

el control de calidad en las obras de carretera

nuevas tendencias sobre los ensayos y su organización

por **OLEGARIO LLAMAZARES GOMEZ**
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

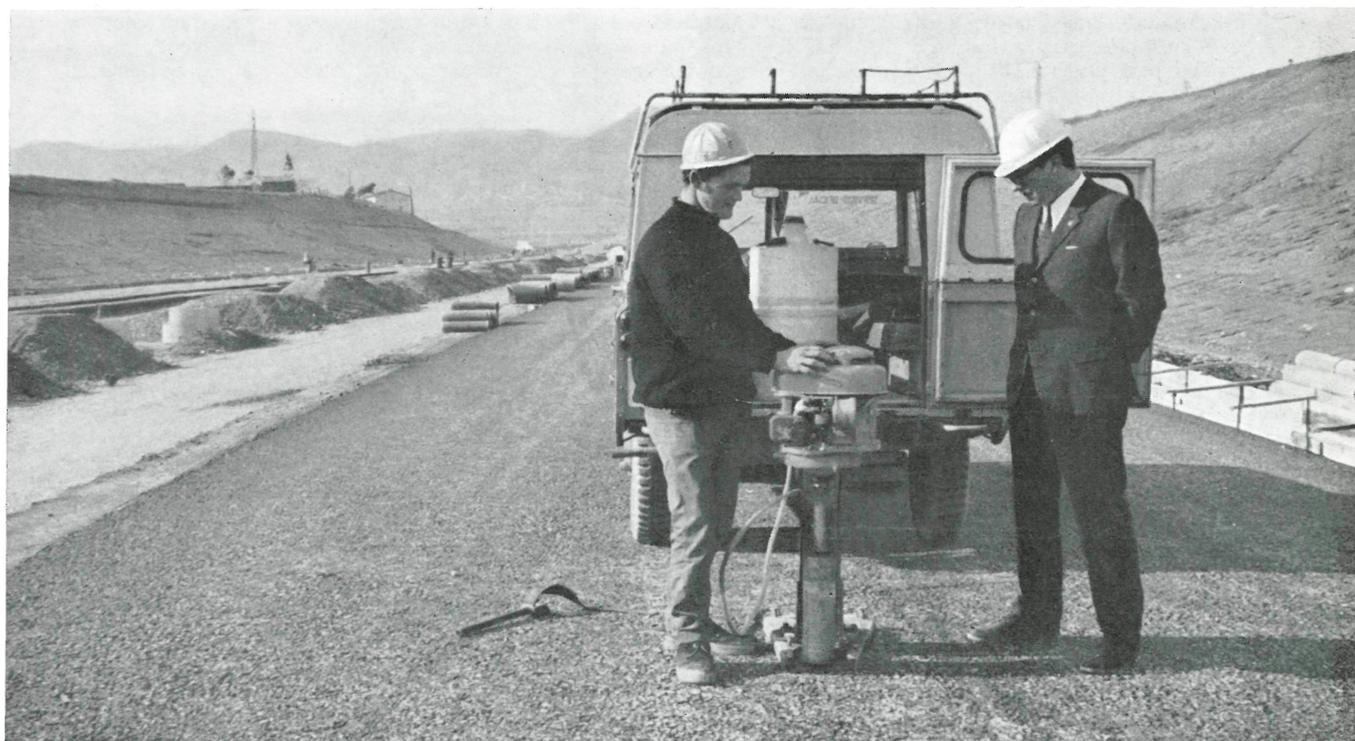
510-14

sinopsis

El control de calidad en las obras de carretera es un tema de actualidad, ya que los grandes volúmenes que exigen las autopistas requieren una revisión de los métodos de ensayo clásicos y de los criterios de interpretación. El ritmo de obra exige un control rápido y continuo, al mismo tiempo que la aplicación del análisis estadístico a los resultados puede evitar criterios subjetivos y permitir una mejor definición de las prescripciones técnicas contractuales. Tan interesantes temas son expuestos con claridad por el autor, que informa también de la organización del control en España y de la frecuencia y coste de los ensayos.

1 Consideraciones generales

El perfeccionamiento de las técnicas de proyecto y construcción en la Ingeniería Civil —como en cualquier otra rama de la industria o arquitectura— implica unas previsiones amplias y precisas respecto a la función estructural de los elementos de obra, instalaciones y equipos, así como realizaciones ejecutadas en el equilibrio calidad-precio que garanticen un buen nivel de servicio y un período de duración —con los mínimos costes adicionales de conservación— que responda a un tipo de rentabilidad admisible de la inversión presupuestario de primer establecimiento.



El control de calidad de la obra ejecutada se realiza en las capas asfálticas por extracción de una muestra testigo, en la que se comprueba la granulometría del árido, contenido de ligante y demás características esenciales.

83

Tales supuestos requieren una estrecha vigilancia y un control de calidad de los materiales a emplear y de las unidades de obra que éstos integran.

En consecuencia, actualmente, todos los pliegos de prescripciones técnicas que sirven de base contractual a la ejecución de obras públicas fijan unos tipos y frecuencias de ensayos de control para el conocimiento y recepción de suelos, áridos y materiales industriales, así como para los procesos constructivos y características que definen los elementos de obra terminados.

El período en que se viene utilizando la nueva técnica —y nos referiremos concretamente a la de carreteras, que es a la que se dedica preferentemente este trabajo— no ha sido lo suficientemente largo, ni la observación de las relaciones causa-efecto tan sistemática para que se haya llegado a unas conclusiones claras sobre los ensayos más representativos y eficaces, ni sobre la frecuencia mínima a que hay que llegar para caracterizar con cierta garantía la calidad de un material y la estabilidad de una parte de la obra.

Desde luego es evidente que para conseguir obras de buena calidad es más positivo seguir con rigor y detalle el proceso de ejecución que llevar a cabo controles a posteriori.

