

y de ellas se deduce:

$$M_A = \frac{3 I_1 L_2 + 2 I_1 L_2 L + 2 I_2 L L_1}{I_1 L_1 L_2 + 2 I_1 L_2 L + 2 I_2 L L_1} \frac{w L^2}{24}$$

$$M_F = \frac{I_2 L_1 L}{\Delta} \frac{w L^2}{24}$$

é inmediatamente:

$$M_B = M_A - \frac{1}{8} w L^2 = - \frac{(I_1 L_2 + I_2 L_1) 4 L}{\Delta} \frac{w L^2}{24}$$

idénticos á los ya encontrados en el pár. II.

Además:

$$v = - \frac{3}{L_2} M_F = - \frac{I_2 L_1 L}{\Delta} \frac{L}{L_2} \frac{w L}{8}$$

y mediante la ecuación (IV):

$$h = \frac{3}{2 L_1} \left(M_A - \frac{w L^2}{8} \right) + \frac{3}{L_1} M_F =$$

$$= \frac{I_2 L L_1 - I_1 L_2 L}{\Delta} \frac{L}{L_1} \frac{w L}{16}$$

La reacción v es descendente; la del pilar, V , supera, por consecuencia, á $\frac{1}{2} w L$. h puede ser positiva, ó negativa, según que $I_2 L_1$ sea mayor, ó menor, que $I_1 L_2$. M_D se deduce inmediatamente de (1), M_E y M_C de los valores (?).

¿Resulta el cálculo anterior diez veces más largo que el de Mr. Mancy? Los lectores apreciarán hasta dónde llega la hipérbole (*).

Fervientes admiradores de Castigliano, á cuya memoria dedicamos en esta Revista (**) una serie de artículos para divulgar sus teoremas y métodos, no por ello somos exclusivistas, ni mucho menos. En unos estudios abandonamos el método del trabajo elástico por el fundado en las expresiones de los recorridos angulares (á veces reducidas éstas al término en M , á veces completadas con los relativos á los demás elementos y á las variaciones de posición de los soportes); en otros casos preferimos el método clásico, la integración de las ecuaciones diferenciales fundamentales; en otros, por último, encontramos que la aplicación de los teoremas de Castigliano es la que resuelve el problema con arreglo al mismo principio fundamental de *requerir el mínimo trabajo*.

JUAN MANUEL DE ZAFRA,
Profesor de Hormigón armado
y de Puertos en la Escuela de Caminos.

EL PAVIMENTO

DE

GRANITO ARTIFICIAL SOLIDITIT

EN LAS VÍAS PÚBLICAS (1)

El pavimento ideal.—El pavimento ideal para caminos con intenso y pesado tráfico, debería estar formado por una inmensa laja de granito ó de pórfido con superficie lisa é impermeable, pero no resbaladiza, bastante dura para resistir al rozamiento y

(*) O el no saber manejar bien el trabajo elástico. Do poco sirve un arma de alta precisión en manos de un mal tirador.

(**) Noviembre y Diciembre de 1912; Enero de 1913.

(1) Publicamos con mucho gusto este artículo, inserto en los *Annali della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani*, y que nos ha remitido traducido su autor, el distinguido Ingeniero italiano Sr. Luigi.

con desgaste uniforme bajo la acción del tránsito de vehículos y caballerías. Debería, además, poder ser arreglado fácilmente en caso de reparaciones por simple sustitución de nuevo material en los sitios deteriorados, con adherencia perfecta á las partes restantes; tampoco debería formar polvo, ni barro, ni ser muy sonoro; conviene también tenga aspecto agradable á la vista, y debería, en fin, ser de costo reducido.

A este ideal, en realidad muy difícil, por no decir imposible de conseguir por completo, se aproximan los pavimentos formados de materias aglomerantes depositadas en estado plástico y que después se endurecen, como son los de asfalto y los aún más recientes con mortero de cemento.

