

# REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

## Los contadores electrolíticos.

M. Hatfield, en una conferencia dada el 1.º de Febrero de 1911, ante la «Société Internationale des Electriciens», dice que es evidente que el porvenir del alumbrado eléctrico depende de la lámpara de filamento metálico, con la cual es posible iluminar las pequeñas habitaciones por medio de la electricidad á un precio aceptable y más higiénicamente que haciendo uso de su rival, el gas.

Muchas centrales eléctricas se encuentran, sin embargo, en una situación bastante difícil. Todos sus clientes se sirven de lámparas de filamento metálico y consumen, por consecuencia, menos electricidad. Esta disminución en los ingresos desaparecería sin duda rápidamente, con el aumento de los consumidores; es cierto que en el porvenir las lámparas de filamento metálico serán grandemente ventajosas para las centrales. Pero por el momento la disminución de ingresos se ve considerablemente aumentada, tal vez duplicada, por los defectos de ciertos contadores, que, contruidos para el consumo de las lámparas de carbón, no registran con frecuencia la mitad del consumo real.

Ahora bien, es muy importante extender el número de consumidores: un medio de aportar nuevos beneficios sería disminuir los gastos de primer establecimiento de las nuevas instalaciones, sirviéndose de un contador capaz de registrar los consumos más pequeños, sin exigir muchos gastos de entretenimiento.

Para conseguir esto, los contadores actuales exigirían gastos de reparación y de verificación comprendidos entre 2 y 5 francos por año y contador, es decir, casi un cuarto del ingreso de la mayor parte de los consumidores en pequeña escala.

Es, desde luego, conveniente ganar la confianza de los abonados, y las frecuentes revisiones de los contadores son para las clases modestas y los obreros un motivo de desconfianza.

No deja de ser interesante examinar un nuevo contador, de un sistema bastante antiguo, pero que hasta la fecha no estaba lo suficientemente perfeccionado para que resultara práctico. Este contador es el electrolítico Stia, cuya lectura se hace por la observación del volumen de mercurio separado por la corriente.

El primer sabio que construyó un voltámetro de mercurio fué el profesor ruso Lenz. Edison, á quien debemos

el sistema de distribución de la electricidad de que hoy nos servimos por todas partes, fué el primero que empleó un contador eléctrico; construyó primeramente un voltámetro de cobre, después un contador de cine; tomó posteriormente patente para sus contadores de mercurio, pero nunca pudo conseguir crear un instrumento práctico. Mucho más tarde, los inventores ingleses Anders, Kottgen y McKenna han ensayado construir un contador de mercurio; dieron al instrumento la forma recta y vertical que hoy tiene, con célula ó ampolla de electrolisis encima de un tubo de lectura.

Sin embargo, no han podido conseguir la realización del medio de que el aparato vuelva al cero invirtiendo la ampolla, de manera que el mercurio acumulado en el tubo de lectura corra á la cámara del ánodo.

El inglés Mr. Arturo Wright es el que verdaderamente ha creado un contador de mercurio práctico, es decir, un contador capaz de funcionar perfectamente durante uno ó dos años: ha llenado las condiciones físicas para que una electrolisis continua y precisa pueda verificarse; pero se necesitaba además un profundo estudio de las condiciones químicas para construir un contador que al mismo tiempo conserve su precisión durante un gran número de años. El autor, que ha consagrado bastante tiempo al estudio y resolución de este problema, presenta el contador perfeccionado Stia.

El voltámetro propiamente dicho se compone de un vaso de cristal completamente cerrado. El ánodo está formado por mercurio, que se encuentra en un pequeño conducto circular. El cátodo está formado por una placa de iridio.

El electrolito está constituido por una solución acuosa de yoduro de potasio mercurioso; su recipiente es sumamente pequeño, contiene 10 centímetros cúbicos del electrolito y 60 gramos de mercurio. No hay nada que haga temer que un recipiente tan pequeño pueda romperse por consecuencia de choques sufridos en su uso normal.