Como ayuda para el desarrollo y comprobaciones del proceso constructivo es muy interesante un completo estudio a priori de suelos y materiales disponibles basado en una prospección geotécnica que determine procedencias, calidades y volúmenes de éstos y permita imponer unas características mínimas en el pliego contractual de condiciones. Estas características deberán ser categóricamente reales, o sea, que se puedan cumplir sin dificultades y tendrán presente en sus prescripciones el mayor aprovechamiento de los recursos locales, dentro de límites económicos, hacia la buena calidad de la obra.

Aparte de estas condiciones esencialmente técnicas, son necesarios unos precios suficientes, una razonada selección de licitadores con vistas a una adjudicación de la obra con la mayor garantía, cuidando después la organización de los trabajos, el ritmo de acopios y suministros con sus controles de recepción, así como el funcionamiento de los equipos de maquinaria con buen rendimiento y «reglaje». El control a posteriori deberá servir sólo como comprobación, si bien es verdad que para algunas características de la obra (regularidad de perfiles de la capa de rodadura, rugosidad, etc.) es el único que puede practicarse.

Inconvenientes de los ensayos clásicos

Los métodos clásicos de control que se proyectaron y pusieron a punto para obras de menor volumen que las actuales y a falta de disponer de otros métodos más eficaces son ya, en su mayor parte, inapropiados para los ritmos de ejecución que exigen las grandes carreteras y autopistas y permiten los modernos equipos de maquinaria.

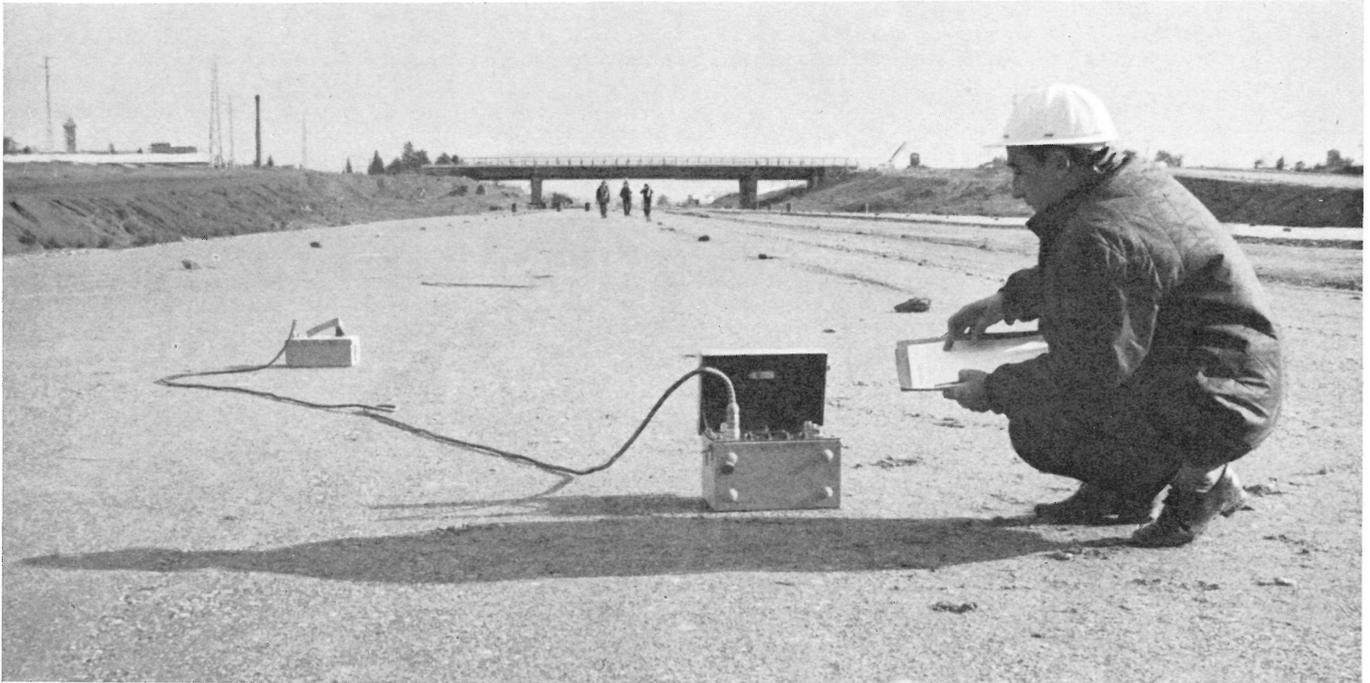
Ya se trate de determinar el grado de compactación de una capa de terraplén, de conocer la dosificación de ligante de una grava-cemento, del contenido de betún de una mezcla asfáltica, o de las resistencias características de un hormigón de pavimento, los resultados son tan tardíos que cuando se llega a su conocimiento ya hay grandes volúmenes puestos en obra que pueden ser defectuosos y de imposible corrección.

Otros defectos de los métodos clásicos corresponden a una caracterización muy problemática de las propiedades que pretenden definir y, sobre todo, de su influencia en el comportamiento de la obra bajo las cargas del tráfico y la acción de los agentes atmosféricos. Estriban otras faltas en el propio proceso operativo que puede dar lugar a grandes dispersiones en los resultados e, incluso, a la falta del grado de normalización suficiente que permita llegar a correlaciones dentro de un campo de homogeneidad que garantice la representatividad de los ensayos.

Los ensayos nucleares

El problema de adaptación de los ensayos al gran ritmo de obra actual se ha pretendido resolver con los métodos nucleares. Estos presentan las ventajas de su rapidez y de ser poco o nada destructivos. Permiten la investigación en capas profundas, así como una gran autonomía gracias a sus equipos transistorizados y pueden dar medidas continuas con registro gráfico.

Se pueden aplicar para control de ejecución, así como para seguir la evolución de las características de una capa estructural a través de su período de servicio. Las determinaciones que permiten realizar son: densidades, humedades o contenido de un material en una mezcla.