Los primeros están ya bastante empleados en Norte-América y en Europa; los segundos empiezan á ser comunes en América y también en Italia, donde los pavimentos de asfalto ó de tarugos de madera resultan demasiado caros, mientras que los de hormigón, ó sea con los de aglomerante de cemento son más baratos, por haber en Italia abundancia de materiales adecuados; y, en efecto, hay ya muchas aplicaciones de esta clase de pavimentos en las grandes ciudades y en las carreteras nacionales y provinciales italianas, todas las que han dado resultados muy satisfactorios.

Comparación entre las calzadas de asfalto y de hormigón.—Los pavimentos monolíticos con aglomerante asfáltico ó bituminoso, responden bien á muchos de los requisitos mencionados, pero presentan el inconveniente de ser resbaladizos en tiempo lluvioso, de resblandecerse en verano y de tener tendencia á agrietarse en invierno; además, su aspecto es algo sombrío, producen un poco de polvo de color negruzco, que se pega fácilmente, y dan un olor que resulta molesto á algunas personas, siendo, sobre todo, de un precio elevado, pues cuesta de 18 á 22 liras el metro cuadrado, por lo que se emplea, especialmente, en las vías de gran tráfico de las grandes ciudades para el transporte rápido á tracción mecánica.

Los pavimentos monolíticos con aglomerante de mezcla de cemento tendrían todas las ventajas de los de asfalto sin presentar sus inconvenientes, á condición de poder preparar un hormigón de cemento, arena y piedra machacada, en el cual estuviesen los elementos unidos por una verdadera reacción química, como sucede en los granitos naturales, y no por simple adherencia física, como ocurre en el hormigón ordinario de cementos portland. Sería, además, necesario que el mortero de cemento y arena tuviera resistencia igual á la de la piedra machacada para que el desgaste del piso fuese uniforme.

Estas condiciones, que desde hace tiempo constituyen el objeto de experimentos de muchos químicos en Francia, Alemania, Inglaterra é Italia, han sido realizadas por un cemento especial llamado Soliditit, que lo fabrica la Sociedad Portland Casalesi, de Casale Monferrato, el centro más importante de Italia para la producción de cemento.

Este nuevo tipo de cemento Soliditit parece ser un verdadero compuesto químico y contiene una proporción muy alta de sílice soluble y pequeña de cal, ó sea lo contrario de lo que se encuentra en los ordinarios cementos portland (1).

Los pavimentos hechos con este cemento especial y con pie-

(1) Análisis de este cemento:

	Por ciento.
Pérdida por el calor	1,62
Sílice soluble ó insoluble	56,38
Alúmina	5,50
Oxido de hierro	1,80
Cal	33,12
Magnesia	1,52
Acido sulfúrico	0,95
Alcalis	Indeterminado.

dra cuarzosa machacada en menudos fragmentos, mucho más pequeños que de costumbre; sin agregación ninguna de arena, resultan tan duros y resistentes que pueden compararse á una gran laja de granito. El hormigón así formado no es ya una simple mezcla que está unida por adhesión, sino que es prácticamente un verdadero compuesto químico bastante bien definido, resultante de la acción del exceso de sílice del cemento sobre la piedra cuarzosa. De aquí depende que en las pruebas á la compresión, á la tracción, al esfuerzo cortante y al desgaste, se obtienen resultados tres ó cuatro veces superiores á los de los mejores hormigones fabricados con portland y con las usuales proporciones de arena y grava.

De estos experimentos referentes al granito artificial Soliditit pueden dar una idea los efectuados por el profesor Guidi en su laboratorio del Politécnico de Turín.

Ensayos á la compresión del granito artificial hecho con cemento Soliditit.

Probeta.....	Dimensiones. — m.	Superficie comprimida. — cm²	RESISTENCIA		Observaciones.
			Total.	Unitaria.	
			Ton.	Kg/cm²	
1	4,98 × 4,98 × 4,92	24,80	15,50	625	Fractura con fuerte ruido.
2	4,98 × 4,95 × 4,98	24,62	21,70	680	"
3	5,06 × 5,07 × 5,07	25,65	21,70	815	"

Ensayos al desgaste de probetas del mismo material con la máquina de Amsler.

Recorrido, 500 metros. Presión sobre la probeta, 20 kilogramos.