Cuando una corriente atraviesa la ampolla, la cantidad de mercurio que se disuelve en el ánodo y la cantidad de mercurio que se separa en el cátodo son exactamente iguales.

Según la ley de Faraday, la cantidad de mercurio separada da la medida exacta de la corriente que ha atravesado la cubeta ó ampolla. El mercurio que se separa no se adhiere al cátodo, porque el metal iridio no se amalgama

con el mercurio, el cual en estas condiciones cae en gotas y se acumula en el tubo graduado.

Se puede leer el volumen de mercurio liberado por la corriente, y cuando el tubo de lectura está lleno, basta invertir el aparato para que el líquido vuelva a la cámara del ánodo.

Para el funcionamiento continuo del contador es necesario mantener el nivel del ánodo exactamente constante. Wright se sirve de una disposición conocida para objetos análogos y que funciona en estas condiciones con una gran exactitud. El tubo de reserva, lleno de mercurio al principio, es el que funciona de una manera análoga a los pequeños recipientes de agua que se fijan en las jaulas de los pájaros. Cuando el nivel del ánodo desciende por debajo del agujero de comunicación, un poco de electrolito corre de lo alto al tubo de reserva y la misma cantidad de mercurio viene al ánodo y eleva su nivel, que está a la altura de la arista del pequeño conducto. Para que el mercurio no sea proyectado por encima del borde de dicho conducto, por las pequeñas trepidaciones a que un contador en servicio está siempre expuesto, se ha provisto al borde de una barrera de vástagos de cristal que dejan pasar fácilmente el líquido, pero impiden por completo que el mercurio sea proyectado fuera.

En la práctica no se hará pasar la corriente total por el voltámetro de mercurio, sino que se utilizará un shunt. La corriente principal que se haya de medir atraviesa una pequeña resistencia sobre la que está montado el voltámetro en paralelo por el intermedio de una gran resistencia. En la práctica, se elegirán las resistencias de tal manera que solamente atraviese el voltámetro  $1/100$  de la corriente total, bastando, por consiguiente, que la cubeta pueda soportar una corriente de  $1/10$  de amperio, lo que hace posible la construcción de un contador de este género a un precio módico.

Para que el contador marque siempre exactamente, es necesario que exista una proporcionalidad exacta a todas las cargas y temperaturas entre la corriente principal y la corriente derivada. Esto no se ha realizado sino a condición que la resistencia del circuito permanezca perfectamente constante, y que en el voltámetro no se produzca fuerza contraelectromotriz durante el paso de la corriente. La resistencia del shunt puede fácilmente establecerse de manera que tenga un coeficiente de variación muy pequeño y prácticamente despreciable. Lo propio sucede con el circuito formado por el voltámetro y la resistencia montados en serie.

Para obtener aquí una independencia completa de la temperatura, esta resistencia se establece con manganina y hilo de níquel puro, de manera que su coeficiente de temperatura sea exactamente el inverso del coeficiente de temperatura del voltámetro; la resistencia total queda de este modo constante.

Otra causa de error reside en la producción de una fuerza contraelectromotriz en el voltámetro en el momento del paso de la corriente. Pero como no se produce descomposición del electrolito en el voltámetro para las intensidades admisibles, no hay que tener en cuenta más que la pequeña fuerza contraelectromotriz resultante de las variaciones de concentración del electrolito alrededor de los electrodos.

Durante el paso de la corriente, el mercurio se disuel-

ve en el ánodo y una cantidad igual es arrojada al cátodo. De aquí se deduce que la solución resulta específicamente más pesada en el ánodo y específicamente más ligera en el cátodo, aunque la cantidad total de mercurio en la solución permanezca invariable. Para compensar estas diferencias de concentración perjudiciales, se ha colocado el cátodo bajo el ánodo formado por el anillo del mercurio.

