

EL CONTROL DE CALIDAD Y SUS RIESGOS(*)

Por OLEGARIO LLAMAZARES GOMEZ

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos

El control de calidad es un objetivo necesario para garantizar el comportamiento y durabilidad de las obras asegurando con ello la rentabilidad de las inversiones. El autor pone esto de manifiesto, señalando el modo operativo del control a base de prescripciones contractuales idóneas, ensayos representativos de suficiente frecuencia y correcta interpretación de resultados para la decisión sobre la aceptación o rechazo de los materiales u obra ejecutada. En todo ello existen inevitablemente unos riesgos (en las prescripciones especificadas, en los ensayos, en la recepción), que es preciso reducir al máximo sin salirse del carácter práctico que tiene todo proceso de construcción. Las grandes obras de hoy, con su volumen y su ritmo, postulan una evolución de la estrategia de control y un perfeccionamiento de los métodos de ensayo y su interpretación, a lo que favorecerá una estrecha coordinación entre la Administración y la contrata hacia beneficios en el binomio precio-calidad. Por ambas partes debe actuarse con una gran conciencia de la calidad y concretamente en la empresa su preocupación por ésta es una garantía de su eficacia y de su solvencia para la realización de obras que se aproximen a condiciones óptimas en el aspecto económico-funcional.

1. Introducción.

Cuando hace algunos años asistíamos a las reuniones del Comité Internacional de Ensayos de Materiales de la AIPCR (**), el control de calidad constituía uno de los temas principales de discusión, como corresponde a la preocupación dominante que supone la buena ejecución y durabilidad de grandes y costosas obras que deben sufrir el efecto conjugado de los ejes de vehículos pesados y los agentes atmosféricos.

En las obras de carreteras el gran crecimiento del tráfico, que escalonadamente ha llegado a los distintos países y que por ahora parece un fenómeno irreversible, hizo considerar cada vez con mayor atención el control de

calidad sobre la base de ensayos representativos del comportamiento de materiales y unidades de obras y la formulación de unas prescripciones que definieran índices característicos y su interpretación para la aceptación o rechazo.

Las discusiones del Comité ponían de manifiesto las diferencias de criterio de los distintos países, pero, al margen de enfoques del problema y del *modus operandi* para la solución, se ponía de manifiesto su gran importancia, que no es privativa de las carreteras o de la construcción en general, sino que responde a una de las mutaciones características que ha producido la sociedad industrial (***) .

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta revista hasta el 31 de agosto de 1976.

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

(***) Recordamos en este aspecto la reflexión del gran sociólogo francés 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"; se refería a que para controlar la producción masiva hay que utilizar métodos racionales seguros que sustituyan a la conciencia del artesano, despersonalizada por la mecanización.

Dentro de ese *brain storming* que mantenían los delegados más caracterizados y experto del Comité se podían distinguir dos escuelas: la anglosajona y la francesa. Contempla la primera el problema basándose en la variabilidad de los materiales y procesos de obra y aceptando el hecho de que no hay variación sin dispersión; tales defectos pretenden resolverse por los nuevos métodos científicos para el tratamiento estadístico de la información (*).

La escuela francesa es más recelosa en cuanto a la eficacia del análisis estadístico, y se inclina más bien a criterios basados en la experiencia personal.

Sintetizando ambas tendencias parece que lo razonable es basarse en criterios definidos e interpretados científicamente, pero sin prescindir de la experiencia del especialista que no puede ser sustituido por la rigidez y el automatismo de un proceso operativo; éste es un punto común a todos los campos de la tecnología que no se puede infravalorar.

2. La asimilación al proceso industrial.

Desde entonces, se han mantenido tales tendencias en la interpretación, al mismo tiempo que se ha avanzado en el desarrollo de nuevos ensayos que caractericen los índices de calidad, que sean valores auténticos para definir con garantía la aceptación de los materiales integrantes.

Se ha intentado aplicar a las obras públicas la tecnología del control de la fabricación industrial, separando el control de fabricación por una parte y el control de recepción por otra, haciendo muestreos aleatorios y tomando decisiones según criterios estadísticos definidos.

