

## SOBRE EL CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS (\*)

Por OLEGARIO LLAMAZARES GOMEZ

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

*Los grandes volúmenes y ritmos de ejecución de las obras de carreteras, ha impuesto una evolución de la estrategia del control de calidad que afecta a los métodos de ensayo y a la interpretación de los resultados que con ellos se obtienen. Se considera cada vez con mayor interés la aplicación del análisis estadístico, para evitar criterios subjetivos y llegar a mayores niveles de fiabilidad en cuanto a la calidad y futuro comportamiento de las obras. Para asegurar esto, se tiende a definir parámetros de identificación que sean auténticamente representativos de la resistencia y durabilidad de las obras.*

### PRELIMINAR

Las duras solicitaciones que produce en la carretera un tráfico creciente en frecuencia, velocidad y cargas por eje, postula un control cada vez más riguroso de la calidad de las obras. Sólo con este control pueden evitarse costosas y prematuras reparaciones, o incluso reconstrucciones, así como las consiguientes molestias al tráfico o graves peligros de accidentes.

El tema constituye una preocupación dominante de las Administraciones de Carreteras y su base tecnológica ha sido estudiada a fondo durante los últimos veinte años en los países de tecnología más avanzada, sin que se haya llegado todavía a un estado satisfactorio pese al intercambio supranacional de experiencia.

Las exigencias de calidad, y el considerable aumento del ritmo de ejecución en las actuales obras de gran volumen y elevado índice de mecanización, obligan a modificaciones en la estrategia del control de modo que pueda llegarse a una mayor seguridad en la aceptación de la obra ejecutada, que garantice el período de vida de calzadas y estructuras con índice de servicio aceptable.

El problema, en su sentido más amplio, responde a una de las mutaciones características de la sociedad industrial que certeramente apuntó Siegfried. "Hemos pasado de una civilización de la cultura a una civilización de la técnica, y con ello se ha modificado la filosofía de la calidad", escribió el famoso sociólogo francés

(\*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de abril de 1973.

refiriéndose a que para controlar la producción mecanizada y masiva hay que aplicar métodos racionales seguros que sustituyan a la conciencia del artesano, a ese puntillo de vanidad constructiva que en otros tiempos era básico para la calidad del trabajo.

Hay una muy sancionada estrategia industrial del control y a ella tiende a asimilarse cada vez más la de las modernas obras de carreteras. De hecho las técnicas de control de los procesos industriales son cada vez una realidad más próxima para regular las prescripciones contractuales entre Administración y Contrata a través de unos ensayos que caractericen del modo más idóneo a los materiales, al proceso operativo de los equipos de maquinaria y a las unidades de obra en fase de ejecución o terminadas.

Una carretera se construye con el objetivo esencial, si no único, de ofrecer a los futuros usuarios un medio de comunicación seguro, cómodo y duradero. Para conseguirlo es preciso partir de dos condiciones básicas:

- Un suficiente dimensionamiento estructural.
- Unos criterios de calidad en todos los elementos de la obra, garantizados por un control eficaz.

El objetivo que con ello debe conseguirse es llegar a una obra satisfactoria en el aspecto económico-funcional, que asegure la rentabilidad de los créditos invertidos y que ofrezca un buen estándar de servicio.

La Contrata está obligada a realizar un trabajo que cumpla las condiciones contractuales y la Administración debe velar por que no se empleen materiales inaceptables ni se construyan elementos defectuosos.

Surge de estas consideraciones un doble aspecto del control: el aspecto jurídico cuando regula las relaciones y responsabilidad mutua de ambas partes contratantes y el tecnológico cuando se emplea para garantizar las características impuestas y la posible mejora de las técnicas en uso, a través de la interpretación de resultados, en la ejecución y a *posteriori*, para seguir la pista del comportamiento de la obra.

En cualquier caso deben utilizarse todos los medios posibles para suministrar al Ingeniero encargado una clara y objetiva síntesis de la obra que inspecciona y dirige.

