

## UN PLUVIÒGRAF D'INTENSITATS

PEL DR. RAMON JARDÍ

**Objecte d'aquest estudi.** — A poc d'haver-se inaugurat el Servei Meteorològic de Catalunya, el senyor President de la Mancomunitat expressà el desig que es cercuessin dades sobre la intensitat de les fortes pluges al nostre país, o sigui sobre la quantitat màxima d'aigua caiguda en curta unitat de temps, a l'objecte de què, a part de l'interès científic que aquelles dades poguessin tenir, servissin de fonament a certs càlculs de les obres públiques de la Mancomunitat.

Dels registres numèrics i de les gràfiques de pluviògraf de què va poder-se disposar, cap resultat concret fou possible obtenir-ne, ni amb mitjana precisió, per la senzilla raó de què els tambors registradors dels aparells que han vingut funcionant a Catalunya tenen velocitats massa petites per a poder-s'hi determinar amb exactitud la coordenada «temps».

Per aquest motiu el senyor Director del Servei, Dr. Fontseré, decidí que s'emprehnguessin determinacions directes, i ens encarregà la feina d'estudiar i realitzar un model d'aparell inscriptor, que essent capaç d'assolir qualsevol règim pluviomètric en un temps que no excedís de trenta segons, fos adaptat a la determinació actual de la intensitat de les pluges, àdhuc les més fortes presumibles, i que a l'ensem pogués utilitzar-se en possibles estudis teòrics referents a la periodicitat o recurrència dels xàfecs d'un aiguat qualsevol.

La present nota té per objecte donar compte dels treballs que hem fet en aquest sentit i dels resultats obtinguts.

**Discussió teòrica : cas d'una escaletxa vertical uniforme.** — En tractar-se de donar forma esquemàtica a l'aparell, va començar-se per idear el següent dispositiu : Un dipòsit de forma cilíndrica vertical proveït d'una escaletxa de dalt a baix, segons una generatriu, rep l'aigua d'un col·lector de pluviòmetre, o sigui d'un embut de superfície ben determinada; la quantitat d'aigua que sortirà per l'escaletxa en la unitat de temps creixerà amb l'alçada del nivell de l'aigua dins del dipòsit, de manera que mentre la quantitat d'aigua que entri sigui superior a la que surti, el nivell pujarà, i baixarà en cas contrari, arribant a un nivell de règim estable quan les quantitats d'aigua que entrin i surtin siguin iguals. Les variacions de nivell seran, doncs, funció de la intensitat de la pluja, i podran transmetre's a una ploma inscriptora, per qualsevol procediment mecànic.

El principi ens semblà directament aplicable, i decidírem portar-lo a la pràctica,

començant per donar a l'aparell aquella disposició esquemàtica, i deixant que l'experiència ens posés de manifest els inconvenients que poguessin presentar-se i la manera de resoldre'ls.

Pel que fa referència a la manera de transmetre a la ploma inscriptora les variacions de nivell de l'aigua dins del dipòsit, hem adoptat en tots els assaigs el sistema de flotador, que és el que també forma part del model donat com a definitiu. Ens ha semblat que aquest sistema, a part d'una major sensibilitat i exactitud, no ha de presentar tantes dificultats constructives ni d'afinació com el de balança, adoptat en el model corrent de pluviògraf Richard.

Com que una de les condicions que havia de complir l'aparell és que presentés, a ésser possible, igual sensibilitat per les petites pluges que pels grans xàfecs, estudiarem en primer lloc teòricament la llei de variació del règim pluviomètric amb l'alçada del nivell de l'aigua dins del dipòsit, per al cas en què aquell règim estigués establert. El càlcul corresponent és el que donem a continuació.

Suposem que en la fig. 1 *D* representi el dipòsit amb l'esclletxa *E*, i *h* l'alçada del nivell de l'aigua damunt de la part més baixa de l'esclletxa; la quantitat *dq* d'aigua que surtirà per una porció d'esclletxa d'alçada *dx* i amplada *b*, situada a una distància *x* sota del nivell de l'aigua, serà:

$$dq = kb\sqrt{h-x} dx \quad (1)$$

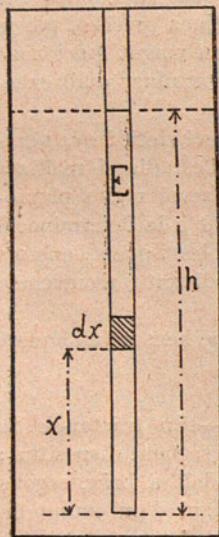


FIG. 1

essent *k* una constant.