La aplicación de isótopos radiactivos a base de radiaciones gamma se inició en España en 1962, en el tramo de ensayo de la CN-II, de Madrid a Barcelona. El procedimiento se ha difundido después por su rapidez. La fotografía muestra la operación de medida de densidades con una sonda nuclear.

Se emplean en estos métodos los isótopos radiactivos y se basan, como es sabido, en las variaciones que sufre una radiación conocida al pasar a través de la capa que se estudia. Con ayuda de unas curvas de tarado se obtienen los valores de la densidad o humedad correspondientes.

La radiación utilizada es la de los rayos gamma de reducida longitud de onda, pero de gran penetración, que es lo que conviene para las capas compactas de la carretera. Hay dos sistemas para utilizar el efecto de estos rayos en la medida de los valores representativos de las capas del afirmado o explanación:

- por transmisión directa, o
- por difusión.

La experiencia hasta ahora más documentada de ensayos nucleares realizados en España para control de obras de carretera corresponde al tramo de ensayo (CN-II, de Madrid a Francia por Barcelona) y autopista Las Rozas-Villalba (CN-VI, de Madrid a La Coruña).

El primer estudio de correlación entre los resultados obtenidos por los ensayos nucleares y por los métodos geotécnicos clásicos se llevó a cabo en el tramo de ensayo. Se compararon en este estudio los valores obtenidos por ambos sistemas para la densidad húmeda y seca y para la humedad expresada bien volumétricamente o en porcentaje de la densidad seca. Las capas controladas eran de suelo arenoso con densidades Próctor normal, variando entre 1,53 y 2,00 gr/cm³.

La máxima diferencia registrada en la determinación de la densidad, húmeda o seca, por ambos métodos, fue de 0,045 gr/cm³, con un valor medio de 0,003 gr/cm³. Cifras de este orden se obtuvieron en la comparación de las humedades volumétricas. Expresando estas últimas en % se llegó a desviaciones máximas del 1,5 %, correspondiendo a un 1 % en valor absoluto. Las experiencias en suelos arcillosos dan desviaciones mayores según se ha comprobado en el Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo, que es quien ha llevado la dirección del tramo*.

* Las diferencias obtenidas en este laboratorio son de 0,10 % para arenas limpias y 0,90 % para arcillas plásticas.

El volumen de suelo a que afecta el ensayo nuclear en el campo es mucho mayor que el que necesita el método de la arena —un litro frente a 10 ó más como media— y esto influye en la diferencia de los valores obtenidos, por la imposibilidad de una estricta homogeneidad en el volumen afectado.

Del estudio de correlación a que nos referimos, además de las ventajas de rapidez y no destructividad de la capa, se dedujeron otras de economía —por la reducción de la mano de obra directa— y la de un mayor campo de aplicación, ya que se puede utilizar en suelos con material grueso o en otros que la falta de la fracción fina cohesiva no permita tomar muestras inalteradas.

En el tramo Las Rozas-Villalba se cronometraron, a efectos comparativos, los tiempos invertidos en los ensayos geotécnicos clásicos y en los ensayos nucleares para capas de grava-cemento y suelo-cemento. Para la grava-cemento se demostró que el método nuclear es el único admisible si se quieren obtener los resultados a tiempo para que la compactación no sea un hecho consumado imposible de mejorar. En las capas de suelo-cemento, si el sistema clásico era válido para el ritmo de aquella obra, los ensayos nucleares reducen el tiempo a la mitad y dan un mayor grado de fiabilidad en lo que respecta a las humedades.

Los resultados obtenidos en los ensayos nucleares se compararon con los de probetas hechas el mismo día, a través de los valores medios y de las respectivas desviaciones típicas. Las diferencias de densidades medias fueron del orden de 0,02 gr/cm³, más altas en las probetas, ya que es lógico que se compactaran mejor; de todos modos la diferencia no llega al 1%.

Las desviaciones típicas fueron menores para los ensayos nucleares, 0,03 gr/cm³ frente a 0,04 gr/cm³ para las probetas.

Las determinaciones de humedad fueron del orden de 1 a 1,5% más bajas que en las probetas, lo que también es lógico dadas las pérdidas por evaporación durante el transporte, extensión y compactación. Las desviaciones típicas de la humedad in situ fueron igualmente inferiores, 0,5% frente a 1% en las probetas.

En todo caso, se llegó a la conclusión que los valores absolutos y las desviaciones típicas son de órdenes comparables en los dos sistemas empleados y sus dispersiones están dentro de los límites admitidos para los ensayos de laboratorio.

Métodos rápidos de control

Los ensayos nucleares, pese a sus ventajas de rapidez, no constituyen ya una panacea para el control, dado el creciente volumen de las obras de tierra y afirmado. Siguen siendo éstos, ensayos puntuales; y hay que tender a métodos continuos, pues son los únicos eficaces para seguir la calidad de la obra con vistas a enmiendas inmediatas que eviten costes adicionales o fracasos rotundos.

Los 100 puntos que pueden hacerse por día en dos turnos con la sonda nuclear resultan insuficientes para las grandes explanaciones de autopista, que llegan a volúmenes diarios de 10.000 m³. En consecuencia, hay que tender a ensayos rápidos y continuos, puesto que, si bien sólo pueden registrar valores relativos, estos valores permiten conocer la uniformidad de la obra detectando posibles irregularidades o anomalías y pueden tararse con ensayos clásicos o nucleares para obtener por correlación valores absolutos.

De este modo se podrá garantizar el cumplimiento de las especificaciones del pliego contractual y asegurar con ello la calidad de la obra.