## MÉTODOS Y PROCESOS DE CONTROL

El problema básico que se plantea en el control de calidad es el de llegar a técnicas eficaces que sean económicas y no frenen el desarrollo de los trabajos al ritmo que requieren los plazos de ejecución.

Respecto a la interpretación de los resultados de los ensayos, se evoluciona cada vez más, especialmente en algunos países (EE. UU., Bélgica, Holanda), hacia métodos estadísticos, caracterizados por el muestreo aleatorio y la toma de decisiones por consideraciones matemáticas y no al azar.

La investigación en el campo del control de calidad se orienta hacia el desa-

rollo de nuevos métodos y hacia el conocimiento de los parámetros que condicionan la resistencia y la duración de los elementos de la carretera frente al efecto conjungado del tráfico y los agentes atmosféricos. En toda la literatura sobre el tema se pone énfasis sobre la necesidad de una caracterización de índices auténticamente representativos del buen comportamiento de las obras.

Pero aún siguen manifestándose dos escuelas o tendencias que alimentan la polémica de los simposios internacionales. Por un lado los que mantienen que el control de calidad debe ser una actividad técnica y objetiva, en la que se manejen datos precisos obtenidos por procesos científicos normalizados y explotados por los modernos sistemas del tratamiento de la información. Por otro, los que desconfían de la representatividad de los datos característicos de identificación y ponen de

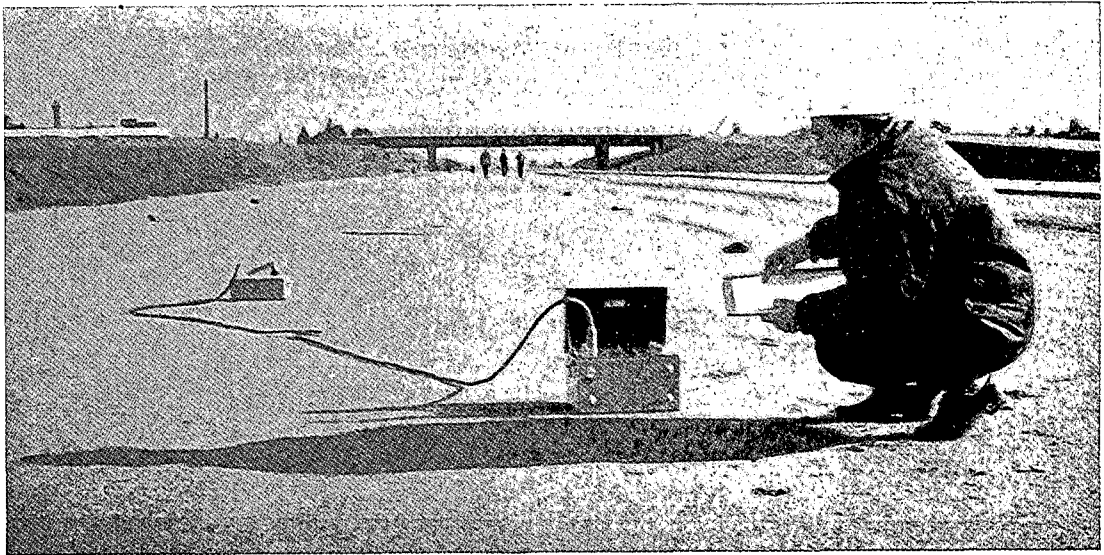


Fig. 1. — Con las sondas nucleares que determinan la densidad a base de isótopos radiactivos, se realiza de modo más rápido el control de compactación en terraplenes y afirmado.

manifiesto la falta de homogeneidad de muchos materiales y la inadecuación de los ensayos en uso, o de los equipos de medida con que se realizan, y las limitaciones del análisis estadístico.

Como en todo, hay que llegar a soluciones intermedias en que se coordinen las posibilidades de una normalización operativa y de la explotación de datos, con los criterios de los especialistas basados en una larga experiencia.

