

LA INVESTIGACION Y LA EVOLUCION DE LOS MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.

P. L'HERMITE

DIRECTOR GENERAL DE LA INVESTIGACION
ADJUNTO DE LAS FEDERACIONES NACIONALES
DE EDIFICACION Y OBRAS PUBLICAS (FRANCIA).

SUMARIO

- CARACTERES DE LA INVESTIGACION
- DIFERENTES ETAPAS DE LA INVESTIGACION
- OBJETO DE LA INVESTIGACION
- LOS MATERIALES
- MEDIOS DE LA INVESTIGACION
- EJEMPLOS DE INTERVENCION DE LA INVESTIGACION
- CONCLUSION

EXPOSICION DE M. L'HERMITE.

El tema de esta conferencia es bastante embarazoso. Podría traducirse como un panegírico de la investigación o como un alegato, según que ella se dirija a los convertidos o a los escépticos. Ante un auditorio de ingenieros e investigadores, parece más prudente permanecer objetivo, aun al exceso y mostrar la dificultad que encuentra la investigación en los oficios de la construcción, indicar cómo procede, cómo evoluciona y citar algunos resultados obtenidos.

CARACTERES DE LA INVESTIGACION.

La investigación en la Edificación y en las Obras Públicas presenta, en efecto, un carácter particular que raramente encontramos en otros campos. Desde luego ella es especialmente dispersa. Debe tratar a la vez del suelo, de los metales, del hormigón, de la piedra, de la arcilla cocida, de la madera, pintura, de los plásticos, plomería, techumbres, calefacción, acústica, del confort y de muchas otras cosas más... Debe dirigirse a todas las ciencias: matemáticas, física, mecánica, química, geología y también a la biología y a la medicina. Ella exige hacer la síntesis de todos los conocimientos respecto de la obra misma, síntesis de técnicas y medios económicos. Luego la investigación se orienta

hacia una ejecución muy diversificada. A pesar de las similitudes, las cosas no se repiten, o se repiten muy raramente; en su conjunto cada construcción es un ejemplo particular, un prototipo. Es entonces difícil aportar, como se hace en las industrias en serie —el automóvil o las máquinas-herramientas—, perfeccionamientos para modelos ulteriores tomando en cuenta la experiencia. Aun más, es casi imposible hacer un estudio previo profundo de todos los medios de colocación, estudio cuyo precio no puede ser amortizado más que en una gran cantidad de ejemplares. La investigación en general y sus aspectos económicos en particular, no pueden aplicarse sino a detalles o a síntesis de detalles más evolucionados, ciertamente según el grado de perfeccionamiento de la puesta en obra, pero que no pueden, salvo raras excepciones, alcanzar al conjunto de la obra. Por otra parte, la aplicación de los progresos adquiridos en una investigación particular, arriesga ser, si no se presta atención, desfavorable en otro campo. Es necesario entonces tomar en cuenta las interferencias. Se requiere que la orientación de la investigación comprenda una coordinación que permita prever las incidencias de un progreso particular sobre los elementos a los que está ligado. Es por esto por lo que hay que velar, muy especialmente, en la investigación evolutiva de los materiales.

DIFERENTES ETAPAS DE LA INVESTIGACION.

La asociación de ideas une muy frecuentemente la investigación, al laboratorio. Efectivamente, es en este lugar que disponemos de medios de medida apropiados y se efectúan numerosas investigaciones de carácter experimental. Pero el laboratorio por sí solo no podrá encontrar la inspiración ni llegar hasta el final en sus conclusiones. La colaboración con los constructores es indispensable porque ellos al mismo tiempo de plantear el problema extraen las consecuencias prácticas. En otros términos, la investigación debe salir del laboratorio para alcanzar la fábrica y la obra. Se puede completar por la medida en la obra, por la observación de obras, por el estudio en el lugar de incidentes o accidentes. Son, por otra parte, estas ob-

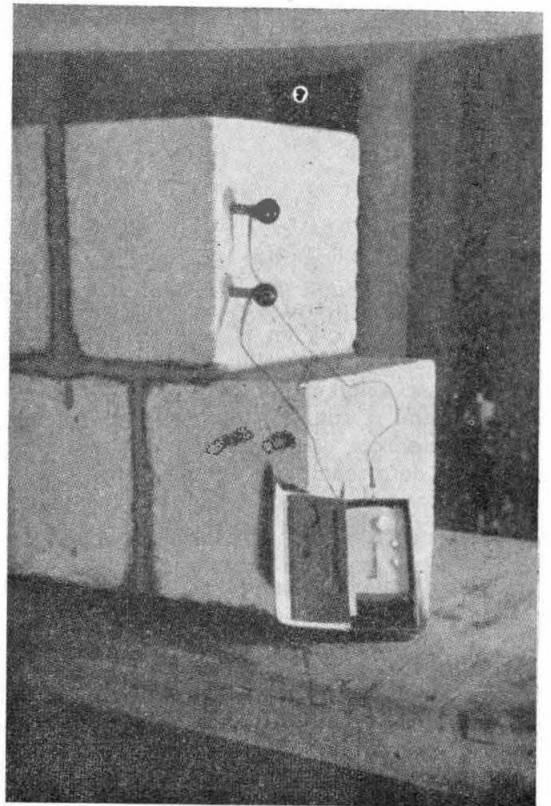
servaciones las que pueden llegar a ser motivos de inspiración para nuevas investigaciones, medios de comparación con los resultados ya adquiridos, objetos de confrontación con las técnicas en evolución.

