros que para los pesados.

El comportamiento de los hormigones a las altas temperaturas merece un examen especial. Para las pastas de cemento puro, hasta los $150\text{-}200^{\circ}\text{C}$, los fenómenos preponderantes son la dilatación y la evaporación del agua libre contenida en el mazacote. A partir de dichas temperaturas, aparece una segunda fase, caracterizada por una pendiente negativa de la curva de variaciones dimensionales; parece corresponder a una salida de agua que, en este caso, es una deshidratación que se manifiesta por importantes modificaciones de la estructura interna del conjunto cristallino (entre 200 y 400°). A temperatura aún mayor, la curva se endereza ligeramente, cambio que debe coincidir con el final de la deshidratación de la primera fase.

El diagrama de deformación de un hormigón refleja estos fenómenos, pero muy amortiguados, porque predomina la dilatación propia del árido, y el segmento de pendiente negativa en las curvas obtenidas con pasta pura se traduce en una simple inflexión de la curva, a veces, apenas perceptible.

El segmento o arco de curva con pendiente negativa, se halla, no obstante, en morteros con fuerte proporción de conglomerante o en hormigones con áridos de bajo módulo de elasticidad (vermiculita).

AMIANTO-CEMENTO

En su conjunto, la dilatación del amianto-cemento sigue las leyes de variación que caracterizan a los morteros muy ricos en conglomerante, pero a elevadas temperaturas, con una retracción más débil que en ellos.

YESO

El coeficiente de dilatación de los yesos empleados de ordinario en la edificación no ha sido objeto de estudios de precisión; si admitimos los resultados obtenidos por ciertos autores, sería del orden de $1,5 \cdot 10^{-5}$ a $2 \cdot 10^{-5}$ por grado.

PIEDRAS

Lo mismo que para las variaciones dimensionales en función de la higrometría, la dilatación no parece poder ser vinculada sistemáticamente a cualquier otra propiedad de la piedra.

Los coeficientes de dilatación, en piedras calizas tan sólo, pueden variar de $0,4 \cdot 10^{-5}$ a $1,3 \cdot 10^{-5}$ por grado.

CONSECUENCIAS DE LAS VARIACIONES DIMENSIONALES PROPIAS

Todo lo que ya dejamos expuesto a propósito de las deformaciones forzadas puede venir reconsiderado aquí, puesto que, a la postre, las variaciones dimensionales experimentadas a consecuencia de la temperatura o de la acción del agua resultan ser del mismo orden de magnitud que las deformaciones provocadas por la sola acción de las fuerzas exteriores, pero en definitiva, son acaso aún más peligrosas en numerosos casos, porque en la práctica, se olvidan con mayor facilidad.

Estas variaciones dimensionales propias intervienen desde el principio de la puesta en obra, y esto es cierto tanto para las variaciones en función de higrometría (estado de equilibrio higrométrico del material manipulado) como para las que dependen de la temperatura.

Hay que tomarlas, pues, en consideración durante la ejecución de la obra; los materiales, cuyos esfuerzos de compresión deban quedar limitados, se emplearán húmedos, sobre todo en tiempo caluroso (mojar los

ladrillos) e inversamente para limitar las tracciones (secar las placas de yeso para tabiques).

Las variaciones dimensionales de retracción o tumidez en función de la humedad, más lentas que las variaciones de origen térmico son algo menos peligrosas, a igual amplitud, porque dejan más tiempo al material para adaptarse por fluencia.

Las amplitudes indicadas, en especial las que atañen a la higrometría son, casi siempre, superiores a las que influyen realmente a los materiales en obra, pero no hay que olvidar que dichas amplitudes pueden, no obstante, acecer accidentalmente; caso de elementos interiores muy secos (la humedad relativa en un local con calefacción central puede llegar a ser inferior al 50 %) o de elementos empapados de agua a consecuencia de condensaciones o de infiltraciones.

VARIACIONES DIMENSIONALES EN LAS MATERIAS PLÁSTICAS⁽¹⁾

CAPÍTULO X

Las materias plásticas son materias orgánicas de síntesis compuestas por macromoléculas. Según la funcionalidad de las moléculas de base, las macromoléculas obtenidas están dispuestas:

- ya en forma lineal, y la materia se llama termoplástica,
- ya en forma reticulada, y la materia se llama termoendurecible.

Los termoplásticos

Un termoplástico es un agregado de cadenas moleculares lineales. En el interior de una cadena, los enlaces entre moléculas son químicos, es decir, son enlaces de covalencia y se requieren energías considerables para romperlas.

Entre cadenas, los enlaces de macromoléculas son físicos; aseguran la cohesión del conjunto al frenar el deslizamiento de macromoléculas unas sobre otras. Estos enlaces, a menudo de naturaleza electrostática y llamadas entonces de Van der Waals, se rompen muy fácilmente, en particular por el calor y los disolventes. El carácter esencial de los termoplásticos estriba en ser solubles y fusibles.

Los termoendurecibles

Un termoendurecible es un entramado de cadenas reticuladas, a la manera de una malla que se repitiera en las tres dimensiones. Los enlaces laterales o puentes son de la misma naturaleza química que los enlaces de covalencia que unen los motivos moleculares en una misma cadena. Como que son indispensables energías extraordinarias para romper estos enlaces, los disolventes y el calor no ejercen acción notable. El

(1) Redactado por M. FALLARD, Ingeniero del C.S.T.B.

carácter esencial de los termoendurecibles radica en ser insolubles e infusibles.

Sin embargo, aunque infusibles, los termoendurecibles presentan cierto grado de reblandecimiento a temperaturas superiores a 100°C y las leyes generales de variación de las características mecánicas en función de la temperatura, les son más o menos aplicables.

VARIACIONES DIMENSIONALES VINCULADAS A LA NATURALEZA DE LAS MATERIAS PLASTICAS

DILATACIÓN Y RETRACCIÓN TÉRMICA

Las materias plásticas tienen coeficientes de dilatación térmica muy elevados, respecto a los de los materiales tradicionales.

La mayor parte de los plásticos usuales, como el cloruro de polivinilo, el metacrilato de metilo y el poliestireno tienen un coeficiente próximo a $8 \cdot 10^{-5}$ por grado, o sea, aproximadamente 7 veces el del acero. Las poliánidas, es decir, el *nylon*, alcanzan un coeficiente próximo a $15 \cdot 10^{-5}$, y los polietilenos, un coeficiente rayano en $18 \cdot 10^{-5}$.

Se contrarrestan estos movimientos mediante precauciones especiales: junta consentida deslizando para las tuberías de agua caliente, oficios oblongos para fijar las placas de cubierta o de revestimiento. A veces, el remedio resulta más difícil, en el caso de pavimento en tiras extendido encima del suelo con calefacción; una junta correcta, en verano, se convierte en solapa, en invierno, desde que se pone en marcha el caleo; una junta correcta en invierno se abre en verano.

La importancia de los coeficientes de dilatación provoca la de las deformaciones en caso del caleo asimétrico: bombeo de las placas al sol.

Variaciones dimensionales bajo el efecto de tensiones exteriores

Cuando se somete una probeta de materia plástica a una tensión suficiente, acaece su rotura instantánea. Si se la somete a un esfuerzo menor, la rotura se producirá al cabo de un plazo más o menos largo. Para un esfuerzo dado, el plazo de rotura varía en razón inversa de la temperatura.

Se ve, pues, que aparecen dos factores primordiales, el tiempo y la temperatura, que condicionan la resistencia de los plásticos, cuyo comportamiento puede asimilarse al de un metal cerca de su punto de fusión.

El estudio de las curvas esfuerzos-deformaciones (fig. 19) y deformaciones-tiempo (fig. 20) permite distinguir tres zonas:

- una zona de elasticidad instantánea o verdadera a la que corresponde una deformación y una recuperación instantáneas;
- una zona de elasticidad retrasada a la que corresponden una deformación y una recuperación retrasadas;
- una zona de fluencia a la que corresponde una deformación permanente. La fluencia puede compararse con un escurrimiento.

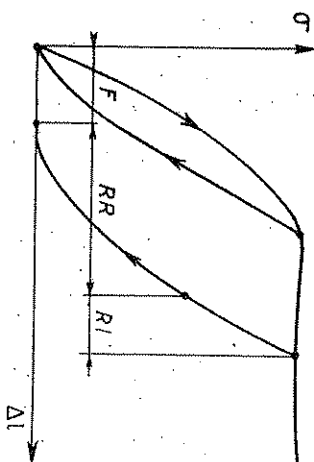


Fig. 19. — Curva esfuerzos-deformaciones.

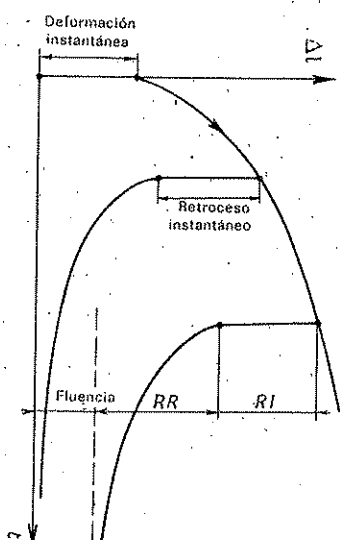


Fig. 20. — Curva deformaciones-tiempo.

Los tres comportamientos no son sucesivos, sino superpuestos. Es la rapidez relativa del ensayo, lo que permite separarlos. Cuando la puesta en carga se efectúa de manera muy lenta, los tres fenómenos son simultáneos y la curva esfuerzo-deformación no consiente la división en zonas.

La resistencia a la rotura se rebaja en función logarítmica del tiempo. La fórmula aplicada a 20°C es de la forma:

$$R_t = R_0 \cdot T^{0.085}$$

donde T se expresa en minutos, es decir, que $R_t = 1/5 R_0$ si $T = 20$ años.

Esta mengua de resistencia se manifiesta singularmente para las tensiones elevadas. Porque, en la práctica, parece que es posible fijar un tope de solidez, es decir, un valor mínimo de la tensión que pone en juego la fluencia. Este valor, determinado por ensayos de relajación es, con aproximación grosera, igual al tercio de la resistencia instantánea en rotura, a la temperatura considerada.

Los valores del módulo de elasticidad instantáneo a 20°C de las materias plásticas más corrientes son las siguientes:

Cloruro de polivinilo	E = 31 000 kgf/cm ²
Metacrilato de metilo	E = 40 000 kgf/cm ²
Poliéstereno	E = 32 000 kgf/cm ²
Poliamidas (nylón)	E = 6 a 15 000 kgf/cm ²
Poliétileno de baja densidad	E = 1 000 kgf/cm ²
de alta densidad	E = 10 000 kgf/cm ²
Poliéster (no cargado ni armado)	E = 40 000 kgf/cm ²

Una elevación de temperatura atenúa los valores del módulo de elasticidad en proporción comparable a las del tope de solidez y de la resistencia a rotura. Así pues, acelera la fluencia. Los ejemplos de fluencia en frío en los productos de materiales plásticos son bastante raros, dado que siempre las secciones se calculan con exceso.

Los ejemplos de fluencia en caliente son más numerosos. Pueden citarse: el punzonamiento bajo carga permanente de los pavimentos plásticos sobre suelos radiantes y el hundimiento del fondo de los fregaderos de plástico bajo la acción combinada de las cargas de la vajilla y del agua caliente.

ROTURA PERIFÉRICA

Esta fisuración sin tensión significa un cierto tipo de degradación más o menos ligado a la textura molecular de la materia y que es muy notable en el caso del polietileno.

Esta degradación por fisuración se produce bajo el efecto conjugado de una elevada tensión local y del contacto con un líquido, como un detergente o agua jabonosa. Una probeta de polietileno plegada se conserva sin daño si está inmersa en agua pura y se fisura si se añade detergente.

al baño. Un ejemplo típico viene dado por los sifones en polietileno. Las tuercas de empalmes moldeadas en plástico, en lugar de enroscarse a mano, lo habían sido brutalmente con llave; se fisuraron desde el momento en que los sifones entraron en servicio y pasaron por ellos aguas con lejía. Conviene notar que este fenómeno desaparece si se emplean polietileno de elevado peso molecular.

VARIACIONES DIMENSIONALES DEPENDIENTES DE LA CONFIGURACION DE LOS TERMOPLÁSTICOS

Los termoplásticos se suministran en estado de polvo al operario transformador que saca partido de su fusibilidad para darles forma, trabajando a una temperatura que varía de 150 a 300°C, según la materia en cuestión. El moldeado se lleva a cabo bajo la presión desarrollada por un tornillo de Arquimedes, un pistón, calandrias, aire comprimido, desprendimiento de gases, vacío o cualquier otro recurso.

Las técnicas más corrientes son:

- extrusión para obtener perfiles y, en particular, tubos,
- moldeado por inyección,
- compresión, para fabricar placas rígidas,
- estirado en calandria, para placas flexibles,
- moldeado de una hoja para sacar una superficie de forma más o menos complicada, como, por ejemplo, un fregadero,
- expansión, para conseguir una espuma.

Cualquiera que sea la técnica aplicada en el producto obtenido, la materia está fija en la forma deseada, con cierto desequilibrio térmico. Las tensiones internas así aprisionadas corren el peligro de manifestarse por variaciones dimensionales y estos movimientos es evidente que serán de sentido contrario a la última deformación obligada, en su entramiento. Estas variaciones serán tanto más pronunciadas y rápidas cuanto más elevada sea la temperatura alcanzada por el material.

Deformación de los productos de extrusión

En el caso de extrusión, la materia es laminada en la hilera y las cadenas moleculares se estiran allende su estado normal. Por esto, las

dimensiones de la sección de esta hilera son inferiores a las del perfil final; en efecto, a la salida de la hilera caliente, el perfil sufre una expansión de su sección. Pero a causa de la elasticidad retrada de la materia, las cadenas moleculares no recubren al instante la totalidad de su elongación y la expansión se detiene a las dimensiones apetecidas por enfriamiento en hilera fría; por otra parte, la salida de hilera del perfil y su paso al cuenco de enfriamiento van acompañados por un movimiento de muy ligera tracción, producida por un aparato de arrastre situado aguas abajo. El perfil se enfría, pues, bajo tensión y, durante su empleo, manifiesta tendencia a la retracción longitudinal.

La cantidad de retracción potencial de un perfil puede medirse por liberación acelerada y casi total de las tensiones. Para los tubos de polivinilo, esta operación se efectúa por inmersión de la muestra, durante 15 minutos, en baño de aceite a 150°C; según las normas, la retracción longitudinal, medida en dichas condiciones, debe ser inferior al 4 %.

En la práctica, una retracción potencial del 4 % no parece poder provocar, a 20°C, una retracción libre perceptible. Cabe, pues, emplear estos tubos para instalaciones de distribución de agua fría y de evacuación de aguas residuales frías o, incluso, templadas. Pero a 80-90°C, que es la temperatura de salida de las aguas de las modernas máquinas lavadoras con descarga automática, se comprueban retracciones libres y la retracción real tiende hacia un valor asintótico, en general, próximo a la mitad de la retracción potencial.

Dilataciones y retracciones exigen tomar precauciones en la colocación de productos plásticos de extrusión expuestos al calor (agua caliente, radiación solar).

Se podría contemplar el uso de productos desembarazados de una retracción potencial por recocido previo. Pero hasta hoy no ha logrado favor.

Deformación de los productos moldeados por inyección

Las tensiones internas, aprisionadas bajo la presión ulterior al final del moldeo, no se manifiestan, en general, por variaciones dimensionales, sino mejor por un aumento de la fragilidad.

Al contrario, se puede poner de manifiesto la fragilidad desacomunada de un objeto moldeado, provocando artificialmente variaciones dimensionales que signifiquen la reparación de tensiones.

Esto se logra reblandeciendo la materia por inmersión, ya en un tintor específico (acetona o ácido acético), ya en aceite muy caliente (150°).

Deformación de los productos fabricados por compresión

Los objetos obtenidos por compresión y, en particular, las placas presentan una estabilidad dimensional superior a la de los mismos objetos fabricados según técnica diferente. La deformación específica de las placas así formadas es la retracción.

Deformación de los productos laminados

Las hojas laminadas en calandria ofrecen una clara tendencia a la retracción. Esta es, a veces, mucho más importante en sentido normal al de laminación.

Esto explica la aparición en las tiras de pavimento, luego de colocadas, de juntas abiertas, especialmente encima de suelos radiantes.

Variaciones dimensionales de hojas configuradas en caliente

En el caso de configuración en caliente de una hoja plana, la tendencia manifestada por el artículo acabado es la de tender a su posición de equilibrio, es decir, al estado plano original. La temperatura normal de empleo es siempre mucho más baja que la de fabricación y las variaciones dimensionales sólo son perceptibles al acercarse al punto de reblandecimiento. Se puede citar como ejemplo la desaparición de las ondulaciones en placas acanaladas de polivinilo, obtenidas por estampado de una placa plana, cuando dichas placas se colocan sobre armaduras de cubierta no ventiladas y expuestas al sol. Para evitar estos riesgos de deformación, se fabrican placas onduladas por extrusión, que ofrecen mejor resistencia a la deformación por calor.

Variaciones dimensionales de las espumas

Las espumas son materiales celulares obtenidos por expansión en caliente, bajo el efecto de la descomposición gaseosa de un cuerpo incorporado a la masa plástica. La estabilidad dimensional de las espumas es función del método de expansión empleado y del material.

Las espumas termoplásticas más empleadas en edificios son las de polivinilo.

Las espumas tienen características mecánicas inferiores, *mutatis mutandis*, a las de productos macizos. Su materia, muy tenue, queda hábil sujeta a deformaciones espectaculares.

En el caso de las espumas de polivinilo, pudiera parecer que, para una temperatura máxima de empleo, haya una densidad crítica mínima que garantice una estabilidad dimensional aceptable. Para usos en el edificio, que no excedan de 70°C, la densidad crítica admitida en las espumas de polivinilo es igual 55 kg/m³.

Para obtener espumas de polivinilo de menor densidad, estables a 70°C, los fabricantes se han visto inducidos a modificar la naturaleza del plástico, a base de reticulado por injerto. Las espumas así obtenidas presentan una estabilidad dimensional aceptable a 70°C, con una densidad de 35 kg/m³.

Los poliestirenos dilatados, muy empleados en la edificación y que no son materiales de masa expandida, sino bolas aglomeradas y dilatadas, conservan sensiblemente sus características mecánicas hasta 70-80°C.

CONFIGURACION DE LOS TERMOENDURECIBLES

La configuración de los termoendurecibles es muy diferente de la de los termoplásticos: aquellos no se suministran completamente elaborados al transformador y es éste quien, a partir de los constituyentes, crea la materia al darle forma. La puesta en obra puede ejecutarse a alta o baja presión.

Esta técnica atañe, en primer plano, a los fenoplásticos y a los aminoplásticos, materias obtenidas por reacción de condensación con eliminación de agua. Hacen falta muy altas presiones para asegurar esta eliminación, del orden de 50-60 kg/cm², lo que supone la aplicación de prensas de 800 t para el molde de una sencilla tapa de W. C. en baquelita. En estas condiciones, este procedimiento queda limitado a obtener objetos pequeños, de excelente estabilidad.

Una variante de este procedimiento permite obtener, por estratificación de hojas de papel, impregnadas de resina melamina, placas delgadas empleadas en decoración con el nombre de *laminificados*. Estos experimentan movimientos muy importantes por humectación, al actuar el agua sobre la celulosa de armadura. La retracción, medida entre el estado de estabilidad a 20°C y 65 % de humedad y el estado seco, tras el paso por estufa a 80°C, es del orden de 0,5 % (500.10⁻³).

En general, este material se emplea en hoja delgada pegada a un soporte. Se necesita pegar con cola flexible (por ejemplo, al caucho butilo) para absorber los esfuerzos cortantes debidos a las variaciones dimensionales. En efecto, la cola rígida entraña el peligro de despegarse,

si es demasiado débil, o una fisuración del laminado, si es en exceso resistente.

ELABORACIÓN A BAJA PRESIÓN

Este procedimiento se aplica a las resinas de colado, que ofrecen la particularidad de pasar, en forma definitiva, del estado líquido al sólido por simple adición de un catalizador, pudiendo producirse el endurecimiento a la temperatura ordinaria y sin ayuda de la presión. Las más representativas de estas resinas son los políésteres.

La polimerización va acompañada de una retracción, consecuencia de la nueva ordenación molecular. En los termoplásticos, esta retracción se produce antes de la transformación, durante la preparación de la materia prima; queda, pues, ignorada por el operario transformador y, con mayor motivo, por el usuario. En las resinas termoendurecibles, la polimerización acontece durante la elaboración. Los políésteres, por ejemplo, tienen un valor de retracción en volumen rayano al 8 %, o sea, una retracción lineal del 2 %. Esto provoca un acortamiento de las dimensiones del material moldeado y, a menudo, cuarteo.

Se reduce la retracción si se añaden cargas inertes a la resina. Las armaduras de vidrio también contribuyen a ello, al absorber los esfuerzos.

Lo más corriente es que el endurecimiento no termine del todo con el desmoldeo, sino asintóticamente con el tiempo, en casa del usuario. Este final del endurecimiento acarrea una retracción residual en el producto elaborado. Se aconseja, pues, antes de emplear un material de políéster, comprobar, por recocido, su estado de polimerización. Este recocido, que acelera el final de la polimerización, estabiliza el material y da la medida de la retracción residual. Se admite así que, para los estratificados transhidos, una retracción residual de 0,06 %, indica su estado conveniente de polimerización.

En los tableros en bocado, con paramento de políéster estratificado sin polimerización total, ésta se produce antes en el haz exterior, expuesto al sol, que en el interior. Esta retracción diferencial ocasiona una deformación del complejo.

Los termoendurecibles moldeados pueden presentar tensiones de origen térmico, en especial en los objetos de notable espesor. En efecto, la polimerización es una reacción exotérmica y el calor se elimina con dificultad, dada la escasa conductibilidad térmica de la materia. El material moldeado se endurece, dilatado por el calor, y a las tensiones derivadas de la retracción de polimerización vienen a añadirse, durante el enfriamiento, las debidas contracciones térmicas.

Las espumas termoadsorbibles que fabrica la industria son de dos tipos: los poliuretanos y los ureoformoles. El comportamiento al calor de los poliuretanos es variable según la naturaleza del gas empleado para la expansión. En las fórmulas con gas carbónico, las espumas de poliuretanos acusan una retracción lineal del orden del 1 %, con recocido a 100°C. En las fórmulas con freón, las espumas de poliuretano manifiestan una prolongación de expansión muy importante y que puede exceder del 20 %, al cabo de permanencia en estufa a 97°C, durante 4 días.

Las espumas de ureoformol fraguan sobre un soporte de agua jabonosa. Después del fraguado, la evaporación de agua del soporte provoca retracciones considerables. En muestras tenidas por estabilizadas, la retracción en estufa alcanza aún el 2 %.

Conclusión

De lo que precede se colige que los materiales de plástico están sujetos a variaciones dimensionales importantes, de un orden de magnitud muy superior al de los materiales minerales. Hay que tenerlo siempre presente cuando se incorporan materiales plásticos al edificio.

CAPÍTULO XI

LAS VARIACIONES DIMENSIONALES DE LA MADERA Y DE LOS MATERIALES DE ELLA DERIVADOS ⁽¹⁾

La madera tiene fama de ser un material que se mueve, que se vicia, un material vivo; las ventanas se agarrotan, las puertas se cierran mal, los suelos se alabean, las vigas pandean. Las maderas se resquebrajan y se cuarteán.

Cabalmente, cabe distinguir tres clases de variaciones dimensionales:

- la retracción, que depende, ante todo, del estado higrométrico,
- la dilatación, función de la temperatura,
- las deformaciones bajo cargas:
 - deformación elástica instantánea,
 - deformación elástica diferida y fluencia.

I. RETRACTIBILIDAD

Es la propiedad que posee la madera de variar en sus dimensiones y en su volumen, cuando cambia su grado de humedad.

Antes, recordemos en pocas palabras, cómo se presenta la madera.

La madera, constituida por tejidos vegetales, es un material esencialmente fibroso.

Las células de la madera, de forma alargada, son de tres tipos diferentes.

(1) Redactado por M. FARRI, Jefe de la División de Materiales Orgánicos del Servicio de Estudio de Materiales del C.S.I.C.B.

Se distinguen:

- las fibras, que son células resistentes, dispuestas en dirección axial, y que constituyen la osatura del árbol.
- los vasos, células huecas que sirven de conductos de transporte de la savia.
- las células de reserva.

La madera es, pues, heterogénea a escala celular.

Los círculos concéntricos del tronco muestran otra heterogeneidad: la de la madera de verano y la de la madera de invierno.

Tejido vivo, la madera contiene una crecida proporción de agua, que está, en primer lugar, en combinación con los diferentes elementos leñosos (celulosa, lignina): es el agua de constitución que forma parte integrante de la materia lignaria y que sólo puede separarse por carbonización. Pero hay en la madera cierta proporción de agua que no está íntimamente unida a ella y que cabe eliminar por simple caldeo a 100°C. Es esta proporción la que se ha convenido en llamar *humedad de las maderas*.

De manera esquemática se presenta en dos formas:

— agua de saturación, retenida por las membranas celulósicas en virtud de la propiedad de la celulosa de agarrar a sus cadenas no saturadas cierto número de moléculas de agua;

— agua libre, que se halla en el interior de las células en forma líquida que no aparece hasta que las membranas están saturadas.

El grado de humedad es la suma, por unidad de peso, del agua de saturación y del agua libre.

El punto de saturación es del 25 al 30 % aproximadamente, para todas las maderas (referido al peso de materia seca).

Los movimientos del agua libre no entrañan cambio de volumen.

El agua de saturación es la causa del aumento de volumen de las células, siendo éste sensiblemente proporcional al volumen de agua absorbida. Decimos sensiblemente porque el cambio de volumen depende de numerosos factores (especie, procedencia de las maderas).

El aumento de volumen guarda relación con la densidad de la madera. En efecto, para un volumen dado, la absorción de agua por las membranas está en razón directa con el peso de celulosa que contienen y, por tanto, con su densidad. De hecho, una madera pesada tiene, en general, notable retracción, una madera tierna, poca retracción. Pero, interviene también la cohesión que impide la dilatación de todas las células.

La madera, en una atmósfera dada, se estabiliza a un grado de humedad, que depende del estado higrométrico de la atmósfera y de la temperatura. Esta estabilización es lenta, casi muy lenta, respecto a la rapidez de las variaciones atmosféricas.

¿Cuál es la humedad de la madera según las condiciones de conservación?

	la humedad de la madera	
En un clima cálido y húmedo (25°, 85 %)	será de 19 %	
En un clima frío y húmedo (5°, 80 %)	16 a 17 %	
(invierno templado)		
En un verano templado	(18°, 65 %)	12 %
En un local caldeado	(22°, 40 %)	8 a 9 %

Se comprueba la amplitud de las variaciones de humedad de la madera de un clima a otro y también en un mismo clima, entre el verano, el invierno y las estaciones intermedias.

Se llama *retracción total* la retracción medida entre el volumen del estado de saturación (V_1) y el volumen del estado anhidro (V_0), referida al estado anhidro y expresada en %:

$$B = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \cdot 100$$

Las maderas se clasifican así:

B = 20 a 15 %	gran retracción
15 a 10 %	mediana retracción
10 a 5 %	débil retracción

Se determina igualmente la variación de volumen por cada variación del 1 % de humedad. Es lo que se llama coeficiente de retracción v :

$$v = \frac{V_1 - V_0}{V_0 \cdot H} \cdot 100$$

donde H es el grado de humedad de la madera, en peso.

Según el valor v , las maderas se clasifican como sigue:

$v = 1$	a 0,75 %	muy nervuda
0,75 a 0,75 %		bastante nervuda
0,35 a 0,55 %		mediana
0,15 a 0,35 %		poco nervuda

Vamos, por otra parte, cómo se reparte esta variación de volumen según las diferentes direcciones. Porque la madera no sólo es heterogénea, sino también anisótropa.

Los ejes de anisotropía son:

- la dirección axil paralela al hilo de la madera, es decir, el eje de crecimiento del árbol,
- la dirección radial (según un radio),
- la dirección tangencial (tangencialmente a los anillos anuales de crecimiento).

La retracciabilidad axil es muy pequeña y a menudo se prescinde de ella.

El coeficiente de retracciabilidad radial varía poco de una madera a otra, de una muestra a otra de la misma madera y se mantiene así constante, tanto si la madera está seca como húmeda. Se sitúa entre el 0,10 y el 0,20% para un 1% de humedad (es decir, de 100 a 200 · 10⁻⁵ por grado de humedad relativa de la madera).

Al contrario, el coeficiente de retracción tangencial varía esencialmente con la nervosidad de la madera. Varía de una especie a otra, de una muestra a otra de la misma especie y también con el grado de humedad. Puede situarse entre 0,15 y 0,60%.

¿Cuál es el resultado? Según el lugar que ocupaban en el tronco las patas de una pieza de madera, las fibras están más o menos tupidas y se desarrollan tensiones internas que empiezan por combar las piezas y luego las fisuran y hienten.

Es natural que cabe adoptar ciertas precauciones para atenuar estos fenómenos: un secado lento que permite acomodaciones. Pero a causa de su nervosidad, algunas maderas quedan excluidas de la construcción. Las maderas que tienen iguales coeficientes de retracciabilidad radial y tangencial son muy apreciadas; singularmente en ebanistería.

La razón del coeficiente de retracciabilidad tangencial al de retracciabilidad radial disminuye, cuando aumenta la densidad de la madera. Es uno de los motivos por los que para carpintería se eligen maderas densas (encina, maderas tropicales).

FENÓMENOS DE HISTÉRESIS

La madera, cuando se ha secado y después se humedece, se estabiliza a un grado de humedad inferior al precedente, para el mismo estado higrométrico del aire e igual temperatura. Hay histéresis.

Esta diferencia por histéresis disminuye a medida que el número de ciclos aumenta y tiende a anularse.

II. DILATABILIDAD Y ELASTICIDAD

El coeficiente de dilatación, variable con la especie y la muestra, es del orden de magnitud siguiente:

- 0,5 · 10⁻⁵ por grado, en dirección axil,
- 5 · 10⁻⁵ por grado, en dirección radial y tangencial.

1. Deformación instantánea bajo carga

MÓDULO DE ELASTICIDAD EN COMPRESIÓN Y TRACCIÓN AXILLES

$E = 80\,000$ a $180\,000$ kg/cm² (para las maderas usuales).

El módulo de elasticidad en compresión es función de la humedad, pero no ocurre lo mismo en tracción.

ELASTICIDAD EN COMPRESIÓN TRANSVERSAL

$E = 4000$ kg/cm² compresión tangencial,

$E = 5000$ kg/cm² compresión radial.

Observemos que el módulo transversal es de 30. a 40 veces menor que el módulo axil.

2. Deformación diferida bajo carga (fluencia)

Los usuarios saben muy bien que, en algunos casos, la madera se deforma lentamente, al correr del tiempo, cuando soporta cargas durante largos años. Así ocurre con las vigas muy cargadas que, con el tiempo, pandean hasta adquirir flechas cada vez más pronunciadas.

Estos fenómenos de fluencia siguen aún poco justificados.

En tracción axil, no hay fluencia.

En compresión axil, hay fluencia, función de la humedad.

En torsión, el ángulo de torsión aumenta a vista de ojos bajo un par constante, luego se estabiliza para un valor doble del instantáneo.

En flexión, el fenómeno aparece más acentuado: el aumento de flecha bajo tensiones próximas a las admisibles es muy sensible, su valor tiende asintóticamente, en 3 a 6 meses, hacia un límite del orden del doble a dos veces y media del valor inicial.

Este fenómeno de fluencia se debe probablemente al deslizamiento relativo de los elementos longitudinales entre sí.

La consecuencia práctica del mismo es la necesidad de tener en cuenta la fluencia en los cálculos, adoptando módulos de elasticidad inferiores a los instantáneos.

III. MATERIALES DERIVADOS DE LA MADERA

Cuanto llevamos dicho atañe a la madera *muciza*, es decir, la sacada en piezas, al trocear el tronco. En dicho estado, las propiedades de que hemos hablado se manifiestan plenamente, con todas sus ventajas e inconvenientes.

Las técnicas modernas tienden a reducir estos últimos, luchando principalmente contra las deformaciones debidas a retracción, para obtener tableros de grandes dimensiones con la mayor estabilidad posible.

El fundamento común de estas técnicas consiste en emplear procedimientos diversos para dividir la madera en elementos y para asociarlos entre sí a fin de obtener mayor isotropía.

El contrachapado

Una troza se corta en hojas delgadas, en rebanadas o por desarrollo, para dar chapas. Estas se pegan a presión unas sobre otras, de modo que el sentido del hilo de cada una tenga una orientación determinada con respecto a la precedente y a la siguiente. Es el *contrachapado*.

Los tableros de fibras y de virutas

Pero es posible llevar a efecto una operación mucho menos delicada, que consiste en reducir la madera a virutas o en desfilarla por completo.

Si estas virutas o fibras se aglutinan por medio de un conglomerante, se obtienen tableros de dichos elementos.

En los tableros de fibras y virutas ya no tenemos chapas que presenten orientaciones diferentes, sino que son las propias fibras o virutas que se entretejen en todos sentidos.

POROSIDAD DE LOS AGLOMERADOS

La densidad propia de los componentes de la madera es muy constante e igual a 1,54. Esto equivale a decir que una madera de densidad aparente 0,50 está constituida por 1/3 de madera y 2/3 de huecos.

En las trozas, los huecos son los canales axiales.

Los tableros de fibras o de virutas se ofrecen como esponjas, dado que estos canales comunican con el exterior por todas partes. Si se sumergen, alcanzan en seguida el grado de saturación. Por el contrario, la humedad de equilibrio en un ambiente dado no aumenta, como se ve en la tabla siguiente:

Madera:

Contrachapado:

12 %
10 %

Tableros de fibras

Tableros duros ($d = 0,85$ a 1)

9 %

» aislantes ($d = 0,2$ a $0,28$)

10 a 11 %

» de asfalto

8 %

Tableros de virutas

Tableros de virutas de madera

9 %

» de palomillas de lino ($d = 0,4$ a $0,5$)

9 a 11 %

La humedad del material en función de la humedad ambiente varía según una curva afín a la de la humedad de las maderas en general.

Por fin, he aquí algunas variaciones dimensionales de materiales derivados de la madera en equilibrio entre ambientes a 65 y a 82 % de humedad relativa:

Contrachapado:

3 chapas

1/1000

es decir, $v = 6 \cdot 10^{-5}$

5 chapas

1/1000

Tablero de fibras:

Tableros duros

8/1000, es decir, $v = 5 \cdot 10^{-5}$

Palomilla de lino

$d = 0,3$ $v = 3 \cdot 10^{-5}$

$d = 0,5$ $v = 5 \cdot 10^{-5}$

$d = 0,6$ $v = 10 \cdot 10^{-5}$

Tableros de virutas de madera

$v = 50 \cdot 10^{-5}$

Las maderas tratadas

La nueva técnica de las maderas tratadas consiste en someterlas a procesos que, sin alterar la estructura general de la madera, modifican profundamente las cualidades, y por adición de materias extrañas consiguen constituir materiales nuevos, cuyas características son claramente distintas de las de los componentes (por ejemplo, la baquelización de la madera).

Se parte de maderas secas y a través de ciclos alternos de vacío y de presión a temperatura elevada, se incorpora una resina que obstruye los huecos, impregna las membranas celulares, las impermeabiliza y disminuye así notablemente su higroscopicidad. La acumulación de resina en la superficie, como una corteza, se opone a la absorción de humedad. De ahí que se reduzcan mucho los fenómenos de tumidez y de retracción.

Consecuencias constructivas del vicio de la madera

La amplitud de las variaciones dimensionales a consecuencia de la humedad invita a concebir de muy diferente manera las juntas consentidas en una construcción leñosa respecto a las de una obra de fábrica.

Una placa de 20 cm de anchura queda expuesta a una variación dimensional de 2 mm. En estas condiciones, no cabe esperar que puedan hacerse juntas cuajadas como en las fábricas; la estanquidad respecto al agua en las obras de madera se obtiene por la forma geométrica de las juntas, sin cuajado.

La capacidad de fluencia de la madera permite, por otra parte, una adaptación a los movimientos del terreno, cual se comprueba a menudo en las antiguas construcciones entramadas.

Las placas o tableros que separan dos ambientes diferentes se comban, porque uno de los haces sufre retracción diferente del otro. Son fenómenos análogos a los que veremos al tratar de los complejos.

CAPÍTULO XII

LOS MOVIMIENTOS DIFERENCIALES EN LOS COMPLEJOS EMPLEADOS COMO ELEMENTO DE RELLENO⁽¹⁾

DEFINICION DE UN COMPLEJO

Un ejemplo muy característico de la importancia de los movimientos diferenciales tenemos en la deformación de los complejos empleados como elementos de relleno en las fachadas ligeras.

Estos complejos están constituidos por un núcleo o ánima de materiales de muy baja conductividad térmica, aprisionado en bocadillo entre los paramentos, pegados, de ordinario, al núcleo; así se obtienen con escaso grueso (algunos centímetros), elementos rígidos y aislantes, destinados a formar paredes perimetrales y que deben, por consiguiente, poseer todas las cualidades de un muro no sustentante. Estos elementos se llaman también *sandwichs* o emparedados.

Los materiales generalmente usados en esta técnica son muy variados.

PARA EL NÚCLEO AISLANTE

- los plásticos celulares, en especial, el poliestireno dilatado, pero también las espumas rígidas de poliuretano y de cloruro de polivinilo;
- los materiales a base de madera, los tableros de fibras o de virutas de poca densidad, los corchos dilatados puros o aglomerados.

PARA EL PARAMENTO EXTERIOR

- los metales (palastro esmaltado, palastro galvanizado pintado, acero inoxidable, aluminio);

(1) Redactado por M. Beaurina, Jefe de las Divisiones de los procedimientos de construcción del Servicio de Estudio de Materiales del C.S.T.B.

- el vidrio (vidrio templado esmaltado);
- los plásticos (en esencia, el políster estratificado, armado con fibra de vidrio);
- las placas de amianto-cemento, en bruto o revestidas.

El propio paramento puede estar constituido por un complejo de dos materiales, por ejemplo:

Hoja metálica delgada u hoja plástica pegada sobre placas de amianto-cemento o de contrachapado.

PARA EL PARAMENTO INTERIOR

Además de los materiales susodichos, cabe emplear otros, cuya durabilidad en servicio exterior pudiera plantear problemas difíciles:

- tableros de fibras o de virutas de mucha densidad;
- contrachapados;
- amianto-cemento-celulosa;
- placa de yeso prefabricada.

Si los paramentos del complejo son de materiales diferentes, las distintas variaciones dimensionales debidas a un cambio de temperatura o de humedad respecto a las condiciones de fabricación provocarán una deformación del complejo, incluso antes de su colocación en obra.

De todas maneras, aunque los paramentos sean idénticos, una vez el complejo actúa como muro exterior, las condiciones del ambiente en contacto con estos paramentos serán muy diferentes al interior y al exterior; de ello han de resultar movimientos diferenciales entre ambos, que provocarán una deformación del complejo.

La amplitud de estas deformaciones y las tensiones que de ellas resultan tanto sobre la trabazón con los demás elementos de la fachada como sobre los materiales integrantes del complejo, han de ser conocidas, porque condicionan la colocación en obra del mismo y su durabilidad.

Para determinarlas, es necesario saber las condiciones extremas de temperatura y de humedad a que pueden hallarse expuestos los materiales de paramento.

CONDICIONES DE TEMPERATURA Y DE HUMEDAD EN QUE PUEDEN HALLARSE LOS PARAMENTOS DE UN COMPLEJO

Condiciones de temperatura

Son, como es natural, las más importantes en el caso de materiales no higroscópicos: la variación de longitud de estos materiales es proporcional a la diferencia de temperaturas que sobre ellos actúan.

PARAMENTO EXTERIOR

Desde el punto de vista térmico, los complejos se caracterizan por su débil inercia térmica y por su eficaz aislamiento, y se puede considerar que los intercambios de temperatura entre el interior y el exterior se efectúan, en cada instante, con régimen permanente.

Resulta de ello que, en ausencia de radiación solar, la temperatura del paramento exterior será igual, salvo unos pocos grados, a la del aire exterior. La temperatura mínima de este paramento podrá tomarse igual a la temperatura mínima del aire, es decir, aproximadamente -20°C , si las condiciones climáticas no son excepcionales.

La temperatura máxima corresponde a una fachada expuesta al sol. Los factores de que depende se ponen de manifiesto con facilidad.

La pared recibe una radiación R , absorbe de ella una cantidad de calor αR , siendo α el factor de absorción del paramento. Para la insulación, este factor depende esencialmente del calor de la pared; igual a 1, para el negro, vale 0,3 para colores blancos muy limpios (0,2 para el jabegue).

Esta cantidad de calor lleva la temperatura de la pared a θ_e y esta pared cede calor al exterior por convección y por radiación de gran longitud de onda, en cantidad igual a $h_e(\theta_e - T_e)$, siendo T_e la temperatura del aire exterior.

Una determinada cantidad de calor penetra en la pared. Habida cuenta de su buen aislamiento, podemos despreciarla en primera aproximación. De suerte que el balance térmico en la superficie resulta

$$\alpha R = h_e(\theta_e - T_e)$$

de donde $\theta_e = T_e + \frac{\alpha R}{h_e}$, que es la expresión de la temperatura aire-sol.

La temperatura en la superficie de la pared es, pues, igual a la temperatura del aire, aumentada en $\frac{\alpha R}{h_e}$. Será tanto más elevada cuanto mayor sea α , es decir, cuanto más oscuro sea el color del paramento.

Se conocen bastante mal los límites de los factores climáticos de los cuales dependen dichas superficies, a saber, el máximo de R y, ante todo, del mínimo de h_e ; se ignoran las posibilidades para que sean simultáneos los valores más desfavorables y duren lo bastante para que la pared sea a ellos sensible.

