

DEMONSTRACION  
DE LAS CAUSAS QUE CONCURRIERON  
A LOS DAÑOS, Y RUINAS  
DE LAS OBRAS DEL PRADO NUEVO  
DE MADRID

*En la tarde del 23 de Setiembre de este año 1775:*

Y MODO

DE PRECAVERLAS EN ADELANTE.

P O R

D. ANTONIO ROSELL VICIANO,  
*Catedrático de Matemáticas en los Estudios Reales  
de la Corte.*



MADRID MDCCLXXV.

---

Por D. JOACHIN IBARRA, Impresor de Cámara de S.M.

---

*Con las Licencias necesarias.*

DEMONSTRACION

DE LAS CERCAS QUE COMPRENDEN

A LOS DAÑOS Y RUMOS

DE LAS OBRAS DEL PRADO NUEVO

DE MADRID

Examinada por el Sr. D. Juan de Dios...



DE PRESENTE

D. JUAN DE DIOS...

IMPRESION...

En la Oficina de la Imprenta de la Real Academia de Compostela...

En la Oficina de la Imprenta...



## RAZON DE ESTE ESCRITO.

Quando se divulgaba que la grande lluvia de la tarde del 23 de Setiembre de este año habia ocasionado varias ruinas en las obras del Prado nuevo, pasé á reconocerlas movido de la curiosidad. Y habiéndome encaminado á la Puerta de Recoletos, saliendo por ella, noté, que además de subir las aguas del arroyo y del camino ocho quartas sobre el piso de la Puerta, habian roto el pretil y puentecillo del arroyo, y la reja que cerraba el arco por donde entraban en la cantarilla. Baxando despues hácia la Puerta de Atocha, hallé igualmente destrozados los dos escaños de piedra, que habia opuestos á la corriente en los Puentes de Recoletos y del Pósito, y pendiente y casi desplomada una cortina lateral de este último, por haber socavado la agua sus cimientos. Mas adelante, hasta la Puerta de Atocha, encontré tambien caídos seis grandes trozos del revestimiento que sostiene el escaño de piedra, y empuje de las tierras del paseo, é inundadas algunas casas del lado de Ma-

dríd : advirtiendo al mismo tiempo por las señales que habia dexado el estiercol y la corriente , que la agua que se habia juntado en el Prado , ascendió por casi todo él á tres quartas de altura , y que la del arroyo se habia mantenido casi al mismo nivel de esta , desde la Puerta de Recoletos hasta la calle de Alcalá ; y mas profunda de allí adelante , aunque con alguna diferencia ; pues á la salida del puente , que atraviesa la calle de Alcalá , se reconocía que en su mayor aumento distaba cerca de diez quartas del nivel de la del Prado , y algo menos en adelante , segun se agregaba agua de los sumideros y campos del lado del Retiro , ó hacía alguna detencion por los obstáculos que encontraba. Llegando últimamente al Convento de Atocha , reconocí que tambien habia entrado la agua dentro de él ; y que habiendo subido mas de tres quartas junto á la tapia ó cerca de la Villa , que se une por el frente con el mismo Convento , derribó un grande pedazo de ella ; haciendo lo mismo en la que corresponde á las espaldas por donde desagua el Olivar , despues de ascender allí cerca de siete quartas sobre el terreno (\*).

No dexé de admirar la mucha agua que se habia juntado en todos estos sitios ; pero lo que mas llevó mi atencion fue el discurrir cómo habia ocasionado las ruinas

(\* ) Para mejor inteligenca de los que no hayan reconocido las ruinas , ó no tengan presente la figura del Prado , se ha puesto el plano de

de las obras referidas. Y aunque se me ofrecía desde luego , que la mucha agua con su fuerza podia romper el pretil , rejas , escaños , y tapias , no me ocurría tan prontamente la causa de la ruina del revestimiento. Porque si la atribuía á falta de los cimientos , los hallaba intactos (\*): si al empuje de las tierras , me persuadía que no podia nacer de él , por no haberse observado hasta entonces algun sentimiento en la obra : si al empuje de las aguas del arroyo , lexos de arruinarle , conocía que le debía asegurar ; y si al de las aguas del Prado , por

éste en la estampa que se halla al fin del Escrito ; y se añade la siguiente explicacion de los números que contiene.

- |   |  |
|---|--|
| 1 <i>Lugar de la rotura del pretil.</i>           | 9 <i>El Pósito.</i>                                |
| 2 <i>Arco ó boca de la cantarilla.</i>            | 10 <i>Parte del Retiro.</i>                        |
| 3 <i>Puente de Recoletos.</i>                     | 11 <i>Convento de S. Gerónimo.</i>                 |
| 4 <i>Puente del Pósito.</i>                       | 12 <i>Convento de Atocha.</i>                      |
| 5 <i>Lugares de las ruinas del revestimiento.</i> | 13 <i>Altos de S. Blas.</i>                        |
| 6 <i>Lugares de las ruinas de la tapia.</i>       | 14 <i>Olivar de Atocha.</i>                        |
| 7 <i>Cortina desplomada.</i>                      | 15 <i>Puente que atraviesa la calle de Alcalá.</i> |
| 8 <i>Convento de Recoletos.</i>                   | 16 <i>Puente de enfrente del Retiro.</i>           |

(\*) Esto se pudiera dudar en alguno de los parages de la ruina, porque llegaba á cubrir el agua parte de los cimientos ; pero atendiendo á que este fue daño posterior , á causa de deberse encaminar por allí la corriente , que embarazaban las ruinas , se desvanece la duda , y mas á la vista de que en los demás parages constaba claramente que no habia sido por este motivo.

quanto ni chocaban, ni empujaban el revestimiento, ni se dirigian contra él, pues solamente bañaban el escaño, moviéndose segun su direccion; creía, que lo mas que podia resultar de esto era la rotura del escaño, mas no la del revestimiento.

Discurriendo de este modo, observé en el parage de la ruina de la tapia de enfrente del Convento de Atocha, y en otros junto al revestimiento, que la agua del paseo habia hecho alguna excavacion en el terreno. Esto me hizo sospechar, que haciéndola mayor junto á los trozos del revestimiento derruidos, el empuje del agua que se introducía por ella, habia ocasionado su ruina; y observando otra vez el estado del terreno, y modo con que aquellos habian caído, reconocí inmediatamente la excavacion por las señales; y viendo que habian girado ácia el arroyo, manteniéndose casi enteros, me confirmé en mi sospecha. Mas no me atrevía á fixar en ella hasta que por medios mas seguros me constára la verdad. Por esto, deseoso de conocerla, y agitado de mis pensamientos, resolví exâminarlo todo con el mayor cuidado, y tomar las medidas é informes que necesitara para salir de todas mis dudas, y tener evidencia de las causas de cada una de las ruinas.

Así lo practiqué; y hallando el hecho y pensamientos que me habian ocurrido, del todo conformes á las observaciones que hice, y á las resultas que deduje por cál-

culo , quedé plenamente convencido. Mas no contento con esto , intenté discurrir un medio para extravíar la agua que entra por el arco ó boca de la cantari-lla á la Puerta de Recoletos ; pues veía que quitada ella, con reedificar las obras derruidas, y hacer algunos sumideros , podía quedar el Prado libre de tales daños. Pero reconociendo el terreno , eché de ver que no lo permitía su disposicion , y que era indispensable se experimentára lo mismo en qualquiera otra lluvia copiosa. Advirtiendo , pues , que estas se notan con bastante frecuencia, siendo la del día 23 la tercera de este siglo, segun he podido averiguar ; y teniendo presentes á mas de esto las fatales desgracias de la del 15 de Setiembre del año 23 ; y por otro lado lo costoso que es reparar cada vez los daños , comprendí la grande necesidad que hay de disponer las obras del Prado de modo que puedan resistir qualquiera inundacion (\*). A este fin formé un

(\*) Para que se vea quanto urge esto, á la vista de las desgracias que amenazaron á los pasageros las tapias derruidas, y de los daños á que estaban expuestos los habitadores de las casas inundadas, conviene añadir el siguiente párrafo de la Gaceta de Madrid del Martes 21 de Setiembre de 1723. Comienza así: “ La noche del dia 15 hubo en  
 „ esta Villa una horrorosa tempestad de truenos, relámpagos y agua,  
 „ que duró mas de dos horas ; en cuyo espacio cayeron varias centellas  
 „ en diversos edificios , que no hicieron considerable daño ; pero los  
 „ causó muy graves el ímpetu del agua en los barrios de Santa Bárbara,  
 „ donde se arruinaron algunas casas, sepultando en sus ruinas á qua-

proyecto, que por parecerme fácil , y de poco coste , le extendí despues de la demonstracion de las causas de las ruinas que se experimentaron en el día 23.