Este anillo descansa en un pequeño conducto de cristal cuyo borde apenas rebasa la superficie del mercurio. Ahora bien, desde el momento en que, bajo el efecto del paso de la corriente, la solución resulta específicamente más pesada por debajo del mercurio, corre del espejo anódico hacia abajo, mientras que la solución ligera del cátodo sube. Esta disposición hace que las variaciones de concentración que se producen necesariamente sean suficientemente pequeñas para que la exactitud del contador no se perjudique.

En cuanto al tubo de lectura y a la manera de leer es evidente que se pueden establecer las relaciones entre las resistencias de los circuitos, el diámetro del tubo de lectura y las graduaciones del tubo de la escala, de manera que la ascensión del mercurio mida los amperios-horas, y para una tensión constante, los hectovatios-horas que pasen por el circuito principal. Cuando el tubo esté lleno de mercurio, es suficiente hacerlo bascular hasta que el mercurio vuelva al depósito anódico. Precisa elegir el instrumento según que se desee mida el consumo total en algunas horas, en algunos días ó en algunas semanas. Cuando la cantidad de mercurio separado llene un espacio de 50 a 100 milímetros del tubo de lectura, se puede sin dificultad evaluar el consumo total con una exactitud de 0,5 por 100. Para medir la corriente suministrada durante algunas horas de una batería de acumuladores, es necesario que el contador registre, con la misma corriente, mucho más rápidamente que un contador de la misma graduación para la venta de electricidad a una pequeña fábrica en la que los motores funcionen diez horas por día, ó donde el consumo se deba determinar todos los meses. Por esto el contador electrolítico exige una graduación según su capacidad en hectovatios-horas; no sucediendo como con el contador motor que por su capacidad ilimitada no tiene influencia en el número de las graduaciones. Es evidente que el contador Stia registra exactamente toda corriente que por él pase, lo que sencillamente es una consecuencia de la ley de Faraday. Y un contador capaz de registrar una corriente de 100 amperios registra con seguridad una corriente de  $1/10$  de amperio, mientras que los contadores motores necesitan una cierta intensidad de corriente para el arranque, y no comienzan el registro exacto más que con un consumo por lo menos de  $1/10$  a  $1/20$  de la plena carga.

Ahora bien, en la mayor parte de las canalizaciones, es necesario instalar un contador capaz de soportar una carga varias veces mayor que los consumos ordinarios; en una casa, por ejemplo, es posible, pero raramente sucede, que haya necesidad de tener todas las lámparas encendidas simultáneamente. Un contador Stia soporta una sobrecarga muy grande sin que le perjudique en lo más mínimo, registrando con completa exactitud el consumo de una lámpara de filamento metálico; en conclusión, podemos afirmar, que un solo modelo, el de 10 amperios, responde a todas las necesidades en el 90 por 100 de las instalaciones. De este modo, el número de contadores que

las centrales deben tener en almacén, queda considerablemente reducido.

Los diversos tipos de contadores Stia se distinguen en principio por el tubo de lectura. El más pequeño tiene un tubo de lectura de 9 centímetros; la escala lleva 125 divisiones. El tipo núm. 2 tiene el tubo 25 centímetros y 250 divisiones. El tipo núm. 3 tiene el equivalente de 1.000 milímetros de escala. Se pueden calcular las partes constitutivas del contador para dar un valor cualquiera (dentro de ciertos límites) á cada división de la escala. La capacidad del contador es el producto del número de divisiones de la escala y del valor de cada división. La exactitud de la medida no depende de esta última cifra: para dar una gran capacidad á un contador se podría, por ejemplo, dar á cada división de la escala el valor de 10 kilovatios-hora. A primera vista parece que no sería posible una medida exacta con un contador de tal naturaleza. Pero si la cantidad de mercurio separada por la corriente que es necesario medir hubiere pasado la centésima división de la escala, sería fácil calcular el consumo con una exactitud de 0,5 por 100; errores mucho mayores son muy frecuentes con los otros contadores.