Probeta.....	Superficie experimentada. — cm²	Presión unitaria. — Kg/cm²	ESPESOR		PESO		Observaciones.
			Antes de la prueba.	Después de la prueba.	Inicial.	Final.	
			mm	mm.	g.	g	
1	5,04 × 5,01 = 25,5	0,785	50,9	5,7	312,970	276,720	Prueba en seco.
2	5,14 × 5,04 = 25,5	0,785	45,4	6,5	277,400	236,730	Idem en húmedo.

De estas pruebas resulta que la resistencia á la compresión es verdaderamente extraordinaria, pues está comprendida entre 625 y 880 kilogramos por centímetro cuadrado, siendo así análoga á la resistencia de las mejores piedras naturales y tres ó cuatro veces superior á la de los conglomerados ordinarios compuestos con cemento portland corriente, arena y grava.

Esta resistencia tan grande, repetimos, depende de la naturaleza del cemento Soliditit, el cual produce una acción química verdadera sobre la piedra cuarzosa machacada que se emplea para este objeto, resultando así prácticamente un verdadero granito artificial.

Los ensayos de desgaste, tanto en seco como en húmedo, efectuado por el profesor Guidi, demuestran también que la resistencia del granito artificial Soliditit es análoga á la del granito natural empleado en la pavimentación de muchas ciudades del Piamonte y la Lombardía, en Italia.

Pavimento de granito artificial Soliditit.—El pavimento de este sistema está formado por una capa de piedras colocadas sobre el terreno y por otra superpuesta de piedra machacada bien cilindrada, como en el firme macadán ordinario. Sobre este cimientto se extiende otra capa del aglomerado en estado plástico, hecho

con cemento Soliditit, piedra cuarzosa, machacada menuda y muy poca agua, con espesor de 3 á 4 centímetros en los bordes y 5 á 6 centímetros en el centro. Esta capa se endurece pronto, y después de ocho á diez días se comporta como una inmensa laja de granito, sin juntas ni oquedades, causa siempre de averías y desgaste anormal, y que es tan dura y unida como un pavimento de asfalto ó de entarugado, pero sin resultar resbaladiza, de modo que los caballos pueden desarrollar igual esfuerzo de tracción que sobre el granito natural. Esta gran laja no sufre ni dilatación en verano ni contracción en invierno; produce poco desgaste en las llantas de los vehículos, especialmente en los neumáticos de los automóviles, y no tiene el aspecto negruzco y sombrío del asfalto, sino el color casi tan claro del granito natural.

Además, cuando hay que efectuar reparaciones en el pavimento, basta dar aspereza á la superficie, lavarla después con abundante agua, salpicarla con cemento Soliditit y agregarle la cantidad suficiente del aglomerado plástico, preparado como se ha indicado, con este cemento y piedra menuda cuarzosa, sin agregar arena. Se consigue así que la parte nueva se adhiera perfectamente á la antigua, á semejanza de lo que sucede en el pavimento asfáltico. De este modo, con muy poco gasto, se puede siempre tener el pavimento en perfecto estado de servicio.

Aplicaciones hechas en el extranjero.—En Norte América los pavimentos construídos con hormigón de cemento muy rico en sílice son ya bastante comunes, y el ejemplo más importante se tiene en Detroit (Michigan), centro principal de construcción de automóviles, donde ya se cuenta más de 140 kilómetros de vías así pavimentados. También hay 70 kilómetros en el Estado de Ohio, 40 kilómetros en el de New Jersey, y varios en los de Maine, Minnesota y otros Estados. Es importante, sobre todo, la pavimentación recientemente ejecutada de todas las grandes avenidas del Central Park, de Nueva York, en donde se pretendía obtener un piso de lujo para paseo, que resultara, sin embargo, menos costoso que el de asfalto y no fuese resbaladizo en tiempo húmedo. El pavimento de hormigón, adoptado en 1911, ha dado excelentes resultados, llenando todos estos requisitos.

