

motores ordinarios. Es inútil el entrar aquí en detalles de las disposiciones eléctricas que se emplean para cambiar la velocidad de los motores de tranvías; éstas se pueden considerar como perfectas y están arregladas mecánicamente, de tal modo, que es absolutamente imposible, para el electricista que los maneja, el cometer una equivocación.

(Se continuará.)

PHILIP DOWSON.

REVISTA EXTRANJERA

Teoría del endurecimiento de los cementos hidráulicos por el Dr. W. Michaelis (1).

Si se hace una mezcla de sílice hidráulica, alúmina, óxido hidratado de hierro y puzolanas naturales en forma de polvo fino y se le añade agua de cal, el polvo se coagula ó fragua en poco tiempo á consecuencia de la hidratación, y ocurre esto algunas veces aun sin precipitación de la cal contenida en la solución.

La pasta de cal consiste en diferentes hidratos de calcio, desde el monohidrato al que contiene ocho moléculas de agua. El hidrato de cinco moléculas de agua ha sido definitivamente identificado por mí y por otros químicos. El hidrato de calcio gelatinoso, que tan frecuentemente se observa en los ejemplares de ensayo, es un polihidrato.

El proceso que se realiza por la acción de la pasta de cal sobre las puzolanas consiste, pues, en lo siguiente:

La sílice, la alúmina y el óxido de hierro se apoderan del agua de la solución ó de la mezcla, y producen en consecuencia la coagulación ó fraguado; pero la sílice, según toda probabilidad, toma el agua de los hidratos de calcio más ricos; al entumecerse, penetra en la contigua masa plástica de cal, y precipita, por la absorción del agua, el monohidrato de calcio, con lo cual la sílice gelatinosa va adquiriendo mayor consistencia á medida que el monohidrato de calcio se va precipitando. Tal es el verdadero proceso del endurecimiento. La sílice se une al hidrato de calcio del mismo modo que las fibras animales ó vegetales con las tinturas.

Está demostrado que la sílice y la alúmina tienen gran afinidad con las tinturas, lo cual se explica por la atracción superficial debida á la capilaridad, que no da lugar á la formación de compuestos químicos de proporciones definidas, sino de mezclas muy variables. Sin embargo, la sílice no puede unirse más que con una cierta cantidad limitada de hidrato de calcio; el resto queda libre; puede hallarse completamente envuelto, pero de ningún modo combinado químicamente. El exceso, en su mayor parte, cristaliza, y desde el momento en que esta cristalización puede efectuarse inmediatamente, sobre todo si no existe en la solución más que una pequeña cantidad de álcali libre, el hidrato de calcio cristalizado se precipita con la sílice amorfa; esta circunstancia puede conducir al observador á la conclusión errónea de considerar este precipitado como un hidrosilicato de calcio cristalizado.

Lo mismo que la sílice, aunque en menor grado, obran

también la alúmina y el óxido de hierro. Luego, si se mezclan y amasan bien las puzolanas con pasta de cal firme (mezcla de monohidrato y de polihidratos de calcio) obtendremos una masa plástica formada de polvo de puzolana seco, de hidrato de calcio, y del agua mezclada, si se ha añadido en exceso.

No existe en este caso absorción de agua por la cal, porque la cal completamente apagada no es susceptible de hidratarse más (1). En consecuencia, la combinación del agua, que es la causa de la coagulación ó fraguado del mortero, sólo puede efectuarse por la hidratación del polvo de puzolana, como ya lo he demostrado más arriba.

Es claro que los factores hidráulicos que experimentan entumecimiento, y más especialmente la sílice, deben penetrar en todos los intersticios que se hallaban previamente llenos de agua; y que, al aumentar de volumen, deben envolver las moléculas de cal, aunque no ejerzan una fuerza especial de atracción sobre ellas.

De la combinación con el agua debe resultar un cierto grado de cohesión, que es mayor cuando los factores hidráulicos absorben el agua del polihidrato gelatinoso de cal. El endurecimiento empieza así por la expansión de los factores hidráulicos; pero, sin la precipitación ó la presencia de un cuerpo estable, que sirve como de esqueleto, no se alcanzaría un grado muy elevado de resistencia, siendo así que las sustancias que aumentan de volumen adquieren mayor plasticidad cuanto mayor cantidad de agua toman. El monohidrato de calcio que se precipita ó que se combina con ellas asegura su solidificación. Los intersticios se van obstruyendo gradualmente á medida que la expansión (locomoción molecular) progresa, y el mortero se hace impermeable á condición de que haya suficiente cemento.