Todo este trabajo me tomé con ánimo de tener para mí gobierno un escrito del suceso. Mas la variedad de  
 „ tro personas ; y donde hizo mayor estrago fue en la casa del jardin  
 „ del Sr. Conde de Oñate , donde vivia actualmente el Sr. Duque de  
 „ la Mirándola , y por ser dia en que cumplia años , se hallaban á la  
 „ sazón á cortejarle muchos Señores , que ignorando el riesgo que les  
 „ amenazaba, estaban en el quarto baxo cerradas todas las puertas y  
 „ ventanas, lo que dió lugar á que el agua de las alturas de la huerta  
 „ y cercanías del Convento de Recoletos rompiese las tapias, y entráse  
 „ hasta la pared de la casa del jardin , que creciendo excesivamente,  
 „ derribó parte de la pared, y entró de ímpetu en todo el quarto baxo,  
 „ subiendo casi tres varas de alto ; en cuyo conflicto salieron fuera de  
 „ la casa los que pudieron : otros se mantuvieron asidos de ventanas  
 „ y rejas , nadando sobre el agua ; y otros subiendo sobre los coches  
 „ del patio , salvaron las vidas , aunque maltratados ; y á otros libra-  
 „ ron los Religiosos Agustinos Recoletos , que acudieron al remedio ;  
 „ pero la Señora Duquesa de la Mirándola , que se habia retirado al  
 „ Oratorio con una criada , se ahogaron , sin poderlas socorrer ; co-  
 „ mo tambien en el patio D. Tiberio Carrafa ; y intentando salir de  
 „ la casa el Sr. D. Francisco Pio de Saboya Moura y Cortereal , Mar-  
 „ ques de Castel-Rodrigo, le arrebató y llevó el ímpetu del agua , sin  
 „ haberle podido socorrer , ni saberse su paradero hasta el dia siguien-  
 „ te , que se halló su cadaver en el rio , tres leguas distante de esta  
 „ Villa, adonde se le traxo, y se depositó en el Convento de S. Joachin,  
 „ que llaman de los Afligidos ; habiéndose sentido generalmente estas  
 „ desgracias , &c.“ De la otra lluvia , que fue el dia 23 de Agosto  
 del año 42 , no se refiere que causára daños particulares.

pareceres que he oido acerca de él , me ha hecho rezelar que pocos han examinado el asunto con aquella seriedad que merece , y han dado razon que convenciera su dictamen ; lo que me ha obligado á darlo á la luz pública, sin otro objeto , que ofrecer en lo uno la utilidad que se puede sacar de las demonstraciones que se hallarán tan poco usadas entre los Arquitectos , y tan necesarias para proceder con acierto ; y en lo otro una norma de los remedios que se pueden aplicar en semejantes casos.

### *DE LAS CAUSAS DE LAS RUINAS.*

**P**ara guardar el mejor orden , y que unas cosas sirvan de luz á otras , consideremos primero cómo se pudo juntar tanta agua en el Prado , y el curso que hacía la que corría por él y por la cantarilla. Qualquiera que salga por la Puerta de Recoletos , y observe el camino que viene de la Puerta de Santa Bárbara junto á las tapias de la Villa , y las vertientes de los campos del frente , que desaguan en la cantarilla , formando el origen del arroyo , conocerá que en aquella Puerta deben concurrir las aguas de dicho camino , y de las vertientes de los campos del frente ; y que como el camino es bastante largo , y los campos tienen una grande extension , que en qualquiera lluvia copiosa han de tomar las aguas mucha altura ; cre-

ciendo antes mucho mas las del arroyo que las del camino , por la grande diferencia de las vertientes ; hasta que rompiendo el pretil , ó pasando por encima de él , se comuniquen despues libremente con las de fuera , y obtengan unas y otras el mismo nivel , como se observó el dia 23.

Entrando, pues, estas aguas en el Prado por la Puerta , y por el arco de la cantarilla , era preciso que las que entraron por el arco fueran mas que suficientes para que esta se llenára : porque subiendo á la parte de afuera ocho quartas sobre el piso , y mucho mas de lo que permitía la montea del arco ; pasando dentro debian tomar casi la misma altura para guardar las leyes de la presion de los fluidos. Las de la Puerta se mantuvieran tambien en el mismo nivel , si dentro no se ensanchára mas y mas su cauce , segun se vá ensanchando el Prado ; pero no baxaron unas y otras tanto que no se pusieran desde luego á una altura en que pudieran cubrir el escaño de piedra.

Llena yá la cantarilla con la agua que recibía por su boca , y corriendo por el Prado la que entró por la Puerta , debiera poco á poco disminuir esta su altura por lo que se extendía ; pero como á proporcion de esto tomaba mas cuerpo por la agua que se agregaba de las calles y arroyos , que vierten en la cantarilla , que hallándola llena rebosaba por los sumideros , juntándose

con la que venía de la Puerta, no es de estrañar se inundára todo el paseo con mas de tres quartas de agua ; y mucho menós lo será si se observan atentamente dichas calles y arroyos. Las calles de S. Joseph y del Almirante son bastante largas , y tienen mucho pendiente. Entre el Pósito y Recoletos se encuentran varios arroyos de bastante caudal ; de los quales el que desagua en la cantarilla junto al Puente del Pósito , recoge agua de muchos campos fuera de la Villa ; y el que sale de la casa del lado del Pósito , necesita en una grande avenida toda la cantarilla. La extension de terreno , que hay desde la Puerta de Alcalá hasta el Prado , es considerable , y ademas del agua que vierte de suyo , recoge la de varios arroyuelos , tanto por el lado del Pósito , como por el del Retiro. La calle de Alcalá , larga , ancha , con bastante pendiente , y con tantas calles que vierten en ella desde la Aduana nueva hasta el Prado , no es decible la agua que junta. Del mismo modo se puede discurrir de la Carrera de S. Gerónimo , calle de las Huertas , calle de S. Juan , calle de la Verónica , calle del Gobernador , calle de Atocha , paseo de Atocha , altos de S. Blas , y de la extension que hay entre el Retiro y la cantarilla ; y para lo que corresponde á la parte del paseo inmediata al Convento de Atocha , y terreno de las espaldas ; del olivar del mismo Convento , y parte del Retiro , que vierten por allí.

Después de esto no será difícil entender el curso que hacian las aguas por la cantarilla , y por el Prado. Porque comenzando á correr unas y otras á nivel , era preciso , que llegando las de la cantarilla al puente de Recoletos , chocáran con él , rebosando por encima , y que así disminuyeran su altura á la salida del puente, hasta que agregándose las del arroyo del lado del Pósito, ganáran otra vez la misma altura que tenian. Lo mismo se observaría en el puente del Pósito ; pero en este se debía notar además , que la agua saldría de él con mucha mas fuerza que del otro , por la que le añadía el arroyo que desagua en su entrada ; y que por la mayor profundidad de la cantarilla , y poca cantidad de agua que se podía juntar por el lado del Pósito , se mantendría en adelante esta en ella mas baxa que la del Prado.

Siendo tambien el puente que atraviesa la calle de Alcalá bastante chato , y no muy ancho ; y la cantarilla mucho mas profunda y desahogada desde su salida hasta el otro puente de enfrente del Retiro ; no es de extrañar baxáran las aguas del arroyo tanto como se observó. Ni tampoco debe causar novedad que la agua del Prado hiciera de paso excavaciones junto al revestimiento y junto á la tapia de enfrente del Convento de Atocha, pues bastaba para esto que hallára en aquellos parages la tierra floja ó algunos hoyuelos ; porque en el primer caso levantaría la tierra , y se formaría facilmente la excavi-

vación ; y en el segundo chocaría en los hoyos , y los engrandecería tanto mas aprisa , quanta mayor fuera la altura y velocidad que tuviera , y menos pisonada hallára la tierra. Y si la agua tenia alguna direccion contra el escaño , como se puede inferir acerca de los trozos que miran á la calle de Alcalá , Carrera de S. Gerónimo , y calle de las Huertas ; aunque la tierra estuviera firme , y no tuviera hoyos , la reflexion del choque que padecería la agua en el escaño , era capaz de levantar la tierra de delante , y abrirles. Finalmente , es muy conforme á la disposicion del terreno , que las aguas del Prado tardáran mas en disminuir su altura que las de la cantarilla ; porque corriéndo aquellas por un pendiente tan suave , y no teniendo otros desagues que el que ofrecia la Puerta de Atocha , el de las casas que inundaban , y el de los pocos sumideros que hay quando su estrechez y desahogo de la cantarilla lo permitieran , debian detenerse mas que las otras , que tenian su cauce con mayor pendiente , y sin obstáculos que vencer (\*).

Pasemos yá á exâminar la causa de la rotura del

(\* ) Los que quieran hacerse cargo de pronto de lo substancial de este escrito , ó no tengan noticia de los principios de Matemáticas necesarios para la inteligencia de los cálculos que se siguen , podrán pasar por alto lo que falta hasta el Proyecto ; y leer en su defecto la nota de los resultados , que se pondrá al fin de la Demonstracion.

pretil de la Puerta de Recoletos. Este pretil del modo que quedó arruinado , manifestaba que habia girado sobre su asiento ácia la parte del camino , y que no habia sido por falta de su cimiento. Así solamente concurrieron tres fuerzas , que pudieran ocasionar ó retardar su movimiento : la del agua del arroyo , la del agua del camino , y el peso del mismo pretil. Para conocer qual de ellas ocasionó su rotura , busquemos el ángulo giratorio que describió en el primer instante de tiempo.

**Fig. 1** Sea, pues, AE su perfil ; será A el punto sobre que giraba, LH el nivel de las aguas del camino , y FK el de las del arroyo ; pues atendidas las vertientes, siempre deben elevarse estas mas que aquellas en qualquiera lluvia copiosa, segun se advirtió. Para tener el momento del agua del arroyo contra la superficie EB del pretil , tomemos la

fórmula  $\frac{m b d a \operatorname{sen} . \kappa}{\operatorname{sen} . \eta} \left( (D + a)^{\frac{1}{2}} \operatorname{sen} . \omega \pm \frac{1}{8} u \operatorname{sen} . \theta \right)^2 (*)$ ,

ó lo que es lo mismo .....