Si suposem primerament que *b* sigui constant, o que l'esclletxa tingui la mateixa amplada en tot el seu llarg, integrant (1) des de *x* = 0 fins a *x* = *h*, tenim:

$$q = \frac{2}{3} kbh^{\frac{3}{2}} = k'h^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

és a dir, que la quantitat d'aigua que circularà per l'aparell per unitat de temps serà proporcional a la potència  $\frac{3}{2}$  de l'alçada. Aquesta llei parabòlica ens donaria molta més sensibilitat per les petites pluges que pels grans xàfecs.

**Recerca d'una llei lineal per al registre.** — A fi d'assolir l'ideal d'una escala uniforme, és a dir, a què es compleixi la llei

$$q = k_1h \quad (3)$$

podem atacar el problema cercant una forma d'esclletxa en què l'amplada vagi disminuint en augmentar l'alçada, segons una llei que ens proposem determinar. Tornem a partir de l'equació (1), mes suposant que

$$b = \varphi(x)$$

essent  $\varphi$  una funció, desconeguda de moment, que ens doni la llei que busquem. En aquest cas tindrem:

$$dq = k\varphi(x)\sqrt{h-x} dx.$$

Integrant des de  $x = 0$  fins a  $x = h$  queda:

$$q = k \int_0^h \varphi(x)\sqrt{h-x} dx.$$

Identificant aquesta equació amb la (3) tenim per fi:

$$\frac{h_1}{k} h = Ch = \int_0^h \varphi(x)\sqrt{h-x} dx \quad (4)$$

que és una equació integral de Volterra de primera espècie. Per resoldre-la, derivem primer respecte  $h$  i tindrem:

$$C = \int_0^h \frac{\varphi(x) dx}{2\sqrt{h-x}} \quad (5)$$

quedant una altra equació del mateix tipus, mes en la que el nucli  $K(h, x)$  és de la forma  $\frac{P(h, x)}{(h-x)^\alpha}$  amb la condició de què  $P(h, x)$  és finita i contínua dins del quadrat fonamental i  $\alpha$  compleix la condició  $0 < \alpha < 1$ . En el nostre cas,  $P(h, x)$  és una constant i  $\alpha = \frac{1}{2}$ .

Esseguint el mètode general d'integració, multipliquem (5) per  $\frac{1}{\sqrt{x-h}} dh$  i integrem entre 0 i  $u$ ; resultarà:

$${}_2C \int_0^u \frac{dh}{\sqrt{u-h}} = \int_0^u \frac{dh}{\sqrt{u-h}} \int_0^h \frac{\varphi(x) dx}{\sqrt{h-x}}$$

El primer membre podem integrar-lo immediatament, i en el segon invertirem l'ordre d'integració. Per fixar els nous límits observem que  $h$  varia de 0 a  $u$  i que per cada valor de  $h$  la  $x$  varia de 0 a  $h$ , ço que equival a dir que la  $x$  varia de 0 a  $u$  i que per cada valor de  $x$  la  $h$  varia de  $x$  a  $u$ . Amb això tindrem

$${}_4C \sqrt{u} = \int_0^u \varphi(x) dx \int_x^u \frac{dh}{\sqrt{u-h} \sqrt{h-x}} \quad (6)$$

En la segona integral del segon membre fem

$$h = x + (u-x)t$$

i tindrem

$$h - x = (u - x)t ; \quad u - h = (u - x)(1 - t) ; \quad dh = (u - x) dt ;$$

i, per tant,

$$\begin{aligned} \int_x^u \frac{dh}{\sqrt{u-h} \sqrt{h-x}} &= \int_0^1 \frac{dt}{\sqrt{1-t} \sqrt{t}} = \int_0^1 t^{\frac{1}{2}-1} (1-t)^{\frac{1}{2}-1} \\ &= B\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right) = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)}{\Gamma(1)} = \pi \end{aligned}$$

essent les funcions  $B$  i  $\Gamma$ , respectivament, les integrals eulerianes de primera i segona espècie.