El entumecimiento persiste mientras la solución de cal obra sobre los factores hidráulicos y mientras queda espacio en el cual pueden éstos penetrar.

En el proceso de formación, el ácido hidrosilícico no ejerce grandes presiones, pues es plástico, y no pueden hacer más que llenar el espacio que antes contenía agua unida, ya mecánica, ya químicamente; además los hidratos ricos y poco estables de las sustancias coloidales darán probablemente agua á presión. Es muy diferente de lo que sucede con la cal cuando se transforma en monohidrato, cuerpo estable. Se realizan presiones considerables á consecuencia del aumento de volumen de las moléculas de cal, aunque considerado el fenómeno en conjunto, se observa una contracción; esto es, que aunque el monohidrato formado ocupa menos espacio que el que ocupaban sus componentes, esta sustancia, que es rígida, no puede adaptarse á la forma de los espacios vacíos, sino que crece su volumen allí donde se forma; se conduce por esta razón como las formaciones cristalinas que se dilatan en determinadas direcciones con fuerza irresistible. De aquí que hasta ahora no se haya podido probar que la presencia de ampollas es debida á la expansión de los factores hidráulicos.

Se realizan expansiones peligrosas, ya por la hidratación de la cal, ya por los procesos de cristalización, que concurren con el verdadero endurecimiento hidráulico. Los últimos procesos consisten en la formación de aluminato y ferrato de calcio, de sulfato de calcio y del compuesto doble de aluminato y sulfato de calcio.

(1) Véase el número anterior.

(1) Sólo á temperaturas elevadas podría el monohidrato absorber más agua.

La solución de cal no es por sí sola suficiente para la formación de un mortero capaz de un buen endurecimiento; la cal debe hallarse en exceso (mejor en forma de hidrato sólido de calcio) y, en la preparación del mortero, debe mezclarse lo más íntimamente posible, con las puzolanas. De otro modo, los factores hidráulicos se entumecerían ciertamente, pero sólo se unirían exteriormente con la cal, y obteniéndose una sustancia cuya constitución, á mi juicio, puede ser comparada con la de los huevos de peces, en los cuales una envoltura dura y casi impenetrable rodea á un núcleo plástico, impidiendo que se propaguen hacia el interior nuevas reacciones capaces de producir el endurecimiento.

Es bien sabido en la práctica que, para obtener buen mortero de puzolana, es menester mezclar muy íntimamente el polvo de puzolana con el hidrato de calcio.

En el endurecimiento de las puzolanas encontramos el caso más sencillo del proceso del endurecimiento de las mezclas hidráulicas, el cual he comparado ya con el proceso del curtido (*Chemiker Zeitung*, 1893, 17, número 69). Del mismo modo que la piel de un animal preparada precipita el tanino, haciéndose fuerte y duradera, así también la sílice entumecida hidráulicamente precipita el hidrato de calcio y forma con él un aglutinante mineral duro.

Las puzolanas fraguarán, por lo tanto, con lentitud, porque en este caso no existe la absorción rápida del agua por el aluminato de calcio. Además, la energía de la combinación con el agua depende de la coherencia de la sílice; con los morteros de puzolana, la absorción relativamente lenta del agua por los factores hidráulicos se realiza sólo bajo la influencia de la solución de cal y la combinación gradual de los hidratos formados con el exceso de hidrato de calcio. Las puzolanas deben, pues, contener sílice hidráulica y alúmina en estado libre, ó por lo menos, un silicato de aluminio capaz de entumecerse en presencia del agua de cal.

La arcilla pura, el kaolin, por ejemplo, cuya fórmula química es: $Al^2 O^3 + 2SiO^2 + 2H^2O$, es un conjunto demasiado estable, y no experimenta entumecimiento con el hidrato de calcio; después que esta sustancia se disocia por la acción de un calor moderado conforme á la fórmula $Al^2 O^3 + Al^2 O^3, 3SiO^2$, ó también $Al^2 O^3 + 2SiO^2$, se endurece hidráulicamente con el hidrato de calcio. Esta explicación se apoya en la diferente acción de las arcillas en presencia de los álcalis, antes y después de la calcinación. El kaolin no calcinado se disuelve simplemente en el agua de legía caliente; después de la calcinación se verifica la disolución en la proporción de $Al^2 O^3$ para $3SiO^2$.