Las investigaciones pueden proseguirse además bajo la forma de colocaciones semi industriales en las cuales los investigadores están asociados a los ingenieros y a los profesionales. Digamos aun que la construcción es una investigación en sí, búsqueda de formas, de medios de ejecución, de materiales, tratamientos, etc... Y este género de estudio no es el patrimonio de los laboratorios porque ella parte de datos que esos organismos no conocen, datos no solamente técnicos sino económicos, artísticos y psicológicos. Pero el laboratorio llega a ser un auxiliar útil para todo lo que concierne a la medida, a la constatación de los hechos materiales.

EN EL ESTADIO DE PROYECTO.

Examinemos ahora cómo procede la investigación y consideremos en primer lugar lo que es provocado por la realización de la obra misma. Comienza en la fase de proyecto por el examen de datos y en particular por los que son propios al sitio: estudio del suelo, es decir geología y geotécnica, clima, viento. ¿Cuántos errores habrían podido ser evitados si no hubiéramos considerado esas premisas con ligereza? (¡podríamos citar algunos célebres!). Luego viene el estudio de las formas y las funciones. El ingeniero encuentra ahí un pretexto para hacer trabajar su imaginación porque puede tratarse de una concepción tradicional o de vanguardia. Pero ahí todavía la economía sigue teniendo de hecho la primera importancia, tanto por la colocación como por el material utilizado. Los métodos de previsión y de cálculo deben ser controlados y apoyados sobre bases teóricas y experimentales. Para las obras osadas, para la verificación de concepciones nuevas, se justifica la realización de modelos ya sea para el conjunto o para los detalles.

Viene en seguida la búsqueda de los materiales mejor adaptados, materiales naturales o manufacturados. Esto comporta una elección que se refiere a ensayos y a



MEDICION DEL CONTENIDO DE AGUA DE LAS PIEDRAS POR DETERMINACION DE LA RESISTENCIA ELECTRICA (CEBTP).

un control de calidad. Se completa por la investigación de los medios y procedimientos de ejecución y de montaje. Si hay prefabricación, hay lugar a estudiar con cuidado, considerar el tratamiento de los elementos, su terminación más o menos cuidada, luego el transporte, el montaje y el ensamblado. Entonces se plantean una gran cantidad de cuestiones que reclaman a la vez a la empresa y al laboratorio. Ciertos empresarios prefieren operar solos para no tener que compartir sus secretos; otros recurren a los laboratorios de una manera usual, sea como manera de verificación, sea bajo la forma de una colaboración más estrecha. Resulta una especie de cripto-investigación cuyos resultados no son forzadamente publicados, pero cuyo beneficio es cierto.

DURANTE Y DESPUES DE LA EJECUCION

La observación de la obra es el complemento directo de lo que precede. Ella tiene no solamente a verificar la realidad de las previsiones sino también a constatar las reacciones mutuas de las diferentes partes estudiadas separadamente. Permite detectar los errores y sacar provecho de

ello para trabajos ulteriores. Constituye la experiencia en el sentido amplio, esencial para la evolución y el progreso. Esta observación puede ser un simple examen visual o una constatación práctica, pero hay siempre ventaja al traducirla a medida (deformaciones, temperaturas, etc.). Es entonces cuando deben intervenir los laboratorios cuya especialidad es esta.

La observación en obra concierne algunas veces a accidentes o incidentes acontecidos a corto o largo plazo. Esta es la patología de la construcción. Cuando los incidentes provocan conflictos poniendo en discusión la responsabilidad, hay que hacer un peritaje. ¿Pero cuántos de ellos son, en sus conclusiones, simplemente técnicas entregadas al fondo común del conocimiento? Poquísimos, seguramente. La mayoría permanecen confidenciales bajo el pretexto de secreto profesional, con el fin de no perturbar a una de las partes. ¿No habría medio de establecer una especie de jurisprudencia, anónima en rigor, que sirviera de lección a todos los que construyen? Porque el caso se repite para la mayoría, así como las causas. Esta idea ya ha sido lanzada y ha recibido un comienzo de ejecución por los organismos de control tales como, Sécouritas. Sería deseable ver a los expertos aportar su colaboración. Sería mejor todavía que los constructores acepten señalar sus equivocaciones hacia las instituciones de investigación en lugar de disimularlas como enfermedades vergonzosas y usar paliativos. Todo el mundo en-

contraría ventajas, los profesionales acrecentando su experiencia y los investigadores adquiriendo los datos prácticos.