Amb això l'equació (6) queda reduïda a

$$4C\sqrt{u} = \pi \int_0^u \varphi(x) dx ;$$

equació integral en la que el nucli queda reduït a la unitat i que pot resoldre's immediatament, resultant:

$$\varphi(x) = \frac{2C}{\pi} \frac{d}{dx} \sqrt{x} = \frac{4C}{\pi} \frac{1}{2\sqrt{x}} = \frac{2C}{\pi\sqrt{x}} \quad (7)$$

després d'haver canviat la  $u$  per la  $x$ .

El resultat (7) ens diu que perquè el nivell del dipòsit sigui proporcional a la intensitat de la pluja, l'amplada de l'esclotxa ha d'ésser inversament proporcional a l'arrel quadrada de l'alçada.

**Assaigs preliminars experimentals.** — En portar el procediment a la pràctica, hem topat amb un greu inconvenient. Hem construït i assajat diferents models d'aparells d'obertura vertical, uns amb l'esclotxa de vores paral·leles i altres d'amplada variable, i ha resultat que mentre l'amplada de l'esclotxa era de més d'un mil·límetre pròximament, els aparells marxaven bé; mes aleshores, quan el nivell de l'aigua creixia, augmentava tant la despesa de líquid, que hauria estat necessari l'ús d'un col·lector de mides extraordinàriament grosses, resultant poc pràctic l'aparell. Si l'amplada de l'esclotxa era inferior a un mil·límetre, els fenòmens capilars venien a complicar la llei de sortida, fent que l'aigua no comencés a sortir per un punt determinat fins a tenir en aquell punt una certa càrrega, que depèn de què l'aparell hagi estat o no mullat amb anterioritat; així és que en aquest cas la línia de gra-

duació obtinguda quan el règim augmenta, és diferent de quan el règim disminueix, a part d'altres anomalies que fan la sortida de l'aigua completament irregular.

El mateix inconvenient hem trobat en altres models que hem assajat, en els que en lloc de l'esclatxa contínua hi havíem disposat una sèrie vertical de forats, unes vegades de diàmetres iguals, i altres vegades de diàmetres variables amb l'alçada, a fi d'apropar-nos a la llei de l'escala uniforme.

**Adopció d'un escolador horitzontal de superfície variable : disposició definitiva del pluviògraf.** — En vista del resultat obtingut, dirigirem els nostres assaigs envers un altre procediment de donar sortida a l'aigua del dipòsit. Si en aquest hi deixem, en lloc de l'esclatxa vertical, un sol forat en el fons, resultarà que la llei de sortida vindrà expressada per la fórmula

$$q = k \sqrt{h}$$

que no és lineal i ens donarà una sensibilitat de l'aparell que augmentarà amb la intensitat de la pluja, al contrari del que passa amb l'esclatxa d'amplada constant.

Amb la idea de regularitzar l'escala i de conservar un sol forat en el fons, se'ns ocorregué que podia obtenir-se un forat de superfície variable, creixent amb l'alçada del nivell de l'aigua. Això s'ha aconseguit amb facilitat, com pot veure's en la següent descripció del model definitiu (fig. 2):

*A* és un dipòsit cilíndric de llautó amb el forat circular *F* en el fons; *B* és un altre dipòsit lateral que comunica amb l'*A* per la part inferior *m*, i que per la superior, que s'eixampla en forma d'embut, rep l'aigua procedent del col·lector. Dins del dipòsit *A* hi ha un flotador *S*, fet de planxa prima de llautó, que porta soldada en la part inferior una tija, el diàmetre de la qual va disminuint cap a baix i que travessa el forat *F* de sortida de l'aigua. El diàmetre superior de la tija *T* és gairebé igual al del forat, de manera que quan el nivell de l'aigua és zero i el flotador descansa en el fons, el forat queda gairebé totalment obturat; quan a causa de l'aigua que ve del col·lector el nivell en *A* puja, el flotador s'aixeca emportant-se'n la tija *T*, destapa el forat i augmenta, per tant, el pas de sortida de l'aigua. A fi d'evitar l'efecte dinàmic de l'aigua que s'escorreria al llarg de la part de tija que surt fora del forat *F*, s'ha soldat a la part inferior de *A* un altre dipòsit *C* tapat pel fons i amb un sobreexidor *D*, pel que s'escorra tota l'aigua que circula per l'aparell.