$\frac{m b d a \operatorname{sen} . \kappa}{\operatorname{sen} . \eta} \left( (D + a)^{\frac{1}{2}} \operatorname{sen} . \omega \pm \frac{u \operatorname{sen} . \theta}{2 \sqrt{K}} \right)^2 (**)$ , ( de-

(\*) Dada por D. Jorge Juan en su Obra del *Exámen Marit. tom. 1, lib. 2, prop. 16.*

(\*\*) Conviene mas usar esta que la primera ; porque suponiendo D. Jorge Juan en la suya , que  $K = 16$  pies ingleses , nos obligaría esta suposicion á valernos en todos los cálculos de medidas inglesas. Para que se vea cómo se deduce , consúltense en el *tom. 1 de la obra cit. la prop. 11 del lib. 2 , y el cor. 2 del prin. 3 , lib. 1.*

notando  $K$  el espacio que corre un cuerpo grave en el tiempo de un segundo descendiendo libremente), la qual representa la fuerza que padece una diferencial-diferencial de dicha area. En ella es el peso de un pie cúbico de agua  $= m$ ; la diferencial de la longitud de la superficie que en este caso es un rectángulo,  $= db$ ; la profundidad  $FC$  de la diferencial  $da$  de la altura,  $= D + a$ , siendo  $EF = D$ , y  $EC = a$ ; el ángulo que forme la direccion en que se pida la fuerza con la superficie  $= x$ ; el que forma la superficie chocada con el horizonte  $= \eta$ ; el que forme la superficie del fluido con la vertical  $= \omega$ ; y el que forme la direccion del mismo con el plano de la superficie chocada  $= \theta$ ; y la velocidad del fluido  $= u$ . Mas como en este caso se halla la superficie chocada vertical, se substituirá  $\text{sen. } \eta = 1$ ; y por buscarse la fuerza segun la perpendicular,  $\text{sen. } x = 1$ ; y por moverse el fluido paralelamente á la superficie (\*), manteniéndose casi á nivel,  $\theta = 0$ , y  $\omega = 1$ . De este modo se reduce la expresion á  $mbda(D+a)$ ; y integrando por respeto á la  $b$ , se tiene la fuerza  $mbda(D+a)$ , que padeería una diferencial horizontal de la superficie. Supóngase, pues, la altura  $EB = NA = c$ ; será la distancia

(\*) Con suponer esto se dán las mayores ventajas á la resistencia del pretil, pues no se puede dudar, que teniendo la agua, como era regular, alguna direccion contra él, habia de resultar mayor la fuerza del agua del arroyo.

perpendicular de la direccion de dicha fuerza al exe fi-  
 xo ó punto A ,  $\equiv EB - EC \equiv c - a$  ; y su momen-  
 to  $\equiv mb(D + a)(c - a)da$ . Integrando , resulta la su-  
 ma de momentos que padecería la area , cuyo perfil es  
 CE ,  $\equiv \frac{1}{6}mb(6Dca - 3Da^2 + 3ca^2 - 2a^3)$  ; pues  
*b* es constante por tener la superficie el mismo ancho  
 en qualquier altura ; y haciendo  $a \equiv c$  , será la suma de  
 los momentos que padecería toda la superficie EB  $\equiv$   
 $\frac{1}{6}mb(3Dc^2 + c^3)$ .

La misma expresion nos dará la que padecía la su-  
 perficie AH , solo con substituir  $D \equiv 0$  , y en lugar de  
 EB, AH; ó lo que es lo mismo en lugar de *c* , *b* : su-  
 poniendo AH  $\equiv b$ . Así queda la suma de momentos que  
 padecería la superficie AH,  $\equiv \frac{1}{6}mbb^3$ . Llamando ahora  
*a* la base del rectángulo en que se resuelve la superficie  
 mixtilinea AE , suponiendo determinada por *c* la altura  
 EB , será la area AE  $\equiv ac$  , y el elemento del sólido  
 $\equiv nacdb$  , denotando *n* el peso de un pie cúbico de piedra  
 berroqueña. Y como la distancia de la direccion del cen-  
 tro de gravedad al exe fixo la podemos tomar sin error sen-  
 sible ,  $\equiv \frac{1}{2}a$  ; será el momento del elemento del sólido  
 $\equiv \frac{1}{2}na^2cdb$  ; é integrando el de todo el sólido  $\equiv \frac{1}{2}na^2bc$   
 $\equiv \frac{3}{6}na^2bc$ .

De este modo los tres momentos son  $\frac{1}{6}mb(3Dc^2 + c^3)$  ,  
 $\frac{1}{6}mbb^3$  , y  $\frac{3}{6}nba^2c$  , que dividiéndoles por *b* , ó haciendo  
 $b \equiv 1$  , manifiestan que la misma razon habrá entre los

momentos actuantes, y resistentes considerando el pretil de un pie de longitud, que dándole toda la que tenia. Y tomándole para mayor facilidad del primer modo, se expresarán dichos momentos por  $\frac{1}{6}m(3Dc^2 + c^3)$ ,  $\frac{1}{6}mb^3$ , y  $\frac{3}{6}na^2c$ . Substituyéndoles, pues, en lugar de  $p\pi$  en la expresion  $\frac{p\pi dt}{S}$  de la velocidad angular, deducida de  $\frac{dts p\pi dt}{S}$  (\*), por ser en nuestro caso  $p\pi$  constante; y haciendo los momentos del peso del pretil, y agua del camino negativos, por ser contrarios al del agua del arroyo; y representando por  $S$  los momentos de inercia; será el ángulo giratorio que describiría el pretil en el primer instante de tiempo  $dt$  (\*\*),  $\frac{dt}{S} \left( \frac{1}{6}m(3Dc^2 + c^3) - \frac{1}{6}(mb^3 + 3na^2c) \right)$ .

Así se vé que si  $\frac{1}{6}m(3Dc^2 + c^3) > \frac{1}{6}(mb^3 + 3na^2c)$ , el pretil giraría ácia el camino; si  $\frac{1}{6}m(3Dc^2 + c^3) < \frac{1}{6}(mb^3 + 3na^2c)$ , giraría ácia el arroyo; y si  $\frac{1}{6}m(3Dc^2 + c^3) = \frac{1}{6}(mb^3 + 3na^2c)$ , el numerador del ángulo giratorio sería  $= 0$ , y por consiguiente el pretil quedaría quieto y en equilibrio. Para que llegue á constar qual de estas cosas sucedió, no hay mas que substituir los valo-

(\*) *Exam. Marit. tom. 1, lib. 1, corol. 4, prop. 21.*

(\*\*) Considerando el ángulo giratorio en el primer instante de tiempo se han podido suponer los valores en los términos que se ha hecho, pues de otro modo casi todas las cantidades se hacian variables, y se complicaba mucho el cálculo, sin conducir nada á nuestro asunto.

res á las cantidades. Se halló  $c = 4$  pies (\*),  $a = \frac{7}{8}$  de pie, y podemos hacer  $D = \frac{1}{3}$  de pie, y  $b = 2$  pies. Es tambien  $m = \frac{763}{16}$  libras castellanas (\*\*), y  $n = 125$  libras castellanas; peso que dán comunmente al pie cúbico de piedra berroqueña: luego  $\frac{1}{6}m(3Dc^2 + c^3) = \frac{1.763}{6.16} \left( \frac{3.1.16}{3} + 64 \right) = 635 \frac{5}{6}$  libras, y  $\frac{1}{6}(mb^3 + 3na^2c) = \frac{1}{6} \left( \frac{763.8}{16} + \frac{3.125.49.4}{64} \right) = 254 \frac{95}{96}$  libras. Así .....  $\frac{1}{6}m(3Dc^2 + c^3) > \frac{1}{6}(mb^3 + 3na^2c)$ , y por consiguiente el pretil giró ácia el camino, obligado del empuje del agua del arroyo, cuyo momento sobrepujaba á los que resistian, en la razon de  $635 \frac{5}{6}$  á  $254 \frac{95}{96}$ . Pero veamos si resultará lo mismo haciendo  $D = 0$ , esto es, no pasando las aguas por encima del pretil. En este caso se reduce

(\*) Las medidas las daremos en todo el Escrito en pies castellanos, ó en partes suyas, y los pesos en libras castellanas.

(\*\*) Se halla que  $m = \frac{763}{16}$  libras del modo siguiente. Por quanto un pie cúbico frances de agua del mar pesa  $77 \frac{11}{32}$  ó  $\frac{2475}{32}$  libras castellanas (*Exám. Marit. tom. 2, §. 109*), y que la razon de la gravedad especifica del agua del mar al agua de arroyo es la de 1,030 á 1,009 (*Musschenbroek Introd. ad Phil. nat. §. 1417*), será 1030 á 1009, como  $\frac{2475}{32}$  á  $\frac{499455}{6592}$ , ó  $75 \frac{5055}{6592}$  libras castellanas: peso de un pie cúbico frances de agua de arroyo. El pie frances es al castellano como 2333 á 2000, ó próximamente como 7 á 6 (*Medid. Milit. de D. Pedro Lucuze, docum. 26*), y sus cubos como 343 á 216. Así será 343 á 216, como  $\frac{499455}{6592}$  á  $47 \frac{201581}{282632}$  libras; próximamente igual á 47 libras, y 11 onzas castellanas. Por lo qual el peso de un pie cúbico castellano de agua de arroyo, ó  $m = \frac{763}{16}$  de libra castellana.