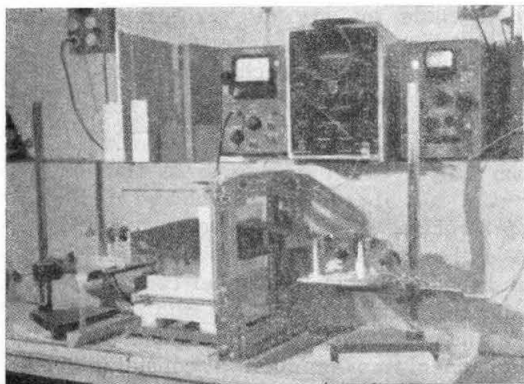
ESTUDIO DE LOS MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS NUEVOS.

La industria propone constantemente materiales y procedimientos nuevos. Por cierto el buen sentido de los constructores permite eliminar las apariencias engañosas. Pero frecuentemente no es suficiente un juicio rápido. Tal producto, cuya concepción es aparentemente sana y lógica, puede tener inconvenientes inesperados y conducir a molestias insospechadas. Observemos la evolución de la construcción desde hace 20 años. ¿Cuántos procedimientos nuevos y pretendidamente eficaces han caído después de haber usufructuado de un prestigio pasajero! Esos fracasos han provocado una reacción que no está siempre justificada porque ellos dependían más frecuentemente de un error de realización que de una concepción errónea. Es finalmente el cliente quien hace las veces de laboratorio y que ha pagado los gastos, pero si la investigación previa hubiera sido suficientemente extendida, la cantidad de esos fracasos habría sido bastante menor. El papel de los investigadores de laboratorio está entonces indicado no solamente para hacer pruebas de resistencia y de duración, sino también para entrar en los detalles de fabricación y de colocación en una escala semi industrial. Parece que se entra ahora en este camino, pero muy tímidamente todavía, en lo que se puede ver.

OBJETO DE LA INVESTIGACION.

INVESTIGACION DE ACTUALIDAD.
INVESTIGACION FUNDAMENTAL.

Si consideramos el objeto de la investigación podemos distinguir la investigación de actualidad y la fundamental. La primera resume lo que se acaba de decir, es la basada en lo que se plantea al constructor día a día: perfeccionamiento de procedimientos, análisis de los fenómenos observados, estudios más profundos de fenómenos conocidos con vista a aplicaciones



MEDIDA DEL CONTENIDO DE AGUA POR ABSORCIÓN DE ONDAS HERTZIANAS. (C.E.B.T.P.).

inmediatas. Pero es todavía necesario que el constructor sepa plantear su problema al investigador. Este último debe entonces afinar el tema y darle una forma satisfactoria en la que se hagan visibles los fenómenos que deberá abordar. El constructor debe, en consecuencia, abrirse al investigador para facilitar su información sin influenciarla con su visión personal. La investigación fundamental es un término habitualmente utilizado por oposición, pero difícil de definir. Podemos decir aproximadamente que ella se compone de estudios de carácter general, no tecnológicos, recurriendo a ciencias teóricas como la mecánica, física y química. Tiende a elevar los fenómenos observados a las leyes de la ciencia llamada clásica que, por su universalidad, se unen a los principios reconocidos y por esto se separa del empirismo propio a los estudios de carácter limitado. Se puede decir además que la investigación fundamental no se fija un objeto ni una aplicación especialmente definida. Constituye la exploración en caminos desconocidos. Desea descubrir pero no sabe, por otra parte, lo que va a encontrar sino por la intuición que es un don innato en ciertos investigadores.

INVESTIGACION CON UNA FINALIDAD.

Sin querernos atar a una definición que permanece un poco sentimental, esto nos lleva a hablar de la investigación con un fin en oposición a la que se da objetivos relativamente inmediatos.

En una industria de fabricación, es una búsqueda que puede ser estimada a corto plazo en cinco a diez años, la que llega a un resultado a medio plazo en diez a treinta años y a largo plazo en treinta a cincuenta años.

Se habla aun de investigación a muy largo plazo más allá de cincuenta años lo que los americanos llaman "blue sky research", es decir, "en el cielo azul", (diríamos tal vez en francés: "dans la lune"). De todas maneras aunque dejando el campo libre a la imaginación la investigación abierta debe, a medida que se extienda, estar asociada a un estudio económico, sociológico y en rigor político.

Se dice que la investigación abierta conduce, a "provocar el impasse". Debe contar con las incertidumbres y no puede esperar una estimación operacional precisa. Pero no intentar la investigación sin límite, es una negación al espíritu de empresa, una condena a la profesión. Se puede plantear la cuestión de esta manera: qué llegará a ser la construcción de aquí a veinte años, en treinta, e intentar una detección de las raíces actuales en un cierto progreso, progreso que será tanto más rápido cuanto más rápidas se descubran las raíces. Es necesario también explorar las técnicas vecinas, estudiar la evolución de los productos nuevos, aun si aparentemente se crea que no pueden ser utilizados en la profesión, informarse sobre los procesos de preparación, sobre las tentativas, estar en suma, al corriente del movimiento de las ideas. La construcción y las Obras Públicas no pueden vivir en una torre de cristal, deben seguir al movimiento general y por eso conocerlo.