En los países de técnica más avanzada se trabaja ahora para la puesta a punto de estos métodos rápidos, de los que algunos han salido ya del campo experimental. En el proceso de investigación y aplicación de estos nuevos métodos se siguen las siguientes fases:

- construcción de mecanismos o equipos de ensayo;
- experimentación de éstos para probar su eficacia, viendo si definen con suficiente exactitud los índices característicos del elemento que se controla;
- ensayos de prerrutina, desarrollando el proceso de trabajo sobre tramos en construcción a efectos de la definición y conveniencia de este proceso con posible perfeccionamiento del sistema operativo;
- aplicación generalizada del método incorporado como ensayo de rutina.

Los métodos continuos no pueden basarse en los caracteres de identificación de los métodos clásicos y deben sustituirles por otras determinaciones o índices registrados por los aparatos correspondientes. Un ejemplo representativo de esta nueva tendencia es, por ejemplo, el **compactómetro**, al que nos referire-

mos de pasada para no alargar excesivamente este trabajo*. El **compactómetro** mide el par de tracción del rodillo compactador sobre el que va acoplado. Hay una correlación entre este par y la densidad de la capa que se compacta. Cuanto más compactada está la capa por las sucesivas pasadas del rodillo, menor es el par, porque la resistencia al avance es menor.

El **compactómetro** permitirá un control rápido de la compactación y será asimismo muy útil en ensayos previos de obra, sobre tramos testigo, con objeto de poder elegir equipos óptimos de compactación y definir el número de pasadas que deben darse para conseguir la densidad especificada.

El defleógrafo, empleado en España para auscultación de pavimentos flexibles, o sea, estimación de su capacidad portante con vistas al refuerzo, constituye también un ensayo rápido y continuo; si bien no puede caracterizar la densidad de una capa determinada, ya que la deflexión registrada puede depender también de las capas inferiores.

Citemos para terminar este epígrafe, dedicado a los ensayos rápidos, el analizador dinámico de perfiles, aparato que se emplea ahora en Rusia para registrar el microperfil longitudinal de las calzadas. Con el analizador dinámico se obtiene un índice del confort de rodadura mucho más representativo que el que da el viágrafo, puesto que este nuevo aparato ruso define el confort a grandes velocidades.

Aplicación del análisis estadístico

Las leyes estadísticas se deducen de la observación de fenómenos debidos al azar y que se repiten en series muy largas, de modo que para un gran número de determinaciones se presentan con frecuencias que tienden a valores constantes; tales leyes son modelos matemáticos con ciertas imperfecciones para la representación de esos fenómenos aleatorios y que teóricamente sólo podrían aplicarse de acuerdo con la ley de los grandes números.

El gran esfuerzo realizado en los últimos veinticinco años en el campo de la estadística matemática nos permite ahora disponer de métodos, que pueden considerarse como indispensables para un control estricto de fabricación y recepción. Con el análisis estadístico se pueden obtener conclusiones categóricas de determinaciones experimentales dispersas.

Refiriéndonos ahora a la construcción de carreteras, vemos que, sin duda, existen dificultades para su aplicación, debido a ciertas diferencias sustanciales que sus trabajos y operaciones presentan respecto a los de la industria en que las circunstancias son mucho más favorables.

En la industria el proceso de fabricación está fragmentado y hay fases de almacenamiento que permiten el control con tranquilidad. No es éste el caso de la carretera o de la obra pública en general, salvo, por ejemplo, para la recepción de ligantes u otros productos industriales, o incluso podría llegarse a ello en la producción industrial normalizada de áridos, lo que sería muy necesario para asegurar una regularidad en las mezclas asfálticas en lo que se refiere al esqueleto mineral.

Pero, en general, el proceso es continuo y sujeto a ritmos de ejecución bastante rápidos.

El análisis estadístico puede aplicarse en los procesos industriales siguiendo los sistemas y pautas de la teoría y fiarse de la realidad de las decisiones que tome el encargado del control. En cambio, en las obras de carretera, dados los imponderables de diversa índole que las afectan, es difícil sentar criterios categóricos, y la abundancia de casos especiales impide la generalización. Muchas son las circunstancias que originan cambios y perturbaciones; en primer lugar, la falta de uniformidad de suelos y áridos, y después, todos los agentes atmosféricos. La obra vial, por su carácter lineal, que cada día la hace apoyarse en diferentes suelos y aprovechar diferentes materiales es la más compleja de la Ingeniería Civil, y pudiera hablarse de lo que ha llamado un célebre ingeniero francés **el nomadismo de la carretera**.

Es preciso reflexionar mucho sobre la calidad y su influencia en el comportamiento del tramo que se construye durante el período de servicio asignado, así como sobre la estimación de responsabilidades del constructor, pues pudiera darse el caso que éste hubiera hecho sólo una parte —por ejemplo el afirmado—, y como existe una interdependencia funcional entre el firme y la infraestructura, la obra no puede separarse como piezas industriales.

Pero, en todo caso, ya no debe prescindirse de un nuevo concepto de **fiabilidad**, confianza o probabilidad de que un material o una unidad de obra cumplan la función que se les exige con arreglo a las prescripciones impuestas en el pliego contractual.

* Véase nuestro artículo: «Sobre los métodos rápidos de control de calidad en las obras de carretera». Boletín de Información del Ministerio de Obras Públicas, febrero 1968.

Hay una serie de objetivos estrechamente ligados con esta garantía de comportamiento, entre los que pueden citarse:

un mejor conocimiento de los valores límites de las prescripciones técnicas y su influencia en la estabilidad y durabilidad de la obra;

un perfeccionamiento de los equipos de maquinaria y de los procesos constructivos;

un incremento de la productividad reflejado en la economía de la obra.

Todos los materiales empleados en carreteras están sometidos a variaciones, y para una interpretación rigurosa de su grado de variación es muy conveniente el análisis estadístico. La calidad y homogeneidad de la obra es función de muchos factores, los materiales, el proceso de ejecución, los equipos y los propios métodos de ensayo. Los resultados que con éstos se obtienen tienden generalmente a seguir una ley de distribución **gaussiana**; ahora bien, cuando se deben tomar decisiones respecto al cumplimiento de las especificaciones sobre materiales o unidades de obra, si se hace sobre un pequeño número de determinaciones, es muy problemático que la decisión sea justa. Cabe siempre el riesgo de una decisión errónea; pero si ésta se basa sobre un análisis estadístico, el riesgo será menor.