Pero la ejecución de obras públicas no puede asimilarse a un proceso industrial por una serie de causas. La inevitablemente mayor irregularidad de muchos de los materiales empleados, la exposición directa a los agentes atmosféricos o variaciones climáticas mientras la puesta en obra e inmediatamente después de

(*) Véase la ponencia de nuestro compañero Guillermo Carrillo "Métodos estadísticos de control". Curso de Control de Calidad en la Construcción. Ministerio de la Vivienda. Noviembre 1970.

su terminación, las anomalías en el transporte al punto de empleo (segregación, cambios higrotérmicos, etc.) de las unidades intermedias constituyen diferencias apreciables frente a las circunstancias de fabricación de productos industriales. Por tales causas, el avance en la asimilación de las obras de carreteras al proceso industrial no ha sido el que hace algunos años se esperaba, si bien en algunas unidades se acerca bastante, como, por ejemplo, en las mezclas asfálticas de alta calidad o en el hormigón para pavimentos de autopistas o estructuras de pretensado.

En la construcción de obras públicas una premisa básica es que el control beneficie al mismo tiempo a la Administración y a la contrata, ya que el ideal es que ambas trabajen en perfecta coordinación y con análogos objetivos para que se llegue a costes sociales mínimos.

En todo caso debe existir una estrecha colaboración para estudiar y controlar las diversas fases de trabajo y tratar de obtener la calidad especificada. Con esta colaboración será más fácil conseguir uno de los objetivos básicos del control, que es el de no hacer probable el rechazo de un material o unidad de obra, sino hacer muy probable la buena calidad de la misma.

3. El objetivo económico del control.

Con la tecnología de control lo que se pretende es optimizar una inversión presupuestaria minimizando el coste *lato sensu* de la obra a que se aplica, o sea, logrando un buen comportamiento de todos sus elementos a lo largo del período de servicio que se le asigne, con los trabajos de conservación necesarios.

El control de calidad, tal como se viene efectuando, no sólo no debe introducir un coste adicional, sino que con su aplicación debe llegarse a soluciones más baratas sin elementos hiperdimensionados, ni resistencias características en los materiales que superen a las que exija su régimen de trabajo en obra. Debe existir una mentalización respecto al concepto de la relación calidad-precio en la que es básica una buena organización del control.

En el coste global a que antes nos refería-

mos es preciso considerar las siguientes partes:

- Coste de ejecución de la obra, incluyendo el proyecto y replanteo (*).
- Coste normal de conservación.
- Coste del control de calidad de la obra.
- Esperanza matemática de los costes de reparación de la obra durante su período de servicio.
- Esperanza matemática de la posibilidad de que se rechace un material o unidad de buena calidad por inevitables efectos de control aleatorio.

4. Los diferentes tipos de riesgo.

Evidentemente existen diferentes tipos de riesgo en un proceso de control de calidad: riesgo en el proyectista que selecciona o redacta las especificaciones, en el técnico de laboratorio que realiza los ensayos y en el ingeniero de construcción que debe interpretar sus resultados para decidir la aceptación o rechazo de un material acopiado, de una unidad en fase intermedia o de un elemento terminado.

Las prescripciones técnicas contractuales deben corresponder a unas determinadas condiciones de servicio de la carretera que se construye (intensidad y composición del tráfico, factores ambientales, etc.). La calidad de la obra debe ser suficiente para el fin a que se destina, correcta en dimensiones y características para no incurrir en una inversión excesiva y no rentable.

Establecidos los límites que por las consideraciones expuestas deben fijarse para los diversos índices representativos de la calidad, se consideran, en principio, dos tipos de riesgos:

- El riesgo de *error de primera clase* (o riesgo del productor; en nuestro caso, de la contrata), que es el riesgo de que la calidad no se adapte a las prescripciones y sea, en consecuencia, inaceptable.

(*) Un buen proyecto, tanto en el correcto dimensionamiento como en la claridad, que impida falsas maniobras y en las prescripciones técnicas que definan la adecuada calidad de materiales y unidades de obra, es fundamental, así como el replanteo que compruebe la solución adoptada para el trazado y emplazamiento de obras de fábrica y detecte a tiempo cualquier anomalía.

- El riesgo de *error de segunda clase* (o riesgo del receptor; en nuestro caso, de la Administración), que es el riesgo de que una calidad que no se ajuste a las prescripciones se considera aceptable.