Las mediciones efectuadas con el intento de averiguar estas temperaturas máximas indican que es razonable contar con 80°C , para los paramentos negros. La diferencia de temperatura entre el paramento interior y el exterior es, entonces, de 55°C . Un paramento claro, muy limpio, situado en las mismas condiciones no alcanzaría los 55°C .

La temperatura del paramento exterior de un complejo puede por consiguiente, variar entre límites muy dilatados, de -20°C a $+80^\circ\text{C}$.

PARAMENTO INTERIOR

El paramento interior tiene, en principio, una temperatura mucho más constante; en efecto, esta temperatura se sitúa algunos $^\circ\text{C}$ por debajo de la temperatura del aire interior, en invierno, y algunos $^\circ\text{C}$ por encima, en verano, temperatura que hay empujo en mantener constante. Sin embargo, es frecuente encontrar elementos de calefacción cerca de las paredes perimetrales, sobre todo, de los antepechos de ventanas. En tal caso, el calor irradiado hacia el complejo puede elevar la temperatura del paramento interior hasta los 80°C .

Condiciones de humedad

Estas condiciones son las más importantes en el caso de paramentos higroscópicos:

Esos materiales tienen un grado de humedad de equilibrio, que depende de las condiciones del ambiente, y es posible determinar para cada uno de ellos la curva que da, para cierta temperatura, el grado de humedad en función de la humedad relativa del ambiente. La experiencia demuestra que la temperatura ambiente influye poco y las curvas para diferentes temperaturas forman un haz bastante tupido. El hecho fundamental estriba en que este grado de humedad y, por tanto, las características del material que de él dependen: coeficiente de conductividad

térmica, características mecánicas, dimensiones, etc., no son funciones de la cantidad de humedad contenida en el aire ambiente, sino de su humedad relativa.

Ahora bien, si para un clima determinado, la cantidad de agua contenida en el aire varía poco durante una misma estación, la humedad relativa, función de la temperatura del aire, puede oscilar en proporciones importantes. Así, en la contigüidad de una pared exterior calentada por el sol hasta 80°C , la humedad relativa en contacto con ella podrá alcanzar el 100 %. Resulta de ello que el haz exterior de un complejo constituido por un material higroscópico podrá estar, según la estación, en estados de humedad muy diferentes, ya prácticamente seco, ya saturado; los movimientos que de ello resulten podrán ser muy importantes.

La humedad del paramento interior también será variable en ciertos casos; este paramento podrá también encontrarse en condiciones extremas; prácticamente seco, si tiene cerca un foco de calor; muy húmedo, si una humedad interior elevada provoca condensaciones en su seno.

Consecuencias. Deformaciones del complejo

Examinemos ahora las deformaciones del complejo, resultantes de los movimientos diferenciales entre ambos haces.

Supongamos, primero, que las condiciones de temperatura y de humedad del paramento interior sean constantes y que, por tanto, sólo se mueva el paramento exterior.

PARAMENTO EXTERIOR NO HIGROSCÓPICO

En el caso en que el paramento es un material no higroscópico (metal, vidrio), una elevación de temperatura de este paramento, al provocar una dilatación, da origen a una deformación que se traduce en un bombeo hacia el exterior. Cuando la temperatura volverá a su valor inicial, esta deformación se anulará. Dicho complejo, expuesto a los rayos solares, sufrirá, pues, deformaciones cotidianas durante el período de asoleo. En la estación fría y con ausencia de radiación, una contracción del paramento causará una deformación en sentido contrario.

PARAMENTO EXTERIOR HIGROSCÓPICO

En el caso en que el paramento es un material higroscópico, los fenómenos son diferentes; una elevación de temperatura empieza por provocar alargamiento por dilatación térmica y el complejo se bombea hacia

el exterior, como en el caso precedente; pero el alza de temperatura, al reducir la humedad del aire en contacto con el paramento, éste se seca; de ello resulta una retracción que se opone a la dilatación térmica. La flecha pasa por un máximo, pero disminuye después.

Pero la desecación es un fenómeno relativamente lento y la duración del asoleo de la fachada a lo largo de un día es insuficiente para secar por completo el paramento. Cuando la temperatura baja, la contracción térmica resultante de ella conduce a una flecha en sentido inverso. De tal modo que, al volver la temperatura a su valor inicial, el complejo conservará una deformación, que se manifiesta por un bombeo hacia el interior. Esta deformación residual, sin embargo, no es permanente y desaparecerá, cuando el paramento, al volverse a humedecer, recobrará su estado de humedad inicial; no obstante, este fenómeno de rehumedecación es asimismo muy lento y, al día siguiente, un nuevo ciclo de asoleo hallará predeformado el complejo. Igual fenómeno se producirá al secarse un poco más el paramento, la flecha residual aumentará, correspondiendo la flecha máxima a un estado de desecación prácticamente total del paramento exterior. El complejo presenta, pues, además de las deformaciones cotidianas, una deformación estacional de mayor amplitud, debida a la desecación del paramento durante el verano y a su humectación durante el invierno.

Las deformaciones del paramento interior vendrán, según su sentido, a aumentar o disminuir las deformaciones del complejo.

Si el cálculo de estas deformaciones, a partir de las características de los componentes del complejo: variaciones dimensionales y módulo de elasticidad de los paramentos rígidos del complejo, resulta muy complicado, en cambio, es fácil medirlos experimentalmente, colocando los paramentos en las condiciones límites, tal como se indica más adelante.

La amplitud de estas deformaciones es, en general, demasiado importante para que sea tolerable, por razones de estanchidad, dejar que el complejo se deforme con libertad. Los intersticios entre los bordes del complejo y los demás elementos de la fachada deben ser reducidos; es necesario prever sujeciones tales que dichos bordes queden, en la práctica, sin deformación.

Entonces, es importante conocer los esfuerzos que precisa desarrollar para mantener el complejo y asegurarse de su buen funcionamiento bajo las tensiones que de ellos resultan.

Damos aquí, en conclusión, tres ejemplos que permitirán fijar los órdenes de magnitud de estos fenómenos.

Ejemplos

1) COMPLEJOS DE PARAMENTOS IDÉNTICOS

— Paramentos no higroscópicos.

Paramentos exteriores e interiores: aluminio ondulado.

Núcleo aislante: 35 mm de espesor de balsa.

Dimensiones: 2×1 m.

— Un salto de temperatura de 50°C entre ambos haces del complejo da origen a una flecha de $+9$ mm.

— Hay que aplicar a cada esquina del complejo un esfuerzo de 50 kg para situarlas en el plano determinado por los puntos medios de los lados.

— En el centro del complejo así sujeto, la flecha es de $+2$ mm.

— Paramentos higroscópicos.

Paramentos exteriores e interiores: Amianto-cemento de autoclave y comprimido, de 6,5 mm de grueso.

Anima aislante: poliestireno dilatado de 30 mm de espesor.

— La desecación del paramento exterior es causa de una flecha de -5 mm, en el centro del complejo.

— Hay que aplicar a cada esquina del complejo un esfuerzo de 40 kg para situarlas en el plano formado por los puntos medios de los lados.

— En el centro del complejo así sujeto, la flecha es de -1 mm.

2) COMPLEJO DE PARAMENTOS ASIMÉTRICOS

Paramento exterior: aluminio ondulado pegado a contrachapado.

Paramento interior: amianto-cemento-celulosa de 8 mm de grueso.

Núcleo aislante: poliestireno dilatado de 30 mm de espesor.

— Una diferencia de temperatura de 50°C , entre los dos haces del complejo, obtenida al llevar el haz exterior a 80°C , provoca una flecha de $+5$ mm.

— La desecación del paramento interior da lugar a una flecha de $+20$ mm.

— Al conjugar ambas acciones precedentes, determinan una flecha de 25 mm y hay que aplicar, en las esquinas del complejo, esfuerzos de 150 kg para situarlas coplanarias con los puntos medios de los cuatro lados.

CAPITULO XIII

CONSECUENCIAS DE LAS VARIACIONES DIMENSIONALES Y DE LOS MOVIMIENTOS DIFERENCIALES⁽¹⁾

Las variaciones dimensionales derivadas de las diferentes causas antes enumeradas no tendrían más que unas pocas consecuencias enojosas, si se aplicaran a objetos aislados. Pero ya se dijo que el edificio no está aislado ni es homogéneo. Los movimientos de las partes del edificio quedan, pues, impedidos, y la consecuencia de estos movimientos impedidos son tensiones.

Por ejemplo, si varios cuerpos $C_1, \dots, C_n$ están sometidos a poseer una longitud común L y si $E_1, \dots, E_n$ son los módulos de elasticidad de estos diversos cuerpos, al paso que $S_1, \dots, S_n$ son sus secciones, podemos escribir:

$$d_1 + f_1 = d_n + f_n$$

donde d_i son las deformaciones que cada cuerpo experimentaría si estuviera libre, mientras que las f_i son las deformaciones que resultan de la tensión que actúa sobre cada cuerpo.

Podemos escribir también que la suma de los esfuerzos en los diversos cuerpos se anula (o es igual a la reacción de una fuerza exterior F):

$$\sum \frac{E_i S_i f_i}{L} = 0 \quad (o = F)$$

Tenemos, así, n ecuaciones con n incógnitas que permiten definir las tensiones en cada cuerpo.

Si el esfuerzo en un cuerpo es superior al límite de rotura para la naturaleza del esfuerzo en cuestión, habrá desorden.

Se puede comprobar ya que los cuerpos rígidos (es decir, de módulo E elevado) están más expuestos que los demás y tanto más cuanto menor

(1) Redactado en colaboración con M. DEMAREE, Director-Adjunto del C.S.T.B.

es su sección y que su deformación propia es diferente de la de los demás cuerpos.

De esta guisa, y sobre ello insistiremos, un tabique de ladrillo introducido en una obra de hormigón; el ladrillo se hincha, el hormigón se retrae. Si la sección de cerámica es pequeña, el tabique puede aplastarse; si es notable, puede ocurrir que el edificio sea soportado por los tabiques. En tal caso, el hormigón corre peligro de agrietarse, si es hormigón apiñado, no armado.

Las tensiones nacidas de los movimientos diferenciales quedan atenuadas por las fluencias, poco conocidas en los casos complejos. ¿Cuál es el estado de un edificio que se contrae, en capa delgada sobre su soporte?

Pero las fluencias no corrigen más que los efectos de las deformaciones lentas. De ahí que las deformaciones rápidas (en particular las debidas a la temperatura) son, a igual valor, más peligrosas.

Observemos que las deformaciones bajo la influencia de la humedad o de la temperatura o resultantes de fenómenos en que ambas intervienen, no se producen simultáneamente en toda la masa del cuerpo; las deformaciones empiezan por las capas superficiales. Así, puede haber creación de tensiones en un cuerpo homogéneo y correlativamente fisuras superficiales.

Hay que advertir, por fin, que numerosos fenómenos provocadores de variaciones dimensionales son periódicos, con periodo regular (día, estación) o irregular (viento) y que estas variaciones periódicas son causa de variaciones alternas y, por tanto, de fenómenos de cansancio. Harto conocido en los metales y menos en los materiales minerales o plásticos, no por ello deja de existir. Sería útil su estudio sistemático para prever contra sus efectos.

El efecto de tensiones, desarrolladas por variaciones diferenciales imprevistas, es la rotura. Las roturas pueden ser causa inmediata de ruina de la obra. Más a menudo provocan grietas. Y aquí se plantea una discrepancia. ¿No hay grietas admisibles? Así se expresan los promotores o contratistas que ven rechazada la recepción definitiva del edificio por culpa de grietas rebeldes.

De hecho, el problema está así mal planteado. Lo que hay que decir es: si, hay grietas que son inocuas, respecto a la seguridad y a la durabilidad y sólo son de ingrato aspecto.

Pero los riesgos de agrietamiento son previsibles. Si por ejemplo, se ha elegido una solución expuesta al resquebrajamiento, es, sin duda, porque se acepta el riesgo pertinente.

Por consiguiente, más que grietas admisibles, hay grietas admitidas desde el momento en que se acepta el proyecto.

Al contrario, hay muchas grietas perjudiciales, en esencia, porque abren calle al agua y, con ella, a otros desórdenes dimensionales y térmicos y a corrosiones y alteraciones.

Ejemplos concretos

Veamos, ahora, algunos casos concretos y sus remedios.

— Unos tabiques de ladrillo están levantados en un inmueble, cuyo esqueleto es de hormigón armado. Si éste trabaja por compresión hasta el límite, el acortamiento elástico y la fluencia dan origen a una reducción de la altura bajo techo de 1,5 mm. Un acortamiento de este valor, para la cerámica, significa una tensión de 90 kg/cm². Esta tensión aumenta más, si se tiene en cuenta la flexibilidad de los suelos (instantánea y de fluencia).

Esta entrada en carga de los tabiques provoca, con bastante frecuencia, la rotura por aplastamiento.

Remedio: hay que evitar que entre en carga un tabique que no esté en condiciones de aguantar esfuerzos.

— Para construir rellenos y tabiques, emplear morteros bastardos o mortero de cal hidráulica, es decir, morteros plásticos, con preferencia a morteros de portland.

— Dejar en la cima o en la base una junta de suficiente anchura, que se cerrará con un listón de madera, con material plástico o con un mortero de escasa resistencia.

— Se colocan placas o aceras delgadas de piedra dura como revestimiento de fachada.

El mismo fenómeno de entrada en compresión que hemos visto para tabiques se produce en dichas aceras. Aquí también el *remedio* estriba en evitar la entrada en carga.

Primero, demostrando todo lo posible el revestimiento, a fin de que la mayor parte de la fluencia se haya cumplido antes de tomar en obra las aceras.

Además, no colocando éstas a hueso, sino dejando juntas de un espesor total de 5 mm por piso, chajadas con material plástico.

— En el enlace de los entrepaños (muros situados entre los vanos) con las alacenas bajo ventanas (muretes debajo de los vanos), hay discontinuidad de cargas, dado que los muros aguantan y los muretes, no. De ello resulta un esfuerzo cortante que da lugar a grietas a carabón, si ambos elementos son continuos y su unión no está bastante armada. Esto

se logrará, por ejemplo, con dos cabillas, en lo alto del murete, ancladas 30 cm en los machones.

— *La retracción de hormigones* es causa frecuente de agrietamiento. Cuando se emplean bloques, el remedio es sencillo, basta descartar los bloques tiernos. Un hormigón ordinario debería endurecer durante un mes; un hormigón celular, 3 meses (se trata aquí de desecación y no de retracción).

Un riesgo a menudo ignorado deriva de la *yuxtaposición de hormigones de diferente edad*; por ejemplo, si entre dos pies derechos prefabricados se cuela un murete de hormigón, el agrietamiento de la unión es inevitable. El remedio puede ser, bien la aplicación de un murete prefabricado, que haya sufrido su retracción o bien establecer entre pies derechos y murete una junta que siga siendo estanca a despecho de la retracción (forma y cuajado *ad hoc*).

Otro peligro grave reside en la *retracción impedida*: si el cuerpo que se opone a la retracción tiene menor resistencia que el hormigón, se romperá; suelo cerámico en un edificio de hormigón apisonado, techo suspendido de una losa de hormigón armado.

Si no tal, se agrietará el hormigón: hormigón apisonado, en el piso inmediato a la cimentación, la cual no tiene retracción.

El efecto de las *dilataciones* es harto conocido en los esqueletos; el remedio clásico es la junta consentida, a distancia de 25 m, en regiones con grandes oscilaciones de temperatura, y de 50 m en las comarcas de clima más uniforme.

Pero otros casos son a menudo subestimados, por ejemplo, el de las losas de azoteas; se puede admitir que la temperatura media de la losa varía 10° en invierno y 30° en verano; en una longitud de 30 m, la variación será causa de agrietamiento de muros y tabiques en el piso inferior a la azotea; estos elementos descansan sobre un suelo interior al edificio, cuya temperatura y, por tanto, la dimensión, es prácticamente invariable, y van unidos por testa a una losa que se alarga 6 mm. Es inevitable, pues, que los mismos se articulen por grietas en la cima (a menudo en la primera junta debajo de la losa, si la pared está construida por hiladas) o en la base.

Los remedios, delicados, son, para los tabiques, la previsión de un bloque contra la losa, mediante una junta elástica. Para los muros, encima de los cuales descansa la losa, es problema aún más espinoso.

No basta romper la solidaridad de la losa y el muro, porque el rozamiento es considerable. Hay que prever un verdadero apoyo elástico o articular el muro, esto es, prefabricar la grieta y disimular con un plinto o proteger la losa del sol, para mantenerla a temperatura bastante baja durante el verano.

También son de temer los efectos de la dilatación, cuando las variaciones de temperatura son muy notables en dos porciones de un mismo elemento. Un tablero bocadillo, de hormigón y poliestireno dilatado, puede servir de ejemplo. La hoja exterior, aislada completamente por su envés, se calentará al sol, mientras que la capa interior conservará constante la temperatura. Igual fenómeno, pero al revés, tenemos para grandes fríos. Fatalmente, se agrietará el tablero.

El remedio consiste en dar a la hoja exterior de hormigón un espesor suficiente para atenuar la brutalidad de las oscilaciones térmicas, 7 cm, como mínimo.

La dilatación y las variaciones higrométricas determinan con frecuencia el agrietamiento de guarnecidos que cubren diversos materiales de características diferentes, tanto al interior como al exterior. Por ejemplo:

al interior: un murete de bloques de hormigón ligero y un elemento de apoyo de hormigón colado macizo; los pies derechos de madera y los paños de pared;

al exterior: un esqueleto de hormigón armado y el cuajado de cuarteles con aglomerados ligeros.

Para los guarnecidos sobre hormigón, una solución consiste en armarlos con alambra.

En los enlucidos interiores, hay que evitar el defecto de recubrir con un paño continuo, una discontinuidad entre materiales de muy diferente comportamiento.

Las quebrajas, debidas a variaciones térmicas e higrométricas son rebeldes; su causa se reitera sin cesar y, a no ser que se taponen con un material elástico, quedan pocas esperanzas de que no se abran de nuevo todos los años.

En realidad, la lección general que se saca de las consideraciones precedentes se cifra en que allí donde hay peligro de una grieta, que se abre y cierra periódicamente, es preciso establecer una *junta* capaz de permitir los movimientos diferenciales, conservando las cualidades necesarias en cada caso, que suelen ser: la aptitud para transmitir esfuerzos, la estanquidad al agua y al aire, la ausencia de puntos flacos térmicos, el grato aspecto.

No trataremos aquí del proyecto y de la ejecución de juntas, tema que por sí exige un extenso desarrollo y para cuya exposición necesitaríamos conocimientos que están todavía en fermentación.

Hemos querido señalar tan sólo la frecuencia y la importancia de defectos de durabilidad originados por los movimientos diferenciales de los materiales y subrayar el hecho de ser perfectamente previsibles.

Señalamos ya la importancia de los movimientos de los *complejos* normalmente a su plano y la magnitud de los esfuerzos requeridos para impedir la deformación. Porque estos rellenos se colocan en carpintería, muchos se ven inducidos a considerarlos como vidrios o cristales, lo cual entraña un grave error. Incluso los cubrejuntas ordinarios son muchas veces incapaces de ofrecer la resistencia necesaria; hay, pues, que disponer sujeciones idóneas para soportar esfuerzos de algunas decenas de kilos, y aún más de 100 kg.

Los rellenos, por constituir una parte de los muros exteriores, han de formar junta estanca con la carpintería que los sostiene. Si se impermeabiliza con masilla, es preciso:

1. no apretar el tablero contra la masilla, sino sobre calas;
2. no apoyar el tablero sobre masilla, sino sobre calzos;
3. de modo más general, disponer la junta de manera que envejezca lo menos posible y que sus movimientos sean compatibles con la elasticidad (en sentido estricto) de la masilla.

CAPÍTULO XIV

ALTERACIONES DE PIEDRAS Y HORMIGONES Y CORROSION DE METALES⁽¹⁾

En este capítulo, examinaremos el efecto del tercer enemigo de la durabilidad, a saber, el deterioro de la propia sustancia de los materiales, para piedras, hormigones y metales.

La alteración de las sustancias o corrosión de los materiales de construcción minerales es, por lo general, lenta y, hasta hace poco, rara vez eran motivo de preocupación; los métodos de edificación, fieles a la tradición, gozaban de una experiencia secular, los materiales se empleaban en condiciones sensatas y las precauciones tomadas por los obreros cualificados resultaban suficientes para asegurar una protección duradera. Los hierros siempre se han aherrumbado, las piedras siempre se han degradado, las maderas siempre se han podrido; pero de unos años a esta parte, se asiste a una aceleración de las corrosiones a consecuencia del aumento de agresividad de las atmósferas urbanas, pero también por ignorancia de los fenómenos de corrosión y por el empleo inadecuado de ciertos materiales.

Hay diferentes maneras de clasificar las corrosiones en el edificio:

1.º Por su origen, pueden agruparse en dos categorías:

a) Corrosiones provocadas por el medio circundante: atmósfera, agua, terreno. Estas causas de corrosión son independientes de nuestra voluntad, no podemos zafarnos de ellas, pero debemos conocerlas para las providencias necesarias.

Al respecto, observemos lo que ocurre en las aglomeraciones urbanas. En el ojo de boticario, de una ciudad, por ejemplo, si analizamos los componentes sulfurosos que se posan, hallamos (expresados en SO_2):

0,004 mg por cm^2 y día, en verano
0,015 mg por cm^2 y día, en invierno

(1) Redactado por M. Uzac, Consejero del C.S.T.B.

Los resultados se expresan en SO_2 , porque es, en definitiva, el producto final de la oxidación de los derivados sulfurados. El aumento, muy claro, de la dosis de SO_2 , en invierno procede de los hogares domésticos. Estos derivados de azufre se posan en forma de polvo, pero en especial bajo forma disuelta en las condensaciones: lluvia, niebla. Tanto es así que se han señalado pH de 1 en el agua recogida al principio de la precipitación. Un pH igual a 1 corresponde aproximadamente a un pH de una solución decimormal de ácido, o sea, para 1 litro de lluvia, posibilidad de transformar, en teoría, 5 gramos de carbonato cálcico en sulfato.

Las cifras parecen exiguas, pero referidas a la hectárea, esto representa 400 g por día, 144 kg al año y, para una urbe populosa, de 200 a 300 000 toneladas anuales.

Los polvos constituyen un complemento muy activo de la corrosión por humedad. Proceden, en gran parte, de los combustibles incompletamente quemados por los hogares y por los motores de autos. Estos hollines son pegajosos y conservan humedad constante donde se posan. Esta humedad es, las más veces, muy agresiva, porque los hollines son, a menudo, ácidos, cosa que no ocurra con la calefacción a base de leña, cuyas cenizas son alcalinas.

b) Corrosiones provocadas por el uso inadecuado de los materiales; éstas son imponderables. Como en el caso, por ejemplo, del contacto de dos metales que formen un par galvánico.

2.º Por el agente de corrosión.

De hecho, en el edificio, el principal agente de corrosión es el agua, y veremos que ésta actúa de diversas maneras:

- por simple disolución de los materiales,
- como vehículo de productos agresivos,
- como electrolito,
- como elemento imprescindible para la vida de los parásitos que atacan los materiales.

3.º Según las propiedades de los diferentes materiales empleados en la edificación.

Esta es la clasificación de que nos vamos a servir.

Pasemos revista a los materiales:

— Materiales de albañilería: piedra, hormigón, mortero y yeso, que experimentan corrosiones por disolución, más o menos favorecidas por acciones químicas.

— Metales, en los que las corrosiones se producen, de preferencia, por fenómenos galvánicos.

— Maderas, destruidas por acción biológica.

LAS PIEDRAS

ALTERACIONES DE LAS PIEDRAS VISTAS

La corrosión de las piedras se manifiesta por costras, úlceras, gabarros, que se agrietan, se hinchan y se desconchan, dejando a la vista una capa pulverulenta, sabulosa, de piedra descompuesta. En las ciudades, estas concreciones son negras. En el campo, las corrosiones son menos rápidas, pero se observa el mismo proceso de destrucción.

La experiencia demuestra que las calizas son las atacadas y que las areniscas no son alteradas más que en función de los carbonatos cálcicos que presentan en la masa o en el mortero de asiento.

Las piedras no son materiales homogéneos. Una piedra caliza pura está constituida por granos o cristales de carbonato cálcico trabados entre sí por granos mucho más finos, que actúan como una especie de cemento, y también formados por carbonato cálcico.

Este CaCO_3 es poco soluble en el agua: 0,0014 % a 25°C y, en tales condiciones, se comprende que la acción corrosiva del agua pura es despreciable. Pero el agua puede contener gas carbónico, y en un agua saturada de dicho gas, la solubilidad del carbonato se convierte en 0,13 %, por formación de un bicarbonato cálcico.

En el agua puede haber, además, ácido sulfúrico, y en este caso el carbonato se trueca en sulfato, cuya solubilidad es de 0,209 % a 30° .

Estas solubilidades, claro está, son bajas. Si se las compara con la del cloruro cálcico, 159 %, o con la del nitrato, 102 %, se nos anojarán irisorias y deducir de ello que, para disolver la piedra se requerirán toneladas de agua. Sin embargo, la acción no es desdénable, primero, porque es constante, y después, porque la piedra no es homogénea. En primer lugar, se disolverán las finas partículas que sirven de aglutinante y la piedra se disgregará como un terrón de azúcar en presencia del agua.

Volvamos a nuestra piedra, integrada por granos trabados por una especie de cemento. Se ve en seguida que la textura puede ser más o

menos porosa. Esto es fácil de verificar, determinando el peso de un cubo de piedra seco. Si se obtiene una densidad aparente de 1,8, la simple comparación con la densidad 2,7 del carbonato cálcico, demuestra que la piedra presenta, en teoría, un 35 % de huecos. Es lo que suele llamarse *porosidad* o índice de poros.

Si tomamos un cubo de esta piedra, de 10 cm de lado, y la intimamos de agua saturada de gas carbónico, absorberá 594 g de agua y su peso pasará de 1,8 kg a 2,4 kg. Estos 594 g de agua saturada de CO_2 son capaces de disolver 0,77 g de carbonato cálcico (en las mejores condiciones).

Si ahora colocamos esta piedra al aire libre sobre una platina, el agua contenida en aquella se evaporará por las cinco caras que están en contacto con el aire. Esta agua se trasladará de dentro afuera, arrastrando el bicarbonato cálcico disuelto y, tras la evaporación total del agua, quedarán 0,77 g repartidos en una superficie de 500 cm^2 .

Suponiendo la superficie completamente lisa y la formación de una película continua, se tendría 1,5 mg por cm^2 , o sea $1/2 \mu$ de espesor.

Imaginemos que hacemos ciclos, regando las caras visibles y secando después; es posible admitir que, a la larga, se formará una costra delgada en la superficie, en especial si el agua rociada contiene vestigios de ácido; pero también es admisible que, si los períodos de riego sean más importantes que los de evaporación, la fase de disolución prevalecerá y la piedra se disgregará. La corrosión se manifestará en forma de alveolización, procedente de la disolución de las zonas más tiernas. Es un fenómeno que suele observarse en las fachadas orientadas a poniente. Si en lugar de regar todas las caras para lograr que los movimientos alternativos de humedad se produzcan en todas ellas (entrada y salida por la misma cara), rociamos solamente una cara de modo que la humedad vaya siempre en el mismo sentido, tendremos formación de costra en las caras sometidas a evaporación. Esta costra, mientras se conserva delgada, es beneficiosa. Es lo que se llama *pátina*, que acentúa la impermeabilidad de la piedra. Se pretende, a menudo, que es necesario conservar las pátinas originales formadas por la evaporación del agua de cantera. En realidad, hemos visto que el agua contenida en una piedra no puede dar más que una tenue capa de evaporación y que son las entradas y salidas repetidas que pueden formar esas costras. Esto se ha comprobado en piedras sedimentarias y se ha visto que para obtener una pátina de 1/10 de mm de espesor, en una piedra de 1 m de grueso, hubiera sido preciso diez veces más agua de la que contenía al ser arrancada de la cantera (15 %). Por otra parte, la cantidad de sulfato, hallado en las costras analizadas, demuestra que ha existido una aportación exterior, fácil de reconocer en las aguas de lluvia y en las de escurrimiento.

Cuando la película es rica en sulfato, parece que su acción es nefasta. Se observa que la proporción de sulfato es destacadamente superior en

las costras que cubren las piedras enfermas. Si la costra superficial de una piedra sana no contiene más del 15 % de sulfato, excede sin dificultad del 30 % en una piedra enferma.

En las caras deslavazadas sin cesar por el agualluvia, el yeso formado se disuelve al par y al paso de su formación y es arrastrado, obteniéndose la alveolización a que aludimos antes.

Al contrario, en los lugares donde la piedra no está lixiviada, en particular, donde discurren o se evaporan aguas infiltradas, hay depósito de sulfato que alcanza notable volumen, si la piedra es poco resistente, la costra forma ampollas, se agrieta, se despega y deja al descubierto la piedra descompuesta.

Tal vez la acción química viene acelerada por una acción biológica.

En algunas piedras enfermas se han encontrado bacterias del ciclo del azufre, susceptibles de transformar los derivados sulfurados en ácidos agresivos; azufre procedente del sulfuro contenido en la piedra o del terreno o de las aguas de escurrimiento. Pero no falta quien crea que las bacterias aparecen a consecuencia de la descomposición de la piedra y no son la causa de ésta.

También se han hallado bacterias del ciclo del nitrógeno, capaces de producir ácido nítrico, transformando, por ejemplo, los derivados amoniacales del suelo o de las aguas escurridas. Hemos visto antes la solubilidad del nitrato cálcico.

REGLAS DE CALIDAD PARA EVITAR LA ALTERACIÓN DE LAS PIEDRAS VISTAS

Las precauciones que deben tomarse para reducir al mínimo estas corrosiones son de orden muy general y pueden sintetizarse en esta regla: evitar el estancamiento de la humedad en contacto con los materiales, la formación de zonas húmedas por condensación interior del vapor de agua y el ascenso de agua por capilaridad.

Importa, pues, elegir la calidad de las piedras.

En paramento horizontal, expuesto únicamente a humedades provocadas por el agualluvia, y en haces verticales expuestos al resurrido, piedras firmes, duras y compactas.

En contacto con un suelo exterior poco húmedo, piedras del tipo anterior, pero si el suelo es muy húmedo, no se emplearán más que piedras muy duras y compactas.

Hay que prevenir goterones debajo de todas las caras horizontales, para cortar el estancamiento, y dar a la cara superior, pendiente suficiente para que el agua no se detenga. Será de desear un revestimiento impermeable. Es

preciso que las piedras se asienten según su lecho de cantera; la colocación a contratecho es causa de porosidad en sentido desfavorable.

Por fin, los morteros de asiento no deben ser más duros que las piedras por él unidas, pues de lo contrario, constituyen un obstáculo a la repartición de la humedad y provocan corrosión de la piedra en los alrededores de la junta.

Idénticos efectos hallamos en materiales que contienen carbonato cálcico o están en contacto con el mismo, como por ejemplo, la arenisca caliza formada por arena silíceo englobada en un cemento calizo.

Los ladrillos tiernos presentan, a veces, caliches y gabarros parecidos a los observados en las calizas: los ladrillos suelen contener sulfato magnésico, causa de eflorescencias. El sulfato magnésico es soluble y reacciona con la cal o el carbonato cálcico de los morteros de asiento para dar lugar a dichas corrosiones.

Es noción general que la durabilidad de una obra no puede venir garantizada más que a expensas de una conservación mínima, que debe ser definida: tal es la limpieza, higiene contra la corrosión, operación que se ha hecho corriente, pero cuyas diversas técnicas siguen aún discutidas.

La *limpieza* o remozado, puede hacerse (1):

- a) por acción mecánica: cepillo metálico o chorro de arena; sólo se autoriza el chorro de arena húmeda. Ha sido criticado por su acción destructora de la costra fina.
- b) por simple lavado, que deja intacta la pátina:
lavado a chorro,
lavado por aspersión;
- c) por acción de soluciones de productos químicos.

Se ha censurado mucho. Hay, efectivamente, ensayos desgraciados.

Los productos alcalinos pueden ocasionar eflorescencias que tardan en desaparecer, pero dejan intacta la pátina y el resultado parece aceptable en el caso de piedras no absorbentes.

Los productos más corrientes son derivados del flúor (fluosilicatos) que dan fluoruro cálcico, soluble en las sales amoniacales existentes en el producto, pero insolubles cuando el amoniaco se ha evaporado: la espuma que acompaña a la reacción arranca la suciedad.

El resultado depende mucho de la piedra, de su estado de degradación, de su dureza, de la presencia de sales de hierro que puedan pasar

(1) Algunos comprenden en esta denominación el enluchado o el jalbegu.

a la superficie y dar coloración. Depende también de quién haga la limpieza y de su amor a la cantería.

A menudo se ha acusado al procedimiento de limpieza de haber provocado degradación, siendo así que sólo ha puesto en evidencia el estado de degradación de la piedra.

LAS FABRICAS GUARNECIDAS

Cuando la fábrica no responde por sí misma a la exigencia, de exclusión de humedad de la cara interna del muro o que no ha sido pensada para absorber o evaporar el agualluvia, debe ser revestida con un *guarnecido*:

- guarnecido o revoco tradicional, con mortero de cal o bastardo,
- guarnecido menos tradicional, con cemento,
- guarnecidos pelliculares, a base de conglomerantes hidráulicos, de resinas o de mezclas de ambos,
- pintura, es decir, aplicación de una película de resinas naturales o sintéticas,
- tratamiento superficial.

Estas diferentes protecciones plantean, de por sí, problemas de durabilidad que trataremos más adelante.

LOS HORMIGONES Y MORTEROS

ALTERACIONES DE LOS HORMIGONES Y MORTEROS

Como las piedras, los hormigones y morteros pueden corroerse. La acción corrosiva del agua y de las impurezas que contiene vienen agravadas por la capilaridad, la permeabilidad, la porosidad y las fisuras del material.

El hormigón es un material heterogéneo y sus componentes experimentan evoluciones químicas, de las cuales algunas se prolongan muy lentamente durante años e incluso decenios.

Además, no cabe jamás la seguridad de haber obtenido el hormigón que se pretendía.

Morteros

ALTERACIÓN DE LOS MORTEROS

En un mortero, hay cal o cemento y arena.

La cal que sale del horno, o cal viva anhidra, debe ser apagada antes de su empleo. Es una reacción lenta, que se desarrolla con aumento de volumen; sería capaz de deslocar una obra si se produjera después del fraguado. Es el fenómeno de estallido en la cerámica con caliches, cuando se humedece. La cal, a menudo, va acompañada de magnesita, cuya hidratación es todavía más lenta; puede durar meses y resulta por ello aún más peligrosa.

Cuando la cal apagada se mezcla con agua, se vuelve a combinar con el gas carbónico del aire para convertirse de nuevo en carbonato. Fragua. La carbonatación empieza por fuera y avanza hacia dentro. Si al cabo de un mes la capa carbonatada puede alcanzar 5 mm de espesor, la reacción progresa con mucha lentitud y se ha comprobado que, al término de 20 años, el mortero de cal que había servido para construir un muro de ladrillo, contenía todavía un 30 % de cal no carbonatada. Esto es lo que explica la sensibilidad de un mortero de cal a la humedad; la solubilidad de la cal es de 0,185 %.

De igual manera, los cementos, cuyos principales componentes son silicatos bi- y tricíclicos y aluminato tricíclico, contienen las más veces, cal libre hidratada después del fraguado. En efecto, los silicatos se hidratan para dar una sal monocíclica con liberación de cal. Una parte de esta cal es aprovechada por el aluminato tricíclico, que se transforma en tetracíclico, pero queda un remanente de cal libre. Los derivados del cemento, mortero y hormigón, son, por tanto, sensibles a la acción disolvente del agua pura sobre la cal. Son también sensibles a las aguas seleníticas: se forma un sulfoaluminato, acompañado de hinchazón y de dislocación parcial (bacio del cemento).

REGLA DE CALIDAD PARA LA DURABILIDAD DE MORTEROS

Estas reglas, como todas las de calidad, son función del empleo.

En el mortero para *fábricas*, es preciso:

— Oponerse al deslavazado y, al efecto, por una parte, amasar morteros compactos y, por otra, tomar para el conjunto de la fábrica las precauciones conducentes a evitar el acceso del agua y, en particular, para

las juntas (tendales y llagas), evitar los salizos y enrasar bien las juntas y retundirlas.

— No dejar nunca sin guarnecer la fábrica proyectada para serlo.

— Oponerse a la subida de las aguas del terreno, a menudo cargadas de sales, que pueden ser agresivas, estableciendo una capa impermeable entre la cimentación y el suelo del edificio. Para el cimiento, emplear conglomerantes que resistan a las agresiones salinas.

En guarnecidos:

Estos pueden ser destruidos por causas mecánicas, a consecuencia de sus variaciones dimensionales propias y las de su soporte; ya lo dijimos antes de ahora. Se trata aquí de causas de alteración del propio material. El guarnecido, por razón intrínseca, ha de ser impermeable. Si el agua llega a trascolar, las más veces, por fisuras, es posible intentar la recuperación de la impermeabilidad mediante una pintura.

Hormigones ordinarios

Los hormigones ordinarios constan de áridos y de mortero, como una fábrica que ha de ser guarnecida. Pero el hormigón fluido queda autoimpermeabilizado por su epidermis: lechada y mortero rico.

Las precauciones son las mismas que para las fábricas.

Los hormigones acurados, en los que se destruye la epidermis, dejan pasar el agua y funcionan como fábricas de piedra vista. Esto tiene particular importancia para el hormigón armado.

Los hormigones ordinarios sufren las mismas alteraciones que las piedras, por un lado, y los morteros, por otro.

Pero estamos expuestos a aceptar un hormigón con áridos que serían rechazados para la fábrica. Por otra parte, las quebrantadoras pueden ser causa de grietas, que resultarían vías de acceso del agua a la piedra y, por tanto, de alteración. No pretendemos extendernos en estos problemas ni sobre la elección de áridos, que son objeto de tratados especiales.

Hormigón armado

El hormigón armado presenta los mismos riesgos de alteración que el hormigón ordinario, pero agravados por la inevitable fisuración del hormigón tesó y los de la corrosión de los aceros, esto es, la herrumbre,

que puede a la vez destruir las armaduras y provocar el estallido del hormigón.

Los hormigones celulares o porosos, los hormigones cavernosos o agrietados, e incluso un espesor insuficiente de hormigón no pueden asegurar una protección duradera de los hierros.

Una causa suplementaria de corrosión de éstos puede resultar de la presencia de iones corrosivos en la masa. Para el hierro, son temibles los cloruros, que se agregan a menudo como acelerantes del fraguado, en tiempo de heladas. Pero los iones nocivos pueden ser introducidos por accidente, por ejemplo, con la arena. En atmósfera seca, el daño no puede ser muy grande, pero en atmósfera tropical húmeda, la corrosión puede llevar a la catástrofe. Así ocurrió en el hospital de Maracaibo, donde la dosis de sal marina alcanza 25 kg de cloruro por m². La arena había sido examinada, las capas superficiales eran correctas; pero a fuerza de ahondar se llegó a capas ricas en sal, sin que ningún indicio las denunciara.

Los cloruros pueden proceder de la atmósfera y, con frecuencia, cerca del mar se ven armaduras, cuya herrumbre ha producido quebrijas y ha hecho saltar lascas del hormigón protector.

Los cloruros pueden haber sido añadidos ulteriormente. Esto ocurrió, por ejemplo, en un garaje, cuyos tubos de calefacción estaban embebidos en el hormigón, debajo del enlosado. La construcción tuvo efecto en verano y los cloruros, que acusaba el análisis, no fueron introducidos durante aquella. Luego se vio que los cloruros procedían de los detergentes empleados para el lavado de vehículos. Aquí la humedad deriva de los lavados, caso frecuente al pie de los apoyos aislados.

El remedio, a la sazón, consistió en formar una barrera estanca, situada por encima y no debajo de los tubos, dejando algunas chimeneas descolantes respecto al nivel del suelo y destinadas a evacuar la humedad procedente de otras causas.

La humedad puede derivar de condensaciones. La humedad será corrosiva, por ejemplo, para las tuberías de agua fría, cuya temperatura estará por debajo del punto de rocío del vapor contenido en el aire presente en un hormigón celular o en las envolturas pobres en agentes atenuantes (hormigón magro, por ejemplo). La superficie externa del tubo, que está siempre mojada al airearse, no tarda en ser víctima de corrosión.

REGLA DE CALIDAD PARA LA EJECUCIÓN DEL HORMIGÓN ARMADO

El Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento ha publicado las *Recomendaciones internacionales unificadas para el cálculo*

y la ejecución del hormigón armado, redactadas por el Comité europeo del hormigón.

Digamos ahora que está probado que la mejor protección del acero consiste en embeberlo en hormigón compacto. El gel coloidal alcalino, que se forma en el momento de la hidratación del cemento es el agente de esta protección. Esta cesa si el hormigón se carbonata o deja de ser alcalino. El hormigón de protección ha de medir un espesor mínimo de 3 cm, si está al exterior y aún algo más para ciertos paramentos. Es preciso que la adherencia acero-hormigón sea perfecta y que el hormigón sea compacto y poco permeable al aire.

La exigencia de protección mínima es harto difícil de cumplir en las condiciones habituales de armado y de hormigonado. Por este hecho, muchas construcciones ven o verán comprometida su durabilidad o la durabilidad de su grato aspecto.

Hay que evitar también los sopladros y las coqueiras, y, al efecto, hay que cuidar el encofrado (para evitar fugas de lechada) y el vertido (evitar la segregación).

Hemos indicado ya los inconvenientes del acurardado.

Para ponerse a cubierto de los peligros de corrosión, en hormigón compacto, pero sobre todo en hormigón cavernoso o celular, donde el mortero no puede proteger los hierros, se han preconizado diversas soluciones:

— Galvanización de las armaduras; la adherencia es buena, porque el cinc es atacado por el hormigón, y el resultado es inseguro. Desde luego, es mucho más costoso.

— Aplicación de lechada de cemento más o menos plastificada con resinas y con adición de sales inhibitorias, como los cromatos. Las armaduras así neutralizadas pueden almacenarse al aire libre, sin que se forme roñín. Pero con ello tenemos también una complicación y un encarecimiento difíciles de admitir, salvo en casos particulares.