Con un contador motor se podría leer, sin duda, décimas y centésimas de kilovatio-hora; pero estas cifras no tendrían en absoluto ninguna significación; esos cuadrantes para fracciones de kilovatios-hora tiene una influencia perjudicial en el funcionamiento del contador y no sirven más que para hacer posible la verificación rápida y conveniente del contador.

Si se quiere se puede obtener de otra manera el mismo resultado con los contadores Stia, pero es evidente que la necesidad de una frecuente verificación no se precisa con estos aparatos cuya exactitud no varía, ni con el tiempo, ni por el uso, ni por ninguna otra causa.

También se puede construir un contador para registrar con una lentitud cualquiera; basta aumentar la resistencia del circuito derivado en que se encuentra la cubeta. Si se duplica esta resistencia, cada división de la escala se duplica en valor para la misma corriente: el mercurio se separa con la mitad de rapidez. Igualmente se puede reducir la resistencia del shunt, lo que ofrece la ventaja de disminuir la caída de tensión. Si se trata de construir un contador que registre más rápidamente se puede disminuir la resistencia del circuito derivado ó aumentar la del shunt. Cada uno de estos procedimientos tiene un límite. Es imposible construir una cubeta que tenga una resistencia inferior á un ohmio; resultaría demasiado grande y demasiado frágil, y para compensar los cambios de temperatura es necesario que la resistencia del metal puro sea 3,3 veces mayor que la de la cubeta. En la práctica no se puede admitir una caída demasiado grande de tensión, es decir, de energía en el contador.

Hay un límite para los tubos de lectura. Para que el mercurio corra hacia la parte inferior cuando se hace bascular la cubeta, es necesario que el diámetro del tubo no sea inferior á una cierta dimensión; pero un nuevo sistema de tubo permite disminuir mucho este diámetro. Es posible construir hoy contadores que, con una caída de tensión de 0,5 voltios á pleno consumo, den 100 milímetros de mercurio en la escala en algunas horas.

Los tipos de contadores para canalizaciones en los que es necesario obtener mensualmente el consumo son los siguientes:

El contador Stia, tipo U, que es muy pequeño y su precio muy reducido, tiene una escala de 125 divisiones; el contador Stia, tipo II, es mayor y más exacto que el tipo U, y su escala tiene 200 divisiones de milímetro. Los contadores Stia están graduados con una exactitud garantizada del 3 por 100, pero se pueden construir aparatos de precisión que tengan una exactitud de 0,5 por 100.

Para construir un contador que pueda registrar durante mucho tiempo sin que haya necesidad de bascular, Wright ha imaginado un tubo de lectura de sifón, llevando esta disposición el contador tipo F. El tubo graduado en el que el mercurio cae partiendo del cátodo está formado por un sifón de 100 divisiones. Cuando el sifón está lleno se vacía él mismo en la parte inferior del tubo, en donde se pueden leer las centenas hasta 1.000.

Se pueden designar todos estos contadores bajo el nombre de *contadores de marcha lenta*. Si se trata, por el contrario, de medir la carga de una batería de acumuladores, no se podría utilizar ninguno de los tipos descritos anteriormente; es preciso que un contador para esta aplicación pueda medir con exactitud el consumo para cada carga. La duración de una batería de acumuladores depende del tratamiento que se le dé, y es absolutamente necesario medir la corriente de carga y de descarga si se quiere que la batería esté constantemente en buen estado. Como estas corrientes circulan en sentidos contrarios, se debe utilizar un aparato de conmutación cuando se emplee un contador motor.

Una disposición sencilla permite construir un contador Stia con dos tubos, de los que cada uno registra el consumo cuando la corriente pasa en uno ó en otro sentido.