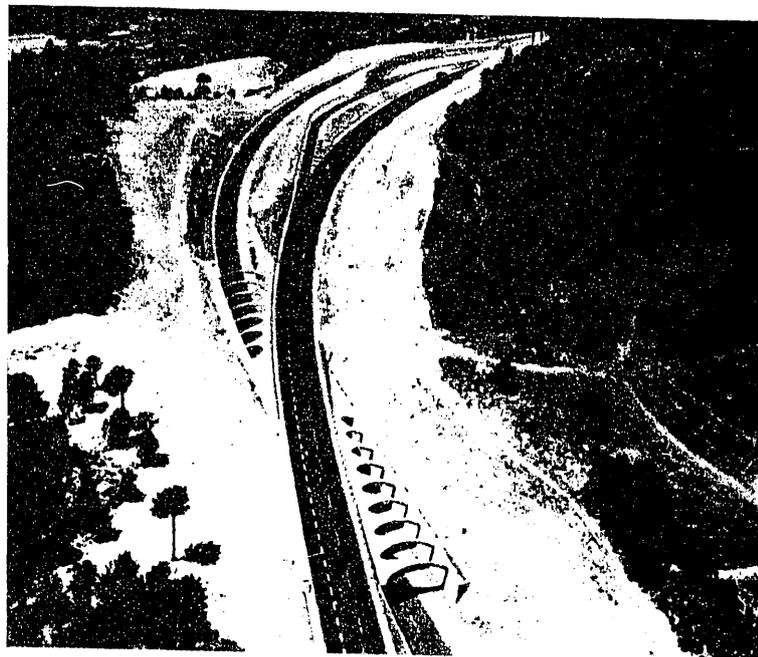
De estos errores se derivan desfavorables consecuencias económicas —y también funcionales, en el segundo caso— y es preciso establecer criterios de decisión que reduzcan ambos riesgos a valores aceptables. Estos criterios deberán contemplar:

1. La función de la calidad característica.
2. La frecuencia de ensayos.
3. El límite o límites de la función de los datos mediante los cuales se tomará la decisión, o sea, la desviación tolerable.

5. El riesgo en la prescripción.

El problema técnico que se presenta al definir una prescripción contractual es determinar, para los materiales y unidades de obra que incluye el proyecto en cuestión, unos niveles mínimos

Fig. 1. — Las autopistas y carreteras de la red primaria, por el intenso y pesado tráfico a que están sometidas, necesitan una gran garantía de calidad en sus estructuras, explanaciones y pavimentos. La compleja tecnología de las soluciones adoptadas postula asimismo la necesidad de control para llegar a la relación óptima precio-calidad.