Sobre los razonamientos expuestos que abonan pros y contras respecto al empleo de los métodos estadísticos en la obra de carretera, se basó una polémica en los países más avanzados de Europa. Por ejemplo, en Francia, en 1966 se aplicó el control estadístico a la fabricación de 200.000 t de mezcla asfáltica en una planta continua y otra discontinua.

Los informes de la Administración y de la Contrata sobre esta campaña piloto fueron marcadamente contradictorios, habiéndose procedido a un estudio muy completo por el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées y distinguidos profesores de Estadística a los efectos de definir posibles causas de divergencia y sentar criterios básicos de actuación.

Es necesario separar la parte estadística de la parte técnica, pero en todo caso el control estadístico debe basarse lo más posible en la experiencia. Uno de los puntos más interesantes es llegar a una buena correlación tecnológica entre los valores que dan los ensayos y la calidad y vida de los elementos de la obra con buen índice de servicio. Hay que asegurar, sobre todo, la homogeneidad, pues, como es sabido, basta con un 5% de puntos malos para dar la impresión de ruina en un pavimento u otra parte de la obra.

El ingeniero necesita una definición tecnológica del control, pero es preciso llegar a ésta por fases de modo que se delimite lo más claramente posible la influencia de los distintos factores implicados en los distintos elementos estructurales de la obra.

La conclusión a que se ha llegado en diversos países es que un control estadístico bien fundamentado y practicado resulta beneficioso para ambas partes contratantes y constituye un valioso auxiliar para que se cumplan con eficacia las especificaciones. El análisis estadístico puede evitar criterios subjetivos del ingeniero encargado en recepción de materiales y ejecución de obra.

Las prescripciones facultativas de los pliegos, una vez adaptados a la experiencia estadística, serán más concretas, definirán mejor los niveles de calidad y regularán con la aséptica imparcialidad de la técnica las relaciones entre Administración y Contrata. Se eliminarán causas de error sistemático, falsas maniobras y otras causas de construcción defectuosa, lo que redundará en la economía de la obra*.

La revisión de los niveles de calidad es importante, pues muchos están por encima del que exige el elemento de obra por su función resistente. Como ejemplo de esto se cita el caso de las obras de hormigón en los Estados Unidos, donde se estima una pérdida anual del orden de mil millones de dólares por exigencias excesivas en las especificaciones frente a la real que requieren los elementos en el trabajo mecánico u otras solicitaciones a que estén sometidos.

Organización del control de obra en España

Hasta ahora existe una gran diversidad en los distintos países, tanto en la organización del control como en la frecuencia con que deben realizarse los ensayos.

Desde luego existe en la actualidad una gran preocupación por llegar a una organización óptima que aproveche lo bueno de todos los países, y se trabaja sobre una información mutua que ordena y distribuye

* Evidentemente, habrá un volumen de obra mínimo por debajo del cual no merezca la pena aplicar el control estadístico y, por tanto, no sea aconsejable.

el Comité Técnico de Ensayos de Materiales de la A.I.P.C.R. (Asociación Permanente de los Congresos de Carreteras).

Para dar una idea de la diversidad antes apuntada diremos que, por ejemplo, en Inglaterra el control y vigilancia de las obras de carreteras importantes lo suelen llevar empresas consultoras.

En Francia, el control corre generalmente a cargo de la Administración, aunque también en algunos casos lo hacen consultores privados. La labor de estos consultores se controla a su vez por los laboratorios del Estado, mediante los llamados **ensayos cruzados**, ensayos que se hacen esporádicamente —2 ó 3 veces por año— sobre las mismas magnitudes que determine el consultor y a efectos de cotejar resultados. Se considera que estos **ensayos cruzados** son indispensables para mantener una garantía de exactitud y eficacia.

Como caso límite citaremos a Bélgica, donde el control de calidad se realiza a posteriori. La Administración no interviene ni en la recepción de materiales ni en ninguna comprobación de los procesos constructivos.

En España el control lo ejerce la Administración, salvo en las autopistas de peaje iniciadas últimamente, y cuya construcción y explotación ha sido concedida a empresas privadas. El control geométrico cuantitativo y cualitativo de las obras se lleva a cabo por las llamadas Unidades de Construcción, que se ocupan de la dirección de una o varias obras según el volumen de éstas. El control de calidad corre a cargo de los llamados Grupos de Control y Vigilancia, que emplean como personal especializado técnicos y equipos de los Servicios Regionales de Materiales.

Los Servicios Regionales de Materiales —integrados en las Jefaturas Regionales de Carreteras— son 9 y se han situado estratégicamente para repartirse el territorio nacional. Constan de las siguientes dependencias: un grupo de prospecciones, un laboratorio regional y los laboratorios auxiliares. Desde el punto de vista del control de calidad de los elementos de la obra, tienen mayor importancia los laboratorios, integrados por tres secciones: «**Sección de suelos**», «**Sección de mezclas bituminosas**» y «**Sección de hormigones hidráulicos**».

La **Sección de suelos** lleva a cabo normalmente ensayos de rutina sobre identificación de suelos y áridos, determinación de humedades y densidades in situ, ensayos de compactación y cambios volumétricos, capacidad portante, edometría y análisis químicos de composición de suelos.

La **Sección de mezclas bituminosas** realiza ensayos de recepción de ligantes y de características mecánicas de las mezclas, así como el estudio del proyecto de éstas y otras determinaciones complementarias.

La **Sección de hormigones hidráulicos** se encarga de los ensayos de identificación de cementos, análisis de aguas, estudio de dosificaciones, determinación de resistencias características y ensayos mecánicos de metales.