LOS MATERIALES. PIEDRA. MADERA.

Los primeros materiales utilizados para la construcción han sido los materiales sólidos naturales: la piedra, la madera, se han mantenido tradicionales y el conocimiento de sus propiedades se ha mejorado sin cesar de manera empírica, primero por el uso, por la experiencia adquirida y luego gracias a las experiencias, es decir a las medidas.

No hace mucho tiempo que sabemos reconocer la resistencia a la compresión de una piedra y extraer de ello el dimensionamiento de un elemento de construcción. Muy recientemente hemos podido, gracias a los métodos de ensayos no destructivos prever esta resistencia no solamente en la obra sino en la cantera. Se comienza solamente a analizar el mecanismo de la resistencia al frío intenso (heladas) y el proceso de deterioro accidental de las piedras por la atmósfera que se ha llamado, a falta de un nombre mejor, la "enfermedad de la piedra". Hay muchas posibilidades para que muy pronto se sepa sanar esta enfermedad. La madera es un material usual cuyas propiedades mecánicas son excepcionales tenida en cuenta su liviandad. Se

presenta en numerosas variedades y tratamientos adecuados permiten hacerla inatacable por los insectos y por los agentes fungicidas, sus más grandes enemigos. Se puede mejorar sus propiedades por impregnación, se hacen maderas aglomeradas, calcinadas, amoladas.

METALES.

Rápidamente, llegamos a los materiales elaborados, de los cuales los más corrientes para nosotros son: los metales y los aglomerantes hidráulicos. La construcción es una gran consumidora de metal de toda naturaleza: plomo, cobre, latón, zinc, etc... Pero la mayor parte corresponde al acero para estructuras, el hormigón armado, la carpintería y las máquinas. El mejor conocimiento de sus cualidades ha permitido hacer crecer regularmente las tasas de trabajo, lo que conduce a una economía de materia. Los aceros de hormigón pretensados particularmente estudiados pueden ser sometidos a compresiones muy elevadas con un mínimum de relajación o de fluencia. La penetración de los aceros inoxidables en el mercado, por muy tímida que sea, no es menos progresiva y segura. Su precio es todavía poco competitivo para que puedan competir seriamente con el acero ordinario, por lo menos en la armadura. En los Estados Unidos se han hecho tentativas de utilización para la estructura que han mostrado una perspectiva interesante debido en particular a gastos de protección y de mantenimiento reducidos. Un ejemplo muy reciente es la construcción del aeropuerto de Orly donde ha sido empleada una cantidad importante de acero inoxidable en los revestimientos y en cerrajería.

El aluminio y sus aleaciones son igualmente materiales de los cuales se habla. Utilizados ya para la protección, la cubierta, lo son muy poco en las estructuras. Es todavía un problema de precio y, hay que decirlo, también falta la experiencia. En Estados Unidos y en Canadá, se han construido obras de arte en aleaciones livianas y no se ha oído decir que hayan dado lugar a errores. Además se han continuado las investigaciones un poco en todas par-

tes y se puede considerar como probable que esta clase de metales no tardará en entrar en competencia con el acero a pesar de las reservas que actualmente tienen los constructores a su respecto.

AGLOMERANTES HIDRAULICOS Y HORMIGONES.

Los aglomerantes hidráulicos y los hormigones son un excelente ejemplo entre los materiales elaborados. No es este el lugar de hacer la historia del cemento. Sabemos que la investigación de este material está en pañales. Su evolución ha sido rápida y espectacular, hoy día disponemos de cementos excelentes y diversos, previstos para aplicaciones múltiples: resistencia a tal o cual clase de corrosión, altas cualidades mecánicas, etc... Por supuesto podemos hacerle algunas críticas; nada es perfecto. Su principal defecto es la contracción que parece serle inherente ¡ay! a la formación de su estructura hidratada. ¿Hay que pensar que un día se podrá fabricar un cemento que endurezca normalmente sin contracción o con una contracción reducida? Nada permite suponerlo por el momento. Se han hecho estudios muy profundos a propósito de esta propiedad desventurada y comenzamos a conocer en detalle sus modalidades exteriores sin que su mecanismo interno, sin embargo, sea completamente esclarecido. Pero conocer al enemigo es saber como combatirlo.

El hormigón y el mortero, combinaciones de gránulos de piedra con el cemento, son materiales elaborados de la más grande importancia. La técnica de composición, de fabricación y de colocación del hormigón ha experimentado progresos que pueden ser calificados de acelerados. Basta decir que hace 30 años las demostraciones del Estado no admitían que las tasas de trabajo en compresión bajo las cargas de servicio fuera superior a 45 kg/cm², hoy día el último reglamento de cálculo (reglas B. A. 1960) permite en ciertas condiciones sobrepasar 100 kg/cm². Esto proviene no solamente de un mejoramiento en la calidad de los aglomerantes, sino también de un perfeccionamiento en el modo de composición, la investigación de la mejor

granulometría. Incluso puede decirse que en nuestros días no se fabrica más "el hormigón especial" destinado a cada uso, como se hace en acero especial. La compactación por vibración, aireación, se han hecho usuales; el llenado de un esqueleto de agregados por inyección de mortero facilita el hormigonado bajo agua. Todo esto ha sido objeto de numerosas y exhaustivas investigaciones.