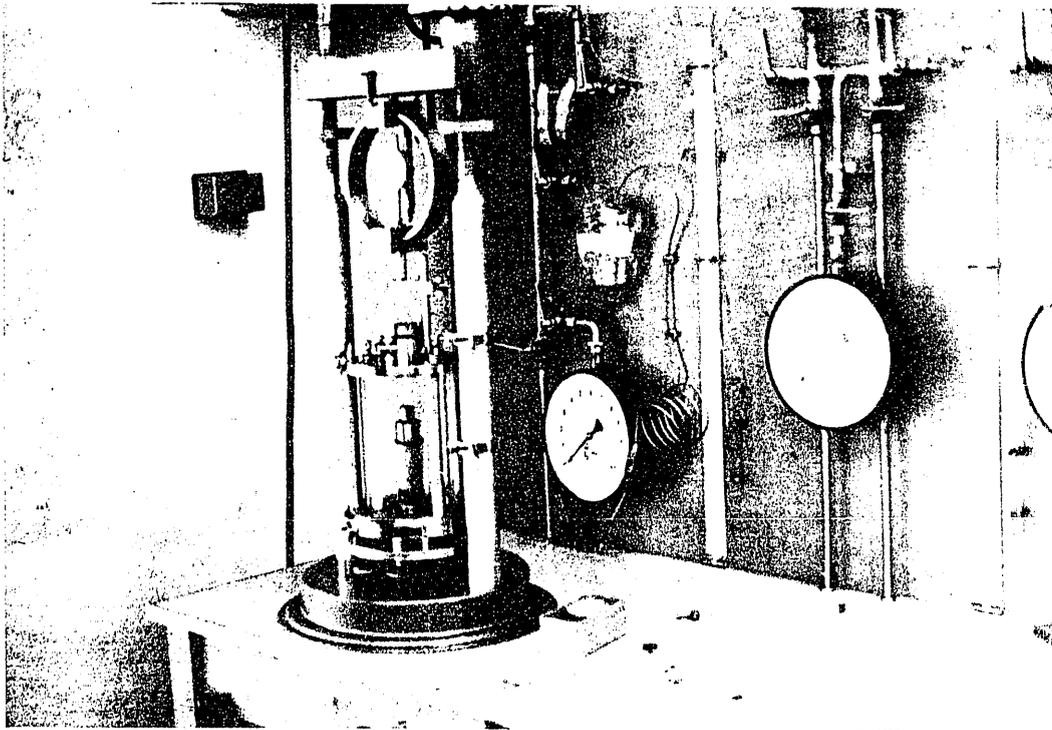


Fig. 2. — La calidad se define por unos ensayos representativos que definen índices característicos. Estos ensayos se llevan a cabo con equipos de laboratorio en un proceso normalizado.

nimos de tolerancia, teniendo en cuenta la falta de uniformidad en los materiales, el proceso de fabricación y las condiciones de empleo en obra.

En cada caso hay que considerar un conjunto de características más o menos amplio, según el tipo de material o complejidad de la unidad, y limitar las tolerancias que se pueden aceptar.

La prescripción que se proponga definirá una calidad que sea suficiente para el buen comportamiento y durabilidad de la obra y deberá ser expresable en índices idóneos para su caracterización.

Esta falta de uniformidad a que antes aludíamos, y con ello la deficiencia en la identificación por la inevitable limitación de los muestreos, obliga a una adopción de valores y, por quedar del lado de la seguridad, a lo que también se suman razones del proceso constructivo, la prescripción debe ser amplia, de lo contrario su formulación exigiría un esfuerzo casuístico de investigación que no merece la pena acometer, considerando el carácter práctico con que se desarrollan las obras. En todo caso existe un riesgo en la redacción de prescripciones téc-

nicas que no es medible en términos de probabilidad.

Como idea general no hay que olvidar que la uniformidad está biunívocamente ligada con la calidad y hay que tratar de conseguirla. El comportamiento frente a las sollicitaciones instantáneas y a su repetición, en variables condiciones ambientales de las calzadas y estructuras, depende no de la resistencia media, sino de la mínima y, en consecuencia, hay que conceder un mayor valor a la uniformidad que a las altas resistencias con grandes dispersiones.

6. El riesgo en el control.

El objetivo básico del control de calidad es llegar a la máxima fiabilidad con el mínimo coste. Por un lado, el contratista es lógico que trate de llegar a la calidad especificada del modo más económico posible, lo que parece que es tratar de alcanzar los límites inferiores que impone la prescripción correspondiente, o sea, trabajar con poco margen de fiabilidad.

Pero, en un aspecto puramente económico

—nos seguimos refiriendo al contratista—, puede no ser bueno, pues se produce como un equilibrio inestable de las dispersiones, que puede dar lugar a unidades rechazadas. Y hay que pensar que las pérdidas por estas unidades pueden superar al incremento de coste que supondría trabajar con cierta holgura por encima de los umbrales mínimos de la prescripción. Es un tema opinable, y en todo caso relacionado con el tipo de la unidad, la regularidad de sus materiales integrantes, el reglado de equipos y demás circunstancias que concurren en un proceso de construcción.

Como antes se apuntó —errores de primera y segunda clase— hay un elemento importante de riesgo, para ambas partes contratantes, en todas las decisiones de control, lo que procede principalmente de que los materiales, sus mezclas y las probetas extraídas de la obra ejecutada se juzgan a través de técnicas de muestreo y de unas frecuencias de ensayos que no pueden ser muy altas para evitar gastos excesivos de control.

7. El riesgo de aceptación.

Las prescripciones técnicas de un proyecto definen los niveles de calidad que se exigen contractualmente, pero también deben definir los métodos por los que se determinan o comprueban estos niveles.