La corriente no produce ninguna descomposición química cuando pasa á través de la cubeta y, por consiguiente, no engendra fuerza contraelectromotriz. Pero esto no es cierto más que cuando el mercurio forma el ánodo y la placa de iridio el cátodo, es decir, cuando el funcionamiento es normal. Si se hace pasar la corriente en sentido opuesto, se descompone la solución. El yodo llega al iridio y se descarga, porque el iridio no forma iones. Esta descomposición exige una tensión de medio voltio, y si la tensión aplicada á la cubeta no llega á este valor mínimo no pasa corriente, es decir, que si se envía la corriente á un contador Stia en una dirección falsa, y la caída de tensión en el shunt no excede de 0,5 voltios, no atravesará ninguna corriente la cubeta.

Si la caída de tensión excede de 0,5 voltios, el yodo se separará en la cubeta. Por consiguiente, si se empalma al shunt un circuito derivado conteniendo una segunda cubeta de voltámetro de modo que la corriente pase por él en sentido inverso al de la primera, y si la caída de tensión no excede nunca de 0,5 voltios, cada uno de los tubos registra la corriente que pasa en la otra dirección. Así es como se ha podido construir un contador para acumuladores sin ningún aparato de conmutación.

Es necesario que este contador dé un registro lo suficientemente grande para medir en algunas horas, pero con la pequeña caída de tensión de medio voltio; la resistencia de las cubetas normales sería demasiado grande, y la intensidad de la corriente que pasara sería demasiado pequeña. Para suprimir este inconveniente se utiliza una cubeta que está compuesta de tres cubetas normales montadas en paralelo, que permiten circular al mercurio en un tubo común de lectura. De esta manera es posible cons-

truir contadores en los que el mercurio suba en cinco horas 100 milímetros en el tubo de lectura, lo que basta para todos los usos normales de las baterías.

De todas las tarifas preconizables, la tarifa doble es la más sencilla de comprender, aun cuando no sea la más exacta y justa en teoría. Los contadores motores de doble tarifa tienen el inconveniente de que en ellos se producen numerosas averías accidentales, porque son demasiado complicados. M. Hatfield ha construido un contador Stia de tarifa doble, en el que se han tomado las más exquisitas precauciones para evitar las causas de avería.

El sistema más sencillo de doble tarifa permite cambiar la de los contadores de relays; el contador tiene un pequeño relai ó electroimán que está montado entre un hilo piloto y uno de los cables. En el mismo instante, la tarifa se cambia en todos los contadores. El contador Stia se puede construir en muy buenas condiciones para este género de tarifa: las partes mecánicas se reducen á una simple armadura de hierro que es atraída por un electroimán; la armadura está colocada en un pequeño tubo de cristal y lleva hilos de platino que se sumergen en el mercurio. El tubo está herméticamente cerrado y el electroimán actúa desde el exterior.

Para terminar haremos observar que, según el autor del trabajo que analizamos, no se ha notado ninguna alteración en los contadores que se han sometido á examen y que están algunos de ellos en servicio desde el año 1906, existiendo en la actualidad más de 70.000 contadores Stia en servicio. (De *La Houille Blanche*, traducido por *La Energía Eléctrica*.)

## SERVICIO CENTRAL HIDRÁULICO (1)

### PROCEDIMIENTOS DE AFORO

#### Aforos por vertedero ó por salida por orificios.

Aun cuando las formulas empleadas en estas especies de aforos se pueden descomponer en dos factores, uno de los cuales es el área de la sección de desagüe, y el otro representa la velocidad, se hace su estudio en un grupo aparte por la índole especial del procedimiento y porque se ha hecho sobre ellos, singularmente sobre los vertederos, estudios tan completos é importantes como los de Bazin y Rafter.

El cálculo del caudal por medio de las fórmulas de salida del agua por orificios, sólo es aplicable en general á los arroyos y cursos de agua de poca importancia.