— Para los hormigones cavernosos, es posible englobarlos en hormigón compacto, en el mismo momento de la ejecución.

IMPERMEABILIZACION DE FABRICAS Y HORMIGONES POR MEDIO DE GUARNECIDOS Y PINTURAS

Guarnecidos

Para que un guarnecido de mortero resista a la alteración es indispensable que tenga *adherencia*—los recorridos de la humedad entre las superficies de materiales distintos son siempre causa de separación—o sea, que se haya limpiado el soporte, que la superficie de éste no esté manchada por productos perjudiciales o que impidan el agarre: cuerpos grasos, productos de desmoldeo, yeso.

Para que el guarnecido sea homogéneo todo lo posible, es preciso que el fondo no manifieste desigualdad de absorción. La misión de la primera capa (enfoscado) es la de uniformar la superficie.

Es necesario que la superficie del guarnecido no se hienda, permitiendo el paso de la humedad a su masa.

Asfalto

Cuando se quiere proteger un hormigón y aislarlo de la humedad, el procedimiento más sencillo consiste en revestirlo con asfalto. La película impermeable ha de ser bastante espesa, para dejar recubiertas todas las asperezas que puedan invitar al agua a penetrar. Éste es el recurso empleado para impermeabilizar cimientos e infraestructuras, y el asfalto, amparado contra el sol, y aplicado a un soporte inmóvil es durable.

En las techumbres, cuando están expuestas al sol y a la intemperie, su técnica de puesta en obra se convierte en la delicada técnica de la estanquidad.

A veces, se *silitizan* los morteros y hormigones para hacerlos estancos, pero los resultados son bastante variables.

Las impregnaciones con fluosilicatos de cinc y de magnesia, lo que se llama una *fluatización*, dan buenos resultados; se forma fluoruro cálcico o fluoruro magnésico, insolubles, y se precipita un gel de sílice y de hidrato de cinc. El conjunto colmata los poros del hormigón y lo hace estanco; pero los fluosilicatos, tanto como los silicatos y las siliconas, no pueden colmatar las grietas.

Las *siliconas* son resinas en las cuales el sílice sustituye más o menos completamente al carbono, son productos caros y, por desgracia, una película de silicona no resiste a la intemperie más que algunos años.

Caros también, pero duraderos, son los revestimientos de *pasta de vidrio o de cerámica*.

Las *pinturas clásicas* a base de aceite de linaza no se pueden emplear sobre el cemento, sin correr grandes riesgos. En efecto, el aceite se saponifica en presencia de la cal, e incluso sobre un cemento seco, siempre hay el peligro de que una humedad intempestiva lleve a la superficie el álcali, que hemos visto persiste arreo en el interior. Esto ha llevado de la mano el empleo de *resinas sintéticas*, menos sensibles que el aceite, o a la interposición de un aislante entre el cemento y la pintura.

De esta guisa, se han aplicado pinturas al aceite o con standóleos de aceites sobre entucidos de yeso, que sirve de aislante, o sobre pinturas de caucho clorado, que es insensible en absoluto al cemento, pero que no resiste los rayos solares.

Las pinturas garantizan una protección eficaz contra la humedad, pero si el agua logra penetrar debajo de ellas, se producen eflorescencias, ampollas y escamas.

Se ha echado mano de resinas en emulsión: vinílica, acrílica, estireno butadieno.

Al presente, asistimos a una proliferación de productos nuevos tal que resulta difícil a los propios especialistas formarse una idea exacta sobre el interés de las novedades en el mercado. Con excesiva frecuencia, las preferencias van guiadas por los caprichos de la moda, como ocurre con las pinturas a base de resina *pirolita*. Pero esta pintura es relativamente pobre en aglutinante, está intensamente plastificada y algunos técnicos vuelven a las pinturas gliceroalifáticas o, incluso, a las pinturas grasas formofenólicas, pero con resinas y aceites poco sensibles a los álcalis.

Si abundan las pinturas es porque resulta algo fácil fabricarlas; basta dispersar un pigmento en un aglutinante constituido por una resina y un disolvente y aun se da el caso de que los fabricantes de materias primas lleguen a publicar fórmulas para guía de sus clientes. Vemos, pues, centenas de fabricantes que sirven pinturas y, aún, a muchos pintores que preparan las pinturas que emplean. En realidad, la pintura debe estar compuesta según leyes científicas, pero los parámetros que entran en el éxito de una fórmula son tan numerosos que se impone la elección y su resultado no es más que un compromiso entre las ventajitas y los inconvenientes. Sólo los fabricantes de cierta categoría pueden disponer de los laboratorios necesarios para controlar las materias primas y la producción.

REGLA DE CALIDAD DE LAS PINTURAS

Aquí, la regla de calidad derivada de la exigencia de durabilidad tiene expresión funcional: es indispensable la verificación de la durabilidad

en un ensayo natural, porque los ensayos de envejecimiento acelerado no son nunca de plena significación; en otras palabras, hay que fundarse sobre referencias efectivas.

Cabe, sin embargo, enunciar las siguientes reglas parciales: la pintura debe ser refractaria a la reacción alcalina del hormigón, impedir que el agua de escurrimiento penetre debajo del revestimiento, pero permitir que se evapore la humedad interna. Es preciso, además, que la pintura resista a la intemperie y, en particular, a la acción degradante del sol y, por fin, es imprescindible que la pintura pueda ser conservada, que pueda ser restaurada una vez degradada o, mejor, antes de su degradación, sin necesidad de dejar al descubierto los paramentos.

Existen hoy *enlucidos peluculares*, bastante parecidos a las pinturas, porque el aglutinante es una resina, pero con un aspecto mucho más próximo a un pañete de lucidor, porque contiene aditivos y se aplican en capas de 1 ó 2 mm.

Por otra parte, son asimilables a estos productos las películas prebriadas para pegar a las fachadas o para extenderlas al fondo de un molde.

YESO

ALTERACIONES DEL YESO EN ENLUCIDO DE FACHADA

Para terminar con los materiales de albañilería, examinemos el yeso, que se altera esencialmente por disolución.

Al amasarlo con agua, el yeso da una pasta que no tarda en fraguar y endurecer por formación de cristales de bihidrato, que se imbrican. En teoría, hace falta menos del 20 % de agua para producir el fraguado. Pero para obtener una pasta manejable, hay que llegar del 70 al 80 % de agua, y el yesero se siente mucho más propenso a echar el 100 % en vez del 80 % para lograr mayor facilidad de manipulación. Aparte de los 20 % necesarios para la hidratación, esta agua no tiene más función que la de diluyente, y debe, por tanto, desaparecer por evaporación, dejando una masa porosa, a menudo friable.

Un yeso, amasado con el 100 % de agua, da una masa seca, cuya densidad es de 0,9. Amasado con el 80 %, la densidad es 1, con el 60 %, la densidad es 1,2, al paso que la verdadera densidad del $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ es 2,37.

El yeso tiene una apreciable solubilidad en el agua y se comprende sin esfuerzo que un yeso, en especial si es poroso, se disgregue con rapidez al aire libre.

Ya no se emplean los enlucidos de yeso al exterior, aunque bien protegidos, duran bastante. El problema del yeso al exterior interesa principalmente para enjibar con lechada.

REGLAS DE CALIDAD

Se oye decir a menudo que los yesos ya no son como los de antaño. En efecto, hace un siglo, los yesos se molían con menos finura y podían manipularse con menor cantidad de agua. Los yesos para enlucir fachadas recibían asimismo arena y cal.

No obstante, es posible obtener yesos manejables con el 50 al 60 % de agua; esto es lo que se hace con luciduras de guarnecido, al añadir emulsiones de resinas en el yeso, antes o durante el amasado. Se obtiene así un yeso de densidad 1,2 que no absorberá más de 10 g de agua por hora, al paso que, en las mismas condiciones, un yeso con el 110 % de agua, de densidad 0,8, absorbe 20 g en 5 minutos.

Protegido por pinturas, el yeso es susceptible de dar fachadas duraderas. Basta tan sólo evitar cualquier infiltración por escurrimiento o por contacto con masas húmedas. Ante todo es preciso cuando se va a enjibar, eliminar con cuidado todas las superficies atacadas, transformadas en yeso muerto o poroso. Las pinturas empleadas deben formar una película estanca al escurrimiento, lo que no siempre ocurre con las pinturas de emulsión; es preferible acudir a pinturas al aceite.

CORROSION DE LOS METALES

Las corrosiones de los materiales naturales, como la piedra, o de los productos elaborados, como el cemento o el yeso, los cuales, luego de ser incorporados a la obra, dan otros productos: hormigón, mortero, enlucidos de yeso, muy allegados a los materiales naturales, proceden de la acción disolvente del agua pura o cargada de sales.

Con los metales, nos encontramos con diferente modo de actuar. Si excepcionamos los metales nobles: oro, platino y, en menor proporción, la plata, que hay en la naturaleza en estado puro, nativos y estables en el medio circundante, nuestros metales han debido extraerse de minerales: óxidos, sulfuros, carbonatos. Son estos minerales los que representan el estado estable del metal en su circunstancia. Ha sido indispensable un gasto de energía para transformar el mineral en metal, y este último manifiesta propensión espontánea a convertirse de nuevo en óxido, sulfuro o carbonato.

En aire seco, no se produce herrumbre en el hierro. Sin embargo, en pocos minutos, a la temperatura ordinaria, se cubre con una invisible película protectora de óxido, muy delgada, del orden de un centenar de Å. Si se eleva la temperatura, esta película se hace más gruesa y se manifiesta por intacciones de interferencias.

Si se calienta el hierro con el intento de aumentar el grueso de la película protectora, las escamas carbonosas que se forman, se romperán cuando el metal se enfríe o cuando se doble (1).

En presencia de polvo o de suciedad, el hierro se aherrumbra desde el momento en que el grado higrométrico del aire alcanza el 60 %. El polvo fija la humedad y aporta sales; la corrosión que se produce es un fenómeno electroquímico.

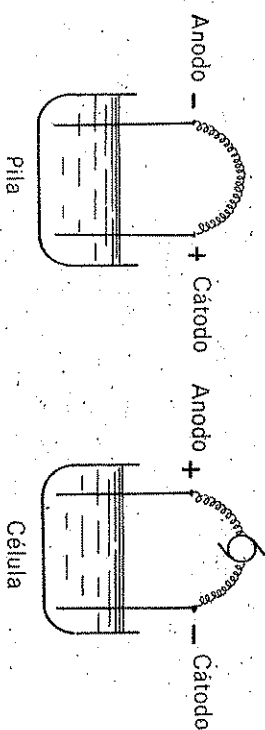
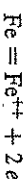


Fig. 21.

Tomemos un trozo de hierro cubierto con una capa protectora de óxido, pero fisurada, dejando desnuda una pequeña superficie de metal y mojemos esta superficie con agua que contenga un electrolito, por ejemplo, sal de cocina. Inmediatamente, se forma una pila, en la que la capa de suciedad desempeña el papel de cátodo, y el hierro, el de ánodo soluble (2).

Volvamos a nuestro resacaño de hierro, cubierto de óxido en forma discontinua, mojado y formando pila. En la superficie del ánodo, el hierro entra en solución bajo la forma de iones ferrosos:



y de cloruro ferroso, en presencia del cloruro sódico de la solución (fig. 22).

(1) Los franceses llaman *calamine* a la tenue capa de óxido ferroso-ferroso que se forma sobre el acero al enfriarse, a la salida del laminador. Nosotros llamamos *calamine* al silicato natural de cinc.

(2) Los términos ánodo y cátodo pueden prestarse a confusión dado que, en una pila, el ánodo es el polo negativo, mientras que, en una célula de electrolisis, el ánodo es el polo positivo.

El ánodo es el polo de donde parten los cationes en el electrolito; se disuelve y alrededor de él hay acidificación del electrolito y desprendimiento eventual de oxígeno.

El cátodo es el electrolito en que se forman los aniones; no es atacado y alrededor de él se produce una alcalinización y desprendimiento eventual de hidrógeno.

Pero en el cátodo, hay formación de iones de sodio, que se transforman en sosa, la cual reacciona sobre el cloruro ferroso disuelto, para precipitar hidróxido ferroso $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y, al regenerarse el cloruro sódico, la reacción puede continuar indefinidamente. Este hidróxido ferroso puede oxidarse para dar la herrumbre amarilla $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

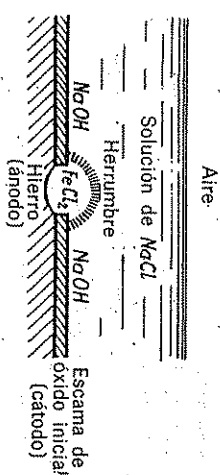


Fig. 22.

La oxidación directa en seco había proporcionado una costra protectora en el mismo sitio del ataque. En definitiva, aquí tenemos también una combinación de hierro y de oxígeno, pero difiere porque el hierro entra en solución en un sitio y el hidróxido se forma en otro. Por esta razón, la corrosión electroquímica es, a menudo, más peligrosa que la oxidación directa.

Para que se forme una pila, para que haya un par electroquímico, es ineludible que la superficie del metal no sea homogénea, que haya polvo, óxido inicial, o sencillamente que el metal esté compuesto por finos cristales compenetrados, pero sin tener todos el mismo potencial electroquímico. Un metal muy duro resiste mejor a la corrosión que uno impuro; el cinc, muy sensible al ácido clorhídrico, puede, cuando ha sido purificado por varias destilaciones, permanecer algunos meses en contacto con un alambre de otro metal para disparar un ataque brutal.

Cuando se sumerge un metal en un electrolito, cierto número de átomos de metal pasan por la solución bajo forma de iones cargados positivamente; el metal adquiere carga negativa. Se obtiene así una semipila y para medir su potencial es preciso acoplar esta semipila a otra de referencia con electrolito de hidrógeno o de calomelano, en forma de obtener una pila completa, cuya fuerza electromotriz podrá ser medida con auxilio de un potenciómetro o de un voltímetro.

Cuando el metal está inmerso en una solución de una de sus sales, se mide una constante perfectamente definida respecto al electrolito de referencia, para cada metal. Clasificando las cifras obtenidas, se forma una escala de potenciales de equilibrio.

Escala de potenciales de equilibrio
(respecto al electrodo de hidrógeno)

Oro	+ 1,50	Níquel	— 0,250
Platino	+ 1,20	Cobalto	— 0,30
Plata	+ 1,20	Cadmio	— 0,402
Cobre	+ 0,345	Hierro	— 0,440
Hidrógeno	0,000	Cromo	— 0,71
Plomo	— 0,125	Cinc	— 0,762
Estañó	— 0,136	Aluminio	— 1,670

Cuando el metal está inmerso en una solución acuosa determinada, el potencial se modifica con el tiempo por la emisión de iones metálicos y también a causa de los cambios que tienen efecto en la intersuperficie metal-solución, por los productos de reacción insolubles y los desprendimientos gaseosos. Se obtiene entonces una clasificación diferente, llamada: escala de potenciales de disolución, en presencia de determinada solución:

Potenciales de disolución

en una solución de cloruro sódico al 3 % respecto al electrodo de calomelano:

Oro	+ 0,22	Cromo activo	— 0,60
Platino	+ 0,30	Hierro	— 0,60 a 0,70
Cromo pasivo	+ 0,20 a 0,25	Plata	— 0,05
Acero inoxidable (18-8)	+ 0,10	Cobre	— 0,18
Mercurio	0,00	Hidrógeno	— 0,25
Níquel	— 0,27	Aluminio	— 0,74
Estañó	— 0,44	Cinc	— 1,06
Plomo	— 0,47		

Si en una solución de cloruro sódico al 3 %, colocamos un alambre de plata y otro de aluminio y enlazamos ambos hilos entre sí, por fuera de la solución, se producirá una corriente eléctrica, cuya fuerza electromotriz será:

$E = \text{potencial de la plata} - \text{potencial del aluminio}$

$E = -0,05 + 0,74 = 0,69 \text{ voltios}$

El aluminio, que es el metal más electronegativo, se disolverá: es el ánodo. El cátodo está constituido por el electrodo más noble, el más electropositivo.

También cabe construir tablas de potencial de un metal en presencia de diversas soluciones. Por ejemplo, para el hierro:

Potencial de disolución del hierro
en diferentes soluciones acuosas
(respecto al electrodo de calomelano)

Solución de cloruro sódico a 3 %	— 0,60 a — 0,70
» ácido sulfúrico a 0,5 %	— 0,45
» carbonato sódico a 5 %	+ 0,30
» sosa cáustica a 40 %	+ 0,43 a — 0,86
» permanganato potásico a 1,5 %	+ 0,93

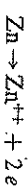
El rendimiento de una pila y, por consiguiente, la corrosión, pueden venir modificadas por fenómenos tales como la polarización o la formación de productos insolubles aislantes.

Por ejemplo: el agua está siempre parcialmente disociada en iones H^+ y OH^- : la constante de disociación es

$$K = H^+ \cdot OH^- = 1 \cdot 0,08 \cdot 10^{-14}$$

Una solución cuyo pH es 7, tiene una concentración igual de iones H^+ e iones OH^- . Es el punto neutral. Por debajo de 7, las soluciones son ácidas, por encima, alcalinas.

Si sumergimos cinc en una solución, las capas superficiales del metal van a ionizarse:



con pérdida de dos electrones. Estos electrones así liberados, pueden ser capturados por los iones H^+ para dar el átomo H y luego la molécula H_2 .

Por un lado, el ion Zn^{++} puede combinarse con el ion H^- presente en el agua, para dar una capa de hidróxido más o menos aislante $Zn(OH)_2$. Pero este hidróxido es soluble en soluciones ácidas ($pH < 6,8$) o en soluciones alcalinas ($pH > 13,5$). La acción protectora no entrará en juego, pues, más que si la solución se mantiene entre pH de 6,8 a 13,5.

Es, en consecuencia, interesante consultar también las tablas de solubilidad de los hidróxidos metálicos cuando se quieren prever las posibilidades de corrosión.

Precipitación y redisolución de los hidróxidos en función del pH

Hidróxidos de estañó:	Sn(OH) ₂ 0,5 a 12-13
Hidróxidos de hierro:	Sn(OH) ₂ 1,5 a 13
	Fe(OH) ₃ 2,2 a > 14
	Fe(OH) ₂ 5,8 a 14
Hidróxido de aluminio	3,8 a 10,6
Hidróxido de cinc	6,8 a 13,5
Hidróxido de plomo	7,2 a 13
Hidróxido de níquel	7,4 a > 14
Hidróxido de cadmio	8,3 a > 14
Hidróxido de cromo	5 a 13/14
Hidróxido de cobre	5 a 15

Hemos visto que los metales no son los únicos que pueden constituir electrodos y que el óxido o que la suciedad, por ejemplo, desempeñan el papel de cátodo sobre una superficie ferriza. De igual modo, en las pilas, se emplea grafito como cátodo.

Pero también puede haber formación de un par electrofórico, cuando un metal está en contacto con un líquido conductor no homogéneo.

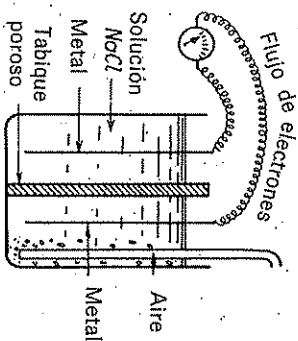


Fig. 23.

Si por ejemplo, separamos dos electrodos del mismo metal por un tabique poroso y establecemos contacto entre dichos electrodos mediante un hilo conductor, tendremos una corriente que hará variar la concentración del electrolito en una de las partes del recipiente (fig. 23).

De igual modo, tendremos ataque de uno de los electrodos si hacemos burbujear aire en una de las partes del recipiente. La parte aérea es el cátodo y es la otra parte la que se corroe.

La aireación diferencial explica la acción de una gota de agua sobre una lámina de acero (fig. 24). Se forma en el centro de la gota una zona anódica y el acero es atacado, porque la zona más aireada es catódica.

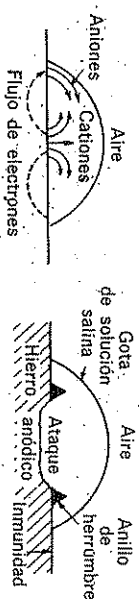


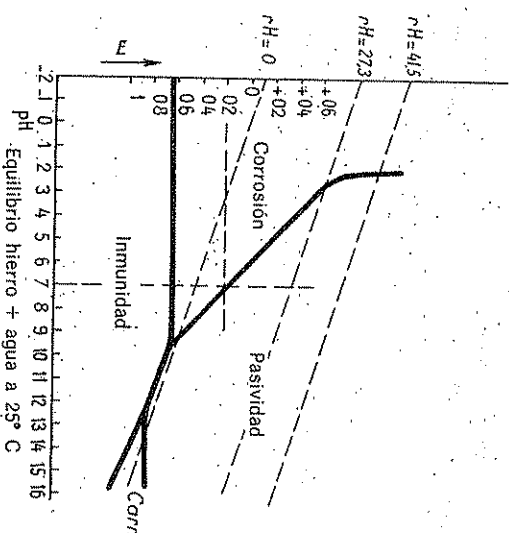
Fig. 24.

A escala microscópica, la metalurgia nos enseña que los metales industriales son siempre heterogéneos. Aquí también se formará, en la superficie de un metal sumergido en una solución, una gran cantidad de micropilas, con pequeños ánodos próximos a los cátodos.

Aun puede haber formación de pares galvánicos cuando una zona ha sido forjada, caldeada o soldada. Fácilmente, se pueden poner de manifiesto las desigualdades de superficie, por medio de un papel filtro humedecido con un electrolito que contenga un indicador coloreado adherido a la superficie.

Se obtiene en seguida el dibujo de las partes anódicas ácidas y de las catódicas básicas.

En una serie de diagramas publicada por Pourbaix, se pueden hallar las curvas de equilibrio del metal respecto a sus iones, a los iones del medio y a los productos de reacción, en función del pH y de la tensión de electrodo.



$rH > 415$ Desprendimiento de O_2
 $rH = 273$ Ni oxidación ni reducción
 $rH < 0$ Desprendimiento de H_2
 de $rH = 0$ a $rH = 415$: Zona de estabilidad
 termodinámica del agua bajo 1 atm.

$$(E_H = 0.06 \text{ pH} + 0.03 \text{ rH})$$

Fig. 25. — Según Pourbaix.

Por ejemplo, se ve fácilmente que, en medio alcalino, el hierro es pasivo para potenciales superiores a -0.8 ; por tanto, deberán buscarse protecciones de las armaduras del hormigón a base de productos que permanecieran alcalinos, en caso de carbonatación completa del hormigón por entrada de aire. Tal es el caso del benzoato sódico.

Pero en medio ácido, en presencia de agua llovizna, por ejemplo, hay que obtener potenciales muy superiores y positivos, lo cual puede lograrse con oxidantes, cromatos o permanganatos, verbigracia.

Este repaso de nociones tiene por objeto subrayar que los fenómenos de corrosión de los metales han sido campo de numerosos estudios científicos y que muchos accidentes acaecidos en edificios hubieran podido evitarse si se hubiera hecho caso de la opinión de técnicos destacados en anticorrosión.

ENTRAMADOS DE ACERO

El hierro obtenido del mineral por reducción debida al carbón vegetal se abrumbraba menos que los aceros actuales; se cita el pilar de Delhi, que se conserva en forma sorprendente. Pero las más veces, hoy el acero debe ser protegido.

Precautiones en el proyecto de entramados de acero

Una primera precaución debe adoptarse al emplear productos siderúrgicos; consiste en concebir la estructura de manera que se eviten, en lo posible, las causas de corrosión y en prever, ya en el proyecto, los procedimientos para combatirla. Hay que pensar en dar salida al agua lluvia, mediante pendiente adecuada, evitar los huecos donde puedan detenerse condensaciones y escurrimientos, suprimir ensambaduras complicadas, axilas o ángulos entrantes, donde puedan acumularse el polvo y el hollín que absorben y conservan la humedad. Es preciso que los elementos de cajón sean estancos o ventilados por agujeros y desagüados por la base para evitar que el agua se estanque en su interior.

Pero también se ha de prever la vigilancia y la conservación de la estructura, dejando aberturas de registro en los sitios necesarios. Son importantes providencias, cuyo olvido puede ser causa de elevados gastos de entretenimiento.

Es claro que deben evitarse los contactos con metales, susceptibles de formar pares electrolíticos, de los que acabamos de hablar.

Protección del acero

No hay que insistir en los raros ejemplos de buena conservación, hora de protección: la cubierta construida por el abuelo que sigue aguantando,

sin que nunca se protegiera, y sin duda, de hierro pudriado, y, por otra parte, no se puede comparar la atmósfera actual a la de hace sólo 30 años.

Decapado

La costra de óxido que se forma sobre los productos siderúrgicos laminados en caliente, es electropositiva respecto al hierro. Será, pues, prudente eliminarla antes de proteger el metal, porque si protege el hierro en tanto constituye una película continua, a la menor fisura —y siempre está resquebrajada— no tarda en dar acceso a infiltraciones de orín y la obligan a desprenderse en escamas.

Todos los autores están, contestes en insistir sobre la necesidad de una perfecta preparación de la superficie antes de su protección. La eliminación del polvo, de humedad, de grasas, de herrumbres y del óxido de laminación es indispensable antes de la labor de protección y las clásicas técnicas de los pliegos de condiciones precisan:

«Hierros perfectamente limpios y libres de orín y de óxido de laminación.»

La supresión de éste es una operación difícil de realizar en el tajo; resulta cara y cuando se habla de suplementos de precio, uno se siente más exorable en apreciar la perfección.

Para quitar el óxido de laminación se emplea, en general, el *chorro de arena*.

Los suecos han establecido, al respecto, una escala a base de fotografías, pero se está poniendo a punto una escala francesa, que comprende tres grados:

1.º *grado — chorro de arena ligero* — que elimina las partículas poco adheridas de óxido de laminación y de herrumbre, siendo del orden de 10 a 15 μ las irregularidades de superficie.

2.º *grado — chorro de arena concienzudo* — que corresponde a lo que se llama chorro de arena crudo y deja irregularidades de 15 a 20 μ .

3.º *grado — chorro de arena en blanco* — el único que da una superficie exenta de óxido y elimina del 90 al 95 % de orín y de partículas extrañas. Las irregularidades son del orden de 20 a 35 μ .

El tercer grado requiere triple tiempo y material que el segundo y de cinco a seis veces más que el primero.

Se aplican métodos de decapado más rudimentarios y, claro está, menos eficaces.

Limpieza con cepillo metálico; es el procedimiento de menor eficacia, incluso cuando va precedido de un período de oxidación. Este consiste en dejar que el hierro en bruto se cubra de roña bajo la acción de la intemperie. El roñín o herrumbre se forma debajo de la capa de óxido de laminación y dado que el volumen de aquél es 13 veces el del hierro que le ha dado origen, la costra de óxido inicial se disloca y resulta fácil de eliminar. Por desgracia, la operación es larga. Y difícil de aplicar en la edificación, a consecuencia de los arrastres de herrumbre que ensucian la obra de fábrica.

Cabe acelerar este proceso con pastas especiales que activen la formación de herrumbre. Su uso es desagradable, porque exige lavados, salvo una que se aplica y se quita al cabo de unos días, arrastrando consigo las costras de óxido, pero su empleo es muy restringido.

Hay que estar ojo avizor contra numerosos productos decapadores milagrosos; cuando se aplica una pasta, las superficies de contacto no se renuevan y pronto se llega a saturación, con lo que la acción queda terminada.

La limpieza con la llama de un soplete, empleada a veces como complemento del previo aherrumbado, hace saltar el óxido de laminación y facilita el raspado. Tiene la ventaja de dar una superficie seca y lisa, que se presta muy bien a la aplicación de la pintura de imprimación.

Se obtienen también resultados bastante buenos con ciertos martillos-escofa, constituidos por un haz de agujas de acero al tungsteno, que golpean la superficie, adaptándose a su forma.

Análogo al chorro de arena, el de granalla se emplea para el decapado de perfiles que hayan de recibir una capa de cinc proyectado a la salida del tren laminador.

Será útil, al encargar un decapado, preparar una superficie que sirva de testigo, que deberá conservarse hasta el término de la obra, después de revestirla con un buen barniz transparente.

Mucho más satisfactorio resultaría no emplear en el tajo más que hierros preparados en la herrería. Se evitaría, de tal suerte, polvo, lluvia y condensaciones que comprometen la aplicación en obra. Se ha observado, por ejemplo, que los hierros pintados en invierno, cuando la atmósfera es más rica en SO_2 , aguantan menos que los pintados en tiempo caluroso.

En Cambridge, se ha comprobado que la herrumbre, en invierno, contenía sulfato ferroso y que, por encima de $0,1 \text{ mg por cm}^2$, se producían accidentes. La eliminación de este sulfato resulta difícil—hace falta una jornada entera de lavado en frío para sacar un 75 % de dicha sal—. En la costa, el orín contiene cloruro ferroso.

Cuando se trata de galvanizar planchas de palastro, el hierro es decapado en baños ácidos, antes del cincado. El decapado químico en baños ácidos es un procedimiento muy sencillo, pero da miedo a los que trataban el hierro. Hoy se dispone, no obstante, de baños preparados con ácidos que no ofrecen peligro alguno (ácido fosfórico, por ejemplo), que poseen inhibidores para limitar su ataque a la herrumbre, dejando intacto el hierro, que contienen productos que mojan, para eliminar las grasas y favorecer la penetración debajo del óxido, que así se desprende. No hay necesidad de montar onerosas cadenas de lavado, como en la industria del automóvil. Basta disponer de un baño decapador, bastante grande, dicho se está. Con los baños modernos es posible dejar las piezas de un día para el otro, sin peligro. Después se retiran, se lavan a gran agua y se sumergen en un baño neutralizador, para evitar la formación de orín al secarse. Dicho baño puede estar, por ejemplo, obtenido a base de gelatina bicromatada o formado, por un baño caliente con fosfatos minerales que depositan en la superficie del metal una tenue red de cristales de fosfatos.

Los constructores de entramados metálicos no tienen perfecta conciencia de este problema de protección y han empleado pinturas de tan mala calidad sobre superficies tan mal preparadas que el pintor encargado de la protección definitiva rechaza toda garantía y pide un suplemento para volver a dejar desnudos los hierros. Sería preferible encargar al pintor todo el trabajo, pero esta solución es difícil de aplicar.

La asociación inglesa del acero ha emprendido, desde hace muchos años, estudios encaminados a la protección de dicho metal. Una conclusión reciente indica que los gastos del primer tratamiento repercuten en los gastos de mantenimiento. No hay que cifrar aparte la preparación de la superficie; el tratamiento previo no es más que un elemento de un costo establecido por m^2 y año sobre la duración total de la obra.

La solución ideal consiste en emplear aceros protegidos por un revestimiento metálico protector aplicado en fábrica: cinc o aluminio.

Cabe enumerar cinco argumentos en favor de la metalización previa:

1. Seguridad de tener una superficie, exenta de herrumbre y de óxido de laminado, capaz de soportar sin deterioro las vicisitudes de mantenimiento, transporte, almacenaje y montaje, antes de recibir las manos finales.
2. Protección del metal, en caso de falla de las manos de pintura.
3. Duración prolongada de las manos de pintura: dos manos sobre superficie metalizada duran 12 años. Hacen falta cuando menos, 4 capas de la misma pintura, sobre superficie tratada por chorro de arena, para obtener el mismo resultado que en el palastro metalizado.

4.° Los puntos difícilmente accesibles después del montaje quedan ya parcialmente protegidos.

5.° El entretenimiento resulta más barato.

Todo lo que precede es indiscutible para un puente o una torre, pero el asunto se presta a controversia para un entramado de cubierta o un esqueleto de edificio.

Es, por cierto, temerario no prever ninguna protección, como se hace a veces, en el caso de entramados que resultarán del todo inaccesibles por la presencia de encofrados. Estos hierros ya no quedarán expuestos a la intemperie; pero siempre son de temer accidentales entradas de agua y habrá indefectiblemente condensaciones, las cuales, en atmósfera urbana, son ácidas.

Con frecuencia, los esqueletos reciben protección contra incendios. Se envuelve el acero en un complejo de amianto, cuya alcalinidad protege el metal, pero incluso en este caso, parece preferible, luego de eliminar la herrumbre poco adherida, pintar con asfalto espeso o con minio de plomo y una pintura bituminosa.

Hay que ser realista y no obligar a protecciones superfluas. A menudo, uno puede contentarse con una capa aislante, pero con la condición de que sea visible, para verificar el estado de la protección y su evolución.

PINTURA. MANO DE IMPRIMACIÓN

Es indispensable que la primera mano de pintura o imprimación se aplique cuanto antes, después del decapado, con el intento de que la superficie desnuda no tenga tiempo de cubrirse de orín. Precisa que la superficie esté seca, que la aplicación se efectúe en buenas condiciones de temperatura, al abrigo de la lluvia, del polvo y de las condensaciones. Son condiciones más fáciles de lograr en herrería que en el tajo.

Si no se puede evitar la humedad, cabe el empleo de ciertos productos, por ejemplo, aminas grasas, que cambian la polaridad de la superficie y transforman una superficie mojable por el agua en otra que no lo sea. Al aplicar una pintura con inversor de polaridad sobre un hierro mojado, el agua se elimina en forma de gotas y se escurre bajo el pincel.

A pesar de todo, la experiencia demuestra que es preferible pintar sobre superficie seca.

Respecto a la elección de pinturas, es bueno saber:

1.° Hay que desconfiar de inventores de productos milagrosos, los cuales, sacando conclusiones de ensayos rápidos, se disponen a aplicacio-

nes en gran escala. No ha faltado quien ha dicho que, en materia de anticorrosión, sólo hay que dirigirse a fabricantes que tengan, al menos, 30 años de experiencia y cuya prudencia se ha adquirido a través de numerosos fracasos. Es decir, que no hay procedimiento rápido para cerciorarse del perfecto comportamiento de una pintura anticorrosiva.

2.° Los técnicos en pintura realizan sus ensayos en probetas perfectamente preparadas y en condiciones que se pueden calificar de *ideales*. Esto es comprensible, ya que para hacer ensayos comparables, hay que eliminar al máximo las variables no controladas, susceptibles de dispersar los resultados. Pero ¿es válida la clasificación que proponen a superficies mal preparadas o para aplicaciones efectuadas en la obra? De ello resulta que viejas fórmulas como el minio de plomo con aceite de linaza son, a menudo, superiores a fórmulas muy elaboradas.

Es importante conseguir espesor suficiente en todos los puntos de la superficie que se ha de proteger. Sobre un decapado al chorro de arena, que deja huecos de 20 μ , es preciso que la protección suprima todas las asperezas.

El minio de plomo tiene la ventaja de proporcionar manos bien peinadas. El aceite de linaza tiene el defecto de secarse con lentitud. Al presente, se fabrican minios con aceites esterinizados o con resinas gliceroftálicas con mucho aceite, que evitan dicho inconveniente y al par dan películas de igual espesor.

El minio de plomo actúa como un neutralizador, lo mismo que el plumbato cálcico o los cromatos empleados también en imprimaciones.

MANOS DE ACABADO

Las manos de imprimación han de ser a su vez protegidas por manos de acabado.

Son, en general, pinturas especiales contra el orín o lacas.

La mayor parte de anticorrosivos son también pinturas al aceite. Tolerables para superficies poco preparadas, se secan despacio y pierden con rapidez su aspecto brillante.

Las gliceroftálicas, abundantes en aceite, resisten ópticamente: durabilidad, brillo, dureza y resistencia al polvo. Se secan de prisa y resisten menos al agua que las formofenólicas, pero éstas amarillean y exigen mejor preparación.

Se habla mucho de resinas epóxicas, pero hasta hoy, la durabilidad de una gliceroftálica es superior.

Las vinílicas, en solución, se emplean en construcción naval, pero la película no es gruesa y hay que dar muchas manos, lo que hace cara su aplicación.

Interesantes son las pinturas gliceroaláticas modificadas, muy espesas, llegando hasta 80 μ . Sin embargo, es preciso prever varias manos, para alcanzar poca porosidad.

Por regla general, en vez de señalar un número de manos, es mucho más racional exigir un espesor mínimo, fácil de medir en los materiales ferrosos, con sencillos aparatos magnéticos. Se admite que un espesor de 120 μ da protección correcta al exterior.

CUBIERTA DE PALASTRO CINCADO, ALUMINADO O EMPLOMADO.

HOJAS DE CINC Y DE ALUMINIO. HOJAS DE INOX

Hemos visto que el cincado del hierro constituía un excelente medio de preparación de la superficie del metal. Se emplea también por sí solo: el palastro cincado o galvanizado. Por ser el cinc menos noble que el hierro, cuando se forma un par electrofítico, resulta atacado, al actuar como ánodo; el cinc queda sacrificado y es evidente que su acción tuitiva sólo dura mientras hay metal. Cuando se ha agotado, ya no hay protección. Es, pues, importante el grosor de la capa de cinc y hay notable diferencia entre un palastro electrocincado, en el que la capa de cinc representa de 2 a 4 μ y un palastro cincado a la continua, del tipo 40 a 45 μ y aún más en los palastros galvanizados por hojas.

Los palastros galvanizados se designan, de ordinario, por el peso de cinc depositado por m^2 en ambas caras. Un palastro galvanizado de 600 g de cinc, es una lámina que tiene 300 g por haz, lo que representa, dada la densidad del cinc (7 g por μ y por m^2), alrededor de 43 μ .

Para metalizar un palastro, cabe lanzar un chorro de metal fundido contra el hierro perfectamente decapado con arena y se obtiene así una protección por cinc o aluminio proyectados, que es el método de Schoop; es corriente que los espesores lleguen a 120 μ .

Desde hace poco, se consigue también cinc o aluminar a la continua mediante un baño de metal fundido.

Se fabrican asimismo palastros emplomados. He aquí cómo funcionan las protecciones:

El hierro quedaría protegido por la capa de óxido que se forma en su superficie, en aire seco, pero a la más insignificante quebraja, en presencia de humedad, la lesión no se cicatriza, a consecuencia de una reac-

ción en varias fases. La capa de cinc o de aluminio actúa como ánodo, en caso de desgarrón que desnude el hierro, es decir, que son los citados metales los que se consumen y el hierro queda a salvo. En el caso de una capa de plomo, si una parte del hierro queda al descubierto, éste es el ánodo y el caso de una débil superficie anódica para una gran superficie catódica es singularmente nefasta; el palastro se agujerea con celeridad.

Es claro, que mientras sigue intacta la capa de protección, el palastro se comporta como una plancha de cinc o de aluminio.

Dichos metales se emplean también en lámina homogénea. Veamos el mecanismo de su resistencia a la corrosión.

El aluminio se cubre espontáneamente con una capa de óxido y el cinc, con una de oxicarbonato, y estas capas se regeneran automáticamente, excepto para algunos pH. Es, por otra parte, interesante referirse a la tabla de precipitación y redisolución de hidroxidos en función del pH, dada anteriormente; así se comprueba que una cubierta de cinc se pica en una atmósfera urbana con lluvia ácida. Por debajo de un pH = 6,8 la capa protectora desaparece.

Se estima que el cinc pierde, en micras:

1	a	2	al año en zona rural
2,8	a	6,8	" " " " urbana
5,6	a	11	" " " " industrial
2,4	a	7	" " " " marítima

lo que daría una duración teórica de 60 años en zona industrial para cubiertas ejecutadas en chapa de cinc de 0,6 mm, pero de menos de 3 años para un revestimiento de 30 μ sobre palastro.

Se admite que una chapa de acero, en ambiente rural, ha de recibir una protección de:

40 μ	si ha de ser pintada
80 μ	si ha de quedar desnuda

pero en zona industrial o en la costa, son precisas respectivamente:

80 μ	si ha de ser pintada
120 μ	si ha de quedar sin pintura

En realidad, la corrosión es irregular; se pica la chapa en puntos aislados y las duraciones son inferiores.

Las cubiertas de cinc duraban, en promedio, 50 años, haciendo una revisión a los 30 años de edad. Hoy, esta duración ha bajado a 38 años, con revisión a los 20 años.

El cinc está expuesto al orín blanco, por formación de un oxicarbo-nato en las caras no lavadas, pero sometidas a condensaciones; pero esto no es grave. El cinc puede corroerse en contacto directo con la madera y será prudente interponer una hoja aislante.

Para el aluminio se dan las cifras siguientes, que indican las profundidades máximas de las picaduras, en mm y para un período de 20 años:

0,05 mm	en atmósfera tropical
0,11 a 0,12 mm	» industrial
0,20 mm	» marina

Pero a partir del 5.º año, la progresión es poca:

- 1 μ al año en atmósfera tropical,
- 2 μ al año en atmósfera industrial,
- 3 μ al año en atmósfera marina.

La *chupa de acero inoxidable* se aplica hoy en cubiertas.

El inox o acero inoxidable austenítico, incluso el 18/8 normal, se pica junto al mar. En este caso, lo mismo que en atmósferas con cloro o fluor, hay que acudir a un 18/8 al molibdeno. También puede picarse por efecto de fumaradas, pero salvo estos casos concretos, resiste sin protección. Casi siempre, se emplea acero al 17 %, que adquiere aspecto aceptable en techumbres no aparentes, cubriéndose de una tenue herrumbre.

PINTURA DEL PALASTRO CINCOADO O ALUMINADO

Tanto para el cinc como para el aluminio, un importante factor de corrosión radica en las fumaradas emitidas por los quemadores de fuel mal regulados. El único recurso de protección consiste en aplicar un revestimiento protector en forma de pintura, que debe renovarse, lo que resulta más barato que sustituir un elemento de cubierta.

El palastro cincado o aluminio, que puede aceptarse inerte en un edificio rural, debe ser protegido para una vivienda urbana.

Los fabricantes de pinturas han propuesto numerosas soluciones válidas, pero la pintura es una protección perecedera y hay que pensar en renovarla, cosa que a menudo se olvida. Siempre se difiere la conservación, a pesar de la perfecta demostración de ser el entretenimiento preventivo siempre menos gravoso que las reparaciones.