El estudio de las propiedades del hormigón endurecido o durante el proceso de endurecimiento ha avanzado mucho. Ahora se conoce bastante bien su proceso de deformación en su fase rápida o lenta, que se denomina fluencia. Se sabe cuales son las influencias del ambiente sobre el endurecimiento y la deformación; se puede prever su dilatación térmica, su contracción higrométrica, etc... Ahora el hormigón es una materia cuyas características físicas y mecánicas están suficientemente determinadas en función de su naturaleza para que se pueda, con bastante precisión, hacerlas entrar en los cálculos. ¿Cómo evoluciona esta cuestión en el momento actual? Se puede decir que se ha producido un vuelco gracias a la intervención de materias de adición llamadas "aditivos". Estas son materias extrañas al cemento y al agregado que, adicionadas las cantidades pequeñas o muy pequeñas, modifican de manera apreciable las propiedades de la colocación o las cualidades definitivas. Estas materias son numerosas: pueden ser minerales tales como las cenizas puzolámicas de centros extremadamente divididos que mejoran la resistencia química, los antihielos (antigels) y aceleradores de fragua tales como el cloruro de calcio. Más a menudo ellas son orgánicas, se encuentran humectantes y antiprecipitantes que hacen al hormigón más fluido sin cambiar su dosificación de agua y facilitan su colocación; además se encuentran retardadores de fragua que pueden determinar un comienzo de fragua a plazo sin cambiar el endurecimiento; se encuentran también espumantes (moussants) que reparten en la masa frías burbujas de aire, que tienen por efecto provocar propiedades thixotrópicas que facilitan el transporte y la colocación dando finalmente cualidades de resistencia al

hielo (heladas) y a la corrosión. Estos espumantes utilizados en más gran cantidad permiten además realizar hormigones livianos de propiedades aislantes interesantes. Un aditivo que todavía es objeto de investigaciones lo constituye una emulsión en agua de ciertas materias plásticas. Hace aparecer sobre el hormigón endurecido un alargamiento de ruptura muy aumentado que retarda muy seriamente la producción de fisuras bajo carga; por lo demás un hormigón constituido de esta manera llega a ser mucho más impermeable y resistente al desgaste.

El tratamiento del hormigón con calor húmedo, su cocción podría decirse, es de una aplicación relativamente reciente. Para un aglomerante apropiado, el mantenimiento a 80° bajo vapor saturado durante algunas horas acelera el endurecimiento y permite un descofrado y transporte inmediatos. Pero un tratamiento bajo presión de vapor en autoclaves a 200° conduce muy rápidamente a resistencias que pueden ser dobles de la resistencia normal si se tiene el cuidado de agregar una débil proporción de sílice pulverizada. Además, tales productos se estabilizan no manifestando más contracción. Observemos el interés de este producto en la prefabricación. Citemos todavía a título de tentativas, el tratamiento al gas carbónico que tiene por objeto la estabilización relativa de la contracción y la fluencia (ocontraction) el tratamiento al fluor destinado a hacer crecer las resistencias químicas y mecánicas.

MATERIALES SINTETICOS.

Los materiales sintéticos son una adquisición muy moderna de la técnica. Se designa a la mayoría de estos materiales bajo el nombre de materias plásticas. Se les encuentran a cada instante, han entrado en los hábitos desde la camisa de nylon hasta el saco de mano y el tablero de señales del automóvil. Pero los hombres de la construcción, prudentes en exceso, no los han adoptado sin reticencias. Al comienzo los vemos sólo a título decorativo pues ellos pueden tomarse bajo forma de paneles o de objetos moldeados de colores agradables, después fueran revestimientos

para muebles de cocina, paredes interiores, sanitarios. Rápido se le asocia a la carpintería pero la pintura fué su más grande éxito. Se puede decir que hoy día una gran parte de las pinturas utilizadas son a base de plásticos. Su cualidad de resistencia química es innegable y les ha abierto numerosas aplicaciones. Las que llamamos termoplásticas se vuelven maleables y se soldan con calor, rápidamente se las ha empleado para las tuberías de desagüe donde tienden más y más a reemplazar al metal. Algunas de estas materias son transparentes o translúcidas, éstas han encontrado su aplicación en la techumbre. Su resistencia al desgaste y a los ataques, su impermeabilidad hace que sean empleadas en revestimientos de pisos donde sus aplicaciones son cada vez más numerosas. Son utilizadas en forma de baldosas, de bandas pegadas constituidas por la materia en bruto o de preferencia armadas en fibras naturales o sintéticas. Las investigaciones hechas a este respecto han permitido solucionar productos que ya dan entera satisfacción. Además los plásticos pueden ser utilizados en encofrados donde dan superficies muy bellas de desmoldar. Pero hay que reconocer que este género de productos sintéticos, si tiene cualidades innegables, posee todavía algunos defectos que atañen especialmente a sus propiedades físicas y mecánicas. Es por esto que no se les utiliza todavía en las partes resistentes de las obras. En efecto, el coeficiente de dilatación térmica es muy elevado, lo que provoca, a raíz de la fijación rígida, deformaciones y tensiones internas enojosas. Además, los productos resistentes son frágiles, poco resistentes, soportan mal el choque y los productos no frágiles son poco resistentes, muy deformables, sobre todo bajo la acción de la temperatura. Difícilmente se puede hacer de ellas elementos soportantes, por el contrario, deben ser soportados. Actualmente esto limita sus aplicaciones en la obra gruesa donde no pueden constituir más que relleno. Sin embargo, el mejoramiento constante de la calidad de presentación en el exterior, su facilidad de unión (de pegado) sobre un soporte los predisponen a ser utilizados en paneles de fachada ensamblados a una estructura (metálica por