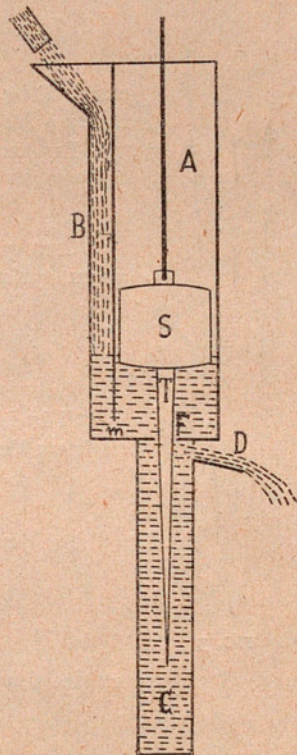


FIG. 2

Resta ara examinar quina ha d'ésser la secció meridiana de la tija  $T$  si vol obtenir-se una altura de règim proporcional a la quantitat d'aigua que entra, o que surt, per unitat de temps, és a dir, a la intensitat de la pluja.

La fórmula ordinària que dóna la quantitat d'aigua per unitat de temps, és

$$q = ks\sqrt{h}$$

essent  $k$  una constant,  $s$  la superfície del forat i  $h$  l'alçada de càrrega del líquid. En el nostre cas, tenim que

$$s = \pi R^2 - \pi r^2$$

essent  $R$  i  $r$ , respectivament, el radi del forat i el de la tija a la distància  $h$  del nivell de l'aigua, quan el flotador sura.

Per tant,

$$q = k\pi (R^2 - r^2) \sqrt{h} .$$

Com que  $r = f(h)$ , essent  $f(h)$  la funció desconeguda que cerquem, tenim

$$q = k' \frac{R^2 - [f(h)]^2}{\sqrt{h}} h .$$

Si la funció que multiplica a la darrera  $h$  fos una constant  $C$ , tindriem l'escala rectilínia, és dir,

$$q = Ch$$

Per tant, de

$$k' \frac{R^2 - [f(h)]^2}{\sqrt{h}} = C$$

FIG. 3

en deduïm

$$r = f(h) = \sqrt{R^2 - C'\sqrt{h}}$$

equació de la secció meridiana, representada molt aproximadament per la fig. 3.

Com que el construir una tija exactament igual a la indicada per la teoria presenta certes dificultats, ens hem contentat amb donar-li la forma cònica, de la que, sobretot en la part central, no se n'aparta gaire la forma teòrica establerta.

El moviment del flotador es tramès a la ploma inscriptora per un senzill dispositiu mecànic que es veu amb suficient claredat en la fig. 4. Com que el flotador, encara que fet de planxa prima, juntament amb la tija de metall, resultà bastant pesant, fou necessari equilibrar-lo amb un contrapès.

Per a l'aparell registrador ha estat aprofitada la capsa i el tambor d'un higròmetre Richard. El zero de l'aparell està en la part alta del paper, al contrari de la generalitat dels registradors; mes això no és cap inconvenient, i amb un canvi de moviment podria fer-se que el zero estés en la part baixa de la gràfica.

El col·lector del pluviògraf és de la forma ordinària, sens que mereixi descripció