Este pavimento es tan empleado actualmente en Norte América, que en Febrero de 1914 se celebró en Chicago el I Congreso Federal de las Vías de hormigón (Interstate Concrete Road Congress), con el objeto de unificar ideas, discutiendo el sistema, y de dictar las instrucciones más apropiadas para su mejor aplicación.

Aplicaciones realizadas en Italia.—También en Italia, desde hace varios años, principalmente en los alrededores de Casale, que es el centro de mayor producción de cemento, fueron realizadas numerosas aplicaciones de este sistema de pavimentación. Los resultados han sido tan satisfactorios, que una fábrica especialista en cementos, la Società Portland Casalesi se animó á producir en vasta escala esta clase, llamado Soliditit, y otra casa dedicada á obras de pavimentación de vías, la Società Puricelli, de Milán, se encargó de la construcción de estas calzadas de granito Soliditit.

Fueron así pavimentados, como extensa prueba, muchos caminos provinciales de Alejandría, Milán, Roma, Palermo y Bologna, y en vista de los excelentes resultados obtenidos se empleó el sistema en importantes calles y avenidas, en las partes más recargadas de tráfico de las ciudades de Roma, Milán, Monza, Ferrara y otras con el mayor éxito.

El Ingeniero Cab. Settimio Riviera, Ingeniero Jefe de la provincia de Alejandría, en un informe del 21 de Junio de 1913, dirigido al Consejo provincial, se expresa en los siguientes términos: «De los perfiles tomados en un trozo del camino de acceso á Casale, donde el tráfico es intenso y pesado, hasta llegar á

2.500 vehículos por día, algunos de peso de 7.500 kilos, el desgaste medio de la superficie de la calzada de granito artificial Soliditit, resultó ser de 1 á 2 milímetros por año». «No se han abierto quiebras ni grietas capilares, y el pavimento ha obrado como una capa impermeable, que ha protegido el subsuelo de la lluvia y del reblandecimiento que se producía con el antiguo sistema de afirmado. En las fuertes heladas ha sido suficiente esparcir un poco de arena sobre el piso, para que los caballos no resbalaran; observándose después que ni aun esta precaución era necesaria. El desgaste superficial del pavimento se ha mantenido tan exiguo». En efecto, del dibujo anejo al informe, resulta que el máximo en los sitios más concurridos es sólo de un milímetro por trimestre, y en los demás trozos de la calzada fué insignificante, habiendo aún puntos en que la delgada costra de cemento puro que se forma, naturalmente, en la superficie cuando se pone en obra el aglomerado de cemento y piedra menuda cuarzosa, había quedado intacta.

El Ingeniero Com. I. Vandome, Jefe del servicio técnico de la provincia de Milán, en donde las carreteras tienen un tráfico extremadamente intenso y pesado, se expresó así en una conferencia dada en el Colegio de Ingenieros (Atti del Collegio degli Ingegneri et Architetti di Milano, 1914):

«Podrán interesar á los colegas unas pruebas del pavimento formado con granito machacado en menudos pedazos y un cemento especial, llamado Soliditit, del cual tiene la patente la Sociedad de los Portland Casalesi. Este cemento posee propiedades físicas y químicas bastante distintas de las del cemento Portland usual en el comercio, y ofrece tal resistencia al paso de las ruedas de los vehículos que su desgaste es igual al del granito.»

«Uno de los experimentos fué hecho en Septiembre de 1913, y el otro en Marzo de 1914. Después de 6.000 pasadas de la rueda normal, del peso de 100 kilogramos por centímetro de llanta, lo que corresponde al tránsito de 710 bestias de carga por día, esto es, al movimiento que se verifica en un camino de tráfico muy importante, la profundidad media de la rodada resultó ser de 1,6 milímetros. Después de 16.000 pasadas de la misma rueda, la profundidad llegó á 3,8 milímetros, lo que es casi insignificante para una vía de tráfico sumamente pesado é intenso». «Además, con el auxilio de un dinamómetro registrador se determinó el coeficiente de tracción, que era de 1/60, término medio, de la carga arrastrada; y se observó que un caballo de 500 kilogramos de peso, en el momento del arranque con un carro de 3.700 kilogramos podrá hacer un esfuerzo de 400 kilogramos, sin dificultad alguna, por agarrar firmemente la herradura sobre el piso».