La puesta a punto de nuevos métodos de ensayo, idóneos y rápidos, es una cuestión preferente en los países de técnica más avanzada. En el proceso de investigación y aplicación de estos métodos se siguen las siguientes fases:

- Proyecto y construcción de los aparatos de ensayo.
- Experimentación de éstos para probar su eficacia viendo si definen con suficiente exactitud los caracteres de identificación del parámetro que controlan.

- Ensayos de prerrutina aplicados en obra a efectos de comprobación y posible perfeccionamiento del aparato o del proceso operativo.
- Aplicación generalizada del método como ensayo de rutina.

Las obras de tierra y fábrica, así como todas las capas del afirmado, exigen un control suficiente en rigor y frecuencia: control de suelos de la traza y préstamos, control de acopios de áridos y ligantes, del régimen de funcionamiento de los equipos de fabricación y puesta en obra, control en las fases intermedias de las distintas unidades (granulometrías, humedades, dosificación, etc.) y controles *a posteriori*.

A veces hay divergencia de criterios entre la Administración y la Contrata por

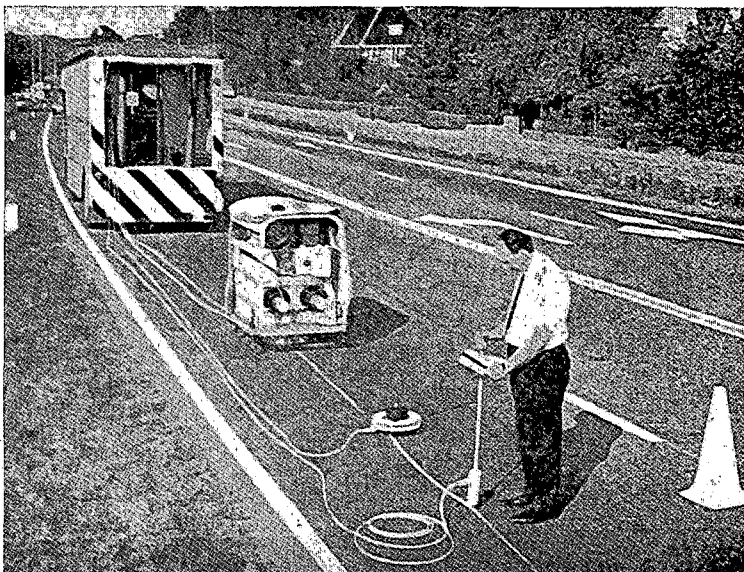


Fig. 2. — Los nuevos métodos de auscultación vibratoria permiten conocer el estado del firme a lo largo de su período de servicio.

lo que se refiere al control. En cuanto al aspecto técnico suelen apuntarse las siguientes observaciones:

- Los ensayos son lentos para el ritmo actual de las obras y no permiten detectar a tiempo las anomalías para actuar con las correspondientes correcciones.
- Los valores de dispersión de los ensayos son a veces del mismo orden de magnitud que las tolerancias admisibles en las prescripciones contractuales.
- Las relaciones entre los resultados de los ensayos y la calidad real de la obra, en cuanto a resistencia y durabilidad, no son evidentes.

En consecuencia son necesarios nuevos ensayos de aplicación rápida y baja

dispersión que caractericen parámetros auténticamente representativos de los materiales y las unidades de obra.

Para ello es preciso poner a punto aparatos de medida de gran ritmo, tanto para su utilización durante la ejecución y recepción de la obra como en su fase ulterior de explotación, con vistas a llegar a correlaciones sistemáticas, con la mayor profusión posible, entre los parámetros característicos de las distintas partes de la obra y su resistencia a las solicitaciones externas.

El control puede realizarse también con ayuda de dispositivos automáticos que integrados en los equipos de maquinaria registren parámetros esenciales de su funcionamiento. Como ejemplo que aclare esta idea citaremos el *compactómetro*, aparato que mide el par de tracción del rodillo compactador al que va acoplado.