Como hemos dicho antes, se deben utilizar ensayos idóneos que definan unos índices representativos del comportamiento en obra. Asimismo, deben fijar una frecuencia de estos ensayos cuyo coste no exceda de un límite económico. Este límite depende del valor del material o unidad de obra y de las consecuencias que se deriven de la aceptación de calidades apreciablemente inferiores a las especificadas.

Según análisis realizados en Bélgica, país donde en los últimos diez años se ha estudiado con especial atención el control estadístico, el riesgo del suministrador o contratista puede estimarse en el entorno del 5 por 100; es decir, el 5 por 100 es la probabilidad de que un material o unidad de la calidad especificada se juzgue inaceptable.

El receptor, o sea, en nuestro caso, la Ad-

ministración, no puede evitar cierto riesgo, aunque sea muy alta la frecuencia de los ensayos que se prescriban en el contrato.

El riesgo total de que pueda aceptarse un material de determinada calidad está determinado por el producto de la probabilidad de que esta calidad sea producida por la probabilidad de que esta calidad sea aceptada. Para reducir esta probabilidad, el sistema que se ha propuesto en algunos países es imponer una penalidad al contratista en cuanto se detecte una muestra de calidad inaceptable con relación a las exigencias de las prescripciones.

La cuantía de la penalidad es difícil de determinar, pero puede relacionarse con la magnitud de la desviación respecto a los valores especificados para el material o la unidad en cuestión y el probable coste futuro de conservación extraordinaria o reparaciones por obra de calidad deficiente.

8. Un ejemplo de control de pavimentos asfálticos.

Por considerar interesante como sistema avanzado en el control de calidad de mezclas para pavimentos y bases asfálticas, citamos el ejemplo del practicado en Holanda.

En este país, en el período 1960-65, se estudiaron métodos de control estadístico, y en 1966 se aceptó por la contrata y la Administración un método que establece sanciones económicas cuando la calidad es inferior a un límite mínimo fijado contractualmente.

En los últimos años se generalizó la opinión de que los primitivos métodos de juicio de calidad unilateralmente prescritos y empleados por la Administración, que se basaban en el ensayo de un número limitado de muestras, ni siquiera tomadas aleatoriamente, no estaba justificado y postulaba una modificación urgente.

El nuevo método está basado principalmente en una separación categórica: de un lado, el control diario de obra bajo la responsabilidad del contratista, y de otro, un control establecido por el ingeniero de construcción después de la terminación de la obra. La diferencia esencial con respecto al procedimiento clásico se refiere particularmente a la introducción de un cui-

dadoso control de producción por el contratista.

Cuando el trabajo está terminado se realiza el control por la Administración; el resultado de estos ensayos está en relación con la penalización. La responsabilidad del ingeniero de construcción se refiere a los siguientes puntos:

- Comprobar si el contratista dispone del equipo y medios necesarios para un correcto control de ejecución.
- Estudiar si se tiende a conseguir el nivel de calidad requerido, a la vista de los resultados del control de producción que diariamente le suministra el contratista.
- Determinar de acuerdo con el contratista si el nivel de calidad prescrito es alcanzable, especialmente por las circunstancias climáticas, y en qué casos deberán tomarse medidas de corrección.

Se comprobará por el contratista y la Administración en estrecha colaboración si la composición y propiedades de las mezclas que se exigen en las prescripciones pueden conseguir-

se en las circunstancias particulares de la obra. Se establece la fórmula de trabajo, y el nivel de calidad que fija el contrato se modifica si fuese necesario. Las deliberaciones para modificar el nivel de calidad en un principio se reducen a intercambios de opiniones no oficiales entre Administración y contratista. Después esto ha sido objeto de una reglamentación muy precisa.

El control de calidad que comentamos se aplica a todos los firmes asfálticos. Las características controladas son el *espesor* de las capas, el *grado de compactación* y el *contenido de betún*.

Otras características como contenido de *filler* y granulometría de áridos corresponden al control diario del contratista.

La responsabilidad del control durante la ejecución depende del contratista, que dispone de personal y equipo material adecuado para efectuar el control. La Asociación de Constructores de Carreteras estableció laboratorios regionales en tres diferentes distritos de Holanda para asistencia de la pequeña y mediana empresa.