LOS METALES EN FACHADAS

Los llamados muros-cortina y los paneles o tableros de fachada obligan a intervenir metales desnudos en formas de grato aspecto: celosías, pantallas, haces externos de elementos de relleno, carpinterías.

Así como en una cubierta el aspecto es bastante secundario, en este caso, resulta esencial. Por esta razón, soluciones satisfactorias en techumbres pueden ser inaceptables para paneles de fachada.

El acero inoxidable 18/8 es susceptible de dar superficies duraderas, por uno o varios siglos, pero hay que llamar la atención sobre la necesidad de conservar estas superficies, lavándolas para eliminar el polvo que a ellas se adhiere y que, a la larga, puede atear al metal de manera indeseable. Todo el mundo admite que se ensucie la piedra o el ladrillo, pero la propaganda lanzada en torno del acero inoxidable ha sido tal que se ha creído haber hallado el material inalterable, cuyo brillo no puede palidecer. Uno se ha resignado a pagar un suplemento para lograr tal resultado y se ve sorprendido por la necesidad de un entretenimiento. También es necesario protegerlo durante la construcción, para evitar golpes, rayados y, singularmente, polvillos de hierro, de herrumbre, de cemento y de yeso, que dejan huellas que resulta difícil y caro quitar.

El mal se ha agravado cuando constructores inexpertos han empleado ciertos barnices *monómeros*, inadecuados para proteger dichos elementos durante las obras. Los barnices se descomponen a la intemperie y dejan de ser desprendibles y, hecho mucho más grave, al descomponerse, han dado origen a componentes clorados y a ácido clorhídrico, muy nocivos para el acero inoxidable.

De hecho, serían quizá las protecciones ceras las mejores con carácter provisional, pero se tropieza con dificultades de aplicación y de eliminación y a aumentos de precio de fabricación difíciles de aceptar.

Lo más razonable estriba en no colocar estos elementos hasta que la construcción esté completamente terminada.

El aluminio en fachada

El mismo caso se presenta con el aluminio.

El aluminio, cuando queda desnudo, se cubre con una capa de óxido y al cabo de dos años en atmósfera urbana limpia, la superficie adquiere

tono gris. En atmósfera polvorienta, por ejemplo, en el paso subterráneo de la Puerta de Asnières, el revestido de aluminio se ensució tanto, en 15 días, que ya no se sabe si es cartón, amianto-cemento o aluminio.

Tras la limpieza, se comprueba que la superficie está cubierta por una capa protectora de alumina, que puede alcanzar de 15 a 20 μ , pero que está acibillada de finas picaduras, que dan el aspecto grisáceo susodicho. Pero el aluminio presenta la ventaja de ofrecer un abanico de aspectos decorativos, muy extenso, merced a los tratamientos de superficie que cabe aplicarle.

La operación química que consiste en una simple inmersión en baños de fórmulas diversas puede dar un aspecto gris mate, amarillo o verde, por formación de óxidos complejos en capa delgada, de 2 a 3 μ . Estos tratamientos se aplican a veces para quitar el brillo metálico a las cubiertas, pero casi siempre van encaminados a formar una buena base de agarre a la pintura.

La oxidación anódica o *anodización*, se hace por vía electrolítica en baños ácidos, en general, de ácido sulfúrico. El oxígeno nascente, en vez de desprenderse en el ánodo, transforma el aluminio en alumina. Se obtiene así un revestimiento de alumina de 15 a 20 μ de espesor. Esta capa es porosa, contiene unos 10 000 millones de poros de 0,012 μ de diámetro por cm^2 .

Se saca partido de la porosidad para fijar colorantes por simple inmersión de las piezas en un baño que contenga colorantes minerales u orgánicos.

Se completa la operación con un colmataje de agua hirviendo, que hidrata la alumina y, al aumentar de volumen, obtura herméticamente los poros.

El colmataje es una de las operaciones más importantes. Sobre una anodización perfectamente colmatada, una mancha de tinta ha de poder quitarse con agua sin dejar señal.

La inercia química de esta capa de aluminio es muy grande y cabe así realizar bellos efectos decorativos duraderos, con algunas ligeras resquebrajaciones. Desgraciadamente, la lechada de cemento, el polvo y las salpicaduras de cemento, muy básicas, atacan la capa de aluminio, que es destruida y desaparece el color. La protección temporal durante la obra es, por tanto, de capital importancia.

Sería sencillo no suministrar las piezas de aluminio hasta el momento deseado. Por desgracia, los programas y la marcha de los trabajos no coinciden más que con dilatadas tolerancias. Con frecuencia, el fabricante tiene prisa en remesar a pie de obra, sea para desembarsarse de un almacenamiento perturbador, sea por razones financieras.

En algunos casos, como el de ornamentaciones artísticas en aluminio oxidado y coloreado, es indispensable, en el estado actual de la técnica, prever un dispositivo que permita aguardar el término de la construcción para colocar las piezas y que puedan ser retiradas fácilmente para una eventual restauración.

De todos modos, los paneles de fachada, cercos de ventanas, carpinterías de aluminio anodizado o de acero inoxidable no pueden conservar su frescor más que si se lavan. Es inútil confiar en la lluvia, cuya acción es irregular y provoca chorros y festones de grasa.

Otros dos metales siguen empleándose en la edificación; el plomo y el cobre.

PLOMO

El plomo se emplea en forma de tubos, como material de cubierta, como revestimiento protector y en forma de aislamiento acústico.

El plomo resiste perfectamente a la corrosión atmosférica. Hemos visto que el hidróxido plúmbico $\text{Pb}(\text{OH})_2$ es estable entre el pH 7,2 y el pH 13. Hay que evitar, en consecuencia, su contacto con el cemento y sus derivados. Puede dar plumbatos con las bases y, en especial, con la cal liberada por hidratación de los cementos, pero parece que para ello es necesaria la presencia de oxígeno. Un mortero o una cal carbonatados no parecen peligrosos. El yeso provoca la formación de una costra de sulfato plúmbico insoluble, pero en estado diluido da origen a corrosiones. Será siempre prudente proteger las planchas de plomo con un revestimiento de betún o de fieltro asfaltado, para evitar el contacto con las fábricas. Hay que evitar también el contacto con el agua que se escurre sobre fábrica reciente.

El plomo es asimismo sensible al contacto de las maderas húmedas, encina, castaño, o teca, porque el plomo resiste, a los ácidos minerales concentrados, pero es atacado por los ácidos orgánicos diluidos. Siempre es aconsejable la interposición de fieltro asfaltado.

También pueden ser atacadas las tuberías enterradas en suelos turbosos o con ácido húmico, en arcillas azules, en tierras echadizas, en cenizas de carbón y en infiltraciones de abonos nitrogenados. Hemos de añadir las corrientes vagabundas y el contacto con el cobre.

Como agentes destructores hay que citar los ratones y las cucarachas.

COBRE

El cobre se emplea a veces como material de cubierta. Adquiere patina verde ceniza. Al principio se ennegrece y al cabo de más de diez años se enmohece, pero resiste muy bien a la intemperie.

En algunos países, se aplica en fachadas, pero ensucia de verde las fábricas (en las cubiertas, para evitar las escurriduras verdes, se acude al cobre emplomado).

Si se quiere conservar su brillo metálico, se le protege con barniz.

El cobre es electropositivo. Por consiguiente, hay que evitar su contacto con los demás metales, que se deteriorarían en seguida. Las sales de cobre pueden ser peligrosas en sí y el goteo de la lluvia que cae por un alambre de cobre sobre una cubierta de cinc la perfora.

En las tuberías de cobre, las soldaduras son casi únicas causas de corrosión. Esta se produce por aireación diferencial debajo de los depósitos de flujo decapante que no han sido eliminados.

CONCLUSIONES SOBRE LA CIENCIA DE LA DURABILIDAD

La lectura de los capítulos dedicados a la durabilidad ha puesto de manifiesto la situación actual de esta ciencia. Compleja por necesidad y siempre incompleta en lo que atañe a la durabilidad de las propias materias y a su protección, queda lejos, no obstante, de sentirse impotente en este campo y ofrece ya el medio de prever el comportamiento de los conjuntos de materiales.

Así, pues, esta ciencia existe y ha de ser conocida por los usuarios, mientras corresponde a los investigadores su perfeccionamiento.

Título IV

LA ECONOMIA

GENERALIDADES

Una de las exigencias del hombre respecto a sus construcciones es, como ya advertimos, que no cuesten más que un precio determinado y que su entretenimiento sea asimismo de costo limitado.

Este precio que estamos dispuestos a pagar por una construcción que satisfaga a nuestras exigencias, si se establece en un instante dado y para una determinada construcción, queda sujeto a constantes modificaciones.

En primer término, apetezcamos que se reduzca todo lo posible: a título colectivo, también, porque el menor precio de una misma vivienda equivale, en realidad, a ahorro de materiales, de mano de obra y de máquinas, susceptibles, por tanto, de ser empleadas en otra parte — *otra parte* que puede convertirse en una mejora del alojamiento.

Además de esto, las variaciones de los precios relativos de materiales, mano de obra, máquinas y sustancia gris siempre entrañan tendencia a la variación relativa del precio de un producto respecto a los demás. Al presente, el aumento general de la productividad en las actividades manuales del hombre lleva a un aumento del contravalor, en productos, de la hora de trabajo manual (o, si se prefiere, del poder adquisitivo del obrero). En un movimiento tal, los productos, cuya productividad de fabricación crece más que la media, parecen bajar de precio. Aquellos cuya productividad crece menos que la media, o se remansa, parecen encarecer. Luego, si la productividad de la construcción no creciera como la media de las productividades, veríamos que se hace más cara, lo cual es incompatible con nuestras necesidades de construcción en viviendas, escuelas, fábricas, hospitales, etc.

La condición de mejorar el costo y la productividad del edificio corresponde, pues, a una necesidad tanto del cliente individual como de la colectividad.

Queremos demostrar aquí que hay reglas y consideraciones ciertas, que permiten alcanzar la economía del costo y la productividad. Todas pueden resumirse en dos grandes ideas:

- 1.º Disminuir los derroches y gastos inútiles. En una palabra, *organizar mejor o racionalizar*.

2.° Reemplazar la mano de obra por máquinas. En una palabra, *mechanizar*. De momento, se trata de mecanizar las tareas, hasta hoy, manuales. Pero ya ha comenzado la mecanización de los trabajos intelectuales.

Racionalización + mecanización = industrialización, por lo menos hasta un pretérito reciente. Pero en la actualidad la ecuación se formula así: industrialización = racionalización + mecanización + automación. La automación es la mecanización de la labor intelectual.

Por consiguiente, cabe decir que el progreso de la economía de la edificación se realiza a través de la industrialización, entendida como suma de racionalización y de mecanización.

La racionalización quiere decir:

- Un problema mejor planteado, o sea, un programa explícito, definido con claridad, y un programa implícito mejor conocido.
- Una organización más eficaz de quienes participan en la construcción y, ante todo, perfectamente definida en cada caso.
- Un estudio más completo del proyecto, en particular, en el sentido de la economía.

— Un estudio más detenido de la marcha de la construcción y, en particular, un estudio previo del tajo, el *planning*.

La mecanización consiste en:

— Primero, la mecanización de las manipulaciones, lo que está casi realizado.

— Después, la mecanización de las operaciones de elaboración de los propios elementos. En esto, aún hay mucho trecho que andar.

En lo sucesivo, no abordaremos el examen de los problemas, siguiendo el orden que parece desprenderse de lo que precede. Seguiremos un camino sinuoso, procurando no dejar ningún sector en la penumbra.

Empezaremos por considerar la dualidad precio-valor y veremos la manera de actuar sobre los precios de ejecución o costos, volveremos a una visión general de los precios, observando que el precio de una construcción es la suma de los productos parciales de cantidades de obra por precios unitarios, evocaremos el efecto de la integración de las diferentes acciones necesarias para una construcción y, por fin, será expuesto el papel de la normalización, del benéfico o documento de idoneidad para el empleo y de la coordinación dimensional.

CAPÍTULO XV

LA DUALIDAD PRECIO-VALOR

Todo acto económico se decide a consecuencia de un juicio comparativo entre un precio, pagado en dinero, esfuerzo o dolor, y un valor, el valor de lo que se adquiere: objeto, servicio, placer. Cabría suprimir el epíteto *económico* que califica el vocablo *acto*, sin que la proposición precedente dejara de ser válida. Pero vamos a ceñirnos al edificio y a los diversos contratos que comprende su mercado.

Cuando un contratista compra, por ejemplo, materiales, el precio es el de venta del fabricante y el valor es una función de la cantidad y de la calidad. La palabra calidad tendrá aquí un sentido muy próximo al de *aptitud para el empleo*, es decir, la calidad de ser idóneo para la fabricación o para la erección de la casa que el contratista ejecuta y de ser de fácil colocación en obra, es decir, sin despliatar de horas de trabajo, de materia y, accesoriamente, de energía.

Cuando se trata de un cliente, quien asistido por su arquitecto hace construir, el precio es el de venta. El valor que el cliente atribuye a la construcción es una apreciación subjetiva del futuro objeto, estando éste caracterizado, por el contenido y la calidad.

El *contenido* es la cabida superficial, el número de piezas, la existencia de calefacción central, por ejemplo. Es también el valor de instalaciones y suministros; el precio del pavimento, de la carpintería, de los calentadores, de las alacenas, etc.

La *calidad* será el grado de satisfacción a las exigencias (capítulo II del título I), y, en particular, a la exigencia de comodidad acústica y térmica.

Lo que resulta notable es que mientras el mercado de construcción consiste en comprar algo que todavía no existe, y que, por tanto, la apreciación *a priori* del valor de lo que se adquiere resulta de importancia capital, haya sido preciso aguardar a fecha muy reciente para que los

clientes pudieran disponer de un medio para materializar esta estimación. Insistimos en ello más adelante.

En los mercados de edificación: compra de materiales y contratos de ejecución, el cliente no es el único que tiene necesidad de un criterio sobre la dualidad precio-valor. El productor tiene también de ello necesidad. La sola diferencia estriba en que el precio es entonces el precio de ejecución. El valor es esencialmente el mismo. Y no olvidemos que por productor entendemos el arquitecto y el contratista.

LOS PRECIOS

Aquí es esencial observar que el fabricante de materiales es un industrial y, en la generalidad de los casos, un industrial que produce en serie un artículo (cemento, redondo para hormigón, pintura, revestimiento, caldera, puerta, etc.), o, si no es en serie, por lo menos, artículos muy homogéneos (la carpintería, pongamos por caso). En el primero, el precio de fabricación es conocido en el momento de la venta; en el segundo, puede ser previsto con bastante precisión.

Por el contrario, está demostrado —y daremos en seguida esta demostración— que el contratista firmante de un contrato de construcción, que, por fuerza, da precio a lo que todavía no existe, no puede prever con exactitud su precio de ejecución.

Y lo que es peor, el contratista no está en condiciones de conocerlo, tampoco, al término de la obra, para sacar enseñanzas ulteriores.

Hay que observar que muchas industrias tienen de común con la construcción el tener que formular los precios de venta antes de haber realizado y, por tanto, no disponiendo más que de una previsión del precio de ejecución. Este es el caso de industrias pesadas, que trabajan para el gran equipo; una turbina, una presa gigante, un turboalternador no son, artículos de serie. Por otra parte, hay que considerar, sin duda, que estas industrias, por muy impresionantes que sean (o acaso ya es preciso decir, que hayan sido), no representan más que la forma primaria de la industrialización y precisamente la que ha alcanzado la edificación en la década 1950-1960 y que comprende la racionalización de procedimientos y la mecanización de las operaciones, pero no el trabajo en repetición ni la programación automática (automación).

Por consiguiente, no es esta necesidad de formular un precio de venta, a base de una previsión del precio de ejecución, que distingue la edificación, sino la enorme imprecisión de la previsión de los precios de producción.

Esta imprecisión obedece a cuatro razones principales:

- a) los imprevistos del terreno,
- b) los imprevistos del trabajo en el tajo,
- c) los imprevistos del cliente,
- d) las costumbres y condiciones del edificio.

a) La edificación construye inmuebles unidos al suelo por los cimientos. Es una perogrullada afirmar que, en construcción, todo se puede prefabricar, salvo los hoyos en el suelo. Por bien explorado que esté —y, de hecho, con frecuencia lo está mal— el terreno reserva sorpresas que pueden obligar a cambiar los métodos de sondeo o el tipo de cimentación y a retrasos suplementarios que desorganizan el calendario; causa, todo ello, de gastos imposibles de fijar por adelantado.

b) Los imprevistos en el tajo son, primero, las inclemencias del tiempo: los grandes hielos, las lluvias copiosas, el viento, en algunos casos detienen el trabajo y también alteran el calendario. La intemperie, que no exige el cese de la obra, causa pérdidas de mano de obra no desdénables.

c) Los imprevistos del cliente son de dos tipos: puede ser caprichoso y modificar los planes previstos; esta circunstancia, que el contratista no considera necesariamente aciaga, altera sus precios de ejecución en forma a veces importante.

El cliente puede ser buen o mal pagador. Ahora bien, los pagos son indispensables durante el curso de la obra. Si el cliente no paga o paga mal, habrá a la vez demora en el tajo y petición de créditos bancarios: dos motivos de alza del precio de ejecución.

d) En el estado actual de la edificación, la imprecisión sobre la previsión del precio de ejecución alcanza el $\pm 20\%$ en casos singulares y para ciertos organismos. Lo que sigue servirá de explicación.

Hemos dicho que el precio de ejecución, difícil de prever, no era siempre señalado por el contratista durante la obra. Quizás haya en ello una razón inconsciente. El contratista forma gran empeño en que este precio de ejecución real permanezca incógnito; de hecho, si un precio de ejecución real fuera conocido por un cliente inexperto, éste podría sorprenderse de la discordancia por exceso o por defecto, entre el precio de ejecución y el de venta. Pero el mejor medio para que el precio de ejecución sea secreto, ¿no será el de ignorarlo el propio contratista?

En todo caso, es cierto que son numerosos los que no llevan la contabilidad por tajos y a los que, por tanto, los precios de ejecución permanecen rigurosamente inaccesibles.

Una actitud industrial exige esforzarse en conocer los precios de ejecución, a pesar de la dificultad y ésta radica, en esencia, en la especificación de los gastos generales y de asiento, que alcanzan cerca del 40 % del precio de ejecución, entre diversas operaciones, siendo cada cual única y teniendo todos orígenes y términos diferentes. El contratista, por otra parte, necesita no el precio de ejecución de una operación, que se acabará cuando él llegará a conocer su precio y que jamás se reproducirá con identidad, sino los precios de ejecución de las operaciones parciales o de obras que se repitan. El problema de la especificación se plantea aquí aun con mayor agudeza. Y por encima de todo, el de la interacción de los progresos de realización de las diferentes obras.

A despecho de la dificultad, ésta es la índole de información que los contratistas experimentados llevan en cartera y que les sirven para sus previsiones de *desembolsos*, es decir, sobre la base de las horas trabajadas y de los materiales gastados.

Formación de los precios de venta

La explicación de que el contratista pueda vivir en esta ignorancia de los precios de ejecución, ignorancia debida, en gran parte, a la *naturaleza de las cosas*, es decir, al hecho de dar precio para una obra antes de ejecutarla, en condiciones desconocidas también, es que el nexo entre el precio de ejecución y el precio de venta es fundamentalmente distinto del que se enseña en la escuela primaria.

Establecer el precio de venta incrementando en un tanto por ciento de beneficio, un precio de coste aproximado, es exponerse, con seguridad, no a la suspensión de pagos, sino al cierre del negocio. Porque la vida de una empresa requiere de modo imperativo que queden satisfechas dos condiciones: la primera, tener encargos, y la segunda, recibir encargos tales que, en promedio, sean beneficiosos y, en todo caso, que no presenten series muy largas de pérdidas.

La condición primordial es, pues, recibir encargos. Hay tres maneras de conseguirlos:

- a) tener clientes seguros,
- b) convivir con los competidores para tener encargos,
- c) afrontar una pugna de competencia.

Es opinión unánime de los contratistas que este último es el peor procedimiento, porque lleva a dar precios bajos y a encontrar clientes desconocidos. El cliente no debe compartir estos puntos de vista eliminatorios respecto a la adjudicación. Lo que es pésimo para él, es la adju-

dicación a cierra ojos, cuando el objeto licitado no está suficientemente definido. Pero con los recursos que le proporciona hoy la apreciación de la calidad, puede resolver sin azares, y los riesgos de los contratistas correctos disminuyen también.

En definitiva, en la fórmula de adjudicación, se trata en primer término, si se pretende el encargo, de dar un precio más bajo que los demás.

La fórmula b) no es más que una derivación irregular de la fórmula c): el terror a la abierta competencia en el empresario es tal que, muy a menudo, empuja a los presuntos licitadores a *confabularse*, a pesar del respeto que tienen a las buenas maneras y al cliente.

La fórmula a) es, con toda evidencia, la mejor para el contratista y es la que se trasluce en las licitaciones para la renovación del contrato y la continuidad del cliente.

En caso de cliente seguro o de competencia abierta, ¿cómo se forman los precios? Muy sencillo: con referencia a los *precios corrientes* en la época del contrato. Si hay competencia, la clasificación se hará a tenor de dichos precios. Si se discute amistosamente, será a dichos precios que va a referirse el cliente.

El precio corriente se define como el precio de la obra en un tajo que se desarrolla con dificultad promedio para un cliente medio. Es un precio estadístico. Adoptando este precio, para un número crecido de operaciones, no se debe ganar ni perder. Todo irá bien, a condición de que no ocurra una serie de adversidades o una grave degradación que, en un momento dado, lleve el total de pérdidas allende los recursos de la empresa.

Cuando esto acontece, la empresa *quiebra*. Ninguna queda a cubierto de este riesgo. El capital de la empresa es tan escaso, comparado con las cifras de negocios, que un solo *gazapo* grave puede arruinar la más boyante empresa.

Cada vez que una empresa da un precio, acepta un riesgo: el de recibir un encargo malo.

El precio corriente, con respecto al cual se acepta el encargo, no es siempre igual al precio estadístico antes definido. En general, oscila alrededor del precio estadístico con un período bastante largo; es la *cointinua*. Hay períodos de *vacas flacas*, en los que el precio corriente es bajo. Esto depende de los precios tope de la administración, pero también —y más aún— de la situación entre la oferta y la demanda o de la idea dominante acerca de dicha situación. Después vienen las *vacas gordas*, que pertenecen a la *recuperación* de las empresas.

Ocurre que, a veces, los precios permanecen anormalmente elevados en ciertos lugares y a lo largo de dilatados períodos. Casos de posguerra.

Tal es la vida de la empresa, un póquer permanente: dar precios bajos con respecto al precio medio para conseguir encargos y tener el garzapito grave que la hundiría. Incluso el contratista que se esfuerza en prever un precio de ejecución y en calcular un beneficio no puede hacer oferta más que de acuerdo con los precios corrientes.

Una vez enviado el precio, cambia la naturaleza del juego. Es preciso, a la vez, satisfacer al cliente, en especial si se trata de un cliente susceptible de convertirse en seguro, y proceder de manera que este encargo no resulte un *mal negocio*, sino que, si es posible, llegue a ser un *buen negocio*. Hay que atañarse, una vez establecido el precio de venta, en conseguir un precio de ejecución tan bajo como sea factible. No carece de interés hacer alto un instante, para examinar lo que resulta de todo lo dicho con relación al cliente. Este va a contratar bajo un precio de venta, que será función de la existencia, entre los aspirantes al encargo, de uno o de varios contratistas que acusan gran necesidad o notable interés en recibir dicho encargo. Que sea buen cliente, con criterio fijo en su proyecto y puntual pagador o que sea caprichoso y tenga mala tesorería, esto no influye para nada si no es conocido.

Resulta así claro que los buenos clientes pagan los vídrios rotos por los malos (1); y es evidente también que el contenido de lo que el cliente va a obtener con su dinero depende de la situación general de su contratista. Un contratista agobiado por malos negocios, que ha ofrecido bajo precio porque le hace falta el contrato, va indefectiblemente a intentar ofrecer el menor contenido posible. Todo esto es bastante inmoral.

Al revés, el contratista pondrá empeño en servir bien a un cliente importante que conviene asegurar o un cliente a quien *conoce* como simpático y serio o un cliente que va del brazo de un arquitecto, a quien respeta, y todo ello, si está en un *buen momento* que le permita marcar un *farol*.

¿Cómo evadirse de este régimen?

No creemos que la generalización del contrato amistoso por convenio directo, es decir, sin competencia o formas de invitación a ella, encierre, en verdad, la esencia de los remedios definitivos.

Dos caminos se nos presentan:

El primero consiste en cambiar el régimen de contratos y, en esencia, no dar precios antes de la fabricación (o sea la construcción), sino después.

(1) Cuando se ve que un tajo va mal o está en colapso, podemos tener la seguridad de que las pérdidas de dinero que de ello derivan serán pagadas por los demás clientes, salvo si el empresario hace suspensión de pagos. Todo constructor habitual está, pues, interesado en la buena marcha general de los tajos.

Para conseguirlo, hay dos procedimientos:

Construir antes de vender: es el sistema *por un tanto alzado* o de comercialización. En una palabra, se trata de que construya gente del oficio y no sociedades anónimas o constructores de ocasión, incapaces de gestionar sus intereses. Cuando se ha terminado el edificio, el precio de venta se calcula a la luz de dicho precio. Con este sistema, además de la ventaja que el comprador de una vivienda ya no corre el riesgo del constructor, se veía que los precios de venta siguen de más cerca los precios de ejecución y, por consiguiente, disminuye la viscosidad que, al presente, impide sacar partido del programa técnico. Si hay un salto del 10 al 20 % entre el precio de venta y el de ejecución, ¿cómo esperar que una ventaja técnica, que se traduce en un 2 ó 3 % de economía, pueda ser tomada en consideración?

Este sistema del tanto alzado o de la comercialización no puede venir impuesto de la noche a la mañana ni conquistarse súbitamente el mercado. Pero, sería necesario empezar a aplicarlo y, al efecto, introducir las modificaciones oportunas en el régimen de financiamiento de la construcción (de viviendas, de edificios industriales) o en el régimen fiscal, modificaciones que no cambian más que las formas, sin alterar los orígenes ni las masas de financiación o los intereses fiscales.

El segundo recurso del primer camino consiste en contratar y construir, fijando los precios después, según las reglas antedichas, que invitan a considerar los precios de la ejecución. Es menos perfecto que el anterior, pero es corriente en los Estados Unidos, bajo el nombre *cost plus fee*.

En este sistema, se contrata con un empresario general, comprometiéndose a pagarle los precios de los subcontratos, además de una remuneración, calculada a un tanto alzado, a tiempo empleado o a tanto por ciento. Diferentes procedimientos se ponen en práctica para incitar a la economía al contratista general.

El segundo camino consiste en definir mejor sobre el proyecto lo que se va a comprar. Un poco más adelante se explicará el sistema de evaluación de viviendas, que conduce a determinar los *más* y los *menos*, respecto a una referencia y a niveles de comodidad acústica y térmica. Es posible contratar para un *plus* determinado según dicho método y las precisas cualidades acústicas y térmicas. Así, el objeto quedará mejor definido (si no su precio de ejecución) antes del contrato.

Una memoria pormenorizada podría dar el mismo resultado, pero a condición de suprimir en ella todas las vaguedades que entraña la expresión: *o equivalente*, añadido a un nombre de marca, de oponerse a cualquier variante y de presentar los diseños de ejecución, en el momento de la adjudicación. Todo esto presenta grandes dificultades y, por tanto, pre-

comenzamos la manera de contratar especificando un *más* y las calidades (acústicas y térmicas, esencialmente).

De la dualidad precio-valor, acabamos de ver lo que cabe decir del precio, cuando se trata de un precio de ejecución. El precio de venta ha menester pocos comentarios: es lo que es. Observemos, no obstante, tres circunstancias:

Los precios de venta van a menudo flanqueados por fórmulas de variación cuyo efecto puede ser mayor o menor; hay que considerar siempre juntos el precio y su fórmula de variación.

Ocurre que se contrata, no a un tanto alzado global para el conjunto de la construcción, sino a precios parciales (contratas por facturas, a la serie). Un error importante en la medición cuantitativa repercute sobre el precio y también sobre la relación entre los precios de diferentes industriales.

Por fin, cabe la aproximación al precio de venta de la consideración de los gastos de explotación, fáciles de calcular, y los gastos de conservación.

APRECIACION DEL VALOR DE UNA CONSTRUCCION: EL METODO DE LOS «MAS» Y LOS «MENOS»

Cual se dijo, el valor es una estima subjetiva de la construcción, caracterizada por su contenido y su calidad.

El ingeniero Noel, del Centro científico y técnico de la edificación, en París, ha desarrollado un sistema para facilitar el avalúo, dándole, dentro de lo posible, bases objetivas. Es evidente que el criterio acerca de la estética permanece subjetivo y, hasta cierto punto, la apreciación del plano. Pero la satisfacción de las exigencias, tanto como las propias exigencias, pueden expresarse en números.

Así, es posible expresar en decibelios el valor del aislamiento acústico entre dos viviendas o el comportamiento de un suelo a los impactos.

Se puede dar en cifras el aislamiento global de una vivienda (coeficiente volumétrico G), el aislamiento por m^2 de pared (coeficiente K), el coeficiente de heterogeneidad (ρ_m), etc.

Por fin, cabe dar una cifra para el contenido.

Esta operación, que llamamos *hacer un más y un menos* consiste en evaluar en pesetas las diferencias de costo entre los artículos que se han empleado en realidad y los de una vivienda de referencia, para todo lo que en ella se ve, se toca o se manipula. Este más y este menos tiene en cuenta también el exceso o la insuficiencia de la superficie, porque se trata de un

elemento expresable en cifras que viene a compensar el costo de las instalaciones y de los acabados. Advertimos que es una diferencia de costo, fácil de obtener, y no una diferencia de valor de uso, subjetivo.

Para calcular con exactitud rigurosa esta diferencia de costo, sería preciso medir con precisión y dar en cifras todas las obras contratadas sobre bases de precios conocidos. Ni qué decir tiene que tal método resulta impracticable por largo y oneroso, pero se puede llegar a un resultado satisfactorio con el método simplificado que sigue:

Se empieza por establecer la lista de las obras comprendidas, que viene dado en la tabla II.

Las cantidades de obras se establecen una vez para todas; corresponden a un apartamiento de referencia con 4 piezas y superficie de 61 m^2 .

Para cada obra, se elige en dicho apartamiento una calidad determinada, que es la mínima exigible a las viviendas construidas con ayuda del Estado.

Se consideran luego las calidades de obra de la vivienda real y se apliquen los precios corrientes (dados por un barómetro) de dichas calidades.

Rogamos al lector que nos disculpe si no les ofrecemos los baremos; sería sin duda inoportuno que operadores no afortunados o poco imparciales pudieran entregarse al cálculo de los + y los —; las comparaciones entre evaluaciones de orígenes diversos serían imposibles.

Finalmente, se tiene en cuenta la superficie del modo siguiente: se determina la superficie S'

$$S' = 61 \text{ m}^2 \times \frac{\text{superficies reales}}{\text{superficies mínimas para una vivienda del mismo número de piezas}}$$

El precio aplicado a cada metro cuadrado en más o menos de 61 m^2 es siempre igual a unas 2160 pesetas, precio medio para el metro cuadrado marginal calculado.

Y se halla el total de los más y de los menos. ¿Cuál es su significación?

Observemos, ante todo, que no tiene en cuenta el *acabado* de la ejecución, calidad subjetiva acerca de la cual cada uno tiene su propio criterio.

El + y el — son la indicación de una diferencia de costo, no de una diferencia de valor de uso; lo que se descuenta es el gasto, incluso si es poco útil — a la inversa, una economía astuta será descontada como un *menos*.

La segunda observación trae a las mientes el siguiente comentario:

Si la operación acarrea un gasto poco útil, este gasto, no obstante, se ha desdoblado y si, por otra parte, el proyecto es satisfactorio, es porque ha sido bien concebido y realizado para tolerar este gasto, además del contenido real. Es, pues, un elemento de estima favorable.

TABLA II (valor en 1958)

Lista de prestaciones y obras que entran en el cálculo columna (0)	Características de referencia		
	Cantidades col. (1)	Precio unitario col. (2)	Precio en la vivienda col. (3) (1) x (2)
Paredes verticales exteriores:	(m ²)		
1. Revestimiento externo	16,60	1 900	31 540
2. Revestimiento interno	16,60	850	14 110
3. Aberturas exteriores	24,90	7 000	174 300
4. Protección de la planta baja ..	5,00	6 500	32 500
Paredes verticales interiores:			
5. Revestimiento ordinario	45,90	850	39 015
6. Revestimiento especial	17,10	1 300	22 230
7. Revestimientos murales detrás de aparatos	1,50	6 000	9 000
Aberturas interiores:			
8. Puertas de rellano	1	19 000	19 000
9. Puertas de distribución	7	14 000	98 000
Revestimientos horizontales:			
10. Pavimentos de piezas habitables ..	46,30	1 500	69 450
11. Pavimentos de piezas de servicio ..	12,20	1 700	21 080
12. Techos de piezas habitables	46,30	700	32 410
13. Techos de piezas de servicio	12,40	1 450	17 980
Balcones, porches:			
14 a. Balcones	3	3	3
14 b. Porches	3	3	3
Cubiertas:			
15. Material	14,00	3 100	43 400
Escaleras:			
16. De pisos habitables	1	142 400	142 400
Instalaciones:			
17. Sanitarios (W. C., sala aseo)	1	120 000	120 000
18. Domésticas (cocina)	1	35 000	35 000
19. Eléctricas	1	43 000	43 000
20. Evacuación de basura	1	35 000	35 000
21. Calefacción	1	185 000	185 000
22. Agua caliente	1	35 000	35 000
23. Armarios, alacenas, colgadores ..	1	110 400	110 400
Totales			1 329 815
Corrección de superficie:			
Superficies habitables en más o en menos	3	18 000	3
El m ² en exceso sobre 61 m ²			
Valor de las obras que entran en el cálculo del + y del —:			1 329 815 F
45 % del precio de la vivienda			

Del mismo modo, una economía astuta ha despedido un recurso que se ha de haber empleado en otra parte, ya en un *más* ya en la calidad acústica o térmica, por ejemplo. Si no ocurre así, es que la operación no resulta buena; es, pues, admisible contar la economía en menos, dado que ha de venir compensada en otra parte por un elemento positivo.

El método descrito se ha aplicado, en primer término, a las viviendas colectivas. Se aplica, desde hace poco, a los hogares individuales y, pronto, servirá para escuelas.

Digamos, para acabar, que se aplica tanto a construcciones terminadas como a proyectos, con tal que éstos contengan una conveniente memoria descriptiva. Por otra parte, no se admite un proyecto con una memoria que no consista en el + y el —. Porque si éste no se puede hacer, tampoco se podrá, por ningún otro medio, formar juicio sobre el valor de la construcción. Por tanto, no se puede aprobar el proyecto ni contratar su ejecución.

LA NOCIÓN DE PRODUCTIVIDAD

Tal vez algunos de nuestros lectores han podido establecer, desde el comienzo del capítulo, la afinidad entre la consideración de la dualidad precio-valor y la noción de productividad.

De ahí la conveniencia de consagrar aquí un par de páginas a esta noción.

La noción de productividad, o mejor dicho, el nombre, volvió a la Europa debilitada de 1945, gracias a los Estados Unidos triunfantes.

Y numerosos son los que han manifestado un entusiasmo, real o de prestado, por el desarrollo de la productividad. Después, se ha caído en la cuenta que no se sabía bien lo que la palabra quería decir: había que intercalar la noción entre las de rendimiento, rentabilidad y eficiencia. Los estudios más inteligentes no son del todo convincentes y, en 1961, aun documentos como «Las dudas sobre las nociones de productividad» de Bertrand de Jouvenel y las variaciones sobre estas dudas de Dayre, demuestran que sigue vago el contenido de la noción susodicha. Incluso es temida como de poco interés para los que se han dedicado más a estudiarla: los economistas.

Efectivamente, en general, el estudio de conjunto de la productividad y de las posibilidades de su medida ha sido hecho a escala de las cuentas de la nación, por ramas enteras de la industria. Ahora bien, en la edificación, diversas circunstancias han llevado de la mano a preocuparse en la productividad en las operaciones particulares; estas circunstancias son,

principalmente el afán de comparar la situación de la edificación en países diferentes, el acicate de saber si los métodos modernos de construcción han superado o no los métodos tradicionales. Con razón o sin ella, se ha llamado a esto: comparar la productividad, por ejemplo, de dos operaciones en Francia o en Alemania o entre un tajo industrializado y uno tradicional. También se piensa en la productividad en una operación: la de ejecución de la obra *muros sustentantes* en la construcción de una vivienda, pongamos por caso.

¿Son útiles estas nociones de la productividad en una operación particular o en una elemental? ¿Resultan más útiles que la noción de productividad en una rama entera, de la que algunos especialistas afirman el escaso interés? Cada cual dará la respuesta congruente con su punto de vista.

Observemos ahora que las medidas de productividad son harto difíciles a la escala de una construcción, en particular. A escala de una rama entera de la industria, hay derecho a tomar cierto retroceso del punto de vista y confundir producciones bastante diferentes. A escala de la obra elemental, la obra está definida con pormenores y no se puede comparar más que lo comparable. Pero, a escala de una construcción, no cabe hacer abstracción de las diferencias de los productos y no se encuentran nunca producciones idénticas.

Notemos también que es útil comparar, no la productividad de un mismo conjunto de producción en fechas diferentes, sino sobre todo, la productividad simultánea de conjuntos distintos; de esta suerte, nos interesamos menos en comprobar los programas de la productividad que a medirla verdaderamente.

La productividad de un procedimiento de producción no puede ser más que la razón de la cantidad de objetos producidos a uno cualquiera de los consumos que contribuyen a la producción: mano de obra, energía, materiales, o a una combinación lineal de estos consumos, siendo el más corriente el gasto total, que es una combinación lineal de las cantidades consumidas, ponderadas por los precios.

Pueden escribirse muchas cosas a este propósito y aventurar expresiones matemáticas. Todo esto carece de sentido, mientras no se sepan medir ni el número de productos ni los consumos. Pero, los productos son las construcciones, cuya heterogeneidad sabemos; es absurdo comparar la mano de obra consumida en dos construcciones, cuyo valor difiere en un 30 %, sin tener en cuenta esta diferencia.

Al contrario, cuando se saben apreciar los valores, la noción de productividad nada tiene de misteriosa. Se puede decir que la dualidad precio de ejecución-valor del objeto producido mide muy correctamente la productividad de la operación.

Cabe así establecer la productividad media de un procedimiento, de una época o de una región.

Por consiguiente, hay que tener el valor de decir que, en el uso que de ella se ha hecho en la construcción, la noción de productividad ninguna novedad encierra; es una expresión moderna de la antigua noción de rendimiento de un proceso de fabricación o del éxito de una operación. Sólo el defectuoso conocimiento del *contenido* de las construcciones ha podido crear confusión en torno de una noción conocida ya.

LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA

En lugar de la dualidad precio-valor se puede considerar la dualidad mano de obra-valor, que da la medida de la *productividad de la mano de obra*.

Por desgracia, la cantidad de mano de obra consumida ya no es tan fácil de conocer como los precios de ejecución. Sin embargo, hay que esforzarse en saber algo más, porque hoy la economía de la mano de obra es el apodítico número uno de la edificación. Insistimos en los capítulos siguientes.

Calcular la mano de obra a base de subdetrallar carece de sentido, porque éstas son estimaciones a un tanto alzado y apenas con grosera aproximación.

Cronometrar la mano de obra es una operación bastante ilusoria. Ante todo, hay que persuadirse que el tiempo transcurrido en una misma obra varía enormemente según las cuadrillas, de 1 a 3. Es preciso, pues, contemplar un crecido número de tajos para alcanzar un promedio significativo. Ahora bien, cronometrar todo un tajo es una operación muy cara. Se necesita un inspector, por lo menos, durante todos los trabajos en la obra, lo que equivale a un costo de varias centenas de millares de pesetas. Por esta razón, nunca se ha reunido un número estadístico de observaciones de este tipo.

En realidad, el cronometraje halla aplicación más adecuada en la ejecución de una obra relativamente sencilla, con el intento de mejorar directamente el rendimiento con auxilio de mejor material o, por ejemplo, con la educación de los movimientos.

Se ha intentado sustituir el cronometraje a lo largo de la duración de las obras en un tajo por una serie de observaciones instantáneas; es la *snap observation* de los ingleses, que se ha intentado trasladar de la industria a la edificación. Se contenta con anotar la operación realizada en

un instante dado por los diferentes obreros. Es palmario que este método no da información más que a medida del tiempo de información y que no resulta muy apta en el caso de la edificación.

Sin embargo, permite observar el ritmo corriente del tajo mejor que el cronometraje.

En realidad, la mejor fuente para conocer la mano de obra consumida es el libro de pagos en el tajo, donde se contiene la mano de obra total. Sin embargo, este documento rara vez se hace público fuera de la empresa, porque da la clave del cálculo del precio de ejecución. Cuando menos, la empresa puede servirse de él.

Pero, las dificultades surgen de nuevo, si se quiere especificar la mano de obra por oficio. Observemos sólo, en adelante, que no se debe minimizar el número de horas perdidas ni el número de horas dedicadas al acabado.

Una dificultad suplementaria en la consideración de las horas trabajadas en un tajo arranca del hecho que los materiales que a él llegan pueden hallarse en diferentes fases de elaboración, es decir, que ya encierran más o menos mano de obra incorporada.

Si un contratista quiere saber cómo su productividad se sitúa respecto a la media, ha de tener en cuenta estas diferencias. Esta dificultad no es muy grande, en principio; basta añadir a las horas trabajadas en el tajo las horas incorporadas a los elementos prefabricados, a partir de un estado convencional de los materiales: arena, cemento, ladrillo, acero, etc. La dificultad práctica estriba en que no existe tal convencionalismo.