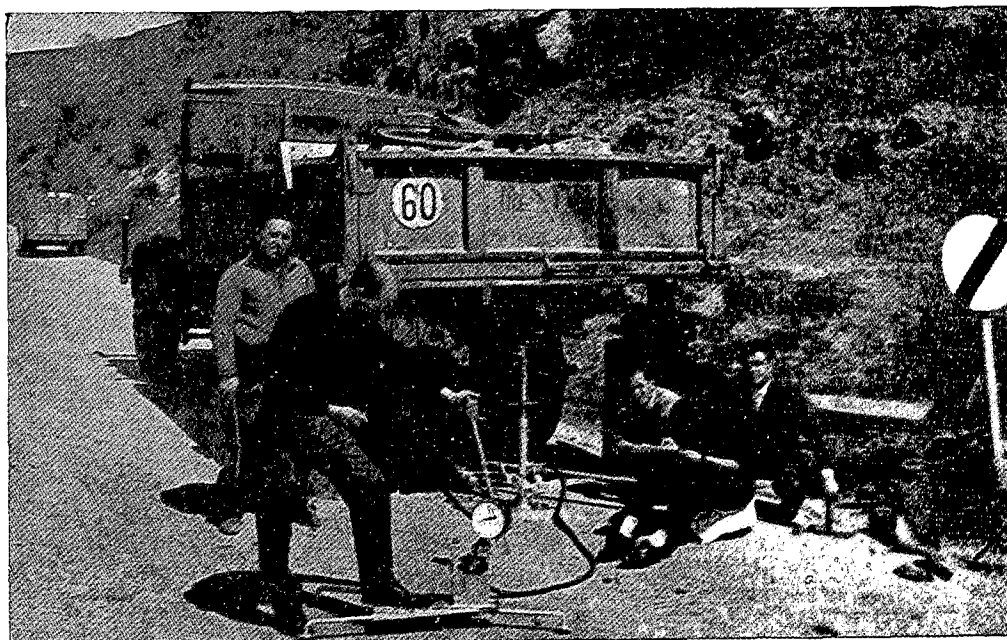


Fig. 3. — Control de la capacidad portante en una carretera secundaria.

Como es sabido, hay una correlación entre este par y la densidad de la capa que se compacta. A lo largo del proceso compactador el par va disminuyendo porque la resistencia al avance es menor, ya que el rodillo marcha sobre una superficie más firme y regular. El *compactómetro* permite un control rápido de la densidad y es útil también para ensayos previos a la iniciación de la obra sobre tramos-testigo, a los efectos de definir tipos óptimos de compactadores y número de pasadas precisos para obtener el grado de compactación que se especifica en el contrato.

La estimación de la capacidad portante con el deflectógrafo Lacroix constituye también un ensayo rápido y continuo, si bien con él no puede identificarse la densidad de una capa determinada, ya que la deflexión que registra puede depender de las capas subyacentes.

## EL CONTROL ESTADISTICO

La optimación de costes de una obra debe tener en cuenta todos los que en ella se producen, incluidos los que puedan atribuirse al riesgo de decisiones erróneas. La posibilidad de evitar éstas es una de las ventajas del control estadístico con el que puede conseguirse una información fiable sobre la mayor parte de la obra y permite llegar a mejores niveles de calidad. Hay que asegurar sobre todo la homogeneidad, pues, por ejemplo, como es sabido, basta con un 5 por 100 de puntos malos para dar la impresión de ruina en un pavimento.

El tratamiento estadístico de los resultados permitirá decidir sobre la aceptación o rechazo de las distintas unidades de obra de acuerdo con criterios objetivos de base racional, que sirvan a su vez para estimar valores cifrados o índices de calidad, base de aplicaciones, en su caso, de primas o penalidades.