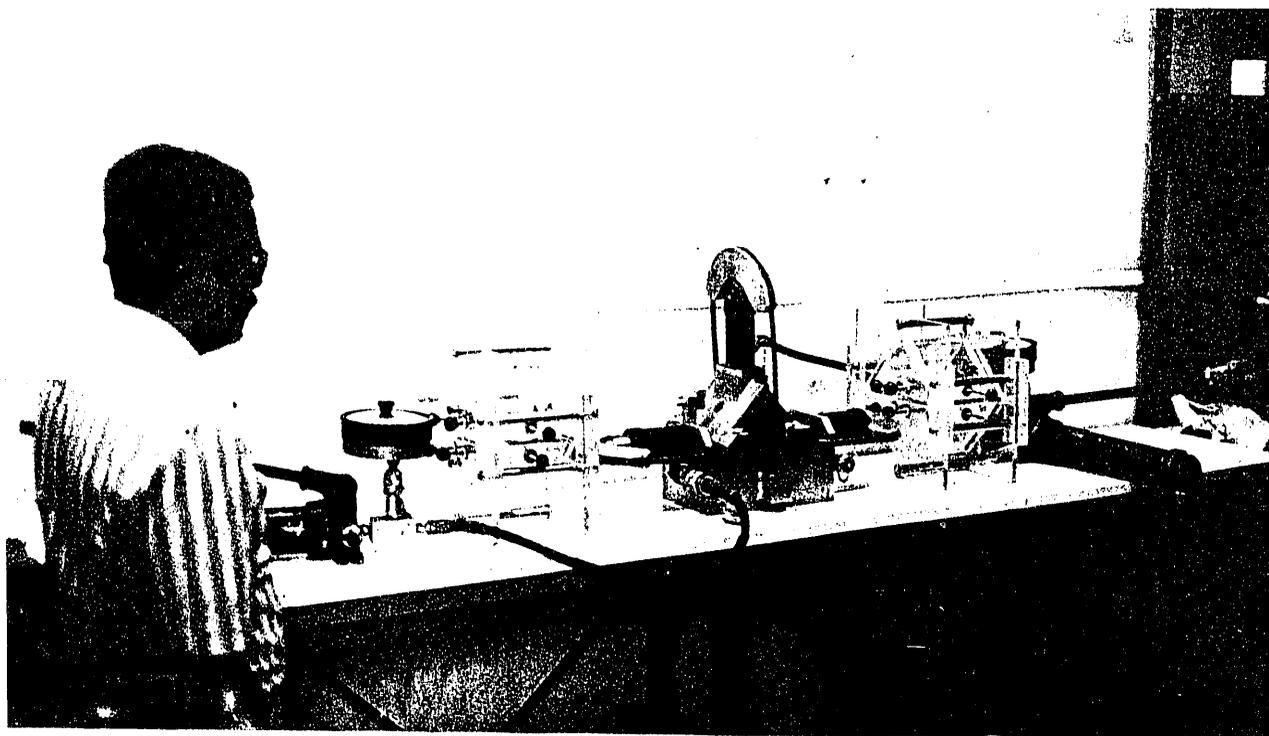


Fig. 3. — La calidad de los materiales que forman parte de las unidades de obra se controlan en la fase de recepción para su aceptación o rechazo.

Se suelen considerar aceptables para la construcción de los gráficos de control las siguientes desviaciones típicas:

- Contenido de betún: $\sigma = 0,30 \%$.
- Contenido de *filler*: $\sigma = 0,80 \%$.
- Fracción de árido $< 24 \text{ mm}$: $\sigma = 3 \%$.

Para el control de la obra terminada, el procedimiento seguido por la Administración es el siguiente:

- En grandes obras, con una superficie de firme mayor de 50.000 m^2 , se toma una muestra cada 2.000 m^2 . El mínimo número de muestras es, por tanto, 25. Ensayando al menos 25 muestras tomadas aleatoriamente, se obtiene un conocimiento suficiente del promedio de calidad del trabajo.

No se aplica ninguna penalidad cuando el resultado de los ensayos muestra que los límites de calidad no son superados en más del 2 por 100.