La fórmula que da el gasto  $Q$  del agua que sale por un orificio, siendo constante el nivel de aquella en el depósito, es

$$Q = m A v = m A \sqrt{2gh},$$

en la que  $A$  representa el área del orificio,  $v$  la velocidad del agua en la sección contraída,  $m$  el coeficiente de contracción,  $g$  la aceleración debida á la gravedad y  $h$  la altura de la carga de agua.

El valor medio de  $m$  cuando el orificio es en pared delgada,

es 0,62. Cuando al orificio se le añade un tubo adicional cilíndrico de una longitud igual á tres veces el diámetro del mismo el valor del coeficiente  $m$  pasará á ser 0,82. Admitiendo  $\sqrt{2g} = 4,427$  se tiene para el orificio en pared delgada

$$Q = 2,745 \times A \times \sqrt{h},$$

y para el orificio con tubo adicional cilíndrico

$$Q = 3,630 \times A \times \sqrt{h}.$$

Para evaluar el volumen de agua de un arroyo valiéndose de esta fórmula, se empieza por disponer una caja ó recipiente abierto para la entrada del agua por uno de sus costados. El opuesto está formado por una lámina delgada de zinc ó de hoja de lata, en la que se ha abierto una serie de agujeros circulares de un diámetro aproximado de dos centímetros, cuyos centros se encuentran en una línea horizontal. Así dispuesto, se tapa todos los agujeros y se deja entrar el agua en el cajón hasta que adquiera un nivel cuya altura sobre los agujeros sea próximamente de unos cuatro centímetros; después se deja correr el agua por un número suficiente de estos agujeros, no dejando destapados más que los que sean precisos para que el nivel permanezca constante. En estas condiciones, claro está que el caudal del arroyo es el que pasa por el número de agujeros que están destapados y que se puede calcular por la fórmula anteriormente citada.

En el empleo de este procedimiento se debe adoptar algunas precauciones. Para evitar las fluctuaciones que tienen lugar en la superficie superior del agua en la caja de aforar, conviene recibir el arroyo en un depósito de alguna capacidad al que aquella esté adosada. Es también indispensable poner la caja al abrigo del viento y de las corrientes de aire que agitarían la superficie del agua. Conviene que los agujeros estén equidistantes unos de otros, quedando entre cada dos agujeros un espacio de 20 milímetros, por lo menos.

El método de aforo que se acaba de indicar no es prácticamente aplicable cuando el caudal del arroyo excede de 5 litros por segundo. En este caso puede seguirse el procedimiento que empleó Darcy para aforar el arroyo Rosoir en Dijon. Se dispuso una presa de madera en la que se practicó un orificio rectangular á la altura necesaria para que el agua saliera libremente á la atmósfera y no se anegara en la parte de aguas abajo. A fin de obtener un orificio en pared delgada, todo el contorno estaba forrado por el lado de aguas arriba con láminas de hoja de lata aplicadas contra la madera y sobresaliendo unos tres ó cuatro centímetros. El orificio quedaba completamente anegado por la parte de aguas arriba.

Para conseguir establecer el régimen en que el caudal que penetra en la presa sea igual al que sale por la abertura, se puede regular la altura de la presa ó se hace que el lado superior del orificio sea movable, deslizando verticalmente por medio de guías y una cremallera ú otro mecanismo sencillo.

En este caso, la fórmula que determina la velocidad en la sección contraída, es la siguiente:

$$v = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \frac{h_1 \sqrt{h_1 - h} - h \sqrt{h}}{h_1 - h}$$

en la cual  $h_1$  representa la carga en la arista inferior del orificio y  $h$  la carga en la arista superior, y, por tanto, la altura del orificio es  $h_1 - h$ . El gasto vendrá expresado por la siguiente fórmula:

$$Q = m l \frac{2}{3} \sqrt{2g} (h_1 \sqrt{h_1 - h} - h \sqrt{h}),$$

(1) Véase el número anterior.