$\frac{1}{6} m(3 Dc^2 + c^3)$  á  $\frac{1}{6} mc^3$  ; y substituyendo los valores queda  $\frac{1}{6} mc^3 = \frac{1.763.64}{6.16} = 508\frac{2}{3}$  libras. Por lo qual se vé que todavía  $\frac{1}{6} mc^3 > \frac{1}{6}(mb^3 + 3na^2c)$  ; por tener aquel momento con este la razon de  $508\frac{2}{3}$  con  $254\frac{25}{96}$  ; y que así giraría tambien en este caso el pretil ácia el camino, obligado del empuje de las aguas del arroyo.

Mas tal vez dudará alguno , que la agua del camino tuviera tan poca altura como se ha supuesto respecto de la que se le dá á la del arroyo. Busquemos pues aquella en que el pretil quedaría en equilibrio, para ver si podia llegar á ella. En este caso debia ser cero el numerador del ángulo gíatorio: esto es,  $\frac{1}{6} mc^3 = \frac{1}{6}(mb^3 + 3na^2c)$ . Por lo qual,  $b = \sqrt[3]{\left(\frac{mc^3 - 3na^2c}{m}\right)}$  ; y substituyendo los mismos valores que antes,  $b =$

$$\sqrt[3]{\left(\frac{\frac{763.64}{16} - \frac{3.125.49.4}{4.16}}{\frac{763}{16}}\right)} = \sqrt[3]{\frac{30457}{763}}, \text{ pr} \acute{o}\text{ximamente igual}$$

á 3 pies , y 5 pulgadas. Altura que jamás se verificará que tengan las aguas del camino , respecto de las del arroyo , atendida la diferencia de las vertientes , y desagüe que tenian por la Puerta. Lo que no se debe estrañar, aunque en la lluvia del dia 23 ascendieron unas y otras hasta 6 pies de altura ; pues como yá se dixo , debiendo ellas crecer poco á poco hasta los seis pies ; tomando aumento las del arroyo antes de llegar á pasar por encima del pretil, era preciso que estuvieran mas elevadas

que las del camino por las razones insinuadas ; y que por consiguiente rompieran en este caso el pretil , como se acaba de demostrar : por ser este el caso que se ha considerado. Y roto el pretil era muy conforme á las leyes de los fluidos , que desde entonces ascendieran unas y otras guardando el mismo nivel , comunicándose libremente las del arroyo con las del camino. Así , de qualquier modo , que se consideren las aguas del arroyo y del camino , quedando el pretil del modo que estaba , lo han de derribar las aguas del arroyo.

Todo el argumento que se acaba de hacer para demostrar la causa de la rotura del pretil , pudiera servir de apoyo para manifestar mas brevemente la de las demás ruinas ; pero no nos quedarían documentos justificados , que facilitáran el medio de la composicion ; y por esto es indispensable dar las razones con la misma individualidad.

En quanto á los escaños que rompió el agua en los puentes de Recoletos y del Pósito , aunque no se puede dudar la causa de su ruina , no sabemos si esta sucedió por arrastrarles la agua sobre las losas en que sentaban , ú obligándoles con su fuerza á girar ácia delante. Y para descubrir de qual de las dos maneras debia acontecer , es preciso exâminar el caso bajo una y otra suposicion. Mas antes es menester advertir que la varandilla de hier-

ro lexos de contribuir con su peso á la resistencia de los escaños , debía ocasionar mas presto su ruina en caso de estar unida á ellos , por ia mucha superficie que oponia á la corriente ; y mas quando esta se aumentára con el estiercol que se pararía en ella ; pero teniendo su principal union con las varandillas laterales , debemos prescindir de esta circunstancia en la consideracion de los escaños ; pues no habia inconveniente en que la agua los rompiera dexando las varandillas , ó en que se llevára estas , permaneciendo los escaños.

Esto supuesto , busquemos primero el ángulo gírtorio , dándole todas las ventajas posibles al momento del agua del arroyo : esto es , suponiendo que la agua pase por encima del escaño , y que haga su empuje á tiempo que sea despreciable el de la agua del puente que le debia ser contrario , y que no tenga mas momentos que sobrepujar que el del peso de qualquiera de los dos escaños ; pues siendo el uno lo mismo que el otro , lo que se diga del uno se entenderá del otro. Este último momento le hallaremos del mismo modo que el del pretil , haciendo  $CB = BA = e$  , la base en que se resuelve la *Fig. 2* area mixtílínea BE , que representa el perfil del escaño ,  $= z$  , la longitud del escaño  $= b = 1$  , y el peso de un pie cúbico de piedra berroqueña  $= n$  ; pues será  $nzedb$  una diferencial del escaño , y  $nzedb \cdot \frac{1}{2} AB = \frac{1}{2}nze^2db$

su momento, é integrando  $\frac{1}{2}nze^2b$  ó  $\frac{1}{2}nze^2$  el momento que se buscaba.

Para tener el de la fuerza del agua del arroyo, tómesese otra vez la fórmula  $\frac{mbda \operatorname{sen.} \kappa}{\operatorname{sen.} \eta} \left( (D+a)^{\frac{1}{2}} \operatorname{sen.} \omega \pm \frac{u \operatorname{sen.} \theta}{2\sqrt{K}} \right)^2$ , que haciendo en ella  $\operatorname{sen.} \kappa = \operatorname{sen.} \eta = \operatorname{sen.} \theta = 1$ ; por buscarse la fuerza en la direccion perpendicular, en que se movia el fluido, y estar la superficie vertical; y tomando además el signo positivo, por moverse el fluido contra la superficie chocada; suponiendo como antes  $\omega = 1$ , porque aunque el fluido tuviera alguna desnivelacion al llegar al puente se pondría casi horizontal por la detencion que hacian las aguas; se reducirá á  $mbda \left( (D+a)^{\frac{1}{2}} + \frac{u}{2\sqrt{K}} \right)^2 = m b d a \left( D+a + \frac{u}{\sqrt{K}} (D+a)^{\frac{1}{2}} + \frac{u^2}{4K} \right)$ : é integrando por respecto á la  $b$ , y haciendo como antes  $b = 1$ , á  $m d a \left( D+a + \frac{u}{\sqrt{K}} (D+a)^{\frac{1}{2}} + \frac{u^2}{4K} \right)$ . Expresion de la fuerza que padecería una diferencial orizontal de la superficie chocada correspondiente, por exemplo, á  $Mm$ : suponiendo que  $HC = D$ , y  $CM = a$ . Pues como  $CB = e$ , será la distancia de la direccion de dicha fuerza al exe fixo  $A$ ,  $= CB - CM = e - a$ ; y por consiguiente el momento de ella  $= m d a (e - a) \left( D+a + \frac{u}{\sqrt{K}} (D+a)^{\frac{1}{2}} + \frac{u^2}{4K} \right) = m d a \left( D e - D a + a e - a^2 + \frac{u e}{\sqrt{K}} (D+a)^{\frac{1}{2}} - \frac{u a}{\sqrt{K}} (D+a)^{\frac{1}{2}} + \frac{u^2 e}{4K} - \frac{u^2 a}{4K} \right)$ : que integrado dá la suma de momentos que padecería la superficie  $CM$ ,  $= m \left( D e a - \frac{1}{2} D a^2 + \frac{1}{2} e a^2 - \frac{1}{3} a^3 + \right.$

$\frac{2ue}{3\sqrt{K}} (D+a)^{\frac{3}{2}} - \frac{2u}{5\sqrt{K}} (D+a)^{\frac{5}{2}} + \frac{2u}{3\sqrt{K}} D(D+a)^{\frac{3}{2}} + \frac{eau^2}{4K} - \frac{u^2a^2}{8K} + C$ : denotando C la constante que debe completar el integral. Conoceremos el valor de esta,

advirtiendo que quando la altura de la superficie chocada ó  $a = 0$  o la suma de los momentos debe tambien serlo, y que así siendo  $a = 0$ , será .....

$$m \left( \frac{2ueD^{\frac{3}{2}}}{3\sqrt{K}} - \frac{2uD^{\frac{5}{2}}}{5\sqrt{K}} + \frac{2uD^{\frac{3}{2}}}{3\sqrt{K}} \right) + C = 0, \text{ y } C =$$

$$- m \left( \frac{2ueD^{\frac{3}{2}}}{3\sqrt{K}} + \frac{4uD^{\frac{5}{2}}}{15\sqrt{K}} \right). \text{ Substituyendo pues este va-}$$

lor en el integral, y haciendo además  $a = e$ , tendremos despues de varias reducciones la suma de momentos que padecería toda la superficie CB, = .....

$$m \left( \frac{1}{2} De^2 + \frac{4u}{15\sqrt{K}} \left( (D+e)^{\frac{5}{2}} - D^{\frac{5}{2}} \right) - \frac{2ueD^{\frac{3}{2}}}{3\sqrt{K}} + \frac{1}{6} e^3 + \frac{e^2u^2}{8K} \right).$$