Se complementan estas Secciones con **Equipos móviles**, que se destacan a pie de obra para realizar los correspondientes ensayos de control. Estos equipos están integrados por el mínimo personal indispensable.

Los **Equipos de suelos** están formados por: dos técnicos auxiliares y dos laborantes, aparatos y útiles para el estudio y control de calidad de suelos y áridos.

Los **Equipos de mezclas bituminosas** están constituidos por: un técnico auxiliar, dos laborantes y una unidad móvil con aparatos y útiles para el control de las mezclas bituminosas.

Los **Equipos de hormigón hidráulico** están compuestos por: un técnico auxiliar y un laborante y una unidad móvil con los aparatos y útiles para el estudio y control de los hormigones hidráulicos.

Estos Equipos móviles, que prestan servicio en las Unidades de Construcción auxiliados por el personal de obra, desempeñan los siguientes cometidos:

toma de muestras de los materiales en sus puntos de procedencia o depósitos próximos a la obra para comprobación de las características especificadas y autorización, en consecuencia, de su empleo;

toma de muestras de las distintas mezclas durante el proceso de fabricación a los mismos efectos indicados anteriormente;

extracción de muestras de elementos de obra acabados para comprobar su calidad y autorizar, si procede, la recepción.

Además de estos equipos móviles, disponen los Servicios Regionales de unos equipos especiales para auscultaciones de firmes, campañas deflectométricas y determinación de rugosidad de pavimentos.

Los laboratorios de la Administración que operan actualmente en España totalizan 653 puestos de trabajo, de ellos 61 técnicos superiores —ingenieros y químicos— y 17 técnicos medios.

En el año 1967 funcionaron 78 Unidades de Construcción para un total de obra de 7.500 millones de pesetas, o sea, una media de 96 millones de pesetas por Unidad.

Las empresas concesionarias de autopistas de peaje disponen también de modernas organizaciones para un control completo de obra.



Frecuencia y coste de los ensayos

Antes se apuntó la disparidad de criterios que respecto a la frecuencia de ensayos mantienen los distintos países. Suelen fijarse casi siempre unos límites, máximo y mínimo, que dependen de las condiciones de la obra en un momento determinado. Así, pues, se aumentará el número de ensayos cuando se empiecen a utilizar materiales de nueva procedencia, un proceso constructivo nuevo o una nueva fórmula de trabajo. Si los materiales son muy homogéneos y se tiene suficiente experiencia para estimarlo por simple inspección ocular, se puede reducir la frecuencia al mínimo.

La frecuencia puede fijarse por metro cúbico, metro cuadrado e incluso, en algunos casos, por metro lineal de calzada; también se da número de ensayos por jornada de trabajo; sobre esta diversidad ilustran los cuadros adjuntos, correspondientes al control de terraplenes y pavimentos asfálticos en cuatro países de Europa, entre ellos España. (Cuadros I y II.)

CUADRO FRECUENCIA DE ENSAYOS, MINIMAS Y MAXIMAS, PARA EL CONTROL DE TERRAPLENES

ENSAYO DE CONTROL	INGLATERRA — m ³	FRANCIA — m ³	PORTUGAL — m ³	ESPAÑA — m ³
Plasticidad (límites de Atterberg)	Más de 3/750 ó 15/ día en suelos muy plásticos	1-5/10.000	1-2/1.000	1-2/10.000
Equivalente de arena	—	1-10/10.000	1-4/1.000	3-6/10.000
Compactación (Próctor o Norma B.S.)	1-3/750	1-3/10.000	1-2/1.000	1-2/1.000
Contenido de humedad	5-15/día ó 1/850	1-5/500	1-5/1.000	—
Densidad seca	1-3/200	1-2/1.000	1-5/1.000	1-2/2.000
Placa de carga	—	1-5/10.000	—	—
Índice C.B.R.	—	1-10/10.000	1/1.000 m. l.	1-2/5.000

Un punto que interesa en todos los Departamentos de Carreteras es la determinación del coste total de los ensayos de control. El problema es complejo y depende del volumen y tipo de la obra, así como de la organización del control, personal disponible, ritmo de trabajo, etc. En consecuencia, las dispersiones son grandes. En un estudio realizado por el Road Research Laboratory de Londres, sobre 10 obras de carretera, con presupuestos comprendidos entre 60 y 1.500 millones de pesetas, se llegó a cifras comprendidas entre el 0,5 y el 2 % del presupuesto.

En España se fijó como cifra prudente el 1 % del presupuesto de ejecución material de la obra para definir el valor de los ensayos que debía abonar el contratista, corriendo el exceso a cargo de la Administración.

Tenemos aún poca experiencia para definir costes globales de ensayos, pues la dispersión hasta ahora ha sido grande. La División de Materiales de la Dirección General de Carreteras, en un trabajo realizado en 1967, determinó los costes de ensayos correspondientes a 18 obras con presupuesto comprendido entre 15 y 330 millones de pesetas. Las cifras obtenidas y tipo de las obras consideradas están recogidas en el Cuadro III.