En toda decisión basada en el muestreo de datos variables intervienen ciertos factores esenciales y en el caso de la construcción de carreteras la amplia gama de variabilidad de los materiales, de la dosificación de mezclas, de la regulación de equipos y de los propios procesos constructivos (extensión, compactación, perfilado, etc.), incide en el riesgo de decisiones erróneas, que sólo puede reducirse a base de una información suplementaria, con elevada frecuencia de ensayos y el consiguiente coste que esto produce, pero que es necesaria para una garantía de calidad a través —siempre que sea posible por el tipo y volumen de la obra— de la explotación estadística de resultados.

Las leyes estadísticas se deducen de la observación de fenómenos 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 constituyen modelos matemáticos con ciertas imperfecciones para la representación de esos fenómenos aleatorios, que teóricamente sólo podrían aplicarse de acuerdo con la ley de los grandes números.

El gran esfuerzo realizado en los últimos treinta años en el campo de la Estadística matemática nos permite ahora disponer de métodos apropiados para el control estricto de fabricación y recepción. Con el análisis estadístico se pueden obtener conclusiones categóricas de determinaciones experimentales dispersas. En cuanto a la construcción de carreteras vemos que, sin duda, existen dificultades para su aplicación por 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 este el caso de la carretera, 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 de él resulten. En cambio, en las obras de carretera, dados los imponderables de

diversa índole que las afectan es difícil definir criterios categóricos y la abundancia de casos singulares 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 la continua exposición a los agentes atmosféricos. La obra vial por su carácter lineal, hace que un trazado pueda apoyarse en diferentes suelos y aprovechar diferentes materiales y es la más compleja de la Ingeniería Civil. Aludiendo a tal variedad e imprevisión se ha referido un célebre ingeniero francés al nomadismo de la carretera.

Todos los materiales empleados en carreteras están sometidos a posibles cambios y para una interpretación rigurosa de su grado de variación es 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 esta se basa sobre un análisis estadístico el riesgo será menor.

El tratamiento matemático y estadístico de decenas de millares de resultados de un control sistemático de diferentes obras ha permitido llegar en los últimos años a un conocimiento más exacto del nivel de calidad.

## LIMITES DE FRECUENCIA

La caracterización de los acopios de materiales, de unidades de obra o de elementos terminados, exige una garantía basada en una determinada frecuencia de ensayos por debajo de la cual el conocimiento sería incompleto.

Los pliegos contractuales suelen fijar unos límites de frecuencia, máximos y mínimos, y el número de los que se practiquen se aproximará más a unos u otros según las circunstancias que concurren en el caso: continuidad o cambio de yacimientos o de fórmulas de trabajo, experiencia en la operación o funcionamiento de los equipos, etc.

Aún no se ha llegado a criterios internacionales sobre la uniformidad de frecuencia de los ensayos de control. El tema constituye actualmente una de las preocupaciones preferentes del Comité de Ensayos de Materiales de la AIPCR (\*).

A título informativo, y como idea de los límites de frecuencia que fijan algunos países de Europa, y su comparación con los nuestros, incluimos los siguientes cuadros relativos a dos partes muy importantes de la obra de carreteras: los terraplenes y la capa de rodadura.

---

(\*) Agrupación Internacional Permanente de los Congresos de Carreteras.

I. Frecuencia de ensayos, para el control de terraplenes.

Dato que se controla	Inglaterra	Francia	Portugal	España
Plasticidad (límites Atterberg) .....	Más de 3/750 m <sup>3</sup> ó 15/día en suelos muy plásticos.	1-5/10.000 m <sup>3</sup>	1-2/1.000 m <sup>3</sup>	1-2/10.000 m <sup>3</sup>
Equivalente de arena. Compactación (ensayo Proctor) .....	—	1-10/10.000 m <sup>3</sup>	1-4/1.000 m <sup>3</sup>	3-6/10.000 m <sup>3</sup>
Contenido de humedad .....	1-3/750 m <sup>3</sup>	1-3/10.000 m <sup>3</sup>	1-2/1.000 m <sup>3</sup>	1-2/1.000 m <sup>3</sup>
Densidad seca .....	5-15/día ó 1/850 m <sup>3</sup>	1-5/500 m <sup>3</sup>	1-5/1.000 m <sup>3</sup>	—
Placa de carga .....	1-3/200 m <sup>3</sup>	1-2/1.000 m <sup>3</sup>	1-5/1.000 m <sup>3</sup>	1-2/2.000 m <sup>3</sup>
Indice C.B.R. ....	—	1-5/10.000 m <sup>3</sup>	—	—
	—	1-10/10.000 m <sup>3</sup>	1/1.000 m <sup>3</sup>	1-2/5.000 m <sup>3</sup>