Y suponiendo para mayor facilidad  $\frac{4}{15\sqrt{K}} \left( (D+e)^{\frac{5}{2}} - D^{\frac{5}{2}} \right)$

$$- \frac{2eD^{\frac{3}{2}}}{3\sqrt{K}} = B; \text{ será tambien dicha suma } = \dots\dots\dots$$

$$m \left( \frac{1}{2} De^2 + uB + \frac{1}{6} e^3 + \frac{e^2u^2}{8K} \right) = m \left( \frac{1}{2} De^2 + \frac{1}{6} e^3 + \frac{e^2u^2}{8K} \right) + muB;$$

y así el ángulo giratorio que produciría el agua del arroyo en el primer instante de tiempo  $dt$ , = .....

$$\frac{dt}{S} \left( m \left( \frac{1}{2} De^2 + uB + \frac{1}{6} e^3 + \frac{e^2u^2}{8K} \right) - \frac{1}{2} nze^2 \right).$$

Constará que el escaño pudo girar si .....

$$m \left( \frac{1}{2} De^2 + uB + \frac{1}{6} e^3 + \frac{e^2u^2}{8K} \right) > \frac{1}{2} nze^2; \text{ porque de lo con-}$$

trario la suma de los momentos resultaría negativa, y el ángulo giratorio sería negativo; esto es, no podría resul-

tar rotación por la fuerza del agua del arroyo. Para esto se substituirá la altura de la superficie chocada, ó  $e = \frac{3}{2}$ , la del agua sobre el escaño quando mas de un pie, esto es,  $D = 1$ , el ancho del escaño, ó  $z = \frac{1}{3}$ ,  $K = \frac{211}{12}$ ,  $\sqrt{K} = \frac{21}{5}$  (\*),  $m = \frac{763}{16}$ ,  $n = 125$ , y la velocidad, atendido el pendiente, como de quatro pies por segundo, esto es  $u = 4$ . De esta suerte resultará  $m\left(\frac{1}{2}De^2 + \frac{1}{6}e^3 + \frac{e^2 u^2}{8K}\right) = \frac{763}{16}\left(\frac{9}{2.4} + \frac{27}{6.8} + \frac{9.16.12}{8.211}\right) = 129$  libras próximamente; y siendo  $B = \frac{4}{15\sqrt{K}}\left((D+e)^{\frac{5}{2}} - D^{\frac{5}{2}}\right) - \frac{2eD^{\frac{3}{2}}}{3\sqrt{K}}$

$$= \frac{4.5}{15.21}\left(\sqrt{\frac{3125}{32}} - 1\right) - \frac{2.3.5}{3.2.21} = \frac{20}{15.21}\left(\frac{\sqrt{312500} - \sqrt{3200}}{\sqrt{3200}}\right) - \frac{5}{21}$$

$$= \frac{16.16}{763}$$

próximamente; y por consiguiente  $muB = \frac{763.4.16.16}{763.16} = 64$ ; quedará  $m\left(\frac{1}{2}De^2 + uB + \frac{1}{6}e^3 + \frac{e^2 u^2}{8K}\right) = 129 + 64 = 193$  libras. Tambien es  $\frac{1}{2}nze^2 = \frac{125.5.9}{2.3.4} = 234\frac{3}{8}$  libras: luego la razon del momento del agua del arroyo con el del escaño será casi  $= \frac{193}{234}$ . Y como esta es razon de menor desigualdad, se vé cla-

(\*) Es  $K = \frac{211}{12}$  pies castellanos, porque siendo el espacio que corren los cuerpos descendiendo libremente en España en el tiempo de un segundo igual á 15 pies, y  $11\frac{312}{1000}$  lineas de París (*Exám. Marit. tom. I. lib. I. esc. de la prop. 48*), y equivaliendo 6 pies de París á 7 de Castilla (*Medid. Milit. docum. 26*), se infiere que  $6:7 = \frac{2171312}{1000}:K$ . Por lo qual  $K = \frac{7.2171312}{6.1000} = 2533\frac{74}{375}$  lineas de Castilla, que se pueden tomar iguales  $\frac{2533}{144}$  de pie castellano, ó á 17 pies 7 pulgadas y 1 linea de Castilla: equivalentes tambien en el caso presente á  $\frac{211}{12}$  pies. Y por ser  $K = \frac{2533}{144}$  será  $\sqrt{K} = \frac{1}{12}\sqrt{2533} = \frac{21}{5}$  pies próximamente.

ramente que el escaño no pudo romperse por la rotación, sin embargo de no haber despreciado ningún término, y de haberle dado las mayores ventajas al momento del agua del arroyo.

Veamos, pues, si la fuerza del agua contra la superficie CB era bastante para arrastrarle. Para esto tomando la expresión que se halló antes, de la fuerza que padecía la diferencial horizontal  $Mm$ ; esto es, .....  $mda(D + a + \frac{u}{\sqrt{K}}(D + a)^{\frac{1}{2}} + \frac{u^2}{4K})$ ; haremos  $D = 0$ , á fin de considerar el caso en que no pase la agua por encima del escaño, y que sea despreciable la resistencia que pudiera añadirle la agua que hubiera sobre el puente. Con esto se reducirá á  $mda(a + \frac{ua^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{K}} + \frac{u^2}{4K})$ ; que integrada, dará la fuerza que padecería toda la superficie CM,  $= m(\frac{1}{2}a^2 + \frac{2ua^{\frac{3}{2}}}{3\sqrt{K}} + \frac{u^2a}{4K})$ ; y haciendo  $a = e$ , la que padecería toda la superficie CB,  $= m(\frac{1}{2}e^2 + \frac{2ue^{\frac{3}{2}}}{3\sqrt{K}} + \frac{u^2e}{4K})$ . Pues como la diferencial del escaño era  $= nzedb$ ; su integral será  $= nzeb$ , ó por suponerse  $b = 1$ ,  $= nze$ . Y por quanto la potencia que está á punto de vencer la fricción, se puede tomar en este caso  $= \frac{1}{3}nze$  (\*); si  $m(\frac{1}{2}e^2 + \frac{2ue^{\frac{3}{2}}}{3\sqrt{K}} + \frac{u^2e}{4K}) > \frac{1}{3}nze$ , bas-

(\*) *Exam. Marit. tom. 1. lib. 1. esc. 2. de la prop 51.*

taba dicha fuerzā para arrastrar el escaño. Substitüyendo, pues, los mismos valores que antes, tendremos

$$m\left(\frac{1}{2}e^2 + \frac{2ue^{\frac{3}{2}}}{3\sqrt{K}} + \frac{u^2e}{4K}\right) = \frac{763}{16}\left(\frac{9}{8} + \frac{2.4.3.5.5}{3.2.4.21} + \frac{16.3.12}{4.2.211}\right) =$$

126 libras próximamente; y  $\frac{1}{3}nze = \frac{125.5.3}{3.3.2} = 104$  libras próximamente; y por consiguiente, .....

$$m\left(\frac{1}{2}e^2 + \frac{2ue^{\frac{3}{2}}}{3\sqrt{K}} + \frac{u^2e}{4K}\right) : \frac{1}{3}nze = 126 : 104. \text{ Por}$$

lo qual, aunque el agua no pasára por encima del escaño, excedía de mucho su fuerza á la que oponia este para que le arrastrára, y así le habia de romper. Si se hace la velocidad de tres pies por segundo, se hallará todavía la fuerza del agua mayor que la potencia necesaria para esto; aunque se aumente algo la fricción, por razon de la poca argamasa que podia haber entre las dos piedras. Lo mismo resultará disminuyendo la altura del agua: de manera que con poca velocidad que tuviera la corriente, ó aunque no llegára la agua al canto superior de la superficie chocada, tendría fuerza suficiente para vencer las escabrosidades del suelo, y sacar de sus quicios las piedras. Por lo que se vé que de este modo se experimentó la ruina del escaño. Pero de esto no se sigue que la agua despues de apartarle de su lugar no le pudiera hacer girar. Esto podia facilmente suceder, si el terreno por donde le arrastraba tenia alguna inclinacion; pues entonces tropezando en algun obstáculo se engen-

draría rotacion, á causa de disminuirse el momento del peso del escaño, y aumentarse el del agua que le chocaba.

Manifestemos ahora la causa de haber excavado el agua el fondo de la cantarilla al salir del puente del Pósito hasta dexar pendiente una de sus cortinas. Ya se dixo que en esta parte disminuía el agua su altura, y que de la que corría por el lado del Pósito, y rebosaba por la otra parte, caía alguna porcion en el arroyo por encima de la cortina desplomada. Así no es de estrañar que la fuerza del agua que caía verticalmente con bastante velocidad adquirida, hiciera al chocar alguna impresion en el suelo; la que continuada y ayudada de la mucha fuerza con que salia la del puente, se profundára y dilatára hasta dexar la cortina pendiente. Efecto que notamos diariamente en todos los parages en que ó se aumenta la corriente, ó tiene alguna caída el agua, y que no necesita mayor explicacion.