El Centro científico y técnico de la edificación (C. S. T. B.) ha intentado la solución completa de este problema, esforzándose en determinar la *mano de obra total* incorporada a los materiales, por ejemplo, para un mortero, tener en cuenta la mano de obra de amasado + la mano de obra de fabricación del cemento y de extracción de la arena y, para el cemento, tomar en consideración no sólo la mano de obra en la fábrica, sino también la mano de obra incorporada a las instalaciones, al utillaje, etc. Dichos estudios han dado resultados, que todavía no han sido discutidos a fondo y que, por tanto, no son muy seguros. No obstante, heños aquí:

1 tonelada de cemento	6,4 h de mano de obra total incorporada.
1 m ³ de arena	0,6 " " " " " "
1 tonelada de yeso	5,3 " " " " " "
1 tonelada de ladrillos	10 a 11 " " " " " "
1 tonelada de tejas	13,3 " " " " " "
1 m ³ de madera aserrada	1 a 1,5 " " " " " "
1 ventana de madera de 1,7 m ²	3 a 4 " " " " " "
1 ventana metálica de 1,7 m ²	4 a 7 " " " " " "

Cuando estas cifras se confirman, quedará disipada la inseguridad al tener en cuenta la mano de obra incorporada a los elementos constructivos fabricados fuera del tajo.

Todo lo que antecede ha demostrado cuán precarias son las informaciones que cabe obtener sobre los números de horas trabajadas.

Las indicaciones acerca del número de horas necesarias para la construcción de una vivienda, según este o el otro procedimiento, sea o no tradicional, son como era de esperar, de la más alta fantasía.

Hacia los años 50, se lanzó una cifra completamente falsa: 3600 horas por vivienda. Sin embargo, esta cifra sirvió para demostrar lo arcaico de los métodos de edificación.

Después se han ofrecido cifras de 2400 horas, y se ha llegado a 1200 horas, deteniéndose bastante tiempo en esta última cifra. En 1958, se dieron, sin fundamento alguno, cifras muy inferiores; en realidad, se trataba de un afán de propaganda, sin base real.

Hay que reconocer que la cifra de 1200 horas es excelente y no se alcanza con frecuencia; observaciones incuestionables se han facilitado por tajos bien organizados (el éxito queda asegurado por el método de los más y los menos).

Cabe aceptar como dato nemotécnico el de 20 horas por m², para una vivienda social de 4 piezas (1).

De esta guisa, si el contratista puede conocer sus precios de ejecución y las horas empleadas en ella, nadie ha logrado aún llegar al conocimiento de estos datos en un gran número de operaciones de diversas empresas. Se conoce, al contrario, con bastante facilidad, el precio de venta y se dispone de un método estuyendo para evaluar las construcciones.

Por primera vez, se nos brinda un buen instrumento para hacerse cabal idea del éxito de una operación, por no decir de su productividad.

Si se opera sobre una muestra suficiente, se debe poder sacar conclusiones sobre, pongamos por caso, la variación de la productividad media a lo largo del tiempo o sobre la influencia del factor geográfico o sobre la productividad comparada de los diversos métodos de construcción.

(1) Con esta cifra de 20 h/m², el costo se descompone así:

Mano de obra con plus de cargas	1440 ptas. por m ²
Materiales	1920 ptas. por m ²
Gastos generales, de residencia y otros	1680 ptas. por m ²
Total de la construcción sola	5040 ptas. por m ²

EXAMEN DE OPERACIONES REALES

En efecto, el antedicho C. S. T. B., en 1961, ha examinado más de 100 operaciones de construcción de viviendas colectivas, de las cuales 76 disfrutaron de subvenciones del Estado.

Estas 76 operaciones, en particular, agrupan 30 500 viviendas, es decir, alrededor de 1/7 de los alojamientos colectivos erigidos en el trienio 1958-1960.

La consideración de los más y de los menos de estas operaciones pone de manifiesto, que:

Se reparten de modo continuo entre — 1270 y + 5520 F, en el grupo A bis y de + 430 a + 5650 F en el B.

El salto entre extremos es, pues, considerable: el 30 % del precio de venta, que es casi fijo, es igual al precio tope. En este sector, por suerte, no hay nada bajo mano. Se da una *astucia* clásica, que consiste en cargar en los presupuestos anexos (validez y redes diversas) lo que de hecho corresponde a la construcción del inmueble. No creemos que esto haya tenido particular importancia en las operaciones estudiadas. Hemos mirado de cerca las mejores, que son sanas.

Resulta que las diferencias de valor son enormes para el mismo precio.

¿Hay en ello causa distinta de las diferencias de situación de la empresa, la cual, una vez conseguido el encargo, se ve obligada a ejecutarlo, como hemos dicho, con el menor costo, lo que cabe traducir estadísticamente por el menor valor?

El examen demuestra que todos los parámetros no producen efecto, salvo tres:

Ha habido una mejora general del valor con el tiempo: un 2 % por año. Esto revela a la vez la evolución del mercado y la mejora de la productividad.

Hay una inferioridad del 20 % del *más* medio (de la región parisense, en el ejemplo) respecto al *más* medio nacional, debido a que los precios tope no segúan, en París, los precios corrientes (tanto si eran justos como exagerados).

Hay la influencia del volumen de operaciones. A partir de cierto volumen (700 viviendas), el valor baja.

Los demás parámetros, por muy amargo que resulte comprobarlo a veces, no ejercen influencia (1):

adjudicación o renovación del contrato (claro!),

existencia o no de oficina de estudios,

aplicación o no de procedimientos llamados industrializados.

Las diferencias pueden explicarse por el alto precio intrínseco del proyecto, como veremos en el siguiente capítulo. Pero, en realidad, el valor varía también por razones que nada tienen que ver con la técnica.

Hay que decirlo sin miedo: como el precio de una vaca varía en la feria según que el labrador resulte más marrullero que el chالán.

Hablábamos antes del orden del ± 10 y del ± 20 % para la variación de los costos. La variación de los valores es del mismo orden.

En la edificación, tal como se nos ofrece, nada es previsible en menos del ± 10 al ± 15 %. Estas no son las condiciones de un mercado claro, que venga determinado por el programa técnico.

Para soslayar una posible objeción, es menester señalar que las operaciones que dan los mejores *más* son también las mejores desde el punto de vista técnico o acústico y, en la medida que permita aventurar un juicio, desde el punto de vista de los planos.

Podemos señalar en forma muy sumaria:

En el orden acústico, 1/3 de las viviendas observadas son satisfactorias, 1/3 acusan deficiencias en el aislamiento de locales vecinos o por reacción a los impactos y 1/4 son malas desde todos los puntos de vista.

En el orden térmico, donde hay que apreciar el aislamiento, la comodidad en verano y la adecuada repartición del calor, las reglas de pérdida global máxima se respetan muy bien, en general (cosa por cierto muy fácil), pero los casos particulares están a menudo mal resueltos: hastiales, terrazas, muretes bajo alféizar, muros testeros de porches o sus techos, suelos sobre paso público, quedan insuficientemente aislados en muchos casos. Las entregas de suelos y de traviesas constituyen ostensibles puntos débiles técnicos.

La comodidad en verano es aceptable en el 45 % de los casos para las estancias y sólo en el 15 % en las cocinas (ausencia de protección solar).

Precisa destacar que las insuficiencias derivan del fracaso económico de la operación, que obliga a economías excesivas, pero aún más a me-

(1) Sin influencia, hoy por hoy, que origine una diferenciación. Pero al terminar el capítulo, se verá que la técnica moderna ha tenido una influencia atortunada sobre el conjunto de la edificación.

nudo, de la ignorancia de los autores, porque muchos remedios para las insuficiencias comprobadas no cuestan nada o casi nada.

El C. S. T. B., desde hace 2 años, ha tenido ocasión de examinar antes de edificación numerosas construcciones del sector de financiación trienal, que se contratan amigablemente tras renovación o convocatoria de ofertas y cuya ejecución se escalona normalmente en 3 años. Estas operaciones, muy fiscalizadas por la administración, dan resultados del mayor interés; esta vez, los más oscilan entre 2371 y 8022, con un promedio de + 4750, limpiamente superior a los medios de las B, en las observaciones anteriores (2910).

La primera enseñanza que de ello se deduce es que, cuando el propietario está alerta, o mejor dicho, cuando se evalúa por el método de los más y de los menos, se obtienen valores más razonables. En el trienal, ya no se admite un + inferior a 3000 F. Sin embargo, la fluctuación es todavía muy crecida. 5700 F de diferencia en los *más* representan el 20 % del valor de la casa.

Hay asimismo variaciones regionales: en el Norte, tenemos, por ejemplo, una media de 3450 en 6 operaciones, 1300 F menos que la media nacional.

Última comprobación: estas variaciones serían mucho menos frecuentes, si las memorias descriptivas de los proyectos, sobre los que se consulta a las empresas, fuesen más explícitas. Y si los arquitectos y los clientes no aceptasen modificaciones con tanta alegría.

Conclusión de las consideraciones sobre la dualidad precio-valor: es de urgente necesidad mejorar las condiciones del precio de ejecución y de los valores o contenidos. Y las maneras de lograrlo están al alcance de los interesados.

Antes de abandonar el tema, hemos insistido en un punto antes citado, o sea, el papel desempeñado por ciertos procedimientos en el progreso de la productividad de la edificación.

La aparición de la construcción por montaje de grandes piezas prefabricadas (Camus en 1953) y el concurso sobre economía de mano de obra (1956) no han sido causa inmediata de una baja de precios. Por otra parte, el período de 1955 a 1958 fue de recalentamiento. Pero a partir de 1958 y en el 59, el 60 y en parte del 61, permanecieron constantes los precios en la edificación, a despecho del alza general, estimada en un 5 % al año. A lo largo de dichos años, los precios de la edificación han bajado, en realidad, en un 15 %. A esta ganancia podría agregarse el aumento de calidad que antes comprobamos, el 6 %. Pero había cuenta del recalentamiento del período precedente será cuando limitará al 15 % la estima de la mejora de productividad en la edificación, al correr de los últimos tres años. Esta mejora la imputamos, ante todo, a la acción de

los procedimientos que economizan la mano de obra y, en particular, a los prefabricados.

¿Cómo es posible que el conjunto de la edificación haya podido seguir? Muy sencillo, porque el beneficio de los métodos llamados *industrializados* no ha residido en su tecnología, sino en la racionalización, indispensable en su caso. Y la parte restante de la edificación ha podido seguir esta racionalización.

De esta guisa, si los procedimientos industrializados no han mantenido una ventaja visible sobre el resto de la edificación, han disparado el progreso de la racionalización y han determinado un progreso considerable del conjunto.

Por otra parte, es probable que las cosas no marchen siempre así y que llegará día en que los procedimientos más industrializados, derrotarán definitivamente a lo que se llama tradicional, que ya no tiene mucho de común con la construcción de veras tradicional, es decir, la de hace medio siglo. Lo *tradicional* se metamorfosea en contacto con los actuales procedimientos y, al diferenciarse de ellos cada vez menos, acabará por desaparecer.

CAPITULO XVI

COMO ACTUAR SOBRE LOS COSTOS

En la economía liberal, dentro del mercado industrial de artículos de serie, el poder público o el cliente no tienen por qué preocuparse en los costos o precios de producción más que cuando hay monopolio o acuerdo; de no ser así, el juego de la competencia basta para ajustar los costos o, dicho en otra forma, dar a la dualidad precio de ejecución-valor la máxima seducción para el comprador.

Tal vez llegará día en que los edificios, contruidos antes de venderlos, serán libremente ofrecidos en un mercado de competencia; es imaginable y se realiza, en ciertos países, para la vivienda.

El edificio es construido por el contratista, bajo los planos y el presupuesto del arquitecto, aprobados por el cliente, con materiales comprados a los fabricantes, con un grado de elaboración más o menos avanzado (1).

Mientras esperamos las reformas de estructura del mercado, será realista quien atienda a la acción que los cuatro participantes en la construcción: cliente, arquitecto, contratista y fabricante, puedan ejercer sobre los costos.

Fijémonos en que el acto decisivo de la construcción, que es la firma del contrato de construcción, exige tan sólo la presencia del arquitecto, que asiste al cliente, de éste y del contratista, que se encarga de la adquisición de los materiales y, a todo evento, se hace responsable de la calidad de la obra terminada.

Las fases de la construcción pueden así enumerarse:

El encargo, es decir, la definición del programa.

La concepción o redacción del proyecto.

(1) El ingeniero no figura en esta lista. En realidad, desempeña funciones muy variadas: consejero del propietario, asesor del arquitecto, colaborador del mismo en el estudio, ingeniero de la empresa, ingeniero del fabricante.

La consulta de empresas.

La preparación de la ejecución.

La ejecución.

Una tabla puede señalar la importancia de la misión de cada uno de los participantes en cada fase. El número de cruces indica dicha importancia.

	El cliente	Su arquitecto	El contratista	El fabricante de materiales
El encargo	XX	XX		
El proyecto	X	XXX	X	X
La consulta	X	XX		
La preparación de la ejecución		X	XXX	X
La ejecución		X	XXX	X

Al desarrollar la operación, la función principal pasa del cliente al arquitecto y de éste al contratista.

EL ENCARGO

Si el encargo está mal formulado, es decir, si el cliente no ha indicado o no ha sabido indicar a su arquitecto lo que espera de la construcción que encarga, ¿cómo podrá sentirse satisfecho de la obra terminada? Al contrario, debe esperar que en la dualidad *precio-valor*, el término valor sea desfavorable.

Los capítulos I y II han demostrado que los términos generales que designan las condiciones del edificio contienen una definición implícita, que ha sido explicada para la vivienda en el capítulo II. Queda por formular el programa explícito.

Conviene también ilustrar al arquitecto sobre todos los datos útiles relativos al terreno.

Para aclarar lo antedicho, lo más sencillo es leer el *memorandum* para el propietario o señor de obra que desea construir un grupo de viviendas.

MEMORANDUM

para uso de los propietarios en la redacción de un programa de construcción de viviendas

PRIMERA PARTE

ELEMENTOS DEL PROGRAMA ÚTILES PARA EL ESTUDIO DE UN PROYECTO HASTA EL LOGRO DEL ACUERDO PREVIO

1-1. Documentos que el propietario ha de dar a conocer a su arquitecto

Plano de situación del terreno (1), a escala entre 1:20 000 y 1:2000, con indicación esquemática de sus comunicaciones y servicios:

- transportes generales,
- agua,
- gas,
- electricidad,
- saneamiento,
- eventual calefacción urbana.

Plano del terreno, a escala 1:500 (2), con planimetría (3), indicación detallada de las diferentes redes y de las servidumbres particulares, que gravan el fundo, y altimetría con curvas de nivel equidistantes de 0,50 a 1,00 m o puntos acotados según el relieve.

Superficie exacta del terreno.

Certificado de urbanismo, si ha sido librado.

Reglamento de ordenación de la zona donde se halla el terreno; en su defecto, acta de servidumbre de carácter público.

(1) Este plano ha de rebasar ampliamente el terreno para que se vea cómo se sitúa en el barrio, si se trata de un conjunto pequeño o mediano, o en la ciudad, si se trata de un gran polígono.

(2) Para operaciones de escasa amplitud, hay interés en dar el 1:200.

(3) Han de figurar las plantaciones, los inmuebles que se desea conservar, las excavaciones, etc.

1.2. Reconocimiento de los suelos

El arquitecto, quien antes de todo esbozo o croquis debe enterarse de las propiedades del suelo, recabará del cliente todos los documentos o estudios relativos a los terrenos de que pueda disponer.

Según las condiciones de su contrato, el arquitecto encargará, por propia iniciativa, a través del propietario, las investigaciones previas, las exploraciones y estudios detallados de las capas que sean necesarias.

1.3. Datos que el propietario debe imponer a su arquitecto

1-31. Respecto a las viviendas y a los inmuebles de viviendas.

1-311. Número de viviendas previstas.

1-312. Promedio de piezas por vivienda.

1-313. Si se trata de un programa de más de 50 hogares, hay interés en precisar también las previsiones relativas a:

- la población global,
- el número de niños en edad escolar,

y dar las particularidades de la población prevista

— el tanto por ciento de las diversas categorías socioprofesionales.

1-314. Categoría de las viviendas.

Libres o de protección oficial.

1-315. Naturaleza de los inmuebles.

Número de viviendas en pabellones. Viviendas acopladas. Los ámbitos:

superficie promedio mínima de las paredes afectadas.

Número de viviendas en edificios colectivos.

Número de pisos de los edificios corrientes: límite que no se ha de rebasar.

1-32. Respecto a otros edificios.

Escuelas: número de alumnos previsto.

Locales comerciales: número de metros cuadrados.

1-33. Para todos los edificios.

1-331. Cubierta.

Preferencia o exclusiva por las cubiertas a dos aguas (1).

1-332. Guarnecidos exteriores.

Preferencias o exclusivas en materia de revestimientos exteriores (1).

(1) Estas cuestiones de forma de cubierta o de naturaleza de revestimientos pueden ser suscitadas por la administración al resolver la petición de acuerdo previo.

1-34. Varios.

1-341. Calefacción central del inmueble.

Calefacción central del conjunto.
Enlace a la calefacción urbana.

1-342. Reserva de espacios para

- estacionamientos,
- juegos y deportes,
- espacios libres accesibles (parques, paseos).

SEGUNDA PARTE

ELEMENTOS DEL PROGRAMA ÚTILES PARA EL ESTUDIO COMPLETO DE UN PROYECTO, DESPUES DEL ACUERDO PREVIO HASTA LA OBTENCION DE LA LICENCIA PARA CONSTRUIR Y LA REDACCION DEL PROYECTO DEFINITIVO

2-10. Documentos generales.

El propietario debe indicar los documentos generales a los que deberá adaptarse o referirse el proyecto:

- Obtención de ayuda financiera del Estado.
- Pliego de condiciones, métodos de cálculo y pliego de cláusulas especiales.
- Otras normas de aplicación a la edificación.

2-11. Plan de conjunto.

El cliente debe entregar o confirmar al arquitecto el plan de conjunto que ha sido objeto de acuerdo previo sobre el plano original del terreno a escala 1:500 (1:200 para operaciones modestas) como mínimo, con altimetría en curvas de nivel equidistantes cada 0,50 a 1,00 m o con puntos acotados según el relieve del terreno o indicación detallada de las redes de servicio.

2-12. Costo de la operación.

El programa debe recordar o precisar el gasto máximo consentido para la operación. Este gasto puede expresarse:

- en relación con los precios tope autorizados,
 - en valor absoluto;
- indicar si se trata sólo de la construcción o también de la viabilidad.

2-21. Número de locales y superficie global de cada uno.

2-211. Viviendas.

Número de viviendas colectivas o individuales:

- 1 pieza para 1 persona,
- 1 pieza para 2 personas,

- 3 piezas para 2 personas,
- 3 piezas para 3 personas,
- 3 piezas para 4 personas,
- 4 piezas para 4, 5 y 6 personas,
- 5 piezas para n personas,
- 6 piezas para n personas.

Si algún inmueble del plan de conjunto ha de contener viviendas de un tipo determinado o para determinados ocupantes, debe consignarse aquí. Superficie de las viviendas:

Hay que atenerse a las cifras mínimas y máximas señaladas para el caso de protección estatal o proponer un programa especial más generoso.

2-212. Dependencias colectivas o individuales de las viviendas:

Atenerse a las disposiciones oficiales o proponer un programa más generoso.

Locales para bicicletas y cochecitos	m ² por vivienda
Tendederos colectivos	m ² por vivienda
Lavaderos colectivos	m ² por vivienda
Desvanes individuales	m ² por vivienda
Bodegas individuales	m ² por vivienda
Garaje subterráneo:	m ² por vivienda
Perfectamente estanco	m ² por vivienda
Estanco, salvo crecida a señalar	m ² por vivienda

2-213. Locales no habitables.

Previsión de un pabellón para caldera de calefacción.

Previsión de una central para agua caliente.

Tiendas: número, superficie (media o detallada):

Locales sociales: salas de reunión, salas de visita, cuartos de forasteros, estudios, obradores, etc.

Locales escolares: número de clases.

2-22. Características de las casas de habitación relacionadas directamente con el plano.

	Si	No
a) Se admite pasillo de servicio:		
por calle interior		
por escaleras exteriores		
por escaleras centrales		
b) Instalación de ascensor sólo en los edificios de 6 plantas o en los más bajos.		
c) Aceptación del vaciado de basuras en el rellano.		

2-23. Características de las viviendas en relación directa con el plano.

2-231. Tipo de vivienda, disposición y dimensión de las piezas.

- a) Los duplex, aditamentos o desechos y en qué proporción.
- b) Tipo de viviendas en función del modo de vida familiar (precisar los tipos de vivienda previstos y, eventualmente, precisar el número de viviendas de cada tipo y su número de habitaciones).

c) Tabla de la dimensión deseada para las piezas de uso colectivo (estancia, comedor) en las diversas viviendas de más de 3 piezas.

Aceptación de una abertura de paso entre la estancia y otra pieza.

- d) Señalar la anchura mínima admitida para los aposentos.
- e) Exigencia de entrada.
- f) Admisión de cuartos de servicio para la estancia.
- g) Cuáles son las piezas que han de tener acceso directo desde el rellano.
- h) Admisión del W. C. en la sala de aseo (si hay menos de 3 piezas).
- i) Exigencia de porches o galerías y balcones en ciertas piezas: profundidad mínima.
- j) Longitud total de armarios de 0,55 y de 0,35 de profundidad. Indicar las piezas preferidas para disponer armarios.

- k) Altura bajo techo (la mínima es de 2,50),
 - 2,50 m útil (ó 2,70 m de suelo a suelo).
 - 2,60 m útil (ó 2,80 m de suelo a suelo).
 - 2,60 m útil (ó 3,00 m de suelo a suelo).

2-232. Deseos sobre instalaciones que repercuten en el plano.

a) Calefacción.

1. Tipo de calefacción. Referirse al tipo adoptado en el estudio para el previo acuerdo.

2. Tipo de emisión para el caldeo de un edificio o de una manzana:

Suelo radiante.

Radiadores de agua.

Aire caliente.

Otros.

3. Tipo preferido para el caldeo de una vivienda:

Calefacción central por aire o por agua caliente.

4. Naturaleza de la calefacción de emergencia: subida de humos, corriente eléctrica, gas.

b) Tendederos.

Si no hay secado colectivo, exigencia de tendederos en galería o secadores activados en armarios.

c) Lavadora.

Si no hay lavadero colectivo, previsión de lavadora en la cocina o en el cuarto de baño.

d) *Vaciado de basura.*

Exigencia del mismo en la cocina (ver 2-12).

2-24. *Características relacionadas directamente con el plano de los edificios y locales distintos de las viviendas.*

2-3. Características de calidad de obras e instalaciones

2-30. *Para los inmuebles de habitación.*

a) Revestimiento exterior, en vista de las disposiciones eventuales en el, previo acuerdo. Preferencia o exclusiva para cierto tipo de revestimiento.

b) Revestimiento de cajas de escalera.

c) Varios.

2-31. *Para las viviendas.*

2-311. Comodidad térmica.

2-312. Tipo de calefacción.

Referirse al caldeo adoptado en el estudio para el acuerdo previo 2-313. Si se trata de calefacción de edificio o de manzana, tipo de emisión admitido.

Suelo radiante.

Radiadores de agua.

Aire caliente.

Otros.

2-314. Si se trata de calefacción central de una vivienda, preferencia del sistema por aire o por agua caliente.

2-315. Naturaleza de la calefacción de emergencia: subida de insumos, electricidad, gas.

2-316. Valor del coeficiente G-apetecido (el coeficiente G de aislamiento térmico se toma entre 0,9 y 1,3).

Eventualmente, según la naturaleza del muro: cantería, ladrillo, hormigón, fachadas ligeras:

Ventanas dobles.

Vidrios dobles.

2-317. Comodidad acústica.

2-318. Carpintería. Oculación.

a) Preferencia sobre el material de la carpintería exterior.

Disposiciones singulares:

Vidrios dobles.

Ventanas dobles.

b) Oculación en las ventanas de las piezas de habitación:

En todas las piezas.

En las piezas siguientes.

c) Exigencia de una calidad especial en los herrajes.

2-319. Revestimiento de las viviendas.

Revestimiento mural de las piezas de habitación:

— papel pintado o pintura,

— yeso.

Revestimiento mural de las cocinas y de los baños. Alicatado detrás de los aparatos.

2-320. Revestimiento del suelo.

Cocina: acepción del granito.

Estancia: acepción del linóleo, del plástico, del embaldosado, del entarimado de taracea. Pavimentos especiales.

Habitaciones: ídem.

2-321. Instalaciones de fluidos.

Agua caliente:

Producción: en cada vivienda o por central de agua caliente (ver 2-213).

Distribución: en el desagüe del fregadero,

en el baño,

en otra parte.

2-322. Instalación sanitaria y fontanería.

a) Deseos respecto al fregadero: calidad, material, dimensiones, número de cuencos, desagüe.

b) Cuarto de baño:

Calidad general de la instalación.

Bañera — normal,

— sultana,

— caba,

— americana.

Plato de ducha,

Plato de lavadero y ducha,

Bidé,

Lavabo (dimensiones y elección).

Para los diversos aparatos, exclusión de un material u otro o, al contrario, obligación de material y selección determinada.

323. Mueble fregadero.

Mueble bajo.

Armario de toda altura.

Mueble colgado.

Refrigerador.

Cocina.

2-324. Antenas colectivas de TV.

Teléfono.

- número de aparatos por vivienda,
- número de aparatos públicos.

2-33. *Características de calidad de obras e instalaciones de otros locales y superficies reservadas.*

La transposición a construcciones de otra naturaleza es de incumbencia del cliente o de sus asesores.

En esta fase de definición del programa, al arquitecto le corresponde un papel esencial, el de, si se sufre decir, *comadrón* del cliente; pero antes de iniciar sus estudios, debe exigir un encargo correcto; si no, se hace responsable de las decepciones que seguirán.

Una expresión deficiente del encargo trae consecuencias no sólo sobre el valor del edificio, sino también sobre su costo y sobre su precio.

Las modificaciones de programa solicitadas por la mujer o la suegra del constructor de una casita entran de lleno en el repertorio cómico. En realidad, son tan graves como en el sainete. Y el gran personaje que cree demostrar su autoridad, exigiendo modificaciones más o menos *concretas*, a punta de bastón, sólo da muestras de su ignorancia.

En todas las fases, las modificaciones son caras; casi siempre son consecuencia de un estudio deficiente del encargo.

La modificación es costosa cuando hay que reconsiderar el proyecto; seguro que el arquitecto no exigirá el pago del nuevo trabajo, por lo menos, si va seguido de ejecución. Pero ha de vivir, y el trabajo perdido en estudios inútiles será recuperado en el expediente de ejecución o en la dirección de las obras, que resultarán insuficientes. Y estas insuficiencias salen caras.

El remedio a estos inconvenientes es, lo repetimos, la perfecta definición del encargo.

El arquitecto obrará con sagacidad si presenta croquis para conseguir en ellos la aprobación del cliente. Así, no se afrontarán si no a sabiendas los gastos del estudio del anteproyecto y del proyecto; el acuerdo sobre el esbozo confirma la definición del encargo.

En los encargos de edificios públicos, hay que hacer obligatorio el acuerdo sobre croquis, tras el cual el arquitecto puede trabajar sin rece-los. Y el cliente, en este caso el servicio administrativo, que había formulado el encargo en los términos más vagos, tiene ocasión de precisar sobre una imagen concreta lo que deseaba. Además, los servicios financieros consultados fueron invitados a dar su aprobación. Total: ganancia con-

siderable de tiempo en los estudios, mejores relaciones entre arquitecto y administración y enormes economías para el ajuste del proyecto a las necesidades.

Si las modificaciones del proyecto antes de la ejecución significan pérdidas de tiempo, las modificaciones durante la ejecución, llegan a ser catastróficas, tanto para el costo como para el precio de venta.

Para el costo, primero: si cual recomendáramos después, la ejecución se ha preparado minuciosamente, es decir, efectuados o previstos los suministros, establecido el calendario detallado de las operaciones, pormenorizado el progreso técnico de la construcción, sin esfuerzo podemos imaginar el trastorno que causará una modificación, por insignificante que parezca a primera vista.

Los propietarios o los arquitectos conocidos amigos de modificaciones sufren las consecuencias de su fama en los precios que les ofrecen —al menos, por los contratistas que los conocen; los otros, buscarán compensación en el siguiente cliente; cada cual paga los platos rotos por otros.

De ahí que las nuevas disposiciones oficiales hacen más difícil las modificaciones en los proyectos adjudicados a un tanto alzado, rompiendo así con la vieja costumbre de los derechos leoninos del cliente público, que hacía lo que le venía en gana, incluso pagar las onerosas consecuencias de sus veleidades dictatoriales. Grandes sectores de la construcción actual quedan bajo el régimen de proyecto sin modificación; la vivienda, en particular. Pero no ocurre lo mismo en todas partes.

Además de esto, el propietario ha de recordar que toda modificación es peligrosa si renueva discusión sobre los precios; la empresa que ha aceptado riesgos, junto con el encargo a bajo precio, para lograrlo, no puede perder la ocasión de *hacer las paces*; si algunos precios son objeto de nueva discusión, y tanto más porque el cliente negocia en falsa posición, desde el momento en que él es el que pide y que no es probable que cambie de empresa.

Incluso, una modificación que entrañe economía no es forzosamente *rentable*; es de todo punto indispensable que la economía sea superior a las pérdidas debidas al trastorno que causa la alteración (si al menos la ejecución ha sido efectivamente estudiada).

EL PROYECTO

La concepción o el proyecto es misión esencial del arquitecto. Es una afirmación absoluta, si invertimos la proposición, diciendo que el arqui-

techo concibe la construcción. Desde entonces, cualquiera que participe en el proyecto desempeña, hasta cierto punto, la función de arquitecto. El arquitecto debe ocuparse en satisfacer los programas explícito e implícito y en elegir una solución arquitectónica y técnica, que sea económica.

A propósito de la satisfacción del programa, conviene que nos alejemos contra la vieja costumbre de los arquitectos, al considerar que todos los elementos de comodidad se superponen a una construcción, concebida primero con el único afán de cumplir el programa en lo que tiene de traductible en elementos geométricos; dimensiones y relaciones entre ellas. La solución geométrica no debe considerarse aislada; no es más que la expresión gráfica de la solución en su sentido más amplio. Las exigencias técnicas y acústicas son tan importantes como las relativas a la circulación en una vivienda o a las dimensiones del dormitorio. Pesan con igual intensidad sobre la elección de solución y han de ser tenidas en cuenta desde los primeros trazos del proyecto. De no hacerlo, se incurre en errores, cuya corrección es onerosa y, a veces, imposible.

Es también exponerse a aceptar una solución plástica falsa; una fachada, orientada a poniente, con muchos vanos, que es preciso enmascarar con quitesoles, los cuales, si son eficaces, se *pregarán* la luz y la vista. ¿no será un error de expresión?

Elección de solución

El arquitecto ha de conocer el costo relativo de diversas soluciones generales para un valor dado de los materiales. Esto merece una explicación:

La cantidad de los diferentes elementos constructivos: muros, perimetrales, muros de carga, tabiques, tal como se encuentra figurada en el presupuesto cuantitativo, no es igual para dos viviendas de una misma superficie y de igual número de piezas, según que estas viviendas estén situadas en inmuebles con travесas longitudinales y muros de fachada sustentantes o con travесas de carga, según que las viviendas sean accesibles por caja de escalera o por pasillos. El C. S. T. B. ha estudiado los costos intrínsecos de diversos tipos de construcción; se han trazado planos, se han efectuado mediciones y se han comparado los costos. El resultado de estos estudios se publicaron de 1959 a 1963, y lo resumimos en la tabla de la página siguiente.

Se ve que la dispersión es importante: 18 % entre extremos y 11.5 % entre promedios.

Es necesario, en absoluto, que el arquitecto sepa, cuando toma por solución general una comunicación de viviendas por calle central, que esta solución es más cara, en un 11.5 % por término medio, que la más económica de las soluciones posibles.

Solución constructiva	Costo respecto al precio del proyecto de referencia						Observaciones
	Accesos incluidos			Accesos deducidos			
	Máx.	Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.	
<i>Traviesas transversales</i>							(1.º, 2.º y 4.º estudios)
Relanos (2 viviendas)	100	93,8	97,11	93,6	87,6	90,76	
Relanos (4 a 6 viviendas)	100,5	98,6	99,30	96,5	94,5	95,50	
Carrejos interiores	112,2	105,4	108,35	102,5	95,7	98,58	
Carrejos exteriores	103,9	95,8	99,93	93,5	90,2	92,48	
<i>Traviesas longitudinales</i>							(2.º estudio)
Relanos (2 viviendas)	103,6	97,6	100,87	96,1	90,8	93,59	

Este 11.5 % no podrá recobrarse por milagro, porque, en construcción también, dos y dos son cuatro. Por el contrario, hay que considerarlo como gastado en pura pérdida si, por otra parte, la solución elegida no aporta sobre la más económica una ventaja que justifique el gasto.

Es preciso meter esta noción en el calete. Corren por ahí ideas falsas acerca de las soluciones económicas: ocurre algo parecido en el caso de las calles centrales. Se da también en el caso de viviendas con orientación simple, comunicadas por una escalera con cuatro alojamientos por relano. Esta solución es tan cara como la clásica de 2 a 3 alojamientos por relano, a consecuencia del notable desarrollo de muros gruesos que, por razones acústicas, hay que construir entre viviendas contiguas.

Por fin, incluso la agrupación de cocina y aseos en un solo bloque, que permite reunir en una serie única los desagües verticales de pisos, no es causa cierta de economía: en cuanto las piezas de servicio ya no son minúsculas, el costo de los enlaces horizontales excede al de un desagüe vertical suplementario.

Cierto que es inútil subrayar la falsedad de ser económica la construcción sobre pilotes. Así pues, nuestra conclusión sobre este punto será: el autor del proyecto no debe fiar a su antojo o a la moda la decisión de si tal solución es *en sí* más económica que otra. Ha de fundarse en resultados seguros y pensar que la economía de la solución general no nacerá de un relámpago de genio, sino de mejoras introducidas en una solución que conoce a fondo.

Las proporciones generales del edificio ejercen también una influencia precisa sobre los precios.

El ingeniero Noel, a quien antes citamos, ha logrado determinar el costo del metro cuadrado de superficie suplementaria de un piso de un edificio residencial, obtenida al aumentar la anchura o la longitud.

Cuando se aumenta la anchura, los m² ganados no cuestan más que el 38 %, en promedio; del precio del m² medio. Cuestan el 40 %, en el caso de aumento de longitud, es decir, de una prolongación en el sentido de la longitud.

El aumento de altura bajo techo cuesta el 1,6 % del precio por 0,10 m de variación, a partir de una altura de 2,50 m.

El aumento de 5 a 6 plantas entraña una economía del 2 % y su disminución de 5 a 4, un gasto suplementario del 3 % y de 4 a 3, del 9 %.

Así se puede calcular la influencia de las variaciones en las características dimensionales del inmueble.

Señalemos el interés en construir edificios anchos; los m² ganados en anchura cuestan apenas el tercio del precio de metro cuadrado corriente. En verdad, hay límites para la anchura; cuando se alcanzan las mismas anchuras que Le Corbusier en sus unidades de habitación radiante (24 m en Marsella, 17 m en Nantes-Rézé), los metros cuadrados centrales no cuestan mucho, pero de poca cosa sirven.

El límite de anchura puede ser rebasado si:

— cabe reducir la anchura de ciertas piezas y aumentar su profundidad sin que la permanencia en ellas resulte desagradable. Se trata del problema de ambiente espacial, ya señalado y que es hoy objeto de estudio.

— se puede combinar la iluminación natural de manera que la luz del día alcance el fondo de las piezas profundas.

Sobre este punto, hay que observar que, si se admite la posibilidad de profundizar una pieza el doble del aumento de altura que se le daría, un aumento de 0,30, que cuesta un 5 %, permite ganar 0,60 en cada pieza y, en definitiva, 1,20 en la anchura del edificio. Si el inmueble mide 12 m

de profundidad, este aumento rebajará el precio medio en un 5,7 % (1). La operación resulta interesante y permitirla, además, planos celulares diferentes y, por tanto, planos volumétricos distintos.

Esto nos proporciona oportunidad de decir dos palabras sobre los edificios altos. Hay que saber de coro que si un edificio de 10, 12 y aun 14 plantas tiene un precio que no difiere esencialmente del de un inmueble de pocos pisos, no ocurre otro tanto con los verdaderos rascacielos.

En primer lugar, no es posible extrapolar los planos de edificios de 5 pisos a 20 ó 30; las exigencias se oponen resueltamente a ello, como asimismo las de simple servicio. Las exigencias de seguridad son inevitablemente caras en tales inmuebles, en donde la problemática es homóloga de la de grandes transatlánticos; caras son también las instalaciones colectivas y las precauciones contra las inclemencias del tiempo. Aproximadamente, los rascacielos cuestan de 18 000 a 24 000 pesetas por m², que no son precios adecuados para una vivienda social.

El rascacielos se justifica:

a) cuando el terreno es muy caro; algunas decenas de millares de pesetas por metro cuadrado;

b) para una operación de prestigio.

Ninguna consideración de plano volumétrico (o, por desgracia, de modelo) puede justificar tales empresas que, de todos modos, deben ser prohibidas para la vivienda social.

Elección de la técnica

Con los primeros rasgos del proyecto, ya hay que meditar en la solución técnica. Si hace unos años, los arquitectos se ponían a dibujar, a menudo, sin pensar en el modo de ejecución de la obra, no ocurre hoy así. Se sabe que las mismas técnicas casi tradicionales deben traslucirse en el plano. Para todos es evidente que un plano de viviendas a realizar en un inmueble con traviesas o muros de carga transversales es diferente de hacerlo en un edificio de esqueleto metálico.

Pero no hay que perder de vista que, al presente, se hallan en el mercado numerosos *procedimientos*, con los cuales se ejecutan alrededor de

(1) Los cálculos de variaciones de precios no toman en consideración las incidencias sobre los precios de la calefacción.

En el caso presente, la pérdida por aumento de fachada, permaneciendo invariable la renovación de aire, aumentará de 7/25 por metro lineal de fachada de piso, pero el volumen correspondiente a este metro lineal crecerá en 1/10. La pérdida calorífica referida al metro cuadrado de vivienda quedará, pues, prácticamente igual y, por tanto, los costos de instalación y de explotación de la calefacción.

la mitad de las viviendas de alquiler, o sea, la gran mayoría de la vivienda social. Estos procedimientos entraban a la vez sus limitaciones y sus posibilidades de expresión plástica. No hay que pensar tan sólo en el empleo eventual de dichos procedimientos, sino aviarse de manera que se sepa temprano si se empleará un procedimiento y cuál de ellos. Hablaremos de ello luego, bajo la rubrica *Consulta de las empresas*.

Finalmente, hoy es preciso tener en cuenta una novedad: la prefabricación abierta. Volveremos a hablar de ella en el capítulo XVII. El desarrollo de la prefabricación abierta exige respeto a la disciplina dimensional descrita en el último capítulo. El proyecto debe ser concebido dentro de dicho respeto.

Podría lógicamente esperarse que recomendáramos que el proyecto se excogitara con vistas al empleo de los procedimientos técnicos más económicos. Pero como ya hemos visto en el precedente capítulo, hoy todavía no estamos en condiciones de decir que un procedimiento sea más económico que los demás.

La esperanza de un progreso en la economía se cifra, como veremos, en la prefabricación abierta y acabamos de afirmar la necesidad de atenerse a la disciplina dimensional, que es su condición *sine qua non*.

En el campo de la edificación, se empieza a hablar del empleo del cálculo operacional; en el proyecto, para averiguar la óptima elección de los procedimientos de ejecución, de las diferentes obras. El empleo de los métodos llamados de cálculo operacional suponen la posibilidad del planteo de las ecuaciones que traducen con gran exactitud la acción de los diversos parámetros. Quien esté algo avezado con la práctica de los sistemas de ecuaciones sabe qué trastorno en los resultados produce, a veces, una pequeña variación de un coeficiente. Y precisamente, en edificación, no sabemos formular la mayoría de las ecuaciones que reflejan la influencia de un parámetro sobre el costo final. Ni siquiera se conoce siempre el sentido o signo de la influencia, por causa de las interacciones entre la obra influida por el parámetro y los demás trabajos. Hay, pues, que sentirse decididamente escéptico sobre las probabilidades de éxito del citado cálculo operacional, aplicado a la *optimización* de los precios de ejecución.

Antes de concluir el capítulo de las selecciones fundamentales, que comprometen todo lo que sigue, quisiéramos suscitar dos problemas más:

1.º La resistencia a efectos sísmicos.

Una parte no pequeña del territorio español queda expuesta a concusiones sísmicas de intensidad fuerte o moderada; según consta en el mapa que va al final del libro.

Hay que tenerlo en cuenta. Pero como quiera que los sismos importantes son raros, gracias a Dios, es fácil olvidarse del peligro y los clien-

tes intentan zafarse de las precauciones, como la tonta del bote. ¡Y se ha llegado a pedir la derogación de los terremotos! Lo procedente consiste en adoptar soluciones constructivas que permitan, con desembolso mínimo, ofrecer la congruente resistencia. El tema es extenso y ya sobre el mismo se han publicado estudios especializados.

2.º Por lo que atañe al aislamiento térmico global de las construcciones, la reglamentación actual tiene exigencias de muy fácil cumplimiento.

Prever un aislamiento más eficaz no resulta caro. Y esto permite no sólo una economía de explotación que es función lineal de la mejora, sino, cosa harto olvidada, una economía en la instalación, por la disminución de potencia de los manantiales de calor y de los aparatos de distribución.

En nuestros días, es por completo *algo que paga* la mejora del aislamiento térmico; lo que, en la esfera individual, equivale a perfeccionar el aislamiento de los muros y de la cubierta, y, en la colectiva, en esencia, el aislamiento de los vidrios.