Sin embargo, la calcinación de las puzolanas naturales no debe ser exagerada; de lo contrario, procediendo por vía caliente, con lo cual la sílice desarrolla afinidades energéticas, se formarían compuestos demasiado estables; por la vía seca, la afinidad de la sílice es prácticamente nula, como es muy sabido.

Por la calcinación de las puzolanas, sólo el óxido de hierro es excluido por completo del proceso de endurecimiento hidráulico; se convierte en masa totalmente inerte, y puesto que la sílice y la alúmina adquieren por la calcinación más coherencia, el fraguado y el endurecimiento se efectúa más lentamente; las puzolanas calcinadas con moderación se endurecen, no obstante, casi tan bien como las no calcinadas.

(Se concluirá.)

Pavimentos de cables de pita en los puentes. (1)

La construcción de pisos ligeros y resistentes para los puentes metálicos es bastante difícil de realizar cuando el espesor del tablero es pequeño, como sucede en la mayor parte de los puentes giratorios de los puertos marítimos.

En los puentes de simple vía del puerto de Cette, en que la circulación diaria varía de 600 á 2.000 colleras, los pavimentos antiguos para carruajes ordinarios consisten en un entarimado de olmo de 0,04 de espesor, clavado sobre un entablado de roble de 0,08 m. á 0,10 m. La conservación de estos pisos es muy costosa; su renovación frecuente ocasiona molestias al público y los agujeros de los clavos en las reparaciones sucesivas del entablado superficial dejan en pocos años inservibles los tablonos de roble.

Estos últimos años, el gasto de conservación de los entablados de olmo ha variado entre 4,75 y 11 francos anuales por metro cuadrado, gasto que, referido á la unidad de circulación, representa por término medio 0,45 francos por 100 colleras.

Una indicación de los *Annales des Ponts et Chaussées* (Notice sur le pont levant de Larrey, por M. Galliot, 1893), en la cual se da cuenta del empleo de cables de pita para la construcción de un pavimento de puente, ha conducido á ensayar la aplicación de este sistema á los puentes giratorios de Cette, y este ensayo ha dado resultados muy satisfactorios.

Los cables empleados son cables viejos de minas, cuyo precio al pie de obra varía de 25 á 31 francos los 100 kilogramos.

Su espesor está comprendido entre 35 y 50 milímetros, y su ancho medio es de 22 centímetros. Se clavan sobre el entablado de roble transversalmente al eje del puente, después de embrearlos por sus dos caras y apretándolos unos contra otros; sus extremidades tocan á las aceras y se sujetan con fuertes llantas de hierro, ó se empotran en un reborde de mortero de cemento, ó también se introducen debajo de los largueros de las aceras.

Los pavimentos contruidos de este modo son resistentes y elásticos; no son resbaladizos y su peso no llega á 50 kilogramos por metro cuadrado.

Su construcción es bastante costosa, como lo indica el siguiente ejemplo, que se refiere á una superficie de 100 metros cuadrados.

	Francos.
Adquisición de cables: 5.000 kgs. á 31 fr. los 100 kilogramos.....	1.550,00
Adquisición del alquitrán: 1.240 kgs. á 35 fr. los 100 kilogramos.....	434,00
Adquisición de clavos: 3.000 á 3 fr. el 100.....	90,00
Mano de obra, incluyendo el aserrado, el alquitranado y el clavado; 29 jornales á 4 francos.....	116,00
Gastos diversos.....	37,15
Total.....	2.227,15

ó sea 22,05 fr. por metro cuadrado.

Los primeros ensayos se hicieron en la primavera de 1894, y desde aquella época la conservación de los cables de pita no ha ocasionado ningún gasto.

Los cables no presentan señal alguna de desgaste y se puede esperar que aún durarán muchos años.

El empleo de los cables de pita parece, pues, recomendable

(1) *Annales des Ponts et Chaussées*, M. Herrmann.