II. Frecuencia de ensayos, para el control de capas asfálticas de rodadura.

Dato que se controla	Inglaterra	Francia	Portugal	España
Pulido del árido .....	1/1.000-10.000 t	—	—	—
Equivalente de arena. Peso específico y absorción .....	—	1-3/300 t	—	2-4/día
Contenido de betún ...	—	—	—	1-2/día
Granulometría del árido extraído .....	2-4/150 t	10/día	1-2/500 t	2-4/día (m. fría) 1-4/día (m. caliente)
Temperatura de la mezcla .....	2-4/150 t	10/día	1-2/500 t	3/4 día
Ensayo Marshall .....	Cada 4 camiones	—	Cada camión	6/día ó 1/h
Penetración del betún. Viscosidad .....	—	1-5/500 t	2-5/500 t	1-2/día
Densidad y huecos de la mezcla compactada .....	1 por entrega	—	1/100 t	1/día o tanque
	1 por entrega	—	1/100 t	1-2 día en mezcla fría
	—	1/50 t	1-2/500 t	1-5/1.000 m <sup>2</sup>

CONSIDERACION FINAL

La rapidez en la realización de los ensayos de control y la aplicación de métodos de la máxima garantía para la interpretación de resultados es un imperativo de los ritmos de trabajo y de la calidad que, por razones funcionales y económicas, hay que exigir a las obras de carreteras y autopistas.

La evolución de la estrategia del control ha sido muy grande y prosigue su per-



feccionamiento con los nuevos equipos de ensayo y los nuevos métodos de explotación de datos. La aplicación de un control sistemático, tanto en las fases de ejecución como en las carreteras en servicio, permitirá conocer cada vez mejor los parámetros o resistencias características que definen el comportamiento y durabilidad de los elementos de la obra.

La inquietud por esta beneficiosa y necesaria evolución es cada vez mayor en España, tanto en la Administración como en la Contrata. En nuestro país hace poco más de quince años el único control que prácticamente se ejercía en las obras de carreteras era la inspección visual. Que este trabajo y las referencias bibliográficas que lo complementan sirvan como breve informe, que quizá siembre alguna inquietud, sobre ese importante tema que hoy constituye el control de calidad.

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ROCCI, S.: "Instrucciones para el control de fabricación y puesta en obra de aglomerados bituminosos en caliente". Madrid, septiembre 1971.
2. Military Standard (Mil-STD-414): "Procedimientos de muestreo y tablas para inspección por variables para porcentaje defectuoso". Traducción de J. G. Peláez. Comisaría Nacional de Productividad. Ministerio de Industria.
3. CARRILLO VARGAS, G.: "Métodos estadísticos de control". Curso de Control de Calidad en la Construcción. Ministerio de la Vivienda, 9-13 de noviembre de 1970.
4. LLAMAZARES, O.: "Revisión de ensayos y criterios para el control de calidad en las obras de carretera". REVISTA DE OBRAS PUBLICAS. Septiembre 1970.
5. MATHEWS, P. H., y HARDMAN, P.: "Le risque dans les specifications, le control et la reception des materiaux destinés a la construction routiere". Symposium sur le contrôle de la qualité. Aix-en-Provence. Noviembre 1970.
6. CARRILLO VARGAS, G., y GONZALEZ-HABA, P.: "Una experiencia española en el control de calidad de compactación de terraplenes". Simposio citado en la referencia 5.