II CUADRO FRECUENCIA DE ENSAYOS, MINIMA Y MAXIMA, PARA EL CONTROL DE CAPAS ASFALTICAS DE RODADURA

ENSAYO DE CONTROL	INGLATERRA	FRANCIA	PORTUGAL	ESPAÑA
Pulido del árido	1/1.000-10.000 t	—	—	—
Equivalente de arena	—	1-3/300 t	—	2-4/día
Peso específico y absorción del árido	—	—	—	1-2/día
Contenido de betún en la mezcla	2-4/150 t	10/día	1-2/500 t	2-4/día (m. fría) 1-4/día (m. caliente)
Granulometría del árido extraído	2-4/150 t	10/día	1-2/500 t	3-4/día
Temperatura de la mezcla	Cada 4 camiones	—	Cada camión	6/día ó 1/hora
Ensayo Marshall	—	1.5/500 t	2-5/500 t	1-2/día
Penetración del betún	1 por entrega	—	1/100 t	1/día o tanque
Viscosidad	1 por entrega	—	1/100 t	1/día o tanque
Densidad y huecos de la mezcla compactada	—	1/50 t	1-2/500 t	1-2/día (m. fría) 1-5/1.000 m ²

III CUADRO COSTE DE LOS ENSAYOS DE CONTROL EXPRESADO EN % DEL PRESUPUESTO DE LA OBRA

TIPO DE OBRA	Presupuesto (10 ⁶ pesetas)	Coste total de los ensayos — %
Carreteras de nueva construcción	328,7	1,66
	78,7	0,72
	77,5	0,49
	45,0	0,25
	20,0	0,6
	15,1	2,54
Ensanche y refuerzo de firmes con mezcla asfáltica.	152,0	1,31
	102,5	1,14
	101,2	1,30
	90,0	0,78
	72,5	1,91
	62,5	1,22
	37,5	1,50
	30,0	0,98
Explanación	100,0	2,5
	32,5	3,4
	28,2	3,1
	14,7	5

8 Conclusión

Las exigencias de calidad y el ritmo de ejecución de las obras son dos circunstancias, de signo creciente en la construcción de carreteras, que imponen una modificación de la organización de su control y de los ensayos en que éste se basa.

Hay que llegar a la máxima garantía en la relación precio-calidad, con objeto de conseguir el mejor aprovechamiento de los siempre limitados créditos presupuestarios y disponer de métodos de control continuos y rápidos que permitan seguir el ritmo de los trabajos y detectar cualquier parte de obra defectuosa antes de que sea tarde.

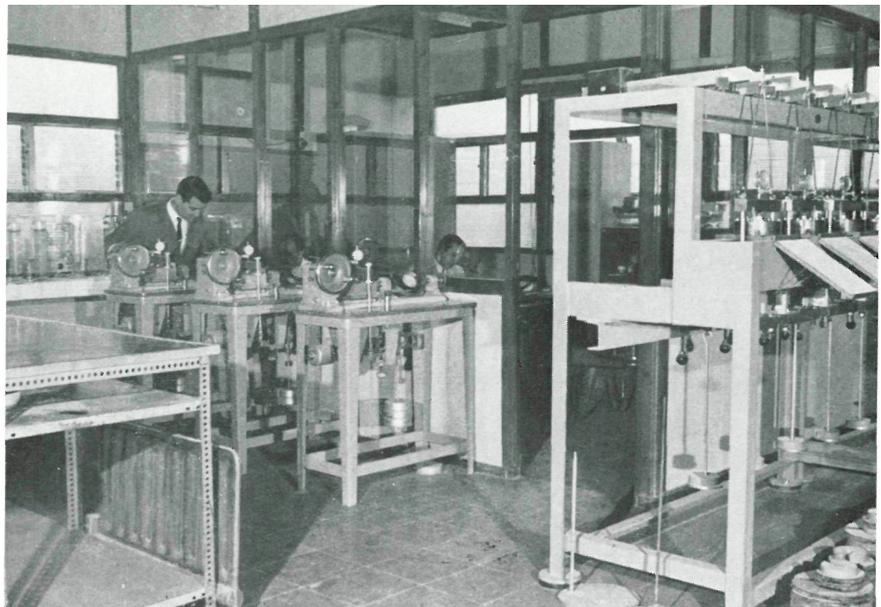
Incluso los métodos nucleares a base de isótopos radiactivos no serán suficientes para el control de calidad, por ejemplo en el caso de los terraplenes, y se tiende a otros métodos más rápidos que están saliendo de la fase experimental.

Otra tendencia considerada cada vez más interesante es la aplicación del análisis estadístico con una amplia base experimental. Se espera que con ayuda de la metodología estadística se podrán definir mejor las prescripciones técnicas de los pliegos contractuales, de acuerdo con la influencia real de éstas en el buen comportamiento y en la duración de los elementos de la obra, fijando niveles de calidad justificados. Al mismo tiempo podrán definirse frecuencias y sistemas de muestreo para los ensayos.

En consecuencia y con base en un intercambio de información sobre la experiencia de los distintos países, deberá tenderse a un sistema óptimo en el aspecto orgánico y funcional de los Servicios de Control en el que se definan métodos, frecuencias y costes, lo que hasta ahora presenta grandes dispersiones y falta de uniformidad de criterios.