ejemplo). En general estos paneles son realizados bajo forma de sandwich; una capa exterior decorativa pegada o nó sobre un soporte metálico o de fibrocemento, una capa aislante (plástico expandido, de nido de abejas o de fibra de vidrio), una capa interior análoga o nó a la capa exterior. Esta es alguna especie de asociación de materiales, procedimiento sobre el cual volveremos más adelante.

La utilización de materias sintéticas bajo forma de aislantes térmicos o acústicos ha llegado a ser frecuente. Se trata de estructuras alveolares de vacíos abiertos o cerrados. Hasta el presente estos materiales son producidos en placas o en prismas. Actualmente se hacen investigaciones para encontrar la posibilidad de verter la espuma de plástico en el lugar, como el hormigón, efectuándose su endurecimiento de análoga manera. Entonces vemos claramente la realización de tableros entre muros, formando a la vez encofrado y revestimiento.

Una familia de materias sintéticas bastante reciente está constituida por las siliconas. Estos productos tienen una resistencia química y térmica elevada. Además son hidrófugos. Se ha pensado utilizarlas como revestimientos delgados y alveolares sobre materiales porosos tales como el hormigón. Su poder anti-humedad debe entonces oponerse a la penetración del agua líquida, a condición que los poros se mantengan pequeños permitiendo que el paso del vapor por estos poros sea libre. El material protegido debe poder dejar que el agua interna se evapore mientras que el agua externa no debe poder penetrar bajo forma líquida. En principio las investigaciones realizadas a este respecto han sido satisfactorias. Sin embargo, subsiste un defecto, que es la falta de adherencia entre el revestimiento de silicona y el soporte, en efecto no humedece tampoco al sólido, se adhiere mal y desaparece progresivamente (en algunos años). Pero parece que muy pronto será posible paliar este inconveniente. Se podrá entonces proteger eficazmente a la piedra y al hormigón contra los efectos de la humedad.

ASOCIACIONES DE MATERIALES.

Las asociaciones de materiales han sido citadas en varias oportunidades; cada una de ellas agrega su cualidad a la de los otros para formar un conjunto polivalente. Algunas asociaciones de materiales son célebres: el hormigón armado es una. El hormigón pretensado es una asociación más avanzada todavía, pues las cualidades del acero y las del hormigón no son simplemente aditivas, sino multiplicativas; poner en pretensión al acero multiplica la resistencia del hormigón en tracción. Es más que una asociación, es una simbiosis.

Estos dos ejemplos no son los únicos: los tabiques multicapas son otro de ellos, y parece que la construcción debe evolucionar en este sentido. En otras palabras, la yuxtaposición de materiales considerados al comienzo como teniendo funciones independientes debe dar lugar a combinaciones donde la presencia de una materia aumenta las posibilidades de otra conservando su propia función.

CONEXION Y UNION DE ELEMENTOS.

Otro problema importante de la construcción es la conexión o la unión. Siendo algunos elementos elaborados unos de otros, se trata de hacerlos solidarios. La soldadura es un procedimiento de unión. ¿Pero, es necesario además definir las funciones de esta unión?, ¿debe ser rígida, flexible, permanente, inmóvil? En los muro-cortinas (mur rideau) por ejemplo, la envoltura colocada sobre la estructura debe adherirse a ella pero también debe poseer algunos grados de libertad. Su funcionamiento mecánico es diferente, sufre dilataciones térmicas, etc... Es necesario entonces que las uniones sean a la vez flexibles y resistentes mientras que la impermeabilidad de la cortina al aire, al agua y al calor debe ser perfecta.

La cuestión no tiene una respuesta simple, la prueba de ello se encuentra en la diversidad de las soluciones propuestas. Además este es un bello objetivo de investigaciones.

Un cierto número de uniones ha sido resuelto por el pegado. La industria de las materias plásticas propone una amplia variedad de adhesivos.