Pasemos, pues, á exâminar qual fue la causa de la rotacion de los seis trozos del revestimiento, considerando alguno de ellos; por ser la misma la que obligó á que cayera el uno, que la que causó la rotacion de los otros: observándose en todos los mismos efectos y la misma disposicion. Para esto tomaremos el primero que ocurre, que es el de enfrente de la calle de Alcalá; cuyo perfil con escaño y barandilla se representa por

**Fig. 3** ECKSA : siendo AR el suelo de la cantarilla , MO el nivel del agua que corría por ella , HK el de la del Prado , GC el del terreno , y LCF el perfil de la excavacion que hizo el agua , y A el punto ó exe sobre que giró el revestimiento. Esta ruina pudo proceder de tres causas ; ó por faltar el cimiento en A , y que ED girára sobre E , ó del empuje de las tierras , cuyo perfil es el triángulo CGE , ó del empuje del agua del Prado contra la superficie FK , que bañaba por medio de la excavacion. Lo primero acreditó la experiencia que no habia sido , por reconocerse los cimientos sin daño , y no haberse introducido el agua por debajo de ellos. Lo segundo veremos si pudo suceder , haciendo igualacion entre el momento de las tierras , y los del escaño ND , y revestimiento EB : sin contar el de la barandilla SD , por ser la distancia de su direccion al exe = 0. El momento de las tierras le hace Juan Muller , =  $\frac{2}{9}ps^2a^3$  (\*), denotando *a* la altura CE , *s* el seno del ángulo GEC , que representa el declivio que tomarian las tierras , y *p* el peso de un pie cúbico de tierra. El del escaño ND , se halló =  $\frac{1}{2}nze^2$  ; siendo ahora la base en que se resuelve la area mixtilinea ND = *z* , y CK = NB = *e*. El del revestimiento EB , se tendrá del mismo modo , =  $q.are.EB. \frac{1}{2}EA$  ; representando *q* el peso de un pie cúbico de mampostería. Y haciendo AE = *f* , resultará,

(\*) *Trat. de Fortif. tom. I. part. I. cor. 2. probl. 1.*

$q.are.EB.\frac{1}{2}EA = \frac{1}{2}qaf^2$  : lo que dá en caso de equilibrio la equacion  $\frac{2}{9}ps^2a^3 = \frac{1}{2}(nze^2 + qaf^2)$  : de la que se deduce  $s = \sqrt{\left(\frac{9(nze^2 + qaf^2)}{4pa^3}\right)}$ . Y substituyendo los valores de las cantidades ; esto es  $n = 125$  ,  $z = \frac{5}{3}$  ,  $e = \frac{3}{2}$  ,  $f = 3$  ,  $a = 14$  ,  $p = \frac{250}{3}$  , y  $q = 100$  (\*), será el seno de CEG , ó  $s = \dots\dots\dots$

$$\sqrt{\left(\frac{9 \cdot 3 \cdot \left(\frac{125 \cdot 5 \cdot 9}{3 \cdot 4} + 100 \cdot 14 \cdot 9\right)}{4 \cdot 250 \cdot 2744}\right)} = 0,3586 \text{ próxima-}$$

mente ; que corresponde en las tablas casi á los 21 grados ; y así el ángulo de inclinacion de las tierras PEG = 69 grados.

Con esto se echa de ver , que si las tierras que empujan el revestimiento son no mas las contenidas en el ángulo GEC de 21° , el revestimiento quedará equilibrado con ellas. Para decidirlo es menester advertir, que este ángulo , ó lo que es lo mismo , el de la inclinacion de las tierras , se debe determinar por experiencia , pues varía segun los casos (\*\*). Y teniéndose en el nuestro , que para fabricar casi todo el re-

(\*) Juan Muller en el *cor. 1. del probl. cit.* toma la gravedad específica de la piedra á la de la tierra como 3 á 2 ; y como el pie cúbico de piedra berroqueña le tomamos = 125 libras , diremos que 3 : 2 = 125 :  $p$  , y que así  $p = \frac{250}{3}$  libras castellanas. Tambien toma dicho Autor en el problema siguiente del lugar citado la gravedad específica de la piedra á la del ladrillo ó mampostería como 5 á 4 , y así 5 : 4 = 125 :  $q$  ; esto es ,  $q = 100$  libras castellanas.

(\*\*) Véase Muller *Prolog. de la Obra cit.*

vestimiento , se hubo de cortar verticalmente el terreno ; y que habiéndose practicado lo mismo en el lado opuesto de la cantarilla , desde enfrente de S. Gerónimo hasta enfrente de la calle de las Huertas ; sin embargo de haber pasado años , se observa que las tierras han tomado muy poca inclinacion ; se sigue , que siendo de la misma naturaleza la tierra que empuja el revestimiento , debe ella ocasionar muy poco empuje ; y que el que haya nacerá mas de la tierra sobrepuesta que de la del terreno cortado. Hallándose , pues , ser aquella poca , resulta todavía corto el ángulo de inclinacion , encontrado de  $69^{\circ}$  ; y mas á la vista de que en la lluvia del dia 23 , no obstante el destrozo que hizo el agua en las ruinas , no llegaron á formarle las tierras en ningun parage de ellas. Pero aunque convengamos en que fuera de dicha medida , no por esto resultará falsa la obra ; porque sí bien en el estado de equilibrio que habria entonces quedaría el revestimiento expuesto á una ruina por el movimiento que engendran las percusiones de los coches , y demás carruages , ó por el empuje de las gentes al levantarse del escaño , ó por el peso de las que se pasean , ó por las humedades que contraen las tierras en las lluvias ; la resistencia que añaden los contrafuertes , que no se han considerado , y mayor peso que puede tener el pie cúbico de mampostería , por componerse de pedernal , son mas que suficientes para todos

estos accidentes. Por lo qual , lexos de caer el revestimiento por el empuje de las tierras , y demás circunstancias que merecen atencion ; podemos asegurar que estaba bastante seguro , y que lo estaría mucho mas quando se llenára la cantarilla de agua , por lo que esta le empujaría contra el terreno.

Por esto se entiende , que antes de hacer el agua alguna excavacion junto al revestimiento no hubo fuerza que le obligára á caer. Veamos , pues , si hecha la excavacion , bastaba el empuje del agua del Prado contra la superficie FK , para que se consiguiera la rotacion que se observó. En este caso , aunque debiéramos contar tambien el empuje de las tierras , y resistencia de los contrafuertes ; atendiendo á lo mucho que aquel se disminuyó por la excavacion , y que los contrafuertes podian resistir al poco que quedára ; omitiremos los momentos de los dos , suponiendo que se destruyen , y que en caso de duda supera el de los contrafuertes. Pero no podemos dexar de atender al empuje del agua de la cantarilla contra la superficie MA ; por la resistencia que añade el revestimiento. La expresion de su momento la hallaremos del mismo modo que para el pretil ,  $= \frac{1}{6}mb^3$ : denotando  $b$  la altura MA ; esto es, siendo  $MA = b$ . La del empuje del agua del Prado contra la superficie KF, la hallaremos tambien del mismo modo que para dicho caso ,  $= \frac{1}{6}m(6Dca - 3Da^2 + 3ca^2 - 2a^3)$ : sien-

do  $DA = KE = c$ , y  $KF = a$ ; pero haciendo ahora  $D = 0$ , por no tener el agua alguna altura sobre la superficie, quedará reducida á  $\frac{1}{6}m(3ca^2 - 2a^3)$ . Los momentos con que resistía el revestimiento, y el escaño les hemos hallado iguales á  $\frac{1}{2}(nze^2 + qf^2)$ . Mas como se hizo  $a = BA$ , y  $BA = AD - BD = c - e$ , substituiremos  $c - e$  en lugar de  $a$ , y será la expresion de dichos momentos  $\frac{1}{2}(nze^2 + qf^2(c - e))$ ; y quedarán todas reducidas á  $\frac{1}{6}m(3ca^2 - 2a^3)$ ,  $\frac{1}{6}mb^3$ , y  $\frac{1}{2}(nze^2 + qf^2(c - e))$ : que tomando las dos últimas negativamente, darán el ángulo giratorio que resultaría en el revestimiento en el primer instante de tiempo  $dt$ , = .....

$\frac{dt}{5}(\frac{1}{6}m(3ca^2 - 2a^3) - \frac{1}{6}mb^3 - \frac{1}{2}(nze^2 + qf^2(c - e)))$ .

Substituyendo, pues,  $c = \frac{31}{2}$ , y segun se vió en el mayor auge de las aguas  $a = 7$ , y  $b = 9$ , suponiendo los demás valores como antes, es .....

$\frac{1}{6}m(3ca^2 - 2a^3) = \frac{1.763}{6.16}(\frac{3.31.49}{2} - 2.343) = 12657 \frac{11}{192}$  libras; y  $\frac{1}{2}(nze^2 + qf^2(c - e)) + \frac{1}{6}mb^3 = \dots\dots\dots$

$\frac{1}{2}(\frac{125.5.9}{3.4} + 100.9.14) + \frac{1.763.729}{6.16} = 12328 \frac{13}{32}$ ; y por consiguiente el momento del empuje de las aguas del Prado, y de la excavacion, teniendo esta cinco pies y medio de profundidad, aunque la cantarilla estuviera llena todo lo posible, excedia la resistencia que oponian los momentos del revestimiento, y empuje del agua del arroyo, y habia de obligar al revestimiento á que girára ácia la cantarilla. Esta ruina se seguiría mas presto si la

agua del Prado tenía alguna velocidad ( como se insinuó al principio ) contra el trozo que consideramos. Porque aunque á los contrafuertes les quedára alguna resistencia despues de sostener el poco ó mucho empuje que hicieran las tierras , además de no poder ser mucha , por no ser muy robustos ; era preciso que el momento de las aguas , por distar bastante la direccion de su fuerza del exe de rotacion , sobrepujára considerablemente este obstáculo , y ocasionára por consiguiente mas presto la ruina.