Incluimos el resumen de los resultados obtenidos en una serie de obras estudiadas:

- En el 50 por 100 de las obras las operaciones se llevaron con suficiente aproximación para evitar totalmente la penalidad por insuficiencia respecto a la aplicación de los valores prescritos. En el resto, la penalidad podía evitarse solamente en aquellos casos en que se usaba más material en media que el prescrito. A mayor desviación típica más cantidad de material había de usarse en exceso.
- En la mayor parte de las obras parece que con respecto a la capa de rodadura y capa intermedia, ninguna sanción apreciable hubo de aplicarse por desviaciones en el contenido de betún asfáltico sobre lo previsto.
- Con respecto al grado de compactación de las mezclas en el 50 por 100 de los casos no hubo lugar a sanción.
- Dependientemente de la desviación típica parece ser que la sanción expresada en porcentaje del coste del pavimento es, aproximadamente, igual a 0,1 ó 0,2 veces

la transgresión del porcentaje de los límites de sanción:

$$p = (0,15 \pm 0,05) P$$

p = penalidad como porcentaje del coste total de la capa de firme.

P = número de resultados de ensayos que superan los límites admitidos, como porcentaje del número total de resultados.

9. Consideración final.

Hemos expuesto brevemente las necesidades del control de calidad por adaptación de las obras a unas prescripciones técnicas idóneas definidas en el proyecto que se construye, para lo que es preciso la coordinación entre la Administración y la contrata, a los efectos de aproximarnos a la máxima garantía en el binomio precio-calidad.

Se han enumerado los diferentes riesgos y dificultades para alcanzar los objetivos del control en las obras de carreteras, y se ha indicado la necesidad de determinar para cada material o unidad de obra unos parámetros sensibles sobre los que realmente se basa la calidad, y de disponer de unos ensayos normalizados mediante los cuales se puede determinar estos parámetros.

Es preciso reconocer que se ha avanzado mucho en este campo, y esto puede verse claramente en nuestro país, donde hace sólo quince años el control de obra se reducía a poco más que a la inspección ocular.

No obstante, el gran volumen de las obras de carreteras y autopistas, su acelerado ritmo de ejecución y las duras solicitaciones del tráfico en frecuencia y cargas, requieren una evolución de la estrategia del control y un perfeccionamiento de los equipos de ensayo, de los métodos de aplicación y de los sistemas de interpretación de datos.

Hay que asegurar con esto el comportamiento y la durabilidad de las obras, y, en consecuencia, es preciso avanzar en las técnicas de control y aplicarlas con toda la conciencia posible. Queda aún camino que andar en este aspecto, y sobre este tema nos remitimos a la autorizada opinión de M. Durrieu, Inspector General de Ponts et Chaussées y Director Adjunto de Carreteras de Francia, que en la clausura

del *Coloquio sobre el control de calidad en la construcción de carreteras*, celebrado en París en noviembre de 1972, decía: "En el momento actual estamos aún muy lejos, tanto en la Administración como en la contrata, de prestar la atención necesaria a la calidad y a su control. Es preciso crear en torno a la calidad un espíritu solidario entre el contratista y el ingeniero de obra; hasta ahora se ha atendido por ambas partes mucho más al precio que a la calidad. En lo sucesivo debería tratarse de restringir las ofertas de los concursos, seleccionándolas por una comisión competente, y según unas normas preestablecidas en función del cuidado manifiesto y explícito por la calidad acreditado en obras anteriores llevadas a cabo por las empresas licitantes."

Los procesos de control de calidad son, pues, perfectibles, y es necesario para ello una

observación sistemática de las relaciones causa-efecto y llegar a través de ella a caracterizar la calidad con la mayor fiabilidad posible.

El tema es importante y está presente en todos los departamentos relacionados con la construcción, considerándose la conveniencia de fomentar el intercambio de información y experiencia entre los países de avanzada tecnología.

En esta línea, la Organización Europea para el Control de la Calidad (EOPC), y a los efectos de un análisis en común de los problemas que plantea el control, ha convocado el Primer Coloquio Europeo sobre el tema, que se celebrará en el Instituto "Eduardo Torroja" en el próximo marzo, en el que esperamos se den a conocer interesantes novedades y tendencias en el campo a que hemos dedicado nuestro trabajo.