Estas moléculas largas orgánicas que presentan valencias libres capaces de producir una polimerización o una conexión sobre las materias sólidas vecinas. El pegado de madera ha permitido realizar los armazones laminares que conocemos. Sabemos adherir la piedra al hormigón, el hormigón a sí mismo con ayuda de adhesivos compuestos en parte de cementos y en parte de emulsiones sintéticas. Al desgajamiento, se constata que no es el adhesivo el que cede sino el hormigón que está a su lado. Se han realizado morteros de colocación de albañilería que han llegado a ser verdaderos adhesivos agregándoles una débil proporción de plástico. Las uniones han llegado a ser impermeables y perfectamente adherentes. Sabemos unir el fierro y la madera al cemento; muy pronto las baldosas de porcelana (mayólica) o de cerámica serán adheridas al suelo o sobre los muros. El pegado es pues una solución de junta (ensambladura) muy cómoda y hay lugar a sorprenderse de no verla utilizada más a menudo. Las investigaciones han mostrado su eficacia y su buena presentación; queda al constructor el "pensar en adhesión".

La unión en seco es un procedimiento nuevo. Consiste en pegar sobre las dos piezas a unir películas velludas plásticas cuyos filamentos están constituidos por ganchos e hilos. Estos dos terciopelos puestos en contacto tienen una adherencia tangencial de varios kg/cm²; la separación se puede hacer a voluntad por desprendimiento normal. Por cierto se pueden encontrar numerosas aplicaciones a este sistema.

MEDIOS DE INVESTIGACION.

Después de esta enumeración que no es limitativa, es conveniente decir algunas palabras sobre los medios de la investigación. Primero están los medios del Estado; Universidad, Centro Nacional de In-

vestigación Científica; Laboratorios de los Ministerios Técnicos, Laboratorio Central de Puentes y Calzadas; Centro Científico y Técnico de la Construcción, Conservatorio Nacional de Artes y Oficios, Instituto Nacional de la Madera. En el terreno privado se puede citar el Centro de Estudios y de Investigaciones de la Industria de Morteros Hidráulicos, la Sociedad de Investigación de la Siderurgia, la Sociedad Profesional de Productos franceses de Terracota. Al lado de las Federaciones Nacionales de la Construcción y de las Obras Públicas, bajo la cubierta de una Unión Técnica Interfederal, se han agrupado un cierto número de organismos profesionales, entre ellos el Comité Científico y Técnico de la Industria de la Calefacción, la Oficina Securitas, el Instituto Técnico de la Construcción y Obras Públicas, los Laboratorios de la Construcción y Obras Públicas, Instituto de Investigación Aplicada al Hormigón Armado, Instituto de Investigación aplicada a la Madera, Instituto de Investigación Aplicada a la Construcción Metálica. Paralelamente, los diversos cuerpos de Estado de la Edificación y Obras Públicas han sido invitados a constituir Comisiones Técnicas Profesionales; éstas, formadas de empresarios y de técnicos, están encargados de establecer la lista de necesidades de las empresas en materia de investigación. Un Consejo Superior de la Investigación compuesto de Delegados de las diversas comisiones técnicas hace en seguida la síntesis de los trabajos de dichas comisiones para sacar de ello conclusiones sobre la orientación de la investigación. Estas conclusiones se traducen en programas y la ejecución es confiada a una Dirección General de la Investigación por intermedio de la Unión Técnica Interfederal. Esta dirección general establece y distribuye las tareas a los diversos Laboratorios y Centros de Investigación y coordina la actividad.

He aquí bosquejada rápidamente la organización actual de la investigación profesional. Ella está establecida sobre sólidas bases proporcionadas por instituciones antiguas y sobre una profesión que sabe donde quiere llegar. Su importancia ha hecho de ella, en el terreno privado, uno

de los principales centros de investigación del mundo.

EJEMPLOS DE INTERVENCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

OBRA GRUESA. SUELO.

Puede ser interesante ahora dar algunos ejemplos de la intervención de la investigación en la construcción propiamente dicha y puesto que es necesario fijar un orden en semejante enumeración, comencemos por el suelo. Aquellos que han tenido que examinar, los que han reparado en inmuebles y monumentos antiguos saben que la fundación era tratada de manera un poco rápida. Era usual asentarse sobre el suelo sin ocuparse demasiado de la reacción que éste podía tener sobre la construcción ulteriormente. De ello resultaron tantos errores como para que se produjera inquietud sobre lo que más tarde se ha llamado mecánica del suelo, tanto más cuanto que la concentración de construcciones urbanas ha comenzado a construirse sobre terrenos que, por tradición, eran considerados "malos suelos". La mecánica del suelo ha comenzado a hacerse de adeptos en Francia hace unos treinta años. Ahora los especialistas constituyen una legión y puede decirse que ninguna construcción se emprende hoy día sin que previamente se haga un estudio de fundaciones. Pero esto supone largas y difíciles investigaciones, pues se sabe que el suelo es una materia mal definida, heterogénea, compuesta a menudo de margas y arcillas que cambian de propiedades de acuerdo a la cantidad de agua que contienen y que esta agua es puesta en movimiento por cargas soportadas. Un progreso tal en el conocimiento de las propiedades va a la par con el mejoramiento de los medios de cateo. Corrientemente se utiliza el ensayo de penetración que consiste en hacer penetrar una larga pértiga y en medir las reacciones laterales y longitudinales. La auscultación geotécnica por resistencia eléctrica, por propagación de vibraciones, por utilización de isótopos radioactivos conduce a procedimientos llenos de porvenir.