La memoria descriptiva

La redacción del proyecto comprende la formulación de la memoria descriptiva. Se trata de un documento sacrificado con excesiva frecuencia. No obstante, es esencial, con toda evidencia, para la definición de la obra. En buena lógica, debería ser el primer documento, para cada etapa del proyecto: croquis, anteproyecto, proyecto y ejecución. En las fases preliminares y, en especial, para el croquis, puede bastar una descripción referida a un edificio terminado, de idéntica naturaleza.

Para la memoria que ha de formar parte del contrato definitivo, todo cuidado es poco. Debe ser clara e inteligible para las diferentes personas que han de servirse de ella: cliente que las aprobará, oficina de la empresa que la tomará como base para hacer la oferta y aceptar el encargo, aparejador y capataz para hacerla realidad.

Estos diferentes usos pueden aconsejar que se hagan diversas redacciones; este importante trabajo queda justificado en el caso de una operación con centenares de viviendas.

Se recomienda desglosar la memoria en dos documentos distintos:

Uno, la memoria propiamente dicha, describe cada trabajo, bajo forma, si se quiere, de fichas de obras, que pueden ser fichas tipo cumplimentadas o que hagan referencia a fichas-tipo. Las hay para pavimentos, fontanería, sanitarios, electricidad, carpintería, etc.

El otro documento es la memoria *topológica*, que indica la implantación de las diferentes obras. Puede redactarse con una entrada para cada una de ellas e indica, entonces, en qué local se realiza cada tipo de trabajo.

Cabe hacerla también por local; indica, en tal caso, la naturaleza de los trabajos que corresponden a dicho local.

Ambos documentos pueden reunirse en un cuadro de doble entrada.

También, según costumbre anglosajona, es posible redactar la memoria topológica, haciendo en los planos una llamada a la memoria descriptiva para cada trabajo.

Finalmente, la memoria *distributiva* debe señalar, si hay, varias empresas, cuál es la encargada de cada trabajo. Puede integrarse en los documentos precedentes.

Pero la memoria descriptiva ha de poseer otra cualidad, la de no introducir ningún gasto inútil; la calidad de las obras debe ser la estrictamente necesaria. Hay que evitar dos errores:

Se dejarán de lado los materiales lujosos, es decir, de una calidad discordante con respecto al conjunto. Por ejemplo: un material de lujo en el revestimiento interior de fachada, cuando los demás revestimientos son mediocres; precisar que el hormigón deba amasarse con árido de procedencia lejana, cuando hay un material aceptable en las cercanías del sitio.

Es preciso soslayar también un error más insidioso, que es el de copiar, de una memoria a otra, determinada exigencia que no entraña nada útil, sino un encajecimiento de los suministros.

En la redacción de la memoria hay que sortear otro escollo: la costumbre tan difundida de la referencia a una marca comercial. Incluso cuando se redacta en la forma corriente: *material M o análogo*, esta indicación, o se tomará al pie de la letra, prohibiendo toda competencia y castigando injustamente los nuevos suministros, o no servirá para nada. La calidad de un trabajo o de un suministro no debe definirse más que en términos físicos o tecnológicos y, si hace falta, en términos de exigencia. Conviene referirse a las Normas técnicas y a la idoneidad, siempre que tengan aplicación. Se abre así posibilidad de emplear un material cualquiera con aptitud declarada.

Plegos de condiciones para la ejecución de los trabajos

Si la memoria define los trabajos que deben ser ejecutados hoy, esta descripción no basta para caracterizar por completo su calidad. Es indispensable hacer constar qué prescripciones deben ser obedecidas en el

curso de la ejecución de los trabajos; ésta es la razón de que se haga referencia (o se reproduzca in extenso), en el expediente del proyecto, a los plegos de condiciones técnicas para la ejecución de los trabajos de diversa naturaleza.

Para la redacción de los plegos de condiciones, es menester atenderse a las disposiciones oficiales vigentes, entre las que mencionaremos:

Acciones en la edificación (17 enero 1963).

Seguridad en la construcción (20 mayo 1952).

Pleigo para la recepción de conglomerantes hidráulicos (9 abril 1964).

Acero laminado en las estructuras de edificación (3 diciembre 1964).

Pleigo para la recepción de yesos (22 febrero 1966).

Sistemas de forjados o estructuras para pisos y cubiertas (20 enero 1966).

Pleigo para tuberías de abastecimiento de agua (22 agosto 1963).

Reglamento electrotécnico para baja tensión (3 junio 1955).

Almacenamiento e instalación de butano (24 julio 1963).

Además de las anteriores, hay que considerar las ordenanzas técnicas y normas constructivas para las viviendas de protección oficial.

Para las obras no tradicionales, cuya ejecución no puede ser regulada por textos generales, intervienen el beneplácito o documento de idoneidad técnica y hay que atenderse a las condiciones de fabricación y de puesta en obra que en dicho documento se establecen.

El expediente de ejecución

Para terminar con la fase *proyecto*, diremos algo relativo al estado en que debe hallarse el expediente al empezar los trabajos.

Ha de ser un expediente de ejecución completo. Decimos al *empezar los trabajos* y no al *consultar las empresas*. Veremos en segunda cómo hay que proceder para lograr este resultado en los diferentes casos de consulta.

El proyecto, tanto si lo ha redactado el arquitecto solo o con su equipo auxiliar o con el contratista, siempre ha de llegar a una definición completa del trabajo, a través de los planos y de la memoria.

Ningún pormenor ha de presentarse dudoso en el momento en que se inician las obras; es la condición *sine qua non* de respeto al calendario y a la previsión de precios. ¿Cómo es posible tener previsiones de reali-

zación, si todas las semanas, en la reunión del tajo, hay que resolver de improvisto problemas a veces importantes, si hay que aguardar los planos para el ferrallista o los planos de instalación de la calefacción o darse cuenta de que no hay modo de encajar la caja del ascensor, los sanitarios y el hormigón armado? ¿De qué manera obviar las onerosas consecuencias de esas modificaciones y reajuste?

CONSULTA DE EMPRESAS

Después del proyecto o durante su ejecución y, a veces, inmediatamente después del encargo, viene la consulta de empresas y la elección de la que desarrollará los trabajos.

En los contratos anunciados por una autoridad pública hay que seguir lo dispuesto en los Reglamentos. Las formas autorizadas son la adjudicación, pública o restringida, la convocatoria libre de ofertas, por suabastía o concurso y la adjudicación directa.

Los contratos privados no están sujetos a ninguna forma obligatoria. Hay dos casos prácticos: la elección de empresa *a priori* y la convocatoria de ofertas.

No es este lugar oportuno para extendernos sobre los problemas de las formas de contrato. Lo que deseamos demostrar son los nexos entre ciertas modalidades de consulta y la calidad del proyecto y de su ejecución.

Las preocupaciones respectivas pueden clasificarse en tres grupos:

— Actuar en forma de disponer de un expediente de ejecución completo antes de comenzar los trabajos:

— Actuar en forma que la consulta se efectúe lo bastante temprano, en el desarrollo de la operación, para que el realizador, esto es, el contratista, pueda intervenir a tiempo en el proyecto, si da por de contado o si debe aplicar en obra un procedimiento de construcción, cuyas particularidades hayan de ser tenidas en cuenta en el proyecto.

— Actuar en forma que la dualidad precio-valor sea la mejor que pueda esperar, es decir, precisar los términos del contrato tanto en los compromisos del cliente como en las prestaciones de la empresa.

Vamos a examinar el cumplimiento de estos puntos en las formas diversas de consulta.

La consulta de las empresas puede hacerse de diversas maneras:

Cabe consultar convocando un concurso entre constructores, es decir, entre equipos de arquitectos y contratistas, la realización de un programa preciso; la resolución se toma según la consideración de la dualidad precio-valor, precio resultante de la aceptación y valor, de la apreciación de la calidad y, sobre todo, del + y del —, calculados según se dijo. Este criterio se forma a la vista de un proyecto, que es el que podemos llamar *proyecto de arquitecto*; plano a escala 1:50 y memoria, circunstanciada. Pero este proyecto no es un expediente de ejecución porque, en general, no comprende los pormenores de ejecución ni los cálculos de hormigón armado, ni de calefacción. Señala el plazo previsto, pero no contiene el verdadero *planning* o calendario de ejecución de los trabajos.

Estos documentos deberían ser facilitados por el contratista, luego que haya sido elegido. Pero habiendo colaborado en el proyecto de arquitecto, cabe pensar que no le costará el menor esfuerzo la presentación de los detalles después de su proyecto. A lo sumo, conviene dejarle tiempo suficiente.

En este caso de consulta, se tiene la seguridad de estar el proyecto acomodado a las técnicas de realización, porque es el propio realizador quien lo presenta.

Lo que más importa en este sistema de consulta es precisar bien el programa y, en primer plano, saber apreciar la dualidad precio-valor. Esta fórmula suele llamarse concurso *proyecto-construcción*.

El Gobierno francés la aplicó, con excelente resultado, en la posguerra, para la operación *Millon*, que comprendió la erección de 35 000 viviendas a precio reducido (1 millón de antiguos francos) y un programa de superficie reducida.

Los Colegios de Arquitectos han manifestado siempre gran repugnancia hacia esta fórmula, que llegó a veces al vicio. Tal actitud se funda en la siguiente consideración: la deontología de los arquitectos prohíbe que uno de ellos se asocie jurídicamente a quien no sea colega. Es evidente que la asociación con el contratista es la más reprochada, porque sólo puede ejercer la profesión quien posee el pertinente título y esté incorporado a un Colegio. Y siempre al servicio del cliente. El maridaje con el contratista le forzaría a la inmoralidad de ser juez y parte.

Nada satisfactorio resulta que el arquitecto, asociado de espíritu y de intereses con el contratista en la fase proyecto-construcción, se convierta, si el equipo gana el concurso, en defensor del cliente contra el contratista.

Nuestra opinión es que tenemos aquí un problema mal planteado.

En Francia, la profesión es libre, pero hay que admitir que es posible ejercer el arte arquitectónico en forma de profesión no liberal: *la indus-*

trivialización exige, cada día más, la presencia de un arquitecto antes de la intervención del cliente. Si las reglas colegiales se cumplieran hasta el punto que los arquitectos titulares no pudiesen participar en el diseño de elementos industrializados para la edificación (por ejemplo, casas de catálogo), es evidente que otros artistas intervenirían y actuarían como arquitectos (no en el sentido legal, sino en el de siempre: el que proyecta y dirige la construcción), sin tener derecho al título.

De esta forma, un arquitecto ha de poder trabajar en la respuesta a un concurso proyecto-construcción, del brazo de un contratista, tanto como al proyecto de elementos fabricados en serie, colaborando con un industrial.

Pero no será el mismo quien, después, pueda ser arquitecto de un cliente; un *segundo* arquitecto deberá asesorar a éste y defender sus intereses.

Esta presencia simultánea de dos artistas en un negocio es clásica para muchas actividades. ¿Por qué resulta tan difícil admitirla para la arquitectura? Es porque algunos arquitectos tienen de la arquitectura un concepto sublimado. Dentro de la construcción, el cliente y el empresario son personajes subalternos. Uno es un prestamista, que apenas si goza del derecho de pagar, el contratista no es más que un ejecutor. Ambos están al servicio del arquitecto que crea su Obra (con mayúscula). Así surge la evidencia de que no caben *dos* arquitectos en una Obra.

Hecho inconcuso es que el arquitecto, como artista, apetece la libertad de concepción y de ejecución de un pintor o un escultor. También se comprueba que es un artista que no puede manifestarse más que a través de programas dados por clientes, programas que van siendo rara vez exentos de contingencias (un templo, un palacio). El arquitecto Dufau dijo con sorna: «El arquitecto sin cliente vale menos que un burro muerto. De consiguiente, la arquitectura no es un Arte como los demás.»

Por esto creemos que el concurso a base de programa, o dicho en otras palabras, el concurso proyecto-construcción, que supone colaboración de un arquitecto y de un contratista, constituye una fórmula excelente, a condición de hacer intervenir otro arquitecto designado por el cliente.

En lugar de que el empresario sea consultado sobre un programa, se le puede consultar sobre un croquis o un anteproyecto con memoria suficiente. Estas fórmulas permiten al propietario expresar los rasgos esenciales (esbozo) o lo esencial (anteproyecto) de lo que desea y, así, que dar mejor servicio. Sin embargo, deja al contratista la facilidad de emplear a más y mejor sus procedimientos. Cuanto más exacto es el dato, más difícil es la adaptación. En el límite, se llega a la fórmula clásica de consulta sobre el proyecto del arquitecto.

En 1956, con la operación *Economía de mano de obra*, se aplicó en Francia la fórmula de consulta sobre croquis-anteproyecto, a un programa de 25 000 viviendas. Se exigía que la empresa aplicara un procedimiento elegido de una lista de 20 procedimientos económicos de mano de obra aprobada por la administración. No hubo obstáculo y se consiguió la disminución de diferentes métodos modernos por todo el país.

La fórmula de consulta sobre un proyecto de arquitecto se mantuvo perfecta mientras la construcción empleó procedimientos clásicos, tan bien conocidos por el arquitecto que proyectaba como por el contratista y por los obreros que ejecutaban. No había necesidad de proporcionar a éstos detalles de obra ni de indicarles cómo debían trabajar, lo sabían y estaban de ello orgullosos. Se les molestaba cuando se les daban precisiones, porque era suponer que no serían capaces de ejecutarlas según las *indicaciones* (es el vocablo típico) del arquitecto.

El arquitecto autor del proyecto dirige la construcción, coordinando los oficios, es decir, los obreros de los diferentes ramos.

Las dificultades han surgido cuando han aparecido nuevos trabajos: fontanería, calefacción, hormigón armado; para los cuales no había ni tradición ni mano de obra especializada. Se ha resuelto (o soslayado) la dificultad, considerando algunos de dichos trabajos como sobreañadidos al edificio acabado o, para otros, el hormigón armado, por ejemplo, tomándolo como un pormenor de ejecución (!detalle, la propia estabilidad de la casa!), que fácilmente se pasa al contratista, considerado, hasta cierto punto, como especialista. También se ha resuelto el problema de otra manera, al acudir a asesorías técnicas. Así han nacido dos clases de arquitectos: unos que dibujan planos y fachadas y dejan que el contratista haga lo que le venga en gana, y otros, directores de orquesta, que coordinan bajo su batuta a asesores y contratistas (1).

De este período datan los problemas de ordenación; al hacerse más numeroso el equipo, sus miembros se especializan y crean dificultades para seguirles y también la coordinación se hace más ardua.

Esta situación se prolongó hasta 1950, pero desde entonces se ha agravado notoriamente con la aparición de métodos completamente nuevos y que las empresas no saben llevar a realidad.

Esta consideración y la de la indispensable organización del tajo exigen un completo expediente de ejecución antes de iniciar las obras.

(1) Una tercera clase de arquitectos actuaba en el siglo XIX, cuando el auge de las estructuras metálicas: el arquitecto que conoce los nuevos métodos tan bien como los antiguos.

Pero un hombre, por brillante que sea, se ve hoy en la imposibilidad de conocer *todas* las técnicas de edificación. De ahí que esta tercera especie ya no es casi más que un recuerdo.

Dos posibilidades para obtenerlo a partir del expediente de proyecto: encargarlo al arquitecto o dar tiempo al contratista para que lo haga.

En el sector industrializado, el expediente de ejecución completo antes de la adjudicación se ha hecho por intervención de oficinas de estudios técnicos. Pero cabe también formarlo en el gabinete del arquitecto, si puede agrupar los elementos técnicos necesarios. Esta fórmula, en su aspecto absoluto, presenta defectos: el expediente completo para la ejecución no concede al contratista más que el papel del mero ejecutor. Papel que suelen rechazar las empresas experimentadas. Resulta también una situación imposible para quien dispone de métodos personales. Por esto, en numerosos casos, hemos visto que operaciones contratadas sobre un expediente completo se han realizado con variantes que hacían inútil el expediente inicial. Mas en este caso, es casi inevitable contratar con empresas importantes y experimentadas, porque el estudio de un expediente completo resulta caro y para amortizarlo, sin gravar demasiado el precio de las viviendas, es preciso que su número sea crecido. Esto se traduce en: operación gigante, luego, empresa importante.

En realidad, cabe imaginar que el estudio no se amortice en una operación de gran volumen, sino en una serie de operaciones; entonces es preciso que el cliente tenga ocasión de repetir el programa durante muchos años y que imponga un proyecto tipo o que el equipo arquitecto-asesoría pueda colocar el mismo estudio a otro cliente. Parece que, cada vez más, se tiende hacia una colaboración arquitecto, oficina de estudios y contratista, en un estado más precoz que el expediente de arquitecto.

Otra manera de conseguir un expediente completo, a partir de una consulta sobre proyecto de arquitecto, consiste en encargar a la empresa que lo acabe. Esto presupone que las empresas están prontas a emplear la técnica prevista por el autor del proyecto.

Técnica tradicional, en cierto modo incolora, pero técnica orientada. Hay suficientes expertos en la *foça* para que se pueda someter a consulta con provecho un proyecto estudiado con muros de crujía transversales. Los prefabricadores de tableros gruesos podrán concurrir también.

Se trata de una fórmula muy válida, que implica el conocimiento por el arquitecto de los grupos de métodos modernos para componer en vista de su empleo.

En la fórmula de la consulta sobre proyecto de arquitecto y, *a fortiori*, sobre expediente completo, donde el valor de las obras queda enteramente definido por el mismo proyecto, conviene meditar honradamente sobre las consecuencias de las modificaciones.

Hay un tipo de consulta, recomendado con frecuencia, pero cosa rara, poco puesto en práctica; es el concurso entre modelos; el cliente elige

entre cierto número de realizaciones que le caen bien y solicita ofertas para una nueva reiteración de la vivienda elegida.

En dicha fórmula, es evidente que se dispone de un expediente de ejecución completo, porque se trata de repetir una operación ya llevada a cabo. La armonía entre el proyecto y las técnicas de la empresa tiene suficiente verosimilitud, dado que fue bueno el resultado. En fin, la incertidumbre sobre el precio se reduce al mínimo, porque se tiene el modelo a la vista.

El único inconveniente de la fórmula estriba en hacer repetir operaciones concebidas varios años antes, que puegan, pues, de no estar a la última moda (circulan modas para plantas y alzados), ni de acuerdo con el último reglamento, ni a nivel de los recientes progresos de la productividad. No obstante, los escasos propietarios que la han aplicado (¿habrá más de uno?) se declaran muy satisfechos.

Así, pues, la forma de consulta a las empresas va desde la consulta sobre programa, máximo de libertad, a la consulta sobre expediente completo o incluso sobre modelo, extremo opuesto, pasando por todos los tipos intermedios.

¿Podemos recomendar determinada fórmula? El lector habrá advertido que no hay recomendación general, pero que, en cada caso, hay que buscar la fórmula mejor, teniendo en cuenta la competencia del cliente y las cualidades del arquitecto, la índole y la importancia del proyecto y la situación de las empresas, que parecen susceptibles de tener interés en la operación.

Aquí, como siempre, nada de recetas, sino un criterio luminoso.

LAS CLAUSULAS ADMINISTRATIVAS

La consulta de empresas no se hace sólo a la vista del proyecto técnico, es decir, de los planos y de la memoria; el expediente de consulta contiene también las cláusulas llamadas *administrativas* del contrato.

No será superfluo analizar ahora el exacto mecanismo de la consulta y la función de los diversos documentos.

Una consulta empieza por una opinión: el cliente declara que desea encargar unas obras. Describe los trabajos: es el proyecto técnico (o el programa en el caso de un concurso sobre éste) y anuncia su intención de contratarlos de acuerdo con ciertas cláusulas administrativas.

Precisa asimismo las formas de presentación de las proposiciones de las empresas, llamadas también *ofertas*.

En el caso más sencillo, el contrato queda cerrado por la aceptación de una oferta. El vocablo *contrato* significa a la vez el acuerdo de las partes y el documento que reseña y define dicho acuerdo. En el sentido de documento, el contrato estará constituido por los documentos de consulta (técnicos y administrativos) y la oferta aceptada. Las condiciones del contrato son: el cumplimiento del expediente técnico, de las cláusulas administrativas, de los precios y de las diversas indicaciones de la oferta.

Si no hay aprobación pura y simple de una oferta, formulada sin petición de modificación del proyecto técnico ni de las cláusulas administrativas, ha lugar a redactar, a partir de la oferta, un contrato que recogerá, más o menos modificados, los documentos técnicos y administrativos del expediente de consulta.

Las disposiciones administrativas tienen importancia en la economía de la operación. Vamos a examinar algunas:

Conviene, por ejemplo, que el contrato puntualice que el expediente completo de ejecución debe redactarse antes de iniciar los trabajos; obligación para el contratista, cuya contrapartida es el otorgamiento de un plazo de preparación.

Los organismos oficiales han publicado cláusulas generales, cuyo uso es muy recomendable.

Otra cláusula de gran utilidad es la que prohíbe al cliente introducir modificaciones en el proyecto, a no ser que se haga por vía de avenencia, es decir, reconsiderando el contrato. Esta cláusula ha parecido incomprensible a algunos propietarios. Y, sin embargo, no sirve más que para defender al cliente contra sí mismo. Sabemos que una modificación del proyecto es siempre semillero de despliarnos; además, el contratista debe pertrecharse contra las enojosas consecuencias para él de alteraciones que transformarán sus previsiones de acopios y de organización del tajo, su calendario y sus pedidos. Esta garantía, en el caso presente, equivale a aumentar los precios correlativamente. Un cliente serio, que no lleva intención de modificar su proyecto o, mejor dicho, que intenta refrenar sus deseos, tiene todas las ventajas al anunciar por anticipado que el proyecto es *ne varietur*. Logrará un precio exonerado de la cobertura del riesgo de modificación.

Hay que sacar de esto una conclusión general: el cliente puede reescribirse, en el contrato, derechos más o menos exorbitantes; tanto si es público como privado, lo pagará, y muy a menudo mucho más caro de lo que valen las eventuales ventajas que pueda obtener con el ejercicio de estos derechos.

Entre las exigencias que pueden resultar onerosas, hay que citar los plazos. Fijar plazos cortos es reducir la competencia, porque sólo las em-

presas poderosas pueden permitirse plazos breves. Si no hay razones serias para fijarlos, no debe hacerse. Y tanto más, cuanto que el cliente dudará en sancionar con las penas previstas para demoras, un retraso que para él carece de importancia. Son innumerables los contratos en que los plazos severos han atenuado la competencia y fueron causa de retrasos que no han sido castigados. Es, en verdad, absurdo. Hay que reflexionar despacio sobre los plazos. Y tanto el importe de las multas por retraso como el de las primas por adelanto sobre la fecha; pero más adelante, insistiremos en el problema.

EL CUADRO DE MARCHA O «PLANNING»

El proyecto o el programa no han de comprender más que un plazo de terminación global o por etapas de construcción. Pero es esencial que antes de abrir el tajo, durante el período preparatorio, se establezca un calendario detallado para la marcha de los trabajos, que debe ser viable y aceptado por el cliente. Este calendario es el cuadro de marcha o *planning*.

Hasta fecha reciente, el *planning* indicaba tan sólo el final de las principales fases de la construcción, eventualmente de los diversos edificios objeto de contrato. Por otra parte, muchos tajos no tienen otro. Pero desde diez años acá, el empleo de *plannings*, verdaderos programas-caldario de las operaciones, se ha generalizado en las empresas organizadas racionalmente.

Desde entonces, el *planning* ya no es una sencilla indicación de los plazos de terminación, sino la prefiguración pormenorizada de la marcha de la obra. El *planning* es trazado por el contratista según dichos métodos de realización, es decir, que no puede formularse antes de concretar éstos, la composición de los equipos y su utillaje. Proporciona, de esta forma, el modo de verificar la progresión de los trabajos y saber, por adelantado, que los recursos aplicados en obra permiten cumplir los plazos; recursos en hombres y en material. El *planning*, por ejemplo, ha de ser bastante preciso para permitir el cálculo de las cantidades de hormigón que han de colocarse en obra cada instante y comprobar si la instalación de amasado es suficiente. Y aún verificar si las grúas podrán en todo momento manipular las cargas de materiales y de elementos, cuya puesta en obra simultánea se requiere. Podría decirse que el *planning* es una representación del plan de operaciones, con el tiempo como variable principal.

Semejante *planning* permitirá a la vez seguir la marcha del tajo, indicando las operaciones acabadas y señalando los desfases.

Para que logre ser útil, un planning ha de tener aplicación. Y, al efecto, no debe construirse sobre datos demasiado optimistas. Como que, por otra parte, un planning no sirve para nada desde el momento en que se desvía excesivamente de la ejecución efectiva, hay que prever espacios de recuperación para los retrasos, siempre posibles.

Cuando el desfase entre planning y realidad se acentúa demasiado, resulta insoslayable rehacer el primero, tarea considerable que hoy se pretende aliviar con el empleo del cálculo electrónico.

De manera general, señalamos que no debe minimizarse el tiempo asignado a ciertos trabajos, que son difíciles de racionalizar, tanto como la construcción propiamente dicha: instalación del tajo, sondeos y cimientos, acabados, levantamiento del tajo.

Se acostumbra hoy distinguir diferentes sistemas de planning. En realidad, si las expresiones gráficas de los planning, son muy variables, se habla abusivamente de métodos diferentes.

Cada vez que se construye un planning, hay que hacer cierto número de opciones y cumplir determinadas obligaciones. Por ejemplo, para obtener buen rendimiento de los equipos, es preciso dedicarlos a una operación o a una sucesión de operaciones que se repiten hasta el final de la obra (hornigonar los suelos o encofrarlos y hornigonarlos).

Inevitablemente, el trabajo de los equipos adquiere así un carácter periódico (ritmo o *Taktarbeit* de los alemanes) y continuo (dicen los rusos). Observemos que este ritmo no es regular hasta que el trabajo cunde (lo que se llama, impropriadamente, régimen de cruceo) (1). Al iniciarse las obras, el ritmo varía, los tiempos, al principio más largos, van acortándose: conviene no perderlo de vista.

El ritmo viene regulado de costumbre por la principal operación de obra gruesa: por ejemplo, encofrar, hornigonar, desmoldeo de una fracción de piso en una semana. El período deriva del plazo global del contrato y el equipo y sus recursos se organizan en consecuencia. Este equipo sobre el cual se construye el planning, trabaja, pues, de lleno.

No ocurre forzosamente otro tanto para los demás equipos; un trabajo T, poco importante, puede no exigir, al ritmo adoptado, más que tres días por semana del obrero que lo hace, o sea, medio obrero al día.

Tres soluciones son posibles:

a) adscribir a este trabajo T un obrero, que perderá la mitad de su tiempo;

(1) La noción de régimen de cruceo para, pongamos por caso, los motores de aviación, es muy diferente: tras el despegue y la subida del avión, los motores adquieren el régimen de cruceo, de escasa potencia, correspondiente a una necesidad reducida de energía.

b) buscarle, en el mismo tajo o fuera de él, otro trabajo para esta mitad;

c) dar comienzo a esta operación T, cuando el trabajo del equipo-ritmo está a medio acabar. De esta suerte, para la operación prevista, el obrero con tiempo completo alcanzará al equipo-ritmo, en el momento en que éste concluya.

Pero esta última solución supone que el término del trabajo T no es indispensable para la ejecución de otros trabajos, que no pueden esperar el final de la mitad de la obra gruesa para empezar.

En realidad, cuando se fija el ritmo y la composición de los equipos (lo que precede a la puesta en limpio del planning), hay que tener a la vista el conjunto de las operaciones y no sólo la operación-ritmo. Hay que *optimizar* el rendimiento del conjunto de los equipos.

¿Quiere esto decir que es preciso acudir a las computadoras electrónicas? No, indudablemente, dado que la elección del ritmo queda muy limitada por la consideración de la cadencia hebdomadaria. El fin de semana es siempre un período importante. El domingo ofrece un plazo de endurecimiento para los hornigones. La tarde del sábado y el domingo brindan una posibilidad de compensar los retrasos.

También resulta un poco aventurado decir, como hacen algunos, que un planning debe establecerse en días hábiles, sin considerar los días naturales; en efecto, la intemperie, los días festivos, las huelgas, vienen a perturbar el régimen hebdomadario. Pero mientras se descansa el sábado por la tarde y el domingo, es inevitable que el ritmo del tajo se fije por semanas y que la cadencia real se ponga en armonía automática con el ritmo hebdomadario después de las perturbaciones.

Creemos, pues, que no hace falta la calculadora electrónica para optar por la cadencia de una semana o de n semanas. En cambio, conviene atender a la composición de los equipos diferentes del equipo-ritmo y a la fecha de su intervención, para que puedan emplearse de lleno.

En este punto hallamos, inevitablemente, una evidencia. Todas las operaciones de construcción no son independientes. Al contrario, la mayor parte de las mismas están encadenadas; no pueden emprenderse hasta que otra operación queda terminada. Su finl es a menudo condición previa para la iniciación de otras.

Esto es tan evidente como la observación siguiente: antes de vaciar el vaso, hay que llenarlo. Sin embargo, sobre la consideración de las operaciones enlazadas se desarrollan, al presente, varios métodos, entre los cuales el más aplicado es el método de la vía crítica, el CPM de los americanos.

Basta un poco de atención para formar la lista de las operaciones que hay necesidad de ordenar y de las que, al revés, implican un ritmo (el *flux* de los anglosajones). El empleo de calculadoras no es obligatorio. Por otra parte, cabe preguntarse si el desarrollo de ciertos métodos en USA no es, hasta cierto punto, el resultado de una propaganda, coronada por el éxito, lanzada por los servicios de publicidad de las fábricas de máquinas calculadoras y de sus satélites.

De bastante interés, aunque evidente, es a menudo la siguiente observación: Es posible modificar el *planning* y la duración de la vía crítica (es decir, el encañamiento de las operaciones que se ordenan obligatoriamente) mediante el fraccionamiento de las obras. En vez de echar todas las cimentaciones antes de levantar el primer muro, cabe construir una parte de los cimientos y empezar los muros. Actuar sobre el volumen de la operación-ritmo es un recurso útil para la optimización del trabajo de los equipos, a que antes aludimos.

Se quisiera también hacer intervenir en la redacción del programa de operaciones (método y *planning*) no sólo las consideraciones de plazo, sino las de costo.

Esto es lo que consideramos cuando hablamos de optimizar los rendimientos de los equipos. ¿Cabe ir más lejos? No falta quien desearía trazar una curva que relacionara el precio con el tiempo invertido en una operación. Cuanto más breve fuera el tiempo, más elevado sería el precio de producción. Esto no es interesante. Nadie conoce dicha curva con bastante exactitud para tenerla en cuenta en los cálculos. No hay, pues, una correspondencia unívoca entre precio y tiempo, sino únicamente una relación (desconocida en la práctica) entre método, precio y plazo. Toda tentativa para determinar, con máquina o sin ella, un óptimo tipo de organización, sobre la base de una pretendida ley costo-plazo, carece de significación.

De esto, vamos a retener dos ideas:

El empleo de aparato matemático y de cálculo electrónico en estos problemas debe ser, al presente, excepcional, ya porque son sencillos dichos problemas, ya al contrario, por no disponer de relaciones exactas entre las variables, necesarias para aplicar las matemáticas.

La segunda idea, capital, es:

La construcción del *planning* no es una simple operación de calendario; da ocasión de fijar con detalle los métodos de ejecución y el plan de operaciones. El *planning* es el *extracto* temporal de las decisiones tomadas y de las selecciones adoptadas, de la misma manera que el plan de organización del tajo es su extracto topográfico.

Estudio de la organización y de la marcha del tajo

El trazado del *planning* que se lleva a cabo durante el período de preparación, en realidad, no pertenece por completo a la fase del proyecto propiamente dicho. Corresponde ya a la fase de instalación y marcha del tajo.

Esta fase empieza más o menos temprano según la forma de consulta. En la consulta sin proyecto, de arquitecto, el contratista, al preparar su oferta y, por tanto, su precio, ya ha debido de fijar los rasgos generales de su plan de operación. En ciertos casos de consulta sobre expediente completo, éste prevé incluso la manera cómo será equipado y dirigido el tajo —pero esto suele parecer excesivo—. En las operaciones de consulta precoz y, *a fortiori*, en los concursos sobre programas, la preocupación sobre el equipo y los medios de realización intervienen desde los primeros trazos del proyecto.

A la idea de que no debe abrirse el tajo sin un expediente completo de ejecución, hemos de añadir otra: no hay que abrirlo sin un proyecto de instalación y un plan de operación fijos. Si hiciera falta una justificación, bastaría hacer hincapié en la importancia de los gastos de mano de obra en la fase de implantación del tajo y del *rodaje*, es decir, los primeros trabajos para cada índole de operación, hasta coger el tranquillo.

LA COORDINACION

Ha llegado el momento de abordar un tema hasta aquí dado de lado. Para el cliente, ¿es preferible contratar con una empresa general, con empresas agrupadas o por ramos separados? Este examen nos llevará a hablar de la coordinación, de la que diremos unas palabras de introducción.

Ya dijimos que, según el sistema tradicional de ejecución del edificio, el arquitecto ordenaba los trabajos a los diferentes ramos y coordinaba su acción; la coordinación quedaba englobada en el concepto de dirección, misión de antiguo confiada al arquitecto. Pero la coordinación se reducía al mínimo; se disponía de tiempo y los ramos intervenían uno tras otro y las dificultades en sus relaciones se resolvían sobre la marcha en las vistas al tajo. El problema de la coordinación ha adquirido nuevo aspecto desde que se realizan, en breves plazos, operaciones muy importantes.

De aquí en adelante, pues, el problema de la coordinación será citado como un problema intrínseco. Al principio, la agudeza del problema llevó incluso demasiado lejos. La necesidad de coordinación se interpretó como necesidad de un coordinador, con voz independiente de las del arquitecto y del contratista. Esto entraña una imposibilidad jurídica.

El contrato de construcción atañe al cliente, asistido por su arquitecto, y al empresario. Si se llama a técnicos especialistas para cumplir una tarea tal como el estudio del expediente de ejecución o de coordinación, dichos especialistas han de integrarse en una u otra de las dos partes contratantes. Y conviene, ante todo, ponerse de acuerdo sobre la parte que será responsable de la coordinación.

Si hay empresa integrada, empresa general, empresas agrupadas, es la parte *empresa* la que toma a su cargo la coordinación.

En el otro caso (o sea en el contrato por ramos) es la parte *cliente*. Y entonces es menester recordar que la coordinación es la misión tradicional del arquitecto. Al confiarle la coordinación, las empresas, no obstante, quedan invitadas a designar un agente de enlace, que el arquitecto tendrá enfrente, para asegurar, a través de una sola persona física, el enlace con las empresas.

La misión del agente de enlace de las empresas estriba en hacer más fácil para el arquitecto la coordinación, al establecer el contacto de las empresas entre sí y entre éstas y el arquitecto.

Puede intervenir en la preparación del calendario y en la organización del tajo general o del correspondiente a cada empresa.

Está autorizado, para presentar al arquitecto las sugerencias encaminadas a facilitar la ejecución de los trabajos de las diversas empresas, con el acuerdo de éstas.

Después de lo que hemos dicho acerca de la coordinación, volvamos al problema de la elección que debe recaer entre empresa integrada, empresa general, empresas agrupadas o ramos independientes, elección que debe hacerse en vista de los precios y de la facilidad de coordinación.

En cada país, hay una fórmula tradicional.

Hay que situar aparte la empresa integrada, que es una novedad cuya evidente ventaja es la perfecta coordinación y la ausencia de superposición de beneficios entre los subcontratistas y la empresa principal. Este género de empresas se desarrolla en la prefabricación que emplea el sistema cerrado, es decir, prefabricación por sí misma. Sería normal que se desarrollara, también en sistema abierto, con empresas cuya intervención constituya, en su mayor parte, en el montaje de elementos fabricados por otros.

En la empresa general, la coordinación queda en principio, asegurada, pero se hacen a la fórmula dos censuras: por un lado, hay superposición de beneficios, por otro, el contratista general es acusado de atorgar a las empresas subcontratistas. Es verdad que, en un lugar donde la empresa general manda, la situación de los ramos secundarios resulta incómoda. Y el cliente arrostra el peligro de quedar mal servido en dichos ramos.

Como remedio a las empresas generales se nos ofrecen las empresas agrupadas. En esta fórmula, las empresas se presentan a consulta en un grupo unido por los lazos de un convenio que contiene como cláusulas mínimas:

La existencia de mandatario único de las empresas, que es una de ellas y casi siempre la de obra gruesa, aunque no por fuerza; el mandatario único tiene a su cargo la coordinación de todas las empresas.

Las empresas tienen entre sí determinados nexos de solidaridad: en general, el mandatario único garantiza la terminación de los trabajos encomendados a las diversas empresas del grupo, es decir, está dispuesto a sustituir una empresa que falle por otra o por sí mismo. Pero la recíproca no es cierta.

En esta fórmula, cada empresa recibe un contrato distinto, que puede ser anulado por separado.

La fórmula de las empresas agrupadas es provechosa, en particular, si están acostumbradas a trabajar juntas y conocen sus técnicas recíprocas. Una agrupación improvisada puede ocasionar dificultades de coordinación.

Pero en todo caso, no hay que confundir empresas agrupadas, que hayan dado oferta conjunta, con la agrupación que pueda ser impuesta luego a empresas seleccionadas separadamente.

A veces, esta agrupación es perseguida por el arquitecto o por el cliente para desembarazarse después del compromiso de la coordinación. Pero hay que saber lo aventurado que resulta imponer obligaciones o trabas nuevas a las empresas, después de firmar el contrato. Y la coordinación resulta una pejiuguera.

Enfrente de todas las fórmulas de empresas integradas, generales o agrupadas se halla la rancia fórmula de los ramos separados. Sigue siendo válida, si el arquitecto dispone de recursos para asegurar la coordinación.

Asegurarla por sí mismo es cuestión de temperamento. Pero el arquitecto, si los medios de su gabinete y su temperamento no se lo permiten, puede y debe acudir al auxilio de un especialista.

La elección entre empresas integradas, generales, agrupadas o empresas distintas debe aún pedir luces a otra consideración: la aptitud para

permitir el progreso de nuevos sistemas técnicos. Es cierto que el fraccionamiento de oficios refleja la situación de otros tiempos, con adición de algunos ramos nuevos.

Esto equivale a decir, por ejemplo, que los muros serán erigidos por un albañil, que el carpintero colocará puertas y ventanas, así como los zanquines, que la pintura correrá a cargo de un pintor. La electricidad, considerada como ajena a la albañilería, deberá ser instalada por un electricista.

Pero la tendencia de la industrialización se dirige a realizar paredes por simple montaje de un elemento prefabricado, con la instalación eléctrica incorporada.

Así, pues, si yo consulto como de costumbre a las empresas distribuyendo el elemento pared en lotes para el albañil, el carpintero, el pintor y el electricista, haré absolutamente imposible que se me formule una oferta para la construcción por montaje de un elemento de pared prefabricado. En las antiguas costumbres radica un potente freno a la industrialización. Este freno se aplica a menudo a sabiendas, bajo la presión de empresas de carpintería y de obras menores, cuya actividad se veía transformada por el desarrollo del empleo de elementos terminados que realizan por simple montura una obra completa.

Al contrario, lo que debe hacerse, para dejar abierta todo lo posible la competencia entre la ejecución tradicional y el montaje, es:

- acudir a empresas integradas, que, en su seno, resolverán el pleito entre tradicional y montaje;
- que el cliente, en caso de empresa general o de empresas agrupadas, llame la atención del contratista sobre la facultad que tiene de emplear elementos prefabricados;
- en el caso de consulta por ramos, elegir en cada operación entre lo tradicional y el montaje y distribuir los lotes en consecuencia.

Aquí también el problema cambia según la forma de contrato:

Con una empresa integrada o general o con empresas agrupadas, bastará al cliente concretar la fecha en que quiere que se abra el tajo y en la que haya de tomar posesión de los edificios terminados (de una vez o por etapas). Por desgracia, no se procede así hoy día. Se dispone que la obra empezará cuando se dará la orden oportuna, orden que podrá surgir en un momento cualquiera durante un período que, de ordinario, se fija en 6 meses (pensando más en la validez de precios que en la organización racional del trabajo). A partir de la orden formal el contratista dispone de un *plazo de ejecución*, completado por un plazo de preparación.

De esta guisa, la empresa se ve obligada a estar arma al brazo durante varios meses, presta a poner en marcha la obra para terminarla en el plazo de ejecución que suele determinarse con severidad. Se trata de una práctica de derroche, cuya consecuencia ha de soportar el conjunto de clientes; durante el período de espera, el contratista ha de tener inmovilizados el sobrestante del tajo, los capataces y el material, que no puede comprometerse en un trabajo de alguna importancia.

Lo mismo, o mejor dicho, algo peor, ocurre para los ramos (1). Cualquiera que sea el tipo de contrato, la fecha de la puesta en marcha viene alterada a la vez por la incertidumbre de la fecha inicial señalada para la obra gruesa y por la acumulación de todos los retrasos de los ramos precedentes. Cabe decir que una empresa, en el desarrollo clásico de una operación por ramos ignora a menudo, con aproximación de un año, cuándo tendrá que intervenir, y esto es aún mucho peor.

Los inconvenientes son menos en las operaciones realizadas por las empresas agrupadas, que siguen un *planning* viable y muy preciso. Queda siempre el albur de la fecha inicial.

Este régimen es aberrante, pero observemos que no es general en el mundo. Hay países, como USA, en que se empiezan y se acaban los trabajos en la fecha prevista. Buena costumbre, digna de imitación. Hay que comenzar por apreciar cuánto la fórmula actual es causa de desplafarro y de alza de precios.

Luego, plenamente convencidos, los clientes deberían sujetarse a la disciplina de no consultar ni contratar sin estar en condiciones de señalar fecha fija para iniciar la obra. Esto exigiría dominar su impaciencia, casi siempre en su propio interés, porque no sólo conseguirían mejorar precios, más también mejorar plazos para los tajos dispersados a fecha fija (y bien escogida; hay fechas favorables para lograr buenos precios y otras poco propicias). Esto supone también que el clima haya cambiado bastante para que las empresas se avengan a fiarse de las fechas que figuran en los documentos de consulta.

