



Voy a tener que explicarlo muy bien porque nadie me va a creer que con diez centavos de voltio se hubiera podido mitigar notablemente el riesgo latente de un colapso en el drenaje profundo de la Ciudad de México, además de ahorrarle al país más de 50,000 millones de pesos cada año por daños a esa y otras construcciones. Primero, no me creerían porque diez centésimas de voltio es muy poquito. Se requieren 15 veces esa cantidad para apenas mover el conejito con el tambor con una pila seca de 1.5 voltios. Segundo, porque es difícil aceptar que una solución tan simple hubiera sido clave en la seguridad del drenaje profundo, una de las estructuras de más alto impacto social y económico de México. Y tercero, porque 50,000 millones son muchos pesos.

El drenaje profundo es una gran tubería hecha de concreto reforzado con acero que consta de unos 80 Km. de interceptores que captan aguas de drenajes y lluvias a lo largo y ancho de la ciudad y que convergen en un emisor profundo de unos 50 Km. de largo para salir al río El Salto, muy al norte de la capital. La profundidad de este drenaje varía entre 30 y 50 metros. La mayoría de los ductos que componen el drenaje profundo tienen entre 4 y 6.5 metros de diámetro.

Típicamente el concreto y el acero hacen un matrimonio casi perfecto como pareja de materiales. El acero provee la resistencia a la tensión, mientras el concreto aporta su resistencia a la compresión; el acero es embebido por el concreto protegiéndolo del contacto directo con los agentes corrosivos del suelo y del agua, y la alta alcalinidad del concreto le ofrece también al

acero una gran estabilidad química; además térmicamente el acero y el concreto son muy compatibles. Sin embargo, ciertos entornos pueden deteriorar seriamente a los matrimonios mejor avenidos, y la pareja concreto—acero no es la excepción. El agua de drenaje suele contener sustancias ácidas, salinas o muy corrosivas que penetran en las grietas o microgrietas que suelen darse en el concreto. Al penetrar la humedad acidificada y hacer contacto con el acero se reduce la alcalinidad del concreto, dejando al acero desprotegido y se inicia la oxidación. Al oxidarse el hierro se expande porque los óxidos de hierro son mucho más voluminosos que el hierro. Las fuerzas expansivas de los óxidos de hierro aumentan notablemente el tamaño de las grietas en el concreto, y en consecuencia la penetración del agua de drenaje se facilita más. Se produce entonces un proceso muy grave que lleva al desmoronamiento del concreto reforzado con acero. Se ha encontrado que la parte superior del entubado es la zona más vulnerable del drenaje profundo, debido a que muchos de los agentes ácidos del drenaje tienden a evaporarse y condensarse en la parte interna superior del entubado. Las evidencias reportadas del daño estructural del drenaje profundo son los trozos de concreto desprendidos por el efecto expansivo de la corrosión de las barras de refuerzo principalmente en la parte superior del drenaje profundo. Las barras de refuerzo que quedan expuestas al agua se van disolviendo y acaban con la integridad de la estructura. El colapso de algunos segmentos del entubado es previsible, y en consecuencia el taponamiento del drenaje profundo.

La preocupación por los riesgos asociados al colapso del drenaje profundo es muy generalizada en la comunidad de ingenieros civiles. Especialistas hidrólogos de la UNAM han publicado análisis de las consecuencias catastróficas asociadas. Existen modelos para predecir que el centro de la Ciudad de México sería inundado por las aguas del drenaje, a tal grado que Bellas Artes quedaría muchos metros sumergido en un enorme lago de varios kilómetros de diámetro. El Colegio de Ingenieros Civiles ha advertido con firmeza la necesidad de grandes inversiones asociadas al diagnóstico, al monitoreo y/o a la remediación del drenaje profundo.

El control de la corrosión del acero en el concreto se hubiera logrado con una pequeña inyección de corriente suficiente para hacer más negativo en diez centésimas de voltio el potencial eléctrico acero—suelo. La tecnología se llama protección catódica y es universalmente aceptada. La protección catódica es una tecnología cuyo conocimiento sirve tanto para el diagnóstico, el monitoreo y el control del fenómeno corrosivo

del acero en el concreto. La protección catódica se aplica para el control de estructuras de alto riesgo, como es el caso de las grandes obras de infraestructura como puentes, sistemas de drenajes profundos, y acueductos que son críticos por diversas razones. A diferencia de los ductos de acero para el transporte de hidrocarburos, agua u otros fluidos donde la protección catódica se puede aplicar después de haber sido construidos, las estructuras de concreto requieren una planeación anticipada y la instalación de la protección catódica durante la construcción. Típicamente se instala una malla de titanio paralela a los planos de barras de refuerzo y se usa como ánodo. Una fuente de corriente directa se conecta con su polo positivo a la malla de titanio, y con su polo negativo a la red de barras de refuerzo. La fuente de corriente se ajusta de manera que el potencial de las barras de refuerzo se haga más negativo en diez centésimas de voltio y la velocidad de corrosión se reduce al mínimo. El costo de la protección catódica no llegaría al 2% del valor de la obra. La protección catódica se aplica en México extensivamente a los ductos de Pemex, a los turbosinoductos de los aeropuertos, pero casi no se aplica a acueductos ni a los drenajes profundos. Existen normas oficiales para obligar la instalación de protección catódica de ductos de hidrocarburos y fluidos peligrosos tanto por su explosividad como por el riesgo de contaminación de los suelos o bloques de agua. Lamentablemente no parece haber nada para obligar la preservación de las grandes obras de infraestructura hidráulica de las ciudades. Nadie sabe a ciencia cierta cuánto pierde la sociedad debido a la corrosión de los sistemas de transporte hidráulico tanto de agua potable, como de drenajes. Pero es mucho dinero. Varias entidades oficiales han estimado que la pérdida de agua potable desde que sale de los pozos o de los bloques de agua naturales, hasta que llega a las casas o industrias va del 30 a 40 por ciento. Solamente la pérdida del agua potable cuesta cerca de 8,000 millones al año. Aparte hay que considerar el costo de las reparaciones, y el costo social causado por las interrupciones del servicio. La estimación de las pérdidas que pueden causar las fallas del drenaje es todavía más difícil. Si sumamos además las pérdidas por corrosión que sufren nuestras industrias petrolera, eléctrica, el transporte y la sociedad en general, el potencial de ahorro de la ingeniería de protección catódica sería muy superior a los 50,000 millones de pesos al año en México. El estado de zozobra que vive la Ciudad de México causado por la eventual falla del drenaje profundo pudo haber sido evitado con ingeniería de protección catódica, con un pequeño gasto adicional de la obra para darle diez centésimas de voltio a las barras de refuerzo. Las consecuencias de no haberlo hecho son aparentes. El daño que ya tiene el drenaje profundo es irreversible. Pero son muy necesarios el diagnóstico y el monitoreo del avance de los daños y pueden apoyarse en la ingeniería de protección catódica para el diseño de soluciones y alternativas.

La protección catódica debería tener cabida en las grandes obras de infraestructura hidráulica de México. Hace falta un gran esfuerzo normativo al respecto, porque en su gran mayoría son obras de propiedad pública que paga la sociedad con gran esfuerzo. Hagamos un voto de generosidad y seremos ampliamente recompensados... regalemos 10 centavos de voltio.

*Miembro del Consejo Consultivo de Ciencias de la Presidencia de la República. (CCC)

consejo_consultivo_de_ciencias@ccc.gob.mx