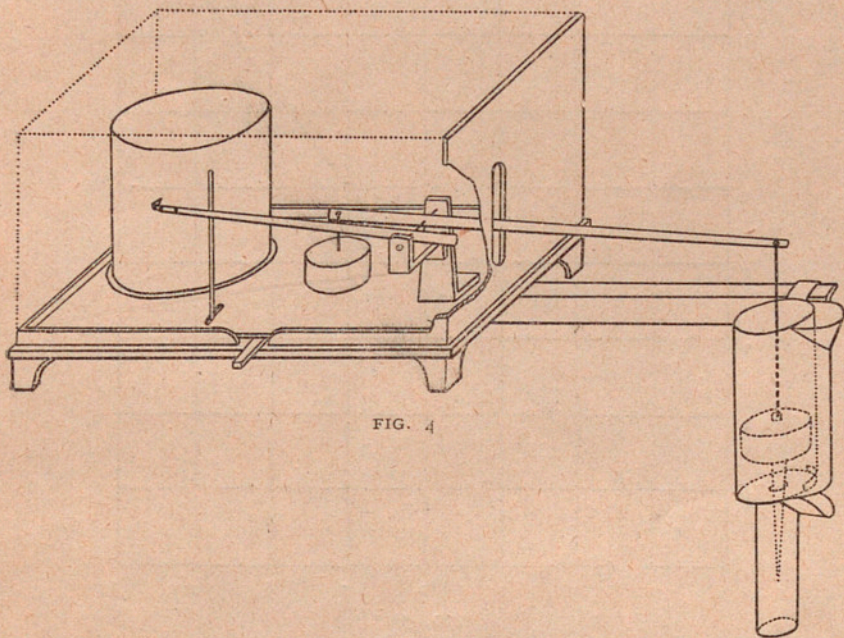


FIG. 4

especial; té 50 cm. de diàmetre i ha estat construït en els tallers de l'Escola Elemental del Treball.

**Límits de sensibilitat.** — Un detall que tinguérem de resoldre en construir l'aparell és el dels límits de l'escala, particularment el superior, a fi de poder registrar la intensitat dels xàfecs més grossos del nostre país.

De gràfiques pluviomètriques obtingudes a Barcelona vàrem deduir, encara que amb malíssima precisió, com a valor màxima de la intensitat de la pluja, uns 2 mm. per minut. El tractat de Meteorologia de Hann esmenta xàfecs fins d'uns 10 mm. per minut en els països tropicals, i la revista *Meteorologische Zeitschrift*, corresponent a l'abril d'aquest any 1921, parla d'una pluja extraordinària a Porto Bello (Panamà), de 62,5 mm. en tres minuts, o sigui 20,8 per minut.

Considerant altament improbables en el nostre clima aiguats d'aquesta intensitat, hem adoptat com a límit superior 8 mm. per minut. Quant al límit inferior, les proves fetes ens permeten assegurar el registre de 0,2 mm. per

minut. Una intensitat més petita que aquesta ja pot deduir-se dels pluviògrafs ordinaris.

La graduació de l'aparell s'ha obtingut fent-hi circular l'aigua d'un dipòsit i mesurant-la amb una proveta graduada i un comptador de segons. El resultat

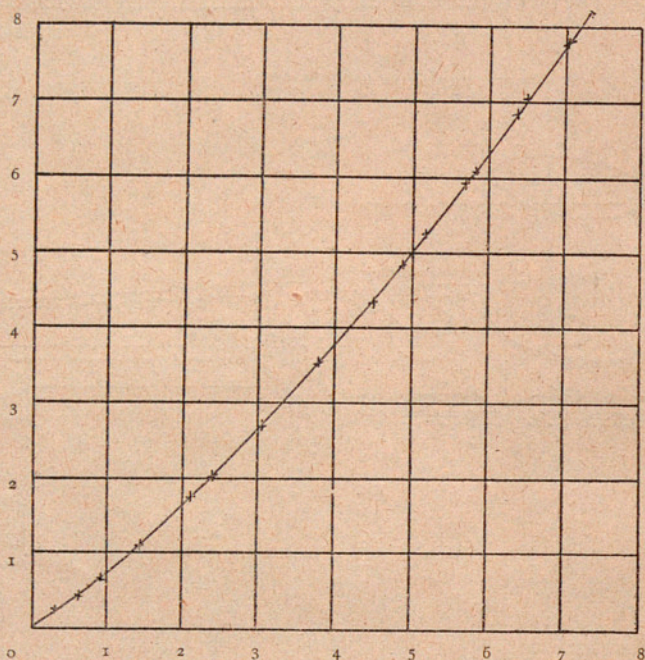


FIG. 5

de la graduació pot veure's en la gràfica de la fig. 5. Les abscises representen les lectures fetes en el tambor registrador, i les ordenades els mil·límetres per minut. Els punts marcats que han servit pel traçat de la gràfica procedeixen de dues sèries, una amb règim ascendent i l'altra descendent. Com pot veure's per aquest resultat, l'aparell no deixa res que desitjar en quant al seu funcionament. Demés, de les experiències practicades, resulta comprovat que, partint d'una pluja zero, queda establert el règim de l'aparell, per una pluja qualsevol, al cap de 20 segons.

Aquest pluviògraf ha quedat instal·lat a la torre meteorològica del Servei, i esperem que s'obtingran d'ell els resultats que ens havem proposat.