VIENTO.

A propósito del sitio, se puede hablar de la acción del viento. ¿Qué cosa más mal definida que el efecto mecánico del viento sobre una construcción? Los ensayos sobre obras han mostrado que el viento actúa por ráfagas y que la acción de éstas no es simultánea sobre el conjunto. De ello puede resultar una disminución de la presión media la cual es posible tener en cuenta según el tamaño de la obra y la solidaridad de los elementos que la componen. Vemos que esto puede permitir realizar economías en la contravención de ciertas construcciones.

CALCULO DE ESTRUCTURAS.

En las investigaciones sobre las estructuras la parte teórica juega un gran rol. Hoy día se sabe calcular las construcciones mucho mejor que hace veinte años. La teoría de la elasticidad ha hecho progresos muy claros, comienza a ser utilizada la teoría de la plasticidad, el cálculo a la ruptura ha llegado a ser de uso corriente, las teorías de rotura y de la estabilidad están en pleno progreso, la termoelasticidad que se ha desarrollado ampliamente en aviación encuentra aplicaciones en nuestros dominios. Agregamos a esto que los cálculos demasiado complicados y demasiado largos para ser efectuados manualmente, cálculos que hace poco nadie había soñado emprender, se han hecho posibles hoy día por las máquinas electrónicas aritméticas y analógicas. El constructor posee entonces, para establecer sus proyectos, medios poderosos que deben permitirle nuevas audacias, uniendo la liviandad a la economía.

MEDIDAS DE DEFORMACIONES Y COMPRESIONES.

La medida de deformaciones y compresiones ha tomado un impulso unido al progreso de la electrónica. Se puede hoy día medir y registrar las deformaciones y

desplazamientos con una precisión más allá de las necesidades. Es fácil verificar el comportamiento de las obras mismas, seguir su evolución y aportar las correcciones necesarias a las hipótesis de cálculo. Se puede, por ensayos no destructivos: propagación de las vibraciones, utilización de los rayos gamma y de neutrones, verificar la cualidad de los materiales en el lugar y de esta manera acrecentar la seguridad.

TERMINACIONES. CALEFACCION.

A propósito de las terminaciones, se puede hablar, en primer lugar, de la calefacción y para comenzar de las pérdidas caloríficas que se traducen en la incomodidad y el gasto de combustible. La medida del coeficiente de pérdida calórica de los muros es difícil. Ella justifica el acoplamiento complicado. La colocación de tabiques aislantes, ya sean ellos homogéneos, en hojas, pesadas o livianas ha determinado la realización de una cantidad considerable de ensayos. Hoy día sacamos provecho de ello. Se han hecho numerosas investigaciones de calefacción por cielos y pisos. La determinación de la temperatura resultante del confort, de la temperatura superficial límite del piso han sido objeto de ensayos, tanto sobre personas como sobre aparatos que simulan las reacciones humanas. Partes de la habitación o ciertos tabiques son enfriados y ventilados a voluntad, han sido realizados para estudiar el rendimiento de los radiadores según su tipo y ubicación. Se han hecho estudios para medir la influencia de la impermeabilización de los vanos sobre la calefacción y la renovación del aire.

ACUSTICA.

En acústica, se mide corrientemente la permeabilidad al sonido de los tabiques, de los pisos, de las puertas. Se ha estudiado la propagación de las vibraciones sonoras en las tuberías, la transmisión de los ruidos de impacto a través de los pisos.

CONCLUSIONES.

Aunque hay otros casos que han sido objeto de investigaciones exhaustivas sería monótono enumerarlos. Lo que puede decirse es que el constructor posee hoy día una cantidad de datos experimentales y numerosos medios de obtenerlos. Los investigadores han hecho un trabajo considerable y continúan trabajando.

Sin embargo, a menudo oímos decir que la construcción está estagnada, recibimos críticas sobre la falta de evolución de las técnicas; de ahí a decir que la investigación es insuficiente, no hay más que un matiz y no obstante la nuestra es una profesión que ha admitido la importancia de la investigación desde hace mucho tiem-

po. Nuestros Institutos y Laboratorios figuran entre los precursores en esta especie. Pero en nuestro oficio la evolución no puede ser espectacular; no puede tener la apariencia de una revolución pues es lenta y no se puede llevar a la vez más que sobre una parte muy pequeña del capital inmobiliario. La evolución debe ser muy prudente pues se construye para que dure y dure largo tiempo; la responsabilidad de los constructores es muy grande. Espero haber convencido a los que me han escuchado que la investigación es, en la Edificación y las Obras Públicas, un muy gran negocio que ya ha hecho sus pruebas. Ciertamente nos conducirá a un progreso gracias a la colaboración de los investigadores y constructores, los cuales son a menudo investigadores que se ignoran.