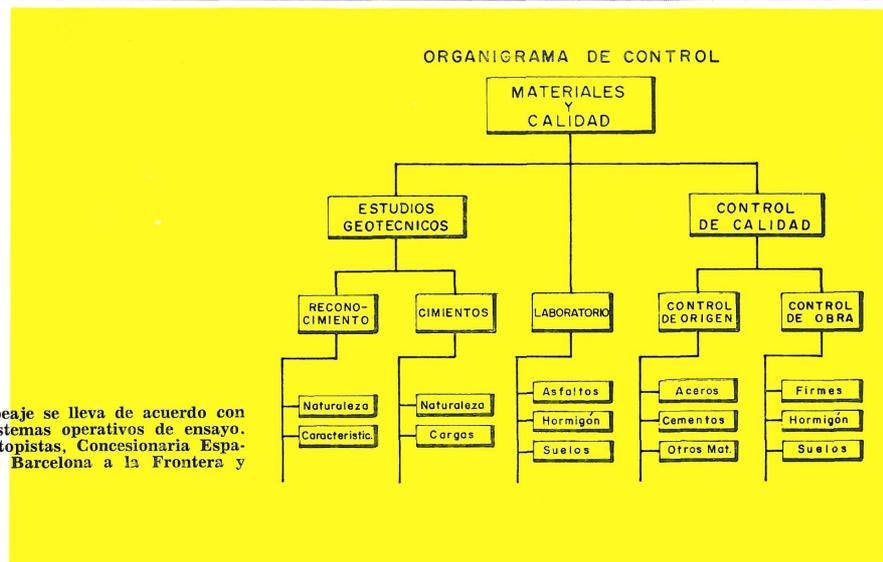
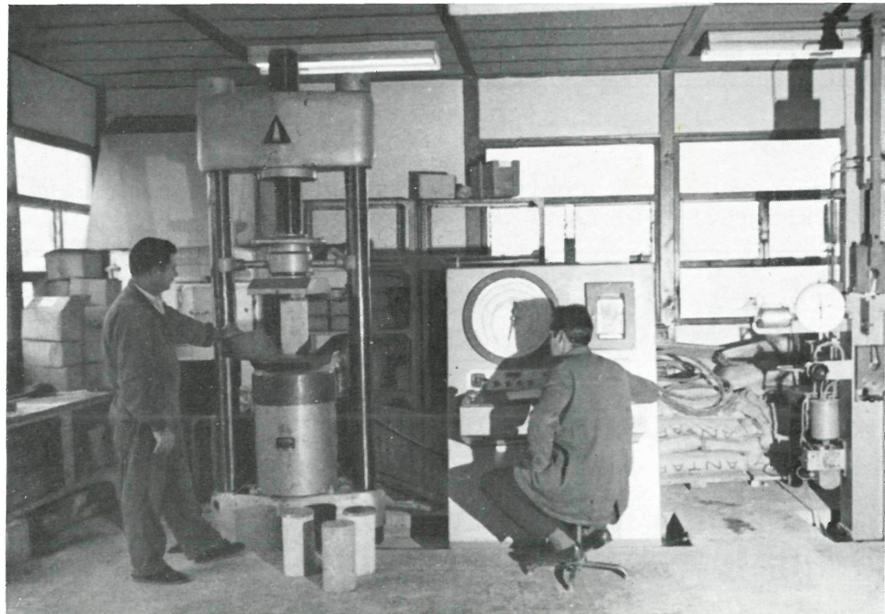
El problema a resolver se plantea como consecuencia de la gran evolución acaecida en la sociedad

El control de calidad en las autopistas de peaje se lleva de acuerdo con las últimas tendencias en organización y sistemas operativos de ensayo. El presente organigrama corresponde a «Autopistas, Concesionaria Española, S. A.», que construye los tramos de Barcelona a la Frontera y Mongat-Mataró.



Vista parcial de la Sección de Suelos de un Laboratorio Regional, dependiente de la Dirección General de Carreteras.

Otra de las Secciones de los Laboratorios Regionales es la de «Hormigones Hidráulicos». La fotografía muestra la prensa de rotura de probetas.



industrial de nuestros días. Como dijo Siegfried: «Hemos pasado de una civilización de la cultura a una civilización de la técnica, lo que ha modificado la filosofía de la calidad.» Se refería el sociólogo francés a que con la producción en masa y la mecanización intensiva es preciso buscar métodos racionales y eficaces que sustituyan a la conciencia profesional del artesano y a ese orgullo de perfección en la obra, vanidad constructiva que era fundamental para la buena calidad del trabajo.

En los próximos años se llevará a cabo, sin duda, un gran avance en la organización del control de calidad por el esfuerzo coordinado de la Administración y la Contrata, conscientes ambas de la necesidad de un cambio del sistema, para una definición más concreta de la autoridad y la responsabilidad. La precisión fundamentada de las exigencias técnicas y la comprobación estadística de su cumplimiento, serán, sin duda, muy beneficiosas para la calidad y la economía de las obras.

résumé ● summary ● zusammenfassung

Le contrôle de qualité dans les travaux routiers. Nouvelles tendances sur les essais et leur organisation

Olegario Llamazares Gómez, Dr. ingénieur des Ponts et Chaussées

Le contrôle de qualité dans les travaux routiers est un thème d'actualité, car les grands volumes exigés par les autoroutes requièrent une révision des méthodes d'essai classiques et des critères d'interprétation. Le rythme de l'ouvrage exige un contrôle rapide et continu, en même temps que l'application de l'analyse statistique aux résultats peut éviter des critères subjectifs et permettre une meilleure définition des prescriptions techniques contractuelles. L'auteur expose clairement ces thèmes si intéressants et rend compte également de l'organisation du contrôle en Espagne et de la fréquence et coût des essais.

Quality control in road work. New developments in the testing procedure and its organisation

Olegario Llamazares Gómez, Dr. civil engineer

The quality control in road works is a subject that is being very much studied at present owing to the large volume of work involved in the construction of motor roads. There is need to revise the traditional methods of testing and of interpreting these tests. The modern rate of work requires a quick and continuous control of the work; in addition, statistical analysis should be applied to the results to avoid subjective interpretations and better meet the contract requirements. The present author discusses these problems in a clear manner, and also gives information on the control organisation in Spain and on frequency and cost of these tests.

Qualitätsprüfungen beim Strassenbau. Neue Tendenzen über Qualitätsprüfungen und ihre Organisation

Olegario Llamazares Gómez, Dr. Hoch- und Tiefbauingenieur

Die Qualitätsprüfung beim Strassenbau ist ein aktuelles Thema, weil die umfangreichen Anforderungen, welche die Autobahnen stellen, eine Überprüfung der klassischen Testverfahren nach sich ziehen. Das dazugehörige Arbeitstempo fordert eine schnelle und häufige Kontrolle. Die Anwendung der statistischen Analyse auf die Ergebnisse kann hierfür subjektive Standpunkte beseitigen und die technischen Vorschriften des jeweiligen Vertrages veranschaulichen. Der Verfasser legt hier eine klare Darlegung über dieses interessante Thema nieder, und berichtet über die Organisation der Prüfungen in Spanien sowie auch über deren Häufigkeit und Kosten.