Pero suponiendo que la agua del Prado por razon de su velocidad se equilibrára con la resistencia que pudieran oponer los contrafuertes ; veamos qué altura debía tener la de la cantarilla para que el momento de su empuje , junto con el del revestimiento , resistiera al de las aguas del Prado. En este caso el numerador del ángulo gíatorio que se halló debía ser = 0 , y por consiguiente  $\frac{1}{6}m(3ca^2 - 2a^3) = \frac{1}{2}(nze^2 + qf^2(c - e)) + \frac{1}{6}mb^3$ : y  $b = \sqrt[3]{(3ca^2 - 2a^3 - \frac{3}{m}(nze^2 + qf^2(c - e)))}$ : y substituyendo los valores  $b = \dots\dots\dots$   
 $\sqrt[3]{(\frac{3 \cdot 31 \cdot 49}{2} - 2 \cdot 343 - \frac{3 \cdot 16}{763}(\frac{125 \cdot 5 \cdot 9}{3 \cdot 4} + 100 \cdot 9 \cdot 14))}$   
 próximamente igual á 9 pies , y 2 pulgadas. Así dos pulgadas mas de altura de las que hemos supuesto en la aplicacion que se hizo , debía tener la agua del arroyo para que quedára equilibrado el revestimiento. Pero aunque supusiéramos que las había obtenido , y aun algo mas , podría esperarse de esto la seguridad del revestimiento?

Nada menos que eso. Ya se hizo ver que la agua del arroyo debia disminuir su altura primero que la del Prado ; y así luego que baxára á los nueve pies , ó alguna pulgada mas ( atendiendo á que era menester vencer la tenacidad de las partes del trozo caido con los que quedaron en pie ) , ya debia caer el revestimiento , como se ha visto. Y lo mismo debia suceder en los demás trozos arruinados al paso que baxaría el agua á aquella altura en que se perdiera el equilibrio. De modo que no se puede dudar la verdadera causa de las ruinas del revestimiento.

*Fig. 4* Si representamos ahora por AC el perfil de la tapia derruida delante del Convento de Atocha ; será B el punto del camino sobre que giró, DH la excavacion , y MG el nivel de las aguas del paseo. Y valiéndonos de la expresion del ángulo giratorio hallada últimamente para el revestimiento ; esto es , tomando .....  
 $\frac{rdt}{s} \left( \frac{1}{6} m (3ca^2 - 2a^3) - \frac{1}{6} mb^3 - \frac{1}{2} (nze^2 + qf^2(c - e)) \right)$ ,  
 y suponiendo  $GC = c$ ,  $GH = a$ ,  $CB = f$ ,  $AB = c - e = g$ ,  $b = 0$ ,  $e = 0$ , por ser despreciable la agua del camino , y no haber escaño sobre la tapia ; denotando las otras cantidades lo mismo que entonces , se reducirá el ángulo giratorio que debia describir dicha tapia en el primer instante de tiempo , á  $\frac{rdt}{s} \left( \frac{1}{6} m (3ca^2 - 2a^3) - \frac{1}{2} qf^2g \right)$ . Por lo que se vé , que si  $\frac{1}{6} m (3ca^2 - 2a^3) > \frac{1}{2} qf^2g$ , debia girar ácia el camino , obligada de la fuerza del agua

del paseo, que sobrepujaba su resistencia. Substituyendo, pues, segun se halló,  $c = 9$  pies,  $a = \frac{11}{2}$  ( por ser  $GD = 2$ , y  $DH = 3\frac{1}{2}$  ),  $f = 2$ ,  $g = 17$ , y los demás valores como hasta aquí, resulta .....

$\frac{1}{6}m(3ca^2 - 2a^3) = \frac{763}{6.16} \left( \frac{3.9.121}{4} - \frac{2.1331}{8} \right) = 3847$  libras próximamente; y  $\frac{1}{2}qf^2g = \frac{100.4.17}{2} = 3400$  libras; y así  $\frac{1}{6}m(3ca^2 - 2a^3) > \frac{1}{2}qf^2g$ ; y por consiguiente la tapia giró ácia el camino por la fuerza con que la empujaba la agua.

Aplicando las mismas espresiones al otro pedazo de *Fig. 5* tapia caído detrás del Convento, cuyo perfil es CF; denotando B el punto del camino sobre que giró, RC el piso del olivar, y NE el nivel de las aguas; se verá que haciendo como corresponde  $c = EC = a$ , no resulta suficiente momento para romperla. Lo que es muy conforme á la disposicion del terreno; pues la agua no la empujaba solamente, sino que la chocaba con alguna velocidad, por despedirla ácia ella las vertientes del olivar, que desaguaban por un agujero que habia abierto en la misma tapia. Por esto deduciremos el verdadero momento de la agua de la expresion .....

$$m \left( \frac{1}{2} D e^2 + \frac{4u}{15\sqrt{K}} \left( (D+e)^{\frac{5}{2}} - D^{\frac{5}{2}} \right) - \frac{2ueD^{\frac{3}{2}}}{3\sqrt{K}} + \frac{1}{6} e^3 + \frac{e^2 u^2}{8K} \right),$$

que se halló para los escaños. Pues haciendo  $D = 0$ , por no tener el fluido alguna altura sobre la superficie chocada, y suponiendo además  $EC = e$ , se reduce para el

caso presente á  $m\left(\frac{1}{6}e^3 + \frac{4ue^{\frac{5}{2}}}{15\sqrt{K}} + \frac{e^2u^2}{8K}\right)$ . Colocando

este valor en la expresion del ángulo giratorio que se acaba de hallar en lugar de  $\frac{1}{6}m(3ca^2 - 2a^3)$ ; se tendrá el que debia describir la tapia de detrás del Convento en el primer instante de tiempo, = .....

$\frac{rdt}{s}\left(m\left(\frac{1}{6}e^3 + \frac{4ue^{\frac{5}{2}}}{15\sqrt{K}} + \frac{e^2u^2}{8K}\right) - \frac{1}{2}qf^2g\right)$ : siendo  $f = CB$ ,

y  $g = BF$ . Substituyendo, pues,  $e = 5$  pies,  $f = 2$ ,  $g = \frac{15}{2}$ ; y dando solamente al agua 3 pies por segundo de velocidad; esto es, haciendose  $u = 3$ ; es .....

$m\left(\frac{1}{6}e^3 + \frac{4ue^{\frac{5}{2}}}{15\sqrt{K}} + \frac{e^2u^2}{8K}\right) = \frac{763}{16}\left(\frac{125}{6} + \frac{4.3.5.559}{15.21.10} + \frac{25.9.12}{8.211}\right)$

$= 1577$  libras próximamente; y  $\frac{1}{2}qf^2g = \frac{100.4.15}{2.2} =$

$1500$  libras; y así aquel momento mayor que este, y la agua pudo derribar con tan poca velocidad la tapia, y vencer además de la resistencia que oponia con su peso la tal qual union que tuviera con los trozos de los lados, que permanecieron en pie. Con lo que quedan manifestadas las causas de todas las ruinas (\*).

(\*) Consta, pues, que el pretil de la puerta de Recoletos cayó por la fuerza del agua del arroyo que le empujaba ácia el camino: que la misma agua al chocar con los puentes de Recoletos, y del Pósito, arrastró los escaños; no teniendo fuerza suficiente para hacerles girar ácia delante: que el haber excavado la agua el fondo de la cantarilla al salir del puente del Pósito, hasta dexar pendiente la cortina lateral,

*DEL MODO DE PRECAVER LAS RUINAS.*

**P**uesto que la disposición del terreno pide que en qualquiera lluvia copiosa se experimente en el Prado una avenida de agua como la del día 23, es necesario disponer sus obras de modo que puedan resistir en medio de las aguas, que como por un rio caudaloso se encaminan entonces por el Prado. A este fin voy á proponer lo que me parece mas apropósito, comenzando por la composicion del pretil de la puerta de Recoletos.

Pudiera pensarse en que este se hiciera mas grueso que el caído, para que de esta manera sobrepujára el empuje del agua del arroyo, que se ha visto le derribó. Pero no por esto se lograría la mejor composicion; porque detenidas las aguas en qualquiera avenida grande, á causa de la resistencia que opondría el nuevo pretil, resultaría por las mismas razones que ahora la rotu-

nació de la impresion que hacian en el suelo las aguas que caían por encima de la cortina, y fuerza con que salian las del puente: que los seis trozos de revestimiento, como todos los demás que quedaron en pie, estaban seguros antes de hacer la agua del Prado excavaciones junto á ellos; pero que hechas estas en el parage de los trozos caídos, el empuje del agua que se introducía por ellas fue quien les derribó: que por la misma razon se arruinó la tapia que cayó enfrente del Convento de Atocha; y que la fuerza con que chocaba el agua á la de las espaldas del mismo Convento fue la causa de su ruina.

ra de otro pedazo del viejo que quedó en pie : por lo qual se haría preciso hacer casi todo el pretil nuevo. Menos costoso , y mas seguro es poner en el lugar de la rotura una barandilla de hierro asegurada en el piso , y por los dos extremos en el pretil viejo , y en la tapia del lado de la Puerta : dexando á este lado una entrada para el puentecillo. Pues la barandilla permitiría libre comunicacion á las aguas del arroyo con las del camino , y podia resistir á los choques del agua , que no debería tener contra ella mucha fuerza perpendicular. Este es sin duda el mejor remedio de los dos. Por esto dexando de calcular el ancho que convendría dar al pretil nuevo , paso á explicar la construccion del puentecillo.