Tanto si es el contratista general como el cliente el que contrata en particular con cada uno de los ramos consultados, hay que fijar a éstos las fechas de comienzo de sus respectivas intervenciones y también de entrega de los trabajos.

Y todo esto viene sancionado por un sistema de multas impuestas con severidad. Pero atendamos, hay dos clases de multas:

- a) Hay la multa por no entregar al cliente la obra terminada. Se discute a menudo si esta sanción debe calcularse a modo de simple multa o de daños y perjuicios.

(1) Se llaman así todas las empresas diferentes de la de obra gruesa.

En realidad, está claro que dicha sanción ofrece ambos caracteres. También es evidente que figurando en el enunciado de las condiciones del futuro contrato, establecidas con motivo de la convocatoria, la sanción es lo que es; el contratista que formula la oferta la acepta y, dicho se está, la tiene en cuenta en el precio al formularla.

La sanción ha de considerar la solvencia. Las multas desmedidas no son efectivas; es lo que pasa.

De ahí que sea menester que la sanción guarde proporción con el perjuicio causado por la demora; perjuicio pecuniario sin duda, pero también perjuicio moral. Y será oportuno justificarla para hacerla viable.

b) Hay, o mejor dicho, debiera haber sanciones por retraso en la terminación del trabajo por ramos. En buena gestión, estas sanciones no corresponden al cliente, sino a los ramos que vienen perjudicados por el retraso y se ven obligados a contratar aceleradamente al personal, hacer horas extraordinarias y aumentar el material para corregir las consecuencias de la demora. La sanción por retraso en el término de un trabajo parcial debe ser, pues, función del perjuicio causado a otras empresas y esta sanción debería imponerse como indemnización por retraso en el comienzo de su intervención. Tal es, a grandes rasgos, el régimen americano. Hay que tender hacia su instauración.

En la fórmula de montaje, los retrasos sobre operaciones parciales se convierten en dilaciones de los libramientos.

Con bastante frecuencia, se encuentra, en los contratos, cláusulas relativas a sanciones por retraso en las etapas intermedias de un planning. Es harto difícil de aplicar; si se mantiene el plazo final, cuesta sostener las sanciones sobre demoras en operaciones parciales. Y si no se mantiene, la sanción global (es decir, la suma de la sanción final y de las parciales) no puede ser razonablemente muy diferente de la que hubiera resultado con otro sistema cualquiera.

En realidad, estas sanciones parciales tienen por objeto evitar que la empresa adquiera retraso. Pero para evitarlo, no son eficaces las sanciones. Lo que hace falta es un planning detallado, viable, fundado sobre una organización del tajo bien estudiado y seguida paso a paso. Son nuestros órdenes del cliente, sancionando cada falta cometida respecto al planning y preconizando las medidas para volver al calendario previsto: refuerzo de equipos y de material, horas suplementarias. Si una empresa se zafa de estas órdenes concretas, lesiona sus intereses y no lo hace alegremente. Si las dificultades prosiguen, hay un arma que se esgrime rara vez, porque en todas partes se temen sus efectos: la rescisión. En efecto, una rescisión significa siempre tiempo perdido y, a menudo, dinero (a veces por el cliente, siempre por el contratista). Pero resulta una amenaza

muy dura; quien ya haya tenido el valor de rescindir será temido y verá respetadas las cláusulas de sus contratos.

Otra arma menos brutal, pero también muy fuerte: el cliente puede retirar, durante un cierto tiempo, su confianza a la empresa que ha fallado a la palabra en el respeto a los plazos. Pero creemos que el hecho de dar el visto bueno a un planning y a un plan de operaciones preciso y seguir sin desmayo su aplicación constituye el mejor medio de hacer respetar los plazos. Si a despecho de esto, la empresa se demora, es que acusa un vicio, como, por ejemplo, desorganización de mandos o hemorragia financiera. Y entonces, el cliente obrará con cordura si piensa *temprano* en los grandes recursos.

Con los problemas de coordinación y de planning, insensiblemente hemos abandonado la fase de consulta, para abordar la de preparación y ejecución.

TECNICA DE EJECUCION

No nos es posible tratar aquí el problema de elección de la técnica en la obra. Otros problemas técnicos contemplaremos en el capítulo siguiente: aquí nos ceñimos a pocas palabras.

Una elección es necesaria para la organización del tajo; en determinado momento y, más tarde, durante el período de preparación, es preciso que el contratista haya concretado la marcha operatoria y el material en el tajo.

La marcha operatoria está sujeta a las selecciones hechas en el proyecto, pero éstos dejan aún libertades importantes. Por ejemplo, un proyecto, concebido para ser realizado por montaje de grandes tableros gruesos puede dar lugar a una prefabricación de taller forastero o a una prefabricación a pie de obra.

Un proyecto a base de muros de carga transversales puede desarrollarse con hormigón colado, hormigón apisonado o industrializado por caldeo o tratamiento al vacío.

Es raro que este tipo de elección no se resolviera de acuerdo con la *religión* o las costumbres de la empresa, acudiendo al análisis razonado. Seguro que el análisis es muy difícil.

Hay que cotejar aquí el costo de realización, por diversos métodos, de obras parciales y sabemos cuán difícil resulta conocer algo sobre el asunto, en especial, si no se olvidan las repercusiones de la elección inicial sobre el costo de otras obras.

Pero no es por ser difícil el estudio, que no se emprende. A veces, algunas soluciones son posibles, tal como consultar con un subcontratista para la realización de la obra en cuestión, según una técnica diferente de la corriente en la empresa. Se tendrán sorpresas.

Importa recordar aquí que, en el estado actual de nuestras técnicas, los procedimientos más variados son competitivos. Para una travesía de apoyo de 5 plantas, por ejemplo, cabe acudir al muro de hormigón en masa, al muro de grandes tableros (fabricados por la industria o ejecutados en el tajo por el contratista) o al muro de albanilería de cualquier tipo.

Las apreciaciones de calidad han demostrado (cap. XV) que, en el resultado global de la operación, no es posible descubrir la influencia de la técnica de realización. De ello hay que colegir hasta nueva orden que, aproximadamente, cada procedimiento permite, a expensas de un sostenido esfuerzo de racionalización y de mecanización, alcanzar los consumos mínimos de mano de obra.

Esto es válido para el hormigón y para la cerámica. Además del precio de los materiales permite discriminar los procedimientos.

La otra elección técnica es la del material: determinación del tipo de grúas, elección del material de hormigonado (central de hormigón en el tajo, hormigoneras, adquisición de hormigón a punto de uso).

Esta elección debe efectuarse al mismo tiempo que se construye el *planning*. Se aconseja el estudio de diversas organizaciones que permitan respetar el plazo global, y esto, con pormenor, verificando, por ejemplo, la posibilidad de que las máquinas elevadoras aseguren los tonelajes, no sólo diarios, sino horarios que les serán solicitados según el *planning*. Después de lo cual, no hay más que adoptar la solución menos cara (en el total, hombres + material) o la que emplea a más y mejor los materiales de que dispone la empresa.

Esperamos haber demostrado en este capítulo que, en ninguna de las fases de una operación, nada debe hacerse a humo de pajás y que hay beneficio —en definitiva, enorme beneficio— con el estudio atento y la justa elección de las soluciones.

En el capítulo precedente, hemos visto cómo actuar sobre los precios en las diferentes fases de la construcción.

Volvemos al mismo tema, descomponiendo el precio total (de venta o de ejecución) de una vivienda en una suma Σ de productos de cantidad q de obras o de materiales o de mano de obra por los precios parciales p : $P = \Sigma pq$.

Previamente, recordemos la descomposición del costo de una construcción, por ejemplo, de una vivienda, en grandes sectores, gastos generales y de asiento, inversiones, mano de obra y materiales.

Los gastos generales y de asiento comprenden, en esencia:

- los gastos de asiento, o sea, la dirección y la oficina de estudios;
- las cargas financieras (beneficio, intereses y comisiones);
- los impuestos.

y representan el 35 % del precio de los trabajos.

- La mano de obra directa, aumentada en las cargas sociales: 30 %.
- Los materiales: 30 %.
- Las inversiones importan una bicoca, a lo sumo, un 3 %, en el caso de prefabricación pesada.

En la susodicha fórmula, para rebajar P , cabe procurar la disminución de cada sumando, o sea, de cada p , y cada q .

Es natural, que los resultados sean tanto más importantes cuanto:

- 1) el campo i sea más extenso,
- 2) este campo sea un lleco (es decir, sin roturar).

Si consideramos, por ejemplo, los *pq* de mano de obra, la cantidad de mano de obra total es del orden de 20 horas por metro cuadrado (tal vez menos), en las empresas de construcción bien dirigidas: la cifra de 1400 h para una vivienda de 84 m² y 4 piezas, equivalente a 16,6 h/m², parece suficiente.

Además de esto, es verosímil que la realización de la obra gruesa pueda ser rebajada hasta 4 h/m² y menos. Se hace difícil exprimir esto para sacar algo sustancial. Al contrario, el resto, a saber la instalación del tajo, la cimentación, la obra no estructural, la instalación y el acabado representan 13 h, cuando menos.

En este campo, donde los esfuerzos, hasta hoy, han sido menos decisivos que en la estructura, un progreso de 4 h, o sea, un 30 %, representa una economía del 10 % sobre el precio de realización global de la vivienda.

Por casualidad, metemos el dedo en una verdad que domina la economía del alojamiento: una economía en los sectores que parecen más importantes influye relativamente poco sobre el precio global, porque éste viene integrado por un gran número de factores. Esto explica la confusión de los inventores, quienes, porque han imaginado un ingenioso procedimiento de elaboración en la obra gruesa estructural, anuncian una economía del 30 % sobre el precio global. Para alcanzar semejante economía en el conjunto, merced a un progreso en la obra gruesa, sería preciso que ésta nada costara.

Si nos confinamos en el recinto técnico, dejaremos de lado el factor gasto de asiento y gastos generales y examinaremos primero el sector mano de obra directa.

EL SECTOR MANO DE OBRA

Hemos hablado de la utilidad que para la economía de la mano de obra tiene el estudio completo del expediente, de la preparación minuciosa del tajo, de la importancia de la elección de solución arquitectónica y de la técnica.

Efecto de la repetición

Examinemos, ahora, el efecto de la *repetición* y de su corolario, el *ritmo*.

Aprende no calificamos la repetición, dado que puede manifestarse a diferentes niveles: en la maniobra del albañil que asienta ladrillos o en

el hecho de dirigir de nuevo un tajo de 1000 viviendas. Doquiera, la reiteración tiene sus virtudes; son las que, por otra parte, se atribuyen al entrenamiento, al rodaje. Y es muy cierto que la repetición mejora el gesto del obrero y el movimiento del equipo.

No se limitan a esto las ventajas de la repetición, ya que permite el estudio tanto del puesto de trabajo como del proyecto. Hay que pensarse de que, en general, se puede decir que la variación es la improvisación, al paso que la repetición es el orden y la organización.

En todos los casos, la influencia de la reiteración, sobre el consumo de mano de obra ha sido comprobada.

Sin duda, no será superfluo subrayar que lo que llamamos aquí repetición no se aplica a la renovación de un contrato. La repetición es la reproducción idéntica de una fase cualquiera del estudio o de la ejecución.

Cabe hablar de repetir en los estudios y, en verdad, resulta beneficioso. Pero aquí se trata esencialmente de la repetición de las acciones ejecutivas: actos sencillos, como el asiento de un ladrillo, o actos complejos, como el trabajo de un equipo para la realización de un elemento funcional importante: el hormigonado de un suelo, por ejemplo.

En el primer caso, la repetición de un acto elemental es análoga a la de un gesto en un trabajo industrial. El segundo caso es específico de la edificación.

Una constante experiencia, en Europa, es que el tiempo invertido en la ejecución de determinado trabajo disminuye durante los primeros actos hasta hacerse constante y, a menudo, volver a aumentar al final.

Por ejemplo, en un tajo controlado, la razón de los tiempos entre la primera ejecución y la mejor repetición de la construcción de una planta varía entre 32 000 h, para el primer piso (excluida planta baja), 12 000 h, para el segundo y 5500 h en el 15.º, en un edificio de 16 pisos, o sea, una relación entre extremos de 600 %. Dicha razón es tanto mayor cuanto más insólito es el trabajo para el equipo en cuestión; siendo siempre insólita una técnica nueva, la primera fase será cara en mano de obra; hay evidente interés en multiplicar las repeticiones, pues de lo contrario, las ventajas que se dan por de contado en la nueva técnica serán borradas por la falta de entrenamiento del equipo.

El aumento de consumo de mano de obra durante la última repetición obedece a varias causas; se ha querido ver en él una tendencia de los obreros a frenar el trabajo para retrasar el momento en que van a ser despedidos. Esta explicación sólo es válida por excepción. Más auténtico es el hecho de ser, a menudo, diferente la última repetición (por ejemplo, el último piso) y exigir la recogida del material. Por fin, es posible

que influya un factor psicológico: la proximidad del final relaja los resortes de la voluntad.

De ello hemos de sacar algo muy aleccionador para los *plannings*: sería erróneo prever un mismo plazo para la primera ejecución y las diversas repeticiones de una obra; el primero ha de ser más largo.

No es posible, en general, paliar este inconveniente, aumentando los efectivos. Cambiar de manera notable un equipo es perjudicar para coger el tranquillo. Por consiguiente, hay que dilatar los plazos previstos.

Una palabra postera sobre la repetición. Para no perder el ritmo, el equipo debe ser llevado a repetir en cadena, es decir, sin pausa de notable duración.

No obstante, un equipo entrenado a trabajar de consumo, en un nuevo tajo, alcanza antes su óptimo ritmo. Ocurre lo mismo a un equipo avezado al tipo de trabajo propuesto. Así, para un trabajo nuevo, por ejemplo, el de un equipo que aplica por vez primera un procedimiento cualquiera de prefabricación, costará más tiempo coger el ritmo y conviene tenerlo en cuenta en el *planning*.

LA MECANIZACION

Para reducir la mano de obra, hay que racionalizar, y ya hemos hablado del particular a propósito de la preparación y del *planning*.

Pero también hay que mecanizar.

Ya sabemos que mecanizar las manipulaciones está totalmente realzado. Tanto para los transportes horizontales (camiones, tractores, topadoras) como para los verticales (grúas).

El perfecto empleo de las máquinas exige estudios que salen de los límites de este libro.

Pero podemos ofrecer algunos rasgos sobre la mecanización de los procedimientos de elaboración de los propios elementos constructivos.

Es frecuente confundir mecanización y prefabricación. Ciertamente que la mecanización en la elaboración de elementos se manifestó primero en la prefabricación. Pero ambas cosas no están ligadas entre sí; las técnicas modernas de hormigonado suponen un grado de mecanización por lo menos igual al de la prefabricación, hecho que no puede sorprendernos, dado que ambas tecnologías son idénticas; en uno y otro caso se trata de verter hormigón en grandes moldes metálicos, calentando eventualmente el mazacote.

Al revés, las fachadas-cortina, prefabricadas a menudo según las técnicas artesanas de carpintería, no consisten más que un débil grado de mecanización.

Prefabricación y mecanización no son, por tanto, sinónimos. Veremos más adelante, al tratar de los materiales, que la condición para la mecanización de productos es la gran serie y una técnica que se sirva de ella.

¿Fábrica o tajo?

Si el trabajo en la fábrica no significa siempre economía de mano de obra, resulta más cómodo. En verdad, hay el mayor interés, para el fácil reclutamiento de personal, en emplear al máximo el trabajo en fábrica, pero con la condición de que sea *auténticamente confortable*, es decir, que el trabajo sea limpio y que la fábrica quede resguardada y disfrute de calefacción. Elaboración en la fábrica y sencillo montaje en el tajo constituyen una división del trabajo, que debe consolidarse cada vez más. Pero sepamos que no basta para asegurar la mecanización y la economía de mano de obra.

EL PRECIO DE LA MANO DE OBRA

En el término *pq* de la mano de obra, hemos visto que se debe y se puede reducir el factor *q* por la organización, la repetición y la elección de una buena técnica mecanizada.

También es posible influir sobre *q* por la forma de remuneración, es decir, con un elemento relacionado con *p*. Para hablar claro, cabe mejorar el rendimiento por la remuneración.

Bien sabido es que si se paga a la gente por el tiempo transcurrido, no hay que esperar ver al obrero medio dar muestras de celo *stakhanovista*. El obrero se ve empujado a cumplir su tarea por honradez y conciencia del oficio. No es malo estimularle, lo que puede ir desde la prima al término de la obra hasta el trabajo a destajo, pasando por numerosas formas de interés favorable. Este problema exigirá un tratado completo. Es indispensable tenerlo en cuenta, si se quiere lograr una reducción de las horas de trabajo invertidas en la ejecución de una obra. Observemos también que el destajo está muy generalizado y que no es razonable tacharlo de infamante; las circunstancias, en la hora actual del mundo, hacen que el obrero de la construcción, con frecuencia fuera de su patria, acepte esta condición sólo para ganar más y que la labor a destajo tiene para él particular atractivo (singulamente en los oficios

especializados: embaldosador, yesero, lucidor, estuquista), sin que resulten muy duras las condiciones de trabajo. Hay que atender, no obstante, a cumplir al pie de la letra las reglas de seguridad.

Para rebajar pq , ¿es preciso esforzarse en disminuir p ? No, por cierto. Seguro que está en su punto el prescindir todo lo posible de la presencia de algunos especialistas demasiado raros y, por ende, muy caros, ya reemplazando una obra por otra de diferente índole (paredes enlucidas con yeso sustituidas por paredes a hueso), ya cambiando el especialista por una técnica mecanizada (revestimiento de fachada con baldosas, ejecutadas como *fondo de molde*) en la prefabricación, en vez de ejecución *in situ*.

Pero es preciso también no echar mano con holgura de la mano de obra no especializada y hay que pagar al obrero el precio que vale.

El primer punto merece una explicación de carácter general.

Hace un momento, hemos dicho que se debe evitar el trabajo de especialistas raros. Es verdad. Sería, no obstante, equivocado sacar de ello la conclusión que se haya de recurrir al peón no cualificado, por lo menos en nuestra economía.

Si medio millón de obreros asalariados en empresas constructoras son peones mal pagados, la consecuencia es que una parte importante de la población activa estará formada por subconsumidores. Desventaja para una economía. Al contrario, importa que no haya sector de subconsumo. De ahí que no se debe empujar la industria de la edificación hacia el empleo masivo de peones sin calificación.

Sin embargo, ésta fue una de las ventajas reconocidas para la prefabricación en el momento de su aparición. Declaramos que fue un error. Lo que hace falta es sustituir los especialistas raros, no por peones, sino por máquinas y especialistas de un nuevo tipo: montadores de grandes elementos y conductores de máquinas. Son especialidades rápidamente aprendidas y muy de acuerdo con la evolución de las calificaciones de mano de obra: más inteligencia, más sagacidad, más (digamos la palabra noble) *cultura* que destreza de manos.

A propósito de la calificación del personal, observemos que más preparación y empleo de procedimientos industrializados se traduce en más ingenieros y más personal en la oficina de estudios.

En la edificación tanto como en todas partes, hay que esperar un deslizamiento masivo del personal desde las tareas manuales hacia las de investigación, de creación, de proyecto y también de control.

Del 7,8 % en 1954, el porcentaje de ingenieros y técnicos respecto a la mano de obra total ha pasado al 10 % en 1962.

El segundo punto: hay que pagar al obrero lo que vale, es digno de comentario. Ante todo, repetimos que si se pretende rendimiento, hay que pagar bien.

Pero también, si se quiere conservar mano de obra en la edificación hay que pagar decorosamente.

Y, por fin, hay que pagar bien, porque la evolución normal de los salarios impone su aumento. ¿Por qué? Porque el objetivo de nuestra civilización se cifra en permitirnos consumir más y trabajar menos, lo que equivale a decir también que cada hora de trabajo nos es pagada para disponer de más medios de adquisición. Como que la moneda no es estable, sino que acusa siempre un ligero descenso, se ve que es ineluctable el alza de precio de la hora de trabajo.

Oponerse a ello en un sector, sería esterilizarlo.

En conclusión, como que el factor p aumenta sin cesar, hay que luchar para rebajar q , no solamente para mantener el precio, sino también para abaratar el producto.

EL SECTOR MATERIALES

Otro pq importante es el relativo a los materiales.

Hemos visto cómo se deduce q por la elección de solución, por la lucha contra el derroche, merced a la preparación y a la organización.

¿Qué podemos hacer para p ?

Vemos dos recursos para rebajar p :

1. Optar por materiales baratos.
2. Fabricar los materiales, los componentes y los elementos, de manera económica.

Elección de materiales baratos

¿Qué es un material barato? Muy sencillo: es un material que, en igualdad de circunstancias, permite obtener un pq bajo. En realidad, es el pq de la obra, incluyendo suministro y colocación, el que debe ser tomado en consideración. Pero para un gasto de colocación comparable, lo que se ha de considerar es el pq del material, del componente o del elemento. Es un sector tanto más importante cuanto que, si se logra disminuir el pq mano de obra (y sabemos que se consigue) más preponderante se hace el pq de materiales.

En el producto *pg*, *p* es barato para algunos materiales: cemento, arena, grava; para otros, de baratura mediana: madera, acero; y caro para los materiales nobles: metales no ferrosos, materias plásticas.

Ahora bien: para reducir el *pg* mano de obra, a menudo nos vemos obligados a emplear materiales relativamente caros, pero elaborados de modo muy industrial y de fácil transporte. Entonces, se corre peligro de aumentar el *pg* de materiales. Esto explica algunas dificultades y fracasos. En este campo, todo es transitorio.

Dada el alza constante e inevitable de la mano de obra, esta técnica de ahorro de mano de obra y de empleo de materiales caros, si no es hoy competitiva, lo será mañana o pasado.

Para cerrar este asunto, digamos que una técnica que empleara, por ejemplo, tanto aluminio y neopreno que el precio de estos materiales, antes de su colocación en obra, llegara a ser del orden del de la construcción según los actuales procedimientos, es una técnica sin porvenir, pero que una técnica que ahorra mano de obra y emplea, en parte, materiales caros, con precios de ejecución finales algo superiores a los precios actuales, merece, sin duda, estudio y lanzamiento. Al tiempo de ser lanzada, ya será competitiva.

Elegir el material barato equivale, pues, para el contratista, a aceptar el material que dé hoy el precio de obra más bajo.

Pero quien invierte fondos en un método de construcción debe elegir el material que dará el precio de obra más bajo, dentro de cinco años.

Adoptar el material barato significa haber sabido redactar el proyecto, la memoria y el pliego de condiciones, evitando:

- a) imponer características de calidad inútiles y caras;
- b) especificaciones rígorosas que limitan la competencia, lo que se hace cada vez que impone un material con el nombre de una marca comercial.

Al contrario, hay que emplear la especificación con referencia a las normas.

Producir económicamente los componentes y los elementos

Empecemos por la definición de los términos.

Proponemos llamar *materias*, sea cualquiera su grado de elaboración, aquellos que no han recibido forma con destino a un preciso empleo en la construcción.

Los materiales amortos: cemento, guijarros.

Los materiales de longitud indefinida o *perfiles*: hierros laminados, tubos, placas.

Los *componentes* son productos destinados a integrar, por acoplamiento o ensambladura (fábrica, aglutinación, agarre, montaje), uno o varios elementos constructivos.

Un bloque de hormigón para muros, un cacharro para conducir humos, un tablero de pared, una ventana son componentes o unidades de obra.

Los *elementos* son piezas que por sí solas constituyen una obra: un paño de mura con dimensiones de una habitación, un bloque técnico.

No nos interesamos aquí más que en la producción de componentes y elementos, dado que su fabricación tiene origen en la edificación tan sólo, porque a ella van destinados, al paso que los materiales proceden de sus industrias productoras y cabe emplearlos para otras finalidades ajenas a la edificación.

Es decir, que aquí no examinaremos la manera de reducir el precio de la materia prima de nuestros componentes y elementos y nos contenteremos con estudiar los medios de rebajar su costo de producción.

Según lo que acabamos de exponer sobre la evolución de precios de la mano de obra, la rebaja del precio de fabricación se intentará a través de la economía de la mano de obra, que se llama también industrialización.

Al principio indicamos que industrialización equivale a:

racionalización + mecanización + automatización

Y como siempre, una técnica industrializada va unida a un *nivel mínimo de producción*.

Cuanto más avanzada está la técnica, o sea, de hecho, más restringida la mano de obra, más elevado es dicho mínimo; esto es evidente, salvo revolución general (que no se da todos los días). Menos mano de obra quiere decir más máquinas, luego, más amortización, lo que no es aceptable si no crece la venta.

Pero hay un error que no se debe cometer y es el de invertir la proporción: más industrialización exige mayor venta, y decir: mayores ventas acarrean la industrialización. Esto no es verdad más que en el caso de que haya (o se pueda poner a punto) una técnica competitiva con las técnicas actuales y que saque provecho de la mayor venta ofrecida.

Aquí viene de perilla traer a las mientes el cuento del mejicano. En el mercado de Xochimilco había un mejicano que ofrecía sombreros in-

menos, de perfecta ejecución, magníficos, de muy buen gusto. Pasa un sombrerero yankee y se para: «¿A cuánto vendes tus sombreros?» — «A un peso la pieza, señor.» — «¿Y si te encargo mil iguales a éste, el mayor con dibujos rojos, a cuánto me los pones?» El artesano medita y suelta: «A 1250 pesos el millar.» — «Pero esto es absurdo; ¿más caro que por piezas?» — «Es que —responde el mejicano—, me aburriré tanto haciendo mil veces lo mismo.»

En efecto, por qué hacer mil veces lo mismo, si con dicha técnica podrían ser todos diferentes.

¿Dónde está la economía en hacer a mano mil sombreros aztecas idénticos?

Otro tanto ocurre en edificación: la serie no tiene ninguna virtud en sí misma; no tiene virtud más que cuando permite adoptar métodos más industrializados de fabricación.

Encargar mil sombreros mejicanos idénticos no implica astucia más que si hay una máquina capaz de hacer los sombreros o si se espera suscitar su creación.

Así, pues, antes de tomar medidas encaminadas a aumentar la venta de un artículo determinado, hay que hacer balance de la molestia que comportarán dichas medidas y la probabilidad de dar origen a una producción más industrializada.

De 1953 a 1958, con vistas a industrializar la vivienda, se convocaron concursos para suministrar elementos a 12 000 alojamientos. Estos concursos trajeron el triunfo de la puerta lisa y la creación de fregaderos de acero inoxidable. No señalaron revolución alguna en la industria de la ventana, que aún no estaba en sazón.

Para ser del todo exactos, hay que afirmar que la gran serie, si no provoca la indefectible industrialización, puede tener otros efectos menos espectaculares, pero significativos. Manteniendo un nivel técnico conocido, permite a veces especializar fábricas, reducir los stocks y obtener ciertas ventajas y rebajas de orden puramente comercial.

Si existen razones para creer que, en un campo determinado, un salto técnico hacia más industrialización es posible, con la condición de ofrecer la posibilidad de mayores series, ¿cómo se debe proceder para materializar la decisión de hacer series?

Algunos han preconizado el sistema del *gran contrato*. Dicen: si se cierra un contrato para todas las ventanas de un lote de, digamos, 5000 viviendas, se crea una demanda de gran serie.

Esto no es exacto. En primer lugar, en un tal contrato, se echa de ver que puede haber bastantes tipos de ventanas; la serie para cada

tipo resultará menor, pongamos 5000. Además, estas 5000 ventanas no podrán ser fabricadas en serie porque deben ser entregadas siguiendo el ritmo de la construcción de viviendas, por ejemplo, 150 al mes. Estas 150 ventanas se fabricarán quizás en un día. ¿Dónde está la serie?

En fin, cancelado el contrato, se ha acabado la serie. Por todo ello, no cabe esperar industrialización por este medio.

El único medio estriba en crear un mercado que consuma un definido tipo de fabricación, es decir, un mercado que consuma objetos de catálogo.

El *objeto de catálogo* puede ser un inmueble entero, colectivo o unifamiliar. En este caso, hasta el presente, los elementos constructivos son prefabricados por la misma empresa que va a acopiarlos: es el sistema de prefabricación cerrada.

Las salidas del edificio de catálogo no son de orden de magnitud diferente de un gran contrato: una instalación de prefabricación cerrada no saca mucho más de 5000 viviendas en el curso de su vida útil y aún estas 5000 viviendas son de tipos bastante numerosos. Teniendo en cuenta las variaciones de un proyecto a otro y las variantes de un mismo proyecto, por la situación en el inmueble, cada elemento de un tipo determinado no se fabrica más que en unos cientos de ejemplares. La tecnología del hormigón colado se adapta bien a este volumen de serie. Pero se trata de una técnica poco mecanizada, con inversiones débiles respecto al valor de la producción (incluso si parecen grandes para la edificación, que de ningún modo está acostumbrada a la idea de inversiones industriales y que, por otra parte, no tiene para ellas posibilidades financieras). Dicho en otros términos, es una tecnología que representa el *principio*, pero seguramente no el fin de la industrialización.

Las amortizaciones representan el 3 % del valor del producto (vivienda acabada, precio de la construcción sola), y la mano de obra es casi tan importante como en cualquier tajo donde la construcción esté racionalizada y las manipulaciones mecanizadas.

Si los volúmenes ofrecidos a una fabricación de casas enteras según catálogo son relativamente bajos, esto se debe a la oposición de los arquitectos y de la clientela.

Si se fabrican todas las viviendas que necesitamos y también escuelas y hospitales según 10, 20 ó 50 tipos, el número de arquitectos creadores quedaría rebajado. Pero es obvio que los clientes se muestran reacios a esta reducción a unos pocos tipos. A este respecto, resulta muy significativa la reacción de los países totalitarios contra el edificio-tipo. En Checoslovaquia, donde todos los años se realizaban decenas de millares de viviendas de dos tipos, el propio gobierno ha reaccionado y se acusa tendencia a la variedad y a la prefabricación abierta, que vamos en seguida a presentar.

La única idea que se ha tenido para alcanzar la gran serie, sin acudir a casa de catálogo, consiste en proceder en forma que en n decenas de millares de viviendas al año, cierto elemento de obra gruesa o de equipo esté conforme con un tipo determinado.

De esta suerte, un elemento tipificado podrá ser fabricado y empleado en gran escala; claro que entonces la fabricación es independiente del montaje. Es la *prefabricación abierta*, la fabricación de elementos catalogados (y ya no edificios).

El desarrollo de la prefabricación abierta queda supeditado, en primer lugar, a una condición necesaria: la existencia de un convenio general entre fabricantes y promotores de construcciones sobre la calidad y la dimensión de los elementos fabricados.

La existencia de este convenio general, respecto en cierto sector de la construcción, basta para crear un mercado de prefabricación abierta de importancia pareja a la del sector en cuestión.

Este convenio general necesario, es la coordinación dimensional, que expondremos más adelante, y es un convenio de calidad o, con mayor exactitud, un acuerdo sobre la idoneidad para su empleo.

Si el elemento está fabricado según una técnica conocida, esta aptitud para el empleo queda asegurada al cumplir las normas de fabricación y, en el montaje, el pliego de condiciones de ejecución. Si la técnica es nueva, dicha aptitud queda reconocida por el *beneficiario* o documento de idoneidad técnica. En un próximo capítulo insistiremos en ello.

Las dos condiciones necesarias para la creación del mercado de la prefabricación abierta quedan satisfechas y el Instituto de la Construcción las impone.

Pero, ¿basta esto para fomentar iniciativas industriales de fabricación abierta?

No es seguro; para lanzar el sistema abierto, será quizá preciso obligar, en cierto número de casos, a recurrir a elementos fabricados y tal vez también a favorecer la creación de las industrias pertinentes, por ejemplo, mediante contratos de invención y de desarrollo.

INFLUENCIA DE LA AUTOMACION

Todo lo dicho puede cambiar, en parte al menos, a causa de la automación.

La automación es la mecanización de las operaciones intelectuales y aquí se trata del empleo de máquinas autorreguladoras que fabrican de acuerdo con un programa que fija a voluntad las características de los objetos que se van a fabricar, cuando menos, entre ciertos límites, que son característicos de la máquina. Bajo condición de respetar dichos límites, la automación permite tanta mecanización como la serie de objetos de tipo único, sin que los objetos fabricados tengan dimensiones prefijadas.

Sería la manera de hacer serie sin disciplina dimensional, pero...

Pero la serie de dimensiones prefijadas permite algo más que la mecanización de la producción: permite trabajar para el stock y no para el cliente y comprar al mayorista según catálogo.

Pero muchas técnicas no se prestan a la industrialización si las dimensiones de los objetos son variables (molde, embudo, extrusión).

En realidad, hasta hoy día, sólo la técnica de ensamble en carpintería parece justificar la automación.

Estos *pero* hacen que opinemos que es ilusoria la industrialización sin disciplina dimensional.

REALIDAD DE ESPERANZAS

Es inconcuso que la coordinación dimensional y la prefabricación abierta son los medios para realizar la gran serie. Pero queda por verificar, si nos permiten producir a precios inferiores a los de prefabricación cerrada o sin prefabricación. Según dijimos, la serie no es ventajosa más que cuando existe una tecnología para sacar provecho de ella. Mas al contrario de lo que muchos opinan, estas tecnologías con aproximación de uno o dos proyectos, no existen; hay que inventarlas y no se sabe en qué condiciones económicas, en qué relación de precios de mano de obra y máquinas serán interesantes.

Quienes afirman: *Dados la gran serie y veréis industrialización* no son más que charlatanes. Al contrario, la situación actual es la siguiente:

para el material barato (hormigón y cerámica) las técnicas de elaboración previstas no son industriales.

Para las técnicas industriales, los materiales adaptados son caros: chapa de palastro protegida, acero inoxidable y plásticos.

Así, pues, la partida es difícil y nos sentimos proclives a considerar que progresaremos esencialmente, siguiendo el ritmo de encarecimiento de la mano de obra que, a proporción, hace menos caros el material noble y la máquina.

Si la partida es ardua, razón de más para buscar con tesón la reunión, en todos los planos, administrativo, financiero y técnico, de las condiciones de progreso.

LA INTEGRACION COMO MEDIO DE INDUSTRIALIZACION

CAPITULO XVIII

Una singularidad que no deja de chocar a los industriales, quienes, por primera vez, toman contacto con la edificación, es la distribución, entre varios actores, de las tareas que el industrial por sí solo asume durante el proceso de fabricación.

El industrial estudia el mercado, fija el programa del objeto que va a fabricar, lo proyecta, estudia los métodos de fabricación y, después, lo fabrica y lo vende.

En la edificación, el cliente es el dueño del programa, el arquitecto desarrolla el proyecto, el contratista estudia los métodos de realización y, después, construye. Además, se emplean —y en número creciente— elementos de construcción, que son mucho más que simples materiales y son proyectados y realizados por fabricantes, independientes del contratista y del arquitecto.

Esta intervención plural contribuye, en gran parte, a fomentar, entre numerosos industriales, la opinión de ser la edificación una actividad del medioevo. Ditemos luego lo que se debe pensar sobre ello.

Sea lo que fuere, desde el momento en que existe una evidente diferencia entre la industria y la edificación, son muchos quienes sin reflexionar, adelantan esta propuesta: para industrializar la edificación, es indispensable integrar (se sobreentiende, en un solo actor) la actual diversidad de intervenciones.

No hay aquí ninguna necesidad lógica, pero cabalmente:

Industrialización = racionalización + mecanización.

Las facilidades que proporciona la integración para lograr ambos caracteres de la industrialización ¿son tales que quepa asegurar: Fuera de la integración, no hay salvación?

Recordemos lo que establecimos como condiciones del progreso de la industrialización del edificar:

- un programa claro, completo y fijo *ne varier*;
- un estudio completo antes de abrir el tajo;
- un estudio hecho habida cuenta de los medios disponibles para la realización;

— la mecanización de las operaciones, tanto de la elaboración de los componentes y de los elementos como de la manipulación y del montaje;

— una organización del tajo y un plan de operaciones estudiado de forma que no quepa improvisación alguna.

La integración industrial confiaría todo esto al mismo actor.

DIFFERENTES CLASES DE INTEGRACION

Examinemos el efecto de la integración del programa y de la ejecución, es decir, la *comercialización* o *venta a tanto alzado*.

Desde el momento en que el productor, y no el cliente, concreta el programa, ya abandonamos el sistema fundamental que hoy está vigente en la edificación, esto es, el trabajo a gusto del cliente. De hoy en adelante, se construirá primero y se venderá después. Se trata de lo que ya hemos llamado comercialización de la edificación; las construcciones se convierten en artículos comerciales. Este sistema suele llamarse el *builder*. En el capítulo XV hemos indicado que la comercialización era un gran recurso, tal vez el único, para reducir, por manera radical, las actuales viscosidades de la competencia en materia de edificación y, por consiguiente, para favorecer la selección natural de las técnicas mejores.

A esta ventaja fundamental, hay que añadir que el programa, establecido por quien va a realizarlo, será —es de esperar— concretado con toda precisión al realizador y no será modificado.

La integración del cliente y del contratista, rara vez evocada, aparece así como muy favorable desde todos los puntos de vista.

En verdad, la solución no podría ser universal. ¿Aplicase también a un sector importante? Se aplica muy bien a construcción de viviendas, destinadas a la venta aislada o por bloques. Puede aplicarse a edificios de oficinas y a los talleres corrientes.

¿Y qué hay de construcciones escolares y de vivienda social? Para las primeras la comercialización parece imposible. Pero para la vivienda social, nada se opone a que haya sociedades constructoras de vivien-

das, adaptadas a las prescripciones técnicas oficiales, que las vendan a los particulares o a sociedades que las administran o las alquilan a familias que, dicen los zumbones parisienses, se benefician de la ayuda *aux pères* contra la ayuda *aux pierres* (facilidades de crédito a la construcción).

El sistema del *builder* es, por tanto, perfectamente aplicable en el sector de la vivienda social protegida por el Estado. Su campo de acción puede ser considerable.

Pero miremos el asunto desde más cerca: el sistema del *builder*, o de la comercialización, no es, por fuerza, una integración; nada obliga a que el *builder* sea el contratista. Lo genuino del sistema de comercialización está en retirar el papel del cliente al aficionado, que es hoy el propietario, para convertirlo en profesional, el vendedor.

En este punto, pues, la integración es suficiente para conseguir los buenos resultados que pueden esperarse de la comercialización, pero no es indispensable para ésta.

La principal integración, de *costumbre traida a las mientes*, es la del *arquitecto y del contratista*, del que concibe y del que realiza. La situación clásica, en que un arquitecto proyecta sin ocuparse de los medios de realización, parece, en efecto, bastante sorprendente. No serán inútiles algunas consideraciones sobre esta situación. Cuando nos movemos en un sector técnico perfectamente conocido por cada cual, como es, por definición, el tradicional, no hay necesidad alguna de contacto, antes de la ejecución, entre el que concibe y el que va a ejecutar. Las cosas cambian con la aparición de novedades, y antaño, había a menudo una necesaria toma de contacto entre el arquitecto y el contratista; los arquitectos que introdujeron las estructuras de hierro en la edificación no han diseñado inmuebles de cantería, para los cuales las herramientas hubieran presentado alteraciones. Pero lo cierto es que, desde la mitad del siglo pasado, la situación ha degenerado. De hecho, hemos visto arquitectos dibujar proyectos sin prestar atención a la forma de realizarlos. Quizá la razón esté en que no se ha manifestado con nitidez que, por ejemplo, el hormigón en masa o los grandes lienzos o el procedimiento X debía ser considerado como un tipo de construcción con imperativos propios, a igual título que la estructura metálica. Al contrario, se ha creído que dichos procedimientos eran sencillos medios de albañilería y que el resultado final no debía diferir de una obra tradicional. Sin duda, se ha hecho uso y abuso de la extraordinaria docilidad del hormigón armado, alabada por sus especialistas: «Dibujad lo que queráis y lo haremos aguantar con los hierros que hagan falta».

Los resultados son lamentables, y no sólo en el plano económico.

La situación también ha evolucionado a consecuencia del afán de organización. Resulta imposible al autor del proyecto saber personal-

mente que, modificando, en forma insignificante en apariencia, un elemento, puede influir de modo tan notable en las posibilidades de organización del tajo, cosa que no ocurría con lo tradicional.

La consecuencia de todo lo precedente, que ya hemos deducido antes, es la necesidad de la participación precoz del realizador en el estudio del proyecto, y tanto más anticipada cuanto más desconocido por el arquitecto sea el método de ejecución (ver cap. XVI).

Esto no impide necesariamente a la plena integración, es decir, la integración en una persona jurídica. Ciertamente esta integración completa se presenta, por ejemplo, cuando un contratista construye sin arquitecto. Pero los resultados no abogan por tal fórmula.

Puede llevarse a la práctica, refundiendo los conocimientos de arquitecto y empresario. Es la fórmula particular del concurso proyecto-construcción, del cual hemos señalado los buenos resultados y la oposición que encuentra en los Colegios de arquitectos.

Es también la fórmula aplicada por los builders contratistas. Creemos que es menester dejar la puerta abierta a la integración arquitecto-constructor, a fin de poder establecer, a la continua, el parangón con los otros medios de asociación precoz del constructor a la elaboración del proyecto.

El último caso de integración que vamos a examinar es la de *fabricación de materiales y construcción*. Sólo hay que considerarlo cuando se trata de materiales elaborados, es decir, de componentes y elementos (no materiales propiamente dichos). El hecho frecuente de ser un contratista a la vez ladrillero, pongamos por caso, no implica más que relaciones financieras, pero no técnicas. El asunto es otro para los carpinteros; por tradición el carpintero fabrica y coloca; está integrado. De igual modo, vemos que los primeros prefabricantes producen sus grandes elementos por sí y para sí, en ciclo cerrado. Están integrados.

Pero hemos visto que el esquema que permite la gran serie no es la prefabricación cerrada, sino la abierta. Hay, pues, una razón potísima no sólo para rechazar la integración más adelantada de fabricación de elementos a la empresa constructora, sino para disolver las integraciones que ya funcionan.