Conclusiones.—Las conclusiones á que se llega son las siguientes:

a) En los experimentos hechos en el extranjero, especialmente en los Estados-Unidos desde hace varios años, y en los más recientes efectuados en Italia, los resultados han sido uniformemente en extremo satisfactorios todas las veces que se empleó un aglomerado de piedra menuda cuarzosa y de cemento especial con alta proporción de sílice, como lo es el llamado Soliditit, hasta ahora el más rico en este elemento y el único capaz de producir una verdadera adhesión química entre los componentes, formando así una especie de granito artificial.

b) En los ensayos de laboratorio realizados por el profesor Guidi con objeto de comparar este granito artificial con las buenas piedras naturales, se ha reconocido la gran resistencia que ofrece este aglomerado, ya sea á la tracción ó á la compresión, ó bien al desgaste.

c) En las pruebas de plazo largo, verificadas por los Ingenieros Vandome y Riviera en vías de tráfico intenso y pesado,

han sido ampliamente confirmados los buenos resultados de laboratorio; y el hecho que en muchas ciudades de Italia, en Roma y Milán especialmente se están ejecutando importantes aplicaciones de este tipo de pavimento, es la mejor demostración del favorable juicio de los Ingenieros de puentes y caminos acerca de sus condiciones.

En resumen, es un sistema conveniente para vías de intenso tráfico, que satisface, con menor coste, todos los requisitos incompletamente cumplidos por otros tipos más caros; que es más barato que el pavimento de asfalto ó de madera, de los cuales reúne todas las ventajas, sobre todo la de poder ser reparado fácilmente como aquél, y ninguno de los defectos, especialmente en tiempo húmedo; y que tiene duración más larga, en buen estado de conservación, que los demás sistemas. Merece, por consiguiente, se dé á conocer á los técnicos y que su ensayo se extienda.

DR. ING. LUIS LUIGGI,

M. Inst. C. E., Inspector general de puentes y caminos,
Profesor en el Real Politécnico de Roma.

Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

DISCURSO DE D. JOSÉ ECHEGARAY

EN LA RECEPCIÓN DEL

NUEVO ACADÉMICO D. AUGUSTO KRAHE

(CONTINUACIÓN)

Todas las raíces de una ecuación, que admitiendo el caso más general podemos suponer que sean imaginarias, y si algunas no lo son lo mismo da, porque lo particular está comprendido en lo general, pueden suponerse representadas por afijos, ó sea por puntos determinados en un plano, que, para abreviar, puede llamarse el plano de Cauchy.

Estos puntos determinarán un polígono de tantos lados como unidades tiene el grado de la ecuación. Pero mientras el problema no se resuelva, ni se conocerán dichos puntos, ni se conocerá el polígono.

Poco importa, porque de las propiedades de éste y utilizando los coeficientes de la ecuación, pueden deducirse determinados puntos, que para darme á entender con claridad llamaré *puntos característicos*; y estos puntos podrán determinarse, y deberán determinarse, como antes dije, si el método ha de ser eficaz, por medio de los coeficientes de la ecuación dada, que son cantidades conocidas; en suma, estos puntos característicos se fijarán mediante ecuaciones de grado inferior al de la propuesta ó que sean casos particulares fáciles de resolver.

Así, en la ecuación de segundo grado puede conocerse directamente por el segundo coeficiente de la ecuación el *punto medio* del segmento de los afijos, que será punto característico para esta ecuación.

Y en la ecuación de tercer grado podrán deducirse dos puntos de los que he llamado característicos, y que Neuverg llama centros isodinámicos.

Y en las ecuaciones armónicas del grado n es también fácil obtener *dos de estos puntos*, que designa el autor citado con idéntico nombre, con el de centros isodinámicos.

Y en las ecuaciones de cuarto grado, por fin, será fácil hallar *tres puntos* característicos, que son los puntos de Miquel, y que se obtienen por una ecuación de tercer grado.