Ni para la duracion de la barandilla , ni para la seguridad de la tapia conviene que el puentecillo resista á las avenidas. Porque encontrando este obstáculo las aguas , se dirigirian casi con toda su fuerza contra la barandilla , y la romperian , y tomarían tambien mayor aumento , debiéndose temer entonces la ruina de la tapia. Debe ser , pues de tal condicion , que al empuje del agua se destroze , sin causar daño , ni pérdida considerable. Todo se conseguirá formándole de tablones poco asegurados , de modo que al chocar la agua en él le divida facilmente en dos mitades , y se lo lleve sin maltratar la barandilla.

Mas si para el libre pasage de las aguas conviene

que en las grandes avenidas se pierda el puentecillo , no es menos importante que quede despejado el arco de la cantarilla. Por esto se vé, que en estas ocasiones la reja debe abrirse del todo , y que esto lo haga la corriente sin romperla ; pues puede venir la lluvia de noche , y no es posible abrirla oportunamente á aquella hora. Si se ponen , pues , á la parte de adentro dos rejas á manera de puertas quadradas , que se abran facilmente contra las paredes de la cantarilla , y que queden cerradas en medio por una cerradura que pueda romper la fuerza del agua , se habrá conseguido lo que se buscaba. Y no siendo esto difícil de practicar , se podrá mirar como la mejor compostura.

Ya se hizo ver que los escaños no dexaron el puesto por la rotacion , sino por haberlos empujado el agua ácia delante. De modo , que si ellos hubieran tenido un obstáculo que les hubiera embarazado el correr , aunque tuvieran un pie de agua sobre ellos , no los hubiera roto su fuerza ; porque no pudiendo arrastrarlos , no podian moverse sino por la rotacion , y no siendo en aquel parage la fuerza del agua bastante para esto , como se demostró , debian permanecer sin lesion. Por esto se echa de ver , que es muy facil asegurarles , pues clavando á cada piedra tres ó quatro espigas de hierro , y metiendo estas en los agujeros , que se abran en las del piso donde sentaban , tendrán un obstáculo para correr,

que no es capaz de vencerlo el agua. Esto mismo se debe practicar en las piedras de los lados , porque de lo contrario se seguiría , que convirtiéndose la corriente ácia ellas , las arrastraría del mismo modo que lo ha hecho ahora.

Mas aunque de este modo queden seguros los escaños , no lo estarán las barandillas de hierro haciéndolas como antes ; porque la mucha superficie que ofrecerán , y estiercol que se detendrá en ellas al tiempo de las avenidas , será un obstáculo que sin dificultad arruinará la fuerza del agua. Lo que nos persuade á que se construyan de diferente modo , aunque presenten la misma vista. Yo tengo por el mas acertado hacer de una pieza toda la muestra que las llena , y que asegurando esta á la barra que descansa en el escaño ruede sobre ella como sobre un exe : para lo que tendrá dos espigas á los extremos , que deberán entrar libremente en dos agujeros abiertos en los postes de las esquinas. De este modo , quedando bien unida á estos la barra que atraviesa por arriba , y que sirve de pasamano , si se pone en ella algun tropiezo para que la barandilla no ruede ácia el arroyo , y se detiene vertical por medio de dos clavos de poca fuerza , se logrará el oficio que debe hacer la barandilla sin ofensa de la vista ; y en una avenida chocando las aguas en ella romperán los clavos que la tenian levantada , y caerá sobre el escaño , sin recibir

mas daño , ni oponer fuerza á la corriente. Pero como toda la seguridad de ella depende de la barra , que sirve de exe , y de la resistencia de los postes , se ha de cuidar que estos y aquella tengan la robustez correspondiente. La cortina que se desploma en el puente del Pósito quedará tambien segura despues de fabricar de nuevo el pedazo dañado , y de apisonar bien el suelo que descarraron las aguas , enlosándole , para que resista al choque de las que caigan de arriba , y salgan del puente.

En quanto á los revestimientos , supuesto que no habiendo hecho el agua excavaciones debian permanecer seguros , se vé que , ó es menester evitarlas , ó hacerles de modo que resistan en caso de haberlas. Para esto no solo era preciso construir de otra manera los trozos arruinados , sino tambien todos los demás viejos que permanecen ; pues aquellas se pueden experimentar indifereentemente en qualquier parage , segun la disposicion en que se halle el terreno. Pero como este remedio es costosísimo , y dexa siempre el agua en ocasion de que haga daño con las excavaciones , le debemos despreciar ; mirando tambien como superflua qualquiera seguridad que se quiera dar por este término á los trozos derruidos ; bastando para el empuje de las tierras la de la fábrica antigua. El de evitar las excavaciones se hace mas facil , mas util y mucho menos costoso del modo que le vamos á proponer. Porque siendo los hoyos y la fuerza que re-

sulta de la velocidad y altura del agua las principales causas de ellas , abriendo por debaxo del escaño agujeros ó canalones á la distancia de diez ó doce varas unos de otros , y al mismo tiempo , despues de apisonar bien el terreno , empedrar junto al escaño como cosa de vara y media por todo el andador , se habrá practicado un remedio general , y seguro de precaverlas. Pues de lo primero se seguirá , que desaguando el Prado por los canalones , no llegará á tomar mucha altura el agua , y así no resultará mucha fuerza , aunque tenga velocidad ; y con lo segundo se evitarán los hoyos , y podrá resistir el piso á la corriente quando trabaje por abrirles.

De este modo , no solo se conseguirá en adelante la seguridad del revestimiento , sino que las casas del lado de Madrid se libertarán tambien en gran parte del peligro de la inundacion ; y quando la cantarilla esté llena podrán sus aguas comunicarse libremente con las de fuera , sin que el escaño experimente los esfuerzos que se seguirían de lo contrario. Los canalones se formarán facilmente quitando en el parage donde correspondan una piedra del escaño , y cabando en la del piso mas de la mitad del agujero , y lo restante en la que se quitó. Conviene mas el empedrado que el enlosado , por ser suficiente y menos costoso , y no añadir tanto empuje á las tierras como las losas. Mas para

la comodidad del paseo será del caso que se le eche una poca tierra por encima , lo que tambien servirá para su duracion.

Todos estos remedios , aunque son bastantes para asegurar las obras en las inundaciones , no pueden igualmente dar al revestimiento aquella fortaleza que necesita para que con el tiempo pueda resistir al empuje de las raices de los árboles. Y aunque haciendole mas robusto se pudiera retardar el daño que pueda ocasionar , sin embargo llegaría tambien el tiempo en que le alcanzaría , siguiéndose poco adelantamiento del enorme gasto de la obra. Por todo esto importa , que quando se note , que las raices de los árboles , dirigiéndose contra el revestimiento , le vayan viciando, se abran zanjás en los parages que se advierta , y se corten las raices , dexandole volver á su estado natural.

Para la seguridad de las tapias del Convento de Atocha es menester que se dexen en ellas junto al piso rejas grandes por donde pueda salir facilmente el agua, y que además se empiedre en la de enfrente del Convento como cosa de una vara en todo el pedazo en que se puede temer excavacion. En lugar de las rejas se pueden abrir agujeros grandes , pues con qualquiera de las dos cosas se evitará que el agua tome la altura y fuerza que necesita para romper las tapias.

Finalmente , las casas que han padecido inundación es preciso que se prevengan para evitarla , poniendo pretilos á las puertas y ventanas por donde se introduxo el agua ; bien sean permanentes de piedra ó ladrillo , ó bien pasajeros de tablones encaxados en canales de piedra asegurados á los lados , lo que es mas regular se haga en las puertas , levantando las ventanas quanto sea posible.

Pero como no es facil evitar se introduzca en los portales y sótanos alguna porcion de agua , mayormente si la lluvia es de noche , será del caso advertir un medio poco costoso para desaguarlos , que se podrá tener á prevencion del mismo modo que las máquinas hidráulicas para los incendios. Este se reduce á formar de varias mangas ó tubos pequeños de cuero uno largo , segun se necesite , al modo del que se suele poner en las bombas hidráulicas ; pues llenándole de agua , y aplicando uno de sus extremos al parage de la inundacion , y el otro adonde se haya de verter , con destapar las bocas , se vaciará el agua por medio de él como por un sifon. Mas para que surta el efecto es menester que el parage donde esta se vierta esté mas baxo que aquel de donde se saque , y que además no se aplaste el tubo , ni se introduzca ayre por la boca superior , ni por las juntas : por lo que se cuidará que dicha boca esté siempre dentro del agua , y que se fabriquen los tubos con la precaucion correspondiente , juntándoles por

medio de roscas bien ajustadas. Y como es preciso que el tubo mude de direccion, segun los parages á que se aplique, se harán para los ángulos varias piezas de metal que les formen agudos, obtusos y rectos, á fin de que enroscando á la que convenga los tubos rectos, tenga la máquina la direccion correspondiente. Todo lo dicho es lo que parece mas proporcionado para precaver el Prado de semejantes daños y ruinas.

(1)

...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...