A esta consideración técnica vienen a agregarse, en el mismo sentido, otras de financiación de empresas: la adquisición de elementos cada día más numerosos y más perfeccionados, permite al contratista disponer, para la mayor parte del costo total, del crédito que abre el comerciante de materiales, limitando así sus necesidades de tesorería.

En sentido contrario, oiremos con frecuencia proclamar la dificultad, incluso la imposibilidad, de emplear elementos elaborados fuera de la

empresa, a causa de la *responsabilidad*. Este argumento no es serio. Por un lado, los contratistas han empleado siempre materiales comprados y, principalmente, los más importantes respecto a la responsabilidad: cemento y acero. Por otro lado, las obligaciones legales son lo que son; la garantía decenal vigila y no vemos razón alguna para modificar su vigencia. También están en vigor las obligaciones legales del vendedor. Y dentro del sector así delimitado, las disposiciones contractuales permiten regular de diferentes maneras las relaciones entre fabricantes y constructores. Por fin, un hecho: la obra terminada queda cubierta por el seguro. Es el cliente quien soporta, incluso en el precio de las obras, el valor de este seguro. Poco le importa que se aplique sobre el precio de los materiales o de la mano de obra.

Luego, es por completo posible y además apetecible la disociación de la elaboración de los elementos de la construcción y su montaje.

Las relaciones entre fabricante y constructor se establece sobre la base de un convenio, aceptado por ambas partes.

Respecto a dimensiones: es la coordinación dimensional.

Respecto a calidad: es la sujeción a las normas y al documento de idoneidad técnica.

Aquí vemos, pues, sustituir a la integración la idea de la separación, con relaciones contractuales perfectamente definidas.

LA EMPRESA INTEGRADA

Algunos lectores quizá se hayan sorprendido porque, bajo el nombre de integración, no hayamos hablado, ante todo, de la empresa integrada. A esto hemos llegado.

En el léxico de los contratistas, la empresa integrada es aquella que reúne los ramos secundarios: es una empresa capaz de hacer por sí, sin subcontratar, todos los trabajos necesarios para el acabado del edificio.

Esta forma de empresa tropieza con la distinción corporativa de los oficios que manifiesta, aún hoy día, supervivencia tenaz. Esta apenas si merece atención. Pero es cierto que la integración de varios ramos en una sola empresa no hace más que favorecer su coordinación.

Por otra parte, en la medida en que la parte de montaje de elementos adquiridos aumenta en los trabajos, se esfuma la distinción entre ramos. Es preferible integrar tareas de montaje, cualquiera que sea el oficio tradicional de que derivan y, al contrario, dirigirse a empresas de reciente

fundación para ejecutar trabajos delicados con nuevos métodos. De esta suerte, los trabajos clásicos o de montaje se integran y aparecen nuevos ramos.

Como conclusión de este análisis, la comercialización de la edificación se nos ofrece más necesaria que la integración de cliente y empresario.

La integración de arquitecto y contratista es posible, pero no indispensable.

La integración de los oficios es de desear ante el desarrollo del montaje.

Se acentuará el corte entre fabricante de elementos elaborados y constructores.

CAPÍTULO XIX

LA IDONEIDAD TÉCNICA DE LOS MATERIALES Y ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

LA NORMALIZACIÓN Y EL DOCUMENTO DE IDONEIDAD.

LA COORDINACIÓN DIMENSIONAL

Al principio de este libro (cap. I) hemos visto cómo la teoría de la calidad nos impulsa a transformar las exigencias humanas en reglas de calidad de los trabajos funcionales en la construcción.

Por otra parte, hemos comprobado que hay diversas maneras de expresar estas reglas de calidad.

Junto a la expresión física por medio de normas de cálculo y de características físicas, junto a la expresión por verificación de la exigencia en ensayo natural o seminatural, hay la expresión tecnológica que se refiere a índices técnicos y, en especial, a la descripción del buen oficio en la ejecución de obras y en la fabricación de materiales y elementos.

Mucho antes de que se hubiera formulado la teoría de la calidad, se intentó establecer reglas técnicas de calidad; siguen en vigencia, en el ámbito de nuestra teoría, donde referidas en adelante a un sistema de conjunto, cesan de ser arbitrarias, para hallar su completa justificación.

Estas reglas técnicas son los pliegos de condiciones de ejecución de los trabajos, formulados por los organismos competentes. Estos pliegos describen, a veces, las calidades de los materiales y elementos que se han de incorporar al edificio, pero con más frecuencia se refieren a normas o, cuando se trata de materiales no tradicionales, al documento de idoneidad técnica.

Las normas que tratan de la calidad o el documento antedicho tienen por objeto, si son respetados, asegurar que los materiales son *aptos para empleo*. Vamos a ver en qué forma.

LAS NORMAS DE CALIDAD

Los objetos empleados en construcción de edificios pueden ser materias, semiproductos y productos acabados. Estos últimos reciben el nombre de *elementos* si hasta un producto para realizar la obra, de *componentes* si hacen falta varios y de *instalaciones* si la obra que constituyen no tiene por finalidad la delimitación de un espacio.

Se impone una distinción entre los objetos que se fabrican con vista a un empleo determinado en el edificio y los demás. Estos no pueden ser reconocidos como aptos para un empleo que no está definido con exactitud. Por ejemplo, un tubo de acero puede tener numerosas aplicaciones. Cabría imaginar que se formulara una norma para cada aplicación: norma para los tubos empleados como guardalados, norma para los tubos de calefacción central, tubos para andamios, etc. Resulta mucho más cómodo sentar una regla que clasifique los tubos, que defina las características de cada tipo, que incluso marque ciertos resultados, pero no en vista de un empleo concreto. Los pliegos de condiciones se encargarán de precisar qué tipo, qué matiz de tubo hay que emplear para una obra determinada.

Se ve que, en este caso, la normalización no se empeña en asegurar la aptitud, sino la identidad del producto con un modelo, identidad limitada sólo a algunas características. Puede decirse también que esta normalización es de productores y no de usuarios.

Es claro que cuanto más elaborado está un producto, menos numerosas son sus posibles aplicaciones y más probabilidades hay de que sea reconocido como apto para uno o varios empleos, a través de la normalización.

Al revés, el material en bruto, los semiproductos, derivan, en esencia, de la normalización de los productores.

La normalización de los usuarios, en nuestro caso, es la de la edificación, que ocupa un lugar señero en la normalización general. En resumen: el criterio para clasificar las normas es que cada una de ellas garantice la idoneidad del objeto normalizado para constituir una obra determinada.

La condición esencial para poder sentar una norma es que se conozca la familia de objetos que se quiere normalizar a fin de saber cuáles son

las características, en número finito y comunes al conjunto de la familia, que deben reglamentarse y cómo hacerlo para lograr la aptitud de empleo.

Si fuéramos unos grandes sabios, si supiéramos formular en términos físicos todas las reglas de calidad, ¿tendríamos necesidad de normas al respecto? A primera vista, no; donde hay leyes matemáticas o científicas, no hacen falta normas.

Pero podrá ser cómodo dar reglas de calidad con expresión técnica sencilla, que dispense de desarrollar cálculos y tomar medidas y sirva implícitamente de guía para la fabricación. Esto equivale a decir que puede ser ventajoso describir una o varias soluciones de un problema, antes que dejar al usuario el empleo del método de resolución general.

Pero, ante todo, rara vez nos sentimos sabios para explicar por completo las reglas de calidad en términos físicos, dado que, al menos, la durabilidad plantea un problema difícil (cap. V).

Siendo lo que es nuestro conocimiento sobre la ciencia de la durabilidad, resultaría muy imprudente remitir a cada usuario el comprobarla mediante la aplicación de la ciencia. Es absolutamente necesario, en realidad, proporcionarle la expresión tecnológica de las reglas que confirman la durabilidad de las obras, en forma de pliegos de condiciones.

Esta referencia a la norma no libra del todo al usuario de sus recelos, por la siguiente razón:

Los tipos fabricados de un producto normalizado difieren todos entre sí por innumerables características que la norma deja en libertad, todos varían sin cesar con el tiempo, por estas mismas características. Pero una de ellas, no citada en la norma, puede llegar a ser importante: por ejemplo, el contenido de un cuerpo secundario, hasta hoy despreciable, aumenta a consecuencia de una nueva técnica de fabricación. Este contenido puede ser enojoso para determinadas aplicaciones.

Si se aumentan las calidades mecánicas (cerámica) y correlativamente se aumenta el módulo E, podemos exponernos a desórdenes en algunas aplicaciones (forjados de suelo de acuerdo con la norma y colocados en obra según las reglas de arte han causado decepciones en algunos casos).

Habría ocasión de formar concepto sobre cada fabricación. ¿No introduce ésta una novedad que anularía o reduciría la aptitud técnica?

En los casos más sencillos, es decir, los menos expuestos, es el propio usuario quien podrá formar criterio. Pero muy a menudo, será preciso acudir a expertos.

¿Cómo discernir el caso en que será necesaria su intervención? De consiguiente, los sabios deberían vigilar a la continua las nuevas fabricaciones en el campo de las normas.

Comprobamos aquí una necesidad de información allende la norma. Queremos saber, no las reglas de calidad aplicables a un objeto, sino si determinado tipo de fabricación está conforme con la norma o para ser más exacto, si dicho tipo es apto para el empleo.

No existe este procedimiento, considerado aisladamente. Por el contrario, hay un grado de información más elevado sobre la idoneidad de cada material fabricado. Es lo que da la *marca* de conformidad a la norma, que sólo podría dar la imposible verificación, en cada producto, de las reglas de calidad. Lo que suele significar este marchamo es que la fabricación del producto es objeto de autocontrol por el fabricante y éste a su vez ha sido controlado por el organismo verificador. Este es el régimen de las marcas de calidad. El organismo que autoriza al marchamo tiene dos funciones sucesivas:

1.^a Establece que el tipo de fabricación propuesto es idóneo, es decir, que satisface a la norma y no presenta ninguna singularidad perniciosas.

2.^a Verifica el autocontrol, asegurándose así de la idoneidad de los productos fabricados con el modelo aceptado en 1.^a, o, al menos, establece que las diferencias entre los productos y el modelo no son nefastas.

Los materiales o tipos de construcción poco conocidos, para permitir la distinción de las características comunes al conjunto de su familia, con el intento de reglamentarias para asegurar la idoneidad, no pueden llegar al reconocimiento por el pliego de condiciones y la norma. Ya que no se pueden dar reglas para toda la familia, hay que proceder individualmente por tipo de fabricación: este beneplácito es el que se cifra en el *documento de idoneidad técnica*.

Este documento es el reconocimiento de aptitud para el empleo de un determinado material o método de construcción. Esta aptitud será apreciada desde el punto de vista de la habitabilidad, de la durabilidad y del adecuado empleo de los materiales y de la mano de obra, lo que equivale a decir que las exigencias humanas quedarán satisfechas.

En efecto, una solicitud de beneplácito significa la certeza de la satisfacción de las necesidades humanas. Esto puede comprobarse directamente y, para determinadas exigencias, mediante medidas y cálculos. En fin, al progresar el conocimiento de los materiales de una misma familia, es posible llegar a una expresión tecnológica, que hoy llamamos jurispericia de la idoneidad. Pero mientras no conozcamos bien el material esta expresión será incompleta y habrá lugar a un juicio personal, fundado sobre analogías y resultados de ensayo: esto es esencial para la satisfacción de la exigencia de durabilidad, para la cual sabemos que es imposible la verificación directa.

Aquí es preciso introducir una noción muy importante. Hemos visto que el reconocimiento de la idoneidad de un material, conocido o nuevo, exigía un criterio.

Afirmamos que este criterio, por regla general, no puede ser individual.

El costo de las operaciones de verificación o de ensayo excede de las posibilidades financieras de un usuario aislado. Sólo un cliente muy importante, para un material que consumirá ampliamente, puede afrontar, a sus expensas, un reconocimiento de aptitud. Es excepcional por partida doble. Pero por encima de todo, la suma de conocimientos científicos y técnicos necesarios, para que se reconozca capacidad de llevar a cabo tamaño juicio, no se encuentra reunido en un solo hombre. El arquitecto o el ingeniero que se juzgaran capaces de hacerlo no demostrarían más que su ignorancia del problema.

De ahí que los criterios de aptitud sean colectivos, a cargo de expertos, designados por organismos especializados, que proceden a la instrucción de expedientes.

Se viene a los ojos que siempre el que juzga de la idoneidad ha de estar libre de contactos con suministradores y constructores, a fin de que su opinión sea desinteresada. Por esto, careen de utilidad las marcas de fábrica y, *a fortiori*, los marbetes de calidad que pretenden cubrir todo el campo industrial, sin asomo de competencia. Al contrario, las comisiones de idoneidad están integradas por representantes de todas las profesiones interesadas y es la autoridad pública la que decide.

Las marcas de calidad y el documento de identidad proporcionan el máximo de información sobre la aptitud de aplicación y son muy bien recibidos por el usuario. Pero su funcionamiento, siquiera de financiación colectiva, es, por fuerza, bastante pesado y costoso; razón para limitar la variedad de producciones.

Y comprobemos de pasada que, en el porvenir, el control será una actividad cada día más difundida; cuando las máquinas trabajan, la función de los hombres consiste en inventar y controlar (y, con la automatización, verificar los controles automáticos).

Entremos en el *aspecto dimensional* de la normalización. Se fijan dimensiones para satisfacer a diversas exigencias:

La expresión de numerosas reglas tecnológicas, así como la de todas las reglas físicas, encierra dimensiones. No vamos a hablar de ellas aquí, sino de otra categoría de prescripciones dimensionales que tienen por objeto asegurar:

a) Que fabricaciones de tipos diferentes podrán emplearse indistintamente porque tienen las mismas dimensiones significativas para un

montaje y acoplamiento. De los productos así dimensionados se dice que son intercambiables (tipo *a*).

b) Que los productos de una familia podrán ser acoplados a los de otra familia:

los tubos con los acoplamientos (tipo *b*₁),

los bloques de hormigón con las ventanas (tipo *b*₂).

Por el juego de estas prescripciones, queda satisfecha la exigencia económica.

Las prescripciones dimensionales deben ser obedecidas por los diseñadores de proyectos y de productos. Toman así el aspecto de un convenio entre productores y usuarios, carácter esencial de la normalización dimensional, dado que, de modo muy general, estas prescripciones para la intercambiabilidad y el montaje se hallan contenidas en las normas.

Para las prescripciones de tipo *a* (intercambio) y *b*₁ (acoplamiento de componentes que no se acoplan más que entre sí, *acoplamiento cerrado*), la elección de dimensiones convencionales es por completo arbitraria. Es puro convenio.

No ocurre otro tanto con las prescripciones del tipo *b*₂, que viene a garantizar la aptitud de acoplamiento o de coordinación dimensional de los elementos o componentes, en número indefinido, que se acoplan por sistema abierto. Se trata de la convención dimensional general, en la que vamos a ocuparnos.

Acabamos de hablar de las normas, que dan prescripciones tecnológicas de idoneidad y prescripciones dimensionales de intercambiabilidad y de aptitud para el montaje.

Estudiemos un poco el sistema francés de normalización.

En algunos países (USA, Suecia), la normalización es actividad de organismos privados, pero en Francia, viene regida por la ley. Las normas son *homologadas* por el comisario de normalización. Pero vienen redactadas por oficinas adecuadas, de composición muy variable, y tras información pública, presentadas por una entidad, reconocida como de utilidad pública.

Para ser verdaderamente útil, la normalización debiera cubrir todos los productos empleados en la edificación, salvo los materiales nuevos que, junto con los métodos nuevos van cubiertos por el documento de idoneidad.

Sería necesario un elevadísimo número de normas para cubrir todo el campo de la edificación.

¿Es posible establecerlas? ¿Es posible seguir arreo la aparición de nuevas fabricaciones?

El trabajo se complica por la necesidad de disponer de normas comparables para los objetos de igual destino, evitando así contradicciones.

Lo cierto es que para tener probabilidades de éxito, no hay que contentarse con la *normalización esporádica o puntual* que hoy se pone en práctica, sino que debe darse preferencia a la normalización planificada.

No vamos a discutir lo que podría ser el plan de normalización y sólo añadiremos:

Al garantizar la idoneidad, la normalización será, en suma, la expresión de las reglas de calidad (en el sentido que adoptamos en este libro). Las reglas de calidad de expresión física se aplican a toda una familia de materiales y, por otra parte, su carácter apodictico hace que no sean verdaderas normas. Las reglas de calidad de expresión exigencial se aplican con la misma generalidad. En este caso, la norma puede tener por misión la de definir convenientemente el ensayo seminario de verificación. Pero el verdadero campo de la normalización es la regla de calidad de expresión tecnológica, tanto si esta expresión es la única posible (durabilidad), como si es de aplicación más fácil que la expresión física.

En todo caso, una norma de expresión tecnológica, cuyo campo de aplicación es, por fuerza, angosto —diframos puntual— no suministra información interesante sino en la medida que:

- a) garantiza la durabilidad, que no puede verificarse directamente;
- b) verifica que se han cumplido las reglas de calidad por comprobación, ensayos y mediciones más sencillas que la verificación directa de la regla de calidad de expresión física.

Esta norma de producto, por tanto, ha de referirse de nuevo a las reglas de calidad cada vez que no encierre nada nuevo o que la expresión tecnológica no es la más práctica.

Las prescripciones propias de una norma de producto no serán exigencias de resultado (por regla general, al menos), sino descripciones ya del objeto terminado, ya de su elaboración. En otros términos, no es exigencial, sino tecnológica. La expresión de las reglas de calidad no tiene igual generalidad, según que sea física, tecnológica o exigencial.

— La regla de calidad expresada en términos físicos se aplica a toda una categoría de obras de igual función.

— La regla de calidad expresada en términos tecnológicos no se aplica más que a una familia.

Observemos finalmente que, como complemento de la norma de producto, cabe contemplar *normas tipificantes*, es decir, las que definen muy completamente el objeto, allende las solas necesidades del documento de idoneidad y de la intercambiabilidad.

Los tipos de objetos están sobrenormalizados. La norma prescribe lo que es necesario para asegurar la aptitud para el empleo, en calidad y el posible intercambio y la idoneidad en dimensiones para el montaje.

El tipo está sobrenormalizado en sentido de:

a) poder someterse a especificaciones en calidades y dimensiones no citadas por la norma: *tipificación aditiva o descriptiva*;

b) poder reducir, en ciertas materias, la libertad de elección en calidad o en dimensiones, que deja abierta la norma: *tipificación selectiva*.

El objetivo de estas reglas de tipificación es el de restringir la variedad de productos posibles. De este modo el mercado se concentra en algunos tipos o en uno solo, si se consigue, de una manera u otra, vencer a los autores de memorias a referirse únicamente a tipos.

Y como colofón, vamos a ocuparnos en las disposiciones dimensionales, destinadas a asegurar la aptitud de acoplamiento en sistema abierto.

LA COORDINACIÓN DIMENSIONAL

El desarrollo de una industria de elementos constructivos, fabricados de antemano para ser empleados en un gran número de tipos de edificación, supone, cual se dijo, que un convenio sobre la elección de dimensiones sea aceptado, a la vez, por los autores de proyectos y los fabricantes. Cuando así es, se dice que los constructores aplican la prefabricación en sistema abierto, y que los fabricantes producen para el stock y venden sobre catálogo. Lo que interesa a la prefabricación abierta es la producción y el empleo de grandes elementos, es decir, que posean, cuando menos, una de sus dimensiones igual a la de una habitación.

El convenio dimensional es un sistema de coordinación, fundado en la consideración del módulo de 10 cm y de los múltiplos de 30 y 60 cm para las dimensiones horizontales y 20 cm para las verticales, con una excepción para las alturas de las piezas, en las cuales se admite 2,50, y para las alturas de los pisos, en los cuales se admite 2,70 m.

Los estudios desarrollados a escala internacional, desde hace muchos años, han demostrado, en efecto, que, por un lado, el único sistema para

la coordinación dimensional de las construcciones, a base de grandes elementos prefabricados, debe apoyar en el empleo de un módulo grande. El único sistema que permite el acoplamiento de elementos que pueden intervenir en número variable en una misma longitud total es el que asocia la serie completa de números enteros a una unidad de longitud o *módulo*.

Por otra parte, para que la variedad de dimensiones (o de grupos de dimensiones) en el campo práctico de dimensionamiento de un elemento determinado sea bastante restringido para permitir la industrialización, es preciso que el módulo sea suficientemente grande.

Por fin, es menester que las dimensiones elegidas estén en buena relación con las dimensiones de fabricación de los semiproductos; muchos materiales laminados se fabrican con ancho de 120 cm, que equivale a cuatro pies ingleses.

De igual manera, los estudios han probado que es imposible querer imponer a todas las dimensiones de la construcción magnitudes adaptadas al módulo 10, y mucho menos a sus múltiplos 30 y 60; la exigencia de modulación absoluta lleva, no sólo a absurdos económicos, sino incluso a imposibles absolutos. Al contrario, conviene dar dimensiones moduladas a las obras que se van a realizar con grandes elementos prefabricados, modular después sucesivamente las obras que ofrecen cada vez menos interés y dejar de modular aquellas en que desaparece el interés o en las que resulta imposible a causa de elecciones anteriores.

Como que la coordinación dimensional tiene por única finalidad permitir el empleo de elementos prefabricados, las dimensiones modulares no se aplicarán a la construcción del mismo modo para los diferentes sistemas; si se construye con muros de carga transversales, con paneles de fachadas intercalados entre los muros, el módulo para la fachada será la dimensión de coordinación de paneles, que es la luz libre entre muros. El grueso de los muros, impuesto por razones de estabilidad y de acústica, no será modulado y, por consiguiente, en esta solución, tampoco estará modulado el interje de crujía. Si, al contrario, se ha decidido realizar la fachada en muro-cortina, para el cual la dimensión de coordinación de los paneles y de la obra gruesa es el interje de crujía, será éste el objeto del convenio dimensional y, por tanto, modulado; como que el grueso de muro no está siempre modulado, esta vez la luz libre entre muros no será modulada.

Un ejemplo parecido podría darse respecto a la altura de pisos y de piezas. Según sea la solución constructiva, habrá interés en dar dimensión modulada a una u otra de las alturas.

Los elementos fabricados, para cuyo empleo se aplicará la coordinación dimensional suelen ser elementos de obra gruesa, paneles de fachada

y tableros de suelo o de pared. En general, la elección de módulo se hará entre ejes o a luz libre, según la fachada. Para los tabiques, las más veces, será imposible modular todas las dimensiones y, además, el módulo 30 es un poco grande para las piezas de servicio.

Aquí se podrá echar mano de la siguiente receta; al fabricar tablero de tabique de un ancho p veces 10 cm y $p + 1$ veces 10 cm, es posible, por yuxtaposición, obtener todas las anchuras superiores a p ($p - 1$) veces 10 cm y numerosos valores inferiores. Este truco de fabricación permite, con sólo dos dimensiones, lograr de nuevo la adaptabilidad de dimensionamiento del módulo de 10 cm.

Además, cabrá dar dimensiones modulares de 60 cm a la pared de la cocina destinada a recibir los aparatos y los muebles; es la única dimensión interior de las piezas que esté ligada de manera rígida a elementos prefabricados.

Por lo que atañe a alturas, su elección coordinada dependerá también del tipo de fachada. Se echa de ver que, si se modula la altura de la pieza, quedarán moduladas las alturas de tabiquería, las de muro bajo techo y las de encofrado-túnel y, si se modula la altura de piso, quedarán también moduladas la altura de escalera y la de los muros, cuando son continuos según la vertical.

Es preciso observar que una escalera puede acomodarse a alturas que varían 2 ó 3 cm en uno u otro sentido respecto a la altura nominal; el cambio de pendiente de las huellas que de ello resulta es imperceptible. Asimismo, hay que tener en cuenta que los tabiques prefabricados deben, en todo caso, tener un dispositivo para compensar los errores de la obra gruesa y, a la vez, permitir el montaje, de manera que un tabique fabricado para determinada altura puede servir para alturas de piezas que difieren de algunos centímetros en más o en menos.

Estos son dos ejemplos de recuperación que permiten emplear elementos prefabricados, en obras cuyas dimensiones no están exactamente moduladas.

En lo que antecede se ve cómo el autor de un proyecto podrá proceder para modular las dimensiones en aquellas obras que desea realizar con elementos prefabricados.

El fabricante, por su parte, deberá dedicarse a producir elementos, cuyas dimensiones de fabricación, diferentes de las de coordinación, permitan su empleo en la realización de la obra. Así, pues, un fabricante de paneles de fachada, encajados por cuatro lados, producirá paneles para vanos de 3,60 m de ancho por 2,40 m de altura, dimensiones que serán superiores a las de coordinación del vano, si se colocan en mocheta.

La determinación de las dimensiones de fabricación incumbe al fabricante, quien deberá prever los detalles necesarios para compensar la imprecisión de la obra gruesa.

A propósito de estas imprecisiones, la norma señala las tolerancias que se admiten en la ejecución de la obra gruesa.

En el ejemplo precedente, el fabricante debe saber que sus paneles serán montados en vanos cuyas dimensiones no serán exactamente $3,60 \times 2,40$ m, pero cuyo trazado real estará comprendido entre un rectángulo circunscrito de $3,62 \times 2,42$ m y un rectángulo inscrito $3,50 \times 2,38$ m. El fabricante es quien ha de elegir los sistemas de fijación (1) y de recuperación que permitirán a sus paneles ser aptos para el empleo, en las condiciones de precisión de la obra gruesa, así toleradas.

Tales son los principios que han servido de base para establecer la norma de coordinación dimensional.

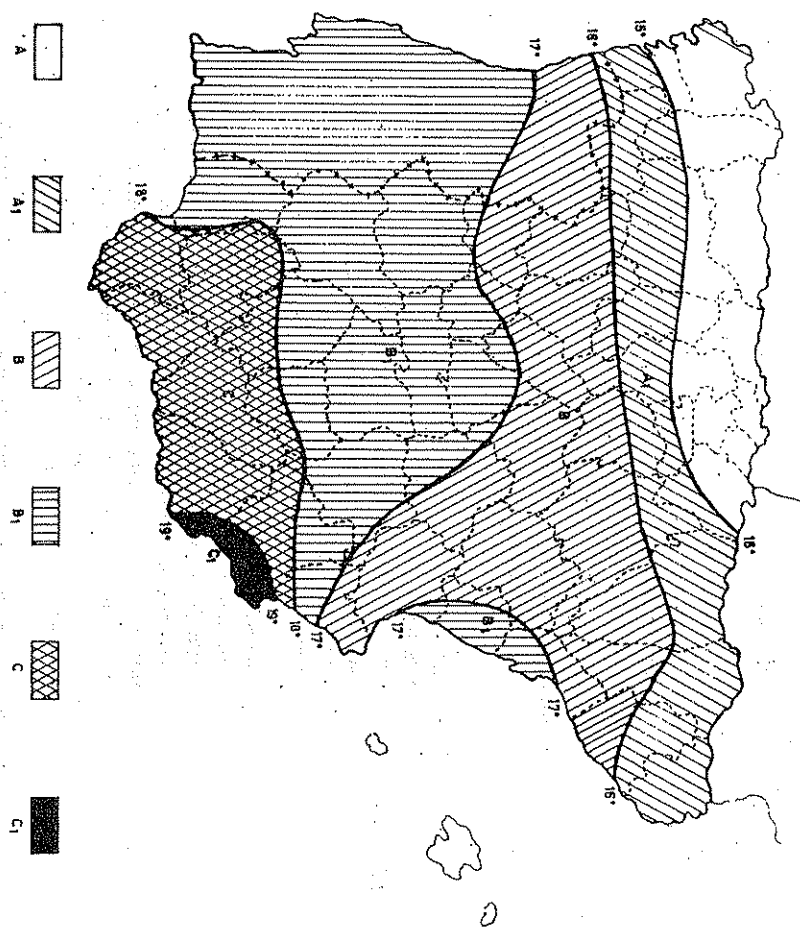
Ahora pretendemos normalizar las disposiciones de acoplamiento de algunos elementos, verbigracia los de fachada.

CONCLUSION

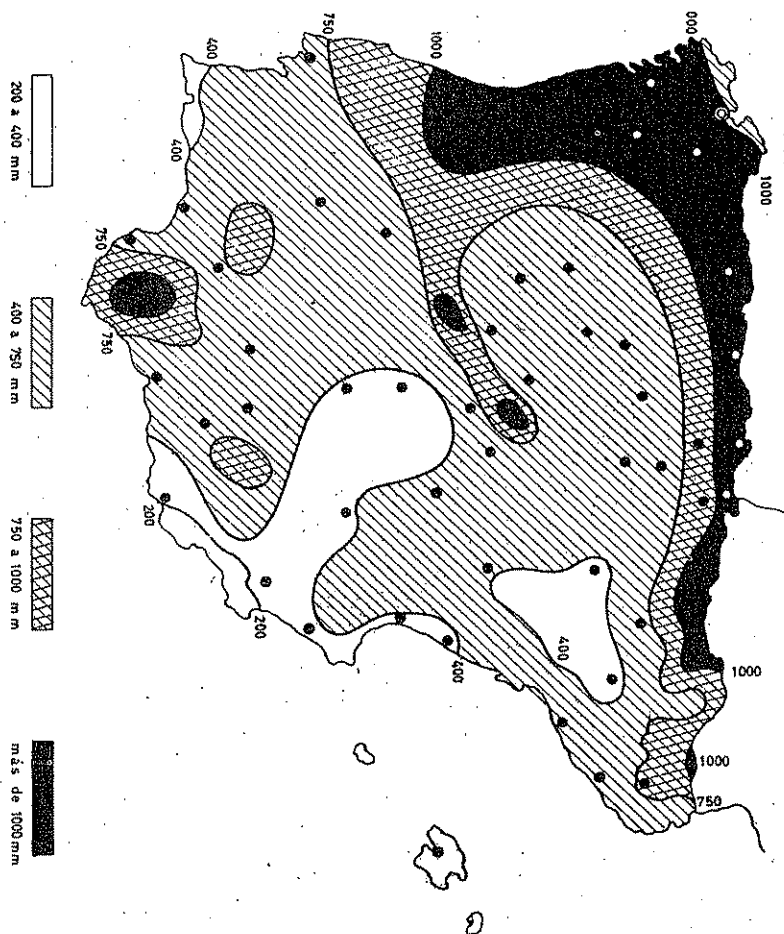
Henos aquí llegados al final de este libro, a través de cuyas páginas hemos intentado poner de manifiesto que, en todo el ancho campo de la edificación, tanto si se trata de habitabilidad como de durabilidad o de economía, cada día la ciencia va arrumbando el empirismo; y, como colofón, hemos aludido a la ayuda práctica que las normas y el documento de idoneidad ofrecen al constructor.

Nuestra finalidad habrá sido lograda, si hemos convencido al lector que puede aprender a razonar sobre la edificación y le hemos alumbrado el deseo de adquirir conocimientos especiales de cada disciplina, por el estudio de tratados más profundos y extensos.

(1) Es posible, sin embargo, que pronto se llegue a tipificar cierto número de sistemas de montaje para los paneles de fachada.

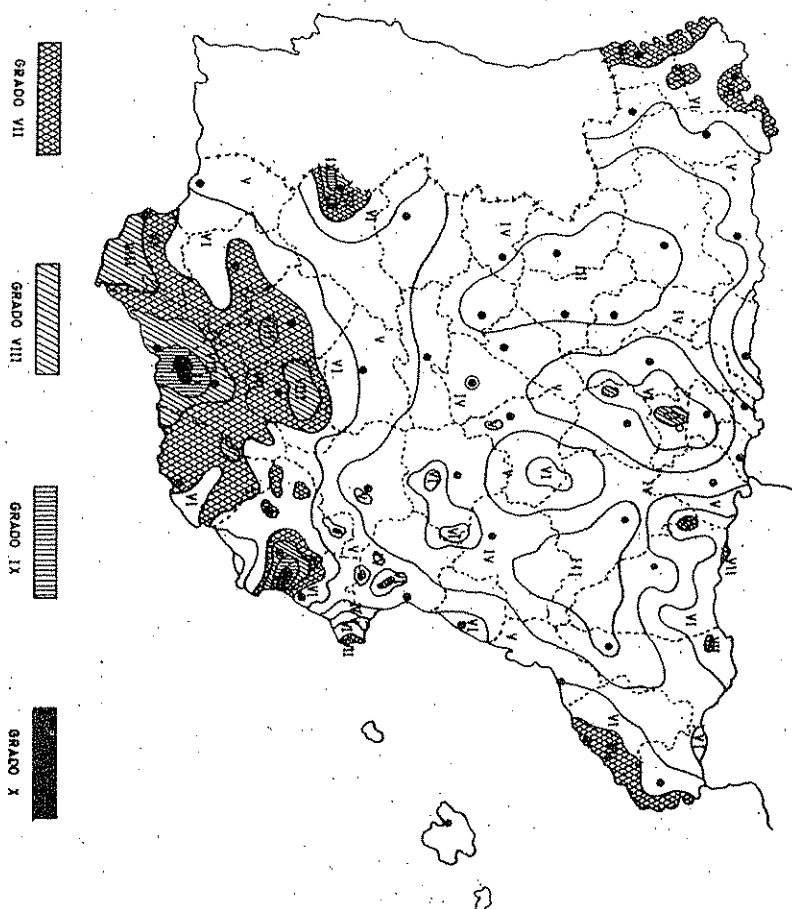


Isotermas medias anuales en la Península Ibérica
Fig. 26.—Zonas climáticas.



Distribución anual de las precipitaciones acuosas en la Península Ibérica

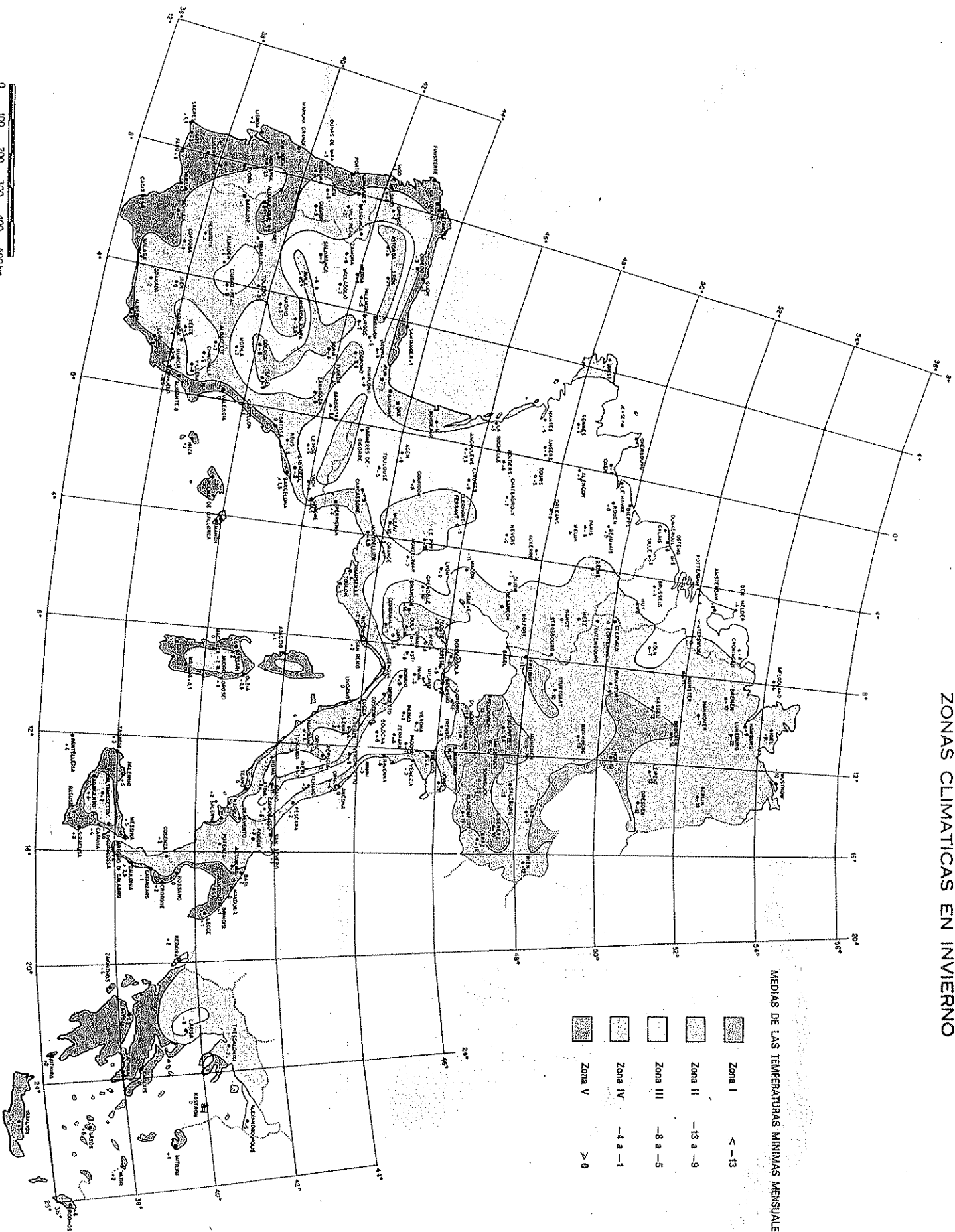
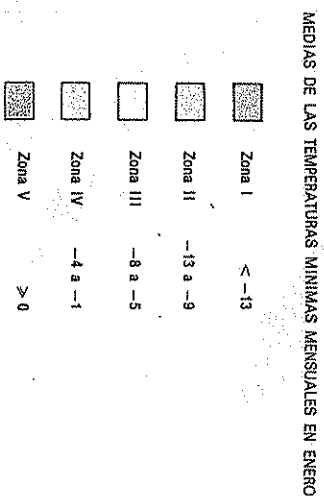
Fig. 27. — Zonas pluviométricas.



Zonas sísmicas de la Península Ibérica

Fig. 28. — Zonas de sismicidad.

ZONAS CLIMATICAS EN INVIERNO

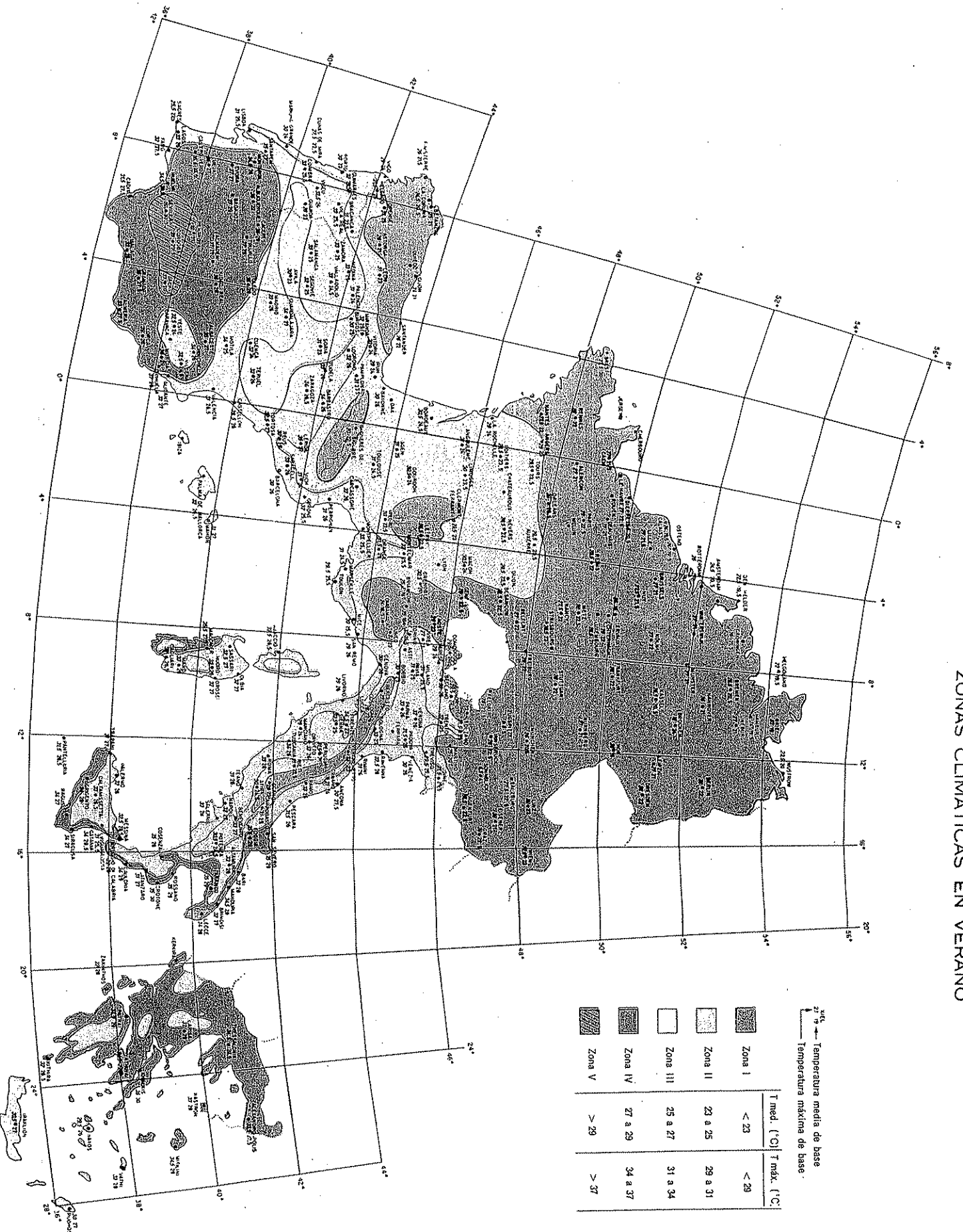


0 100 200 300 400 500 km

ZONAS CLIMATICAS EN VERANO

T_b → Temperatura media de base
 T_m → Temperatura máxima de base

	T med. (°C)	T máx. (°C)
Zona I	< 23	< 29
Zona II	23 a 25	29 a 31
Zona III	25 a 27	31 a 34
Zona IV	27 a 29	34 a 37
Zona V	> 29	> 37



0 100 200 300 400 500 km

