

## APUNTES SOBRE LAS MEDIDAS

DESTINADAS A PARALIZAR LOS EFECTOS DE LAS AGUAS I DE LAS ARENAS QUE DESCIENDEN DE LAS QUEBRADAS SITUADAS EN LOS CERROS QUE RODEAN LA BAHÍA DE VALPARAISO.

POR DOMINGO V. SANTA MARÍA I PAUL WÉRY

*Jeneralidades.*—La bahía en que está edificada la ciudad de Valparaiso ha sido formada por el desgaste gradual de la costa rodeada de cerros de poca altura, cuya composición jeológica, consistencia débil, ha permitido una desagregación rápida de la masa, bajo el esfuerzo considerable de las olas que vienen a romperse allí.

Después de ubicada la ciudad en esta bahía, la mano del hombre ha venido a detener el trabajo invasor del mar para protegerla i darle mayor estención: cavando las colinas para extraer el material que necesitaba a fin de levantar el nivel de la ciudad a mayor altura que las altas mareas, i avanzar, al mismo tiempo, algunos metros hácia el Océano.

Después ha limitado este suelo, por medio de muros i enrocamientos, contra los cuales ha venido a romperse la ola i a embancar las arenas arrastradas por las aguas. Mas, la importancia creciente que ha venido tomando el puerto, desde los pocos años de terminado el primer trabajo, ha venido a demostrar que la ciudad era demasiado estrecha, i, como no se podía pensar en escavar indefinidamente para darle espacio al desarrollo de ésta, se ha operado el ensanchamiento en ambas direcciones i se han utilizado las faldas i aun las cimas de los cerros vecinos.

Fué necesario, para este fin, emprender algunos trabajos, tales como apertura de vías de acceso, desmontes e hijuelación de los terrenos que hasta la sazón habían servido al cultivo.

El resultado de estas medidas de edilidad no se hizo esperar mucho tiempo: una vez que los cerros fueron despojados de su vejetación, la parte baja de la ciudad fué inundada, i desde entónces sigue repitiéndose el mismo fenómeno en cada invierno lluvioso. Algunas veces estas inundaciones periódicas causan grandes desastres, i aun pérdidas de vidas; dejan la ciudad en un estado lamentable de desaseo e insalubridad i orijinan cuantiosos desembolsos al Fisco i al comercio cosmopolita, que constituye la fortuna de Valparaiso.

Los desastres recientes, de Julio último, preocuparon de tal modo a los poderes

públicos que se procedió a nombrar una Comisión Técnica, encargada de proponer las medidas del caso, para poner remedio a tan crítica situación. Esta Comisión ha reunido numerosos documentos acerca del particular, i es de presumir que llegue a encontrar una solución apropiada a la gravedad del caso.

Nosotros no conocemos los datos que obran en poder de la Comisión Técnica, i, por lo tanto, no podemos analizarlos ni juzgarlos; solo sabemos que algunos están acordes en la necesidad de replantar las quebradas, por donde bajan anualmente los torrentes de agua i arena que inundan la ciudad.

Las ideas espuestas en estos apuntes son, pues, el resultado de un exámen personal despojado de toda idea anterior o preconcebida.

Las soluciones que proponemos son sencillas i pueden ensayarse a poca costa. Si ellas dieran buen resultado en los sitios en que se aplicaran, fácil sería extenderlas a todas las demas quebradas, disponiendo los trabajos segun los recursos que hubiera i principiando por las partes que amenazaran con mayores perjuicios.

Nos daríamos por satisfechos, si hubiéramos podido contribuir con un elemento práctico a la solución de este gran problema. No terminaremos este preámbulo sin agregar que las indicaciones que presentamos han sido aplicadas ya en Francia, en condiciones sensiblemente idénticas, i han dado excelentes resultados.

*Límites que nos hemos impuesto en el presente trabajo.*—Nos apresuramos a declarar que la solución jeneral que entraña la empresa de librar de inundaciones a Valparaiso es mui compleja i demanda un estudio de largo aliento, tanto en el terreno mismo cuanto en el gabinete. En efecto, esta empresa está relacionada con los trabajos por ejecutar para el saneamiento de la ciudad i mejoramiento del puerto, i es indispensable contemplar, en el estudio jeneral, todos los trabajos en perspectiva: Estension de la ciudad, apertura de vías, construcción del nuevo puerto, edificios públicos en proyecto, vías férreas, etc., etc.

Nos limitaremos, pues, a dar una idea suscinta de las modificadas que, a nuestro parecer, podrian conducir a evitar que en tiempo de grandes lluvias, las arenas que obstruyen actualmente los cauces invadan la parte baja de la ciudad o impiden el curso de las aguas i de las mismas arenas hácia el mar, a consecuencia de lo cual los cauces revientan por la gran presión ejercida interiormente por las arenas i aguas.

*Réjimen de las quebradas.*—El réjimen actual de las quebradas que surcan los cerros de que está rodeado Valparaiso, es el de los torrentes; i este réjimen nuevo es la consecuencia única e indiscutible de la corta de bosques que se ha operado. Este hecho, por lo demas, no carece de precedentes; pues ha sido probado muchas veces por la experiencia, en rejiones situadas en condiciones climatéricas similares. Las aguas que caen en la parte alta de los valles desprovistos de vejetación, producen, al pasar por las quebradas o pendientes excesivas, fenómenos de erosión tanto mas notables cuanto mas fáciles son de arrastrarse los materiales que componen el suelo.

Esta fuerza demoledora que producen las aguas en las quebradas de que estamos tratando, es el resultado del clima de Valparaiso; cuya característica es de ocho meses de sequía i de lluvias diluvianas durante los cuatro meses restantes del invierno, lluvias que fácilmente desagregan el suelo reseco, de suyo poco resistente.

En estas quebradas las creces son de corta duracion i casi siempre repentinas, debido a la naturaleza del suelo. El agua es absorbida por la capa superior, penetra en el suelo hasta encontrar la capa impermeable i luego la sigue, para ir a salir en las paredes de la quebrada mas próxima, con una presion tanto mayor cuanto mas considerable es la altura desde donde viene filtrada. Este primer escurrimiento se hace casi simultáneamente ocasionando la crece súbita, i la dislocacion del terreno atravesado por las aguas corrientes.

Una vez que pasa la crece, el agua toma su curso normal en el terreno i no arrastra materias pesadas, sino arenas menudas.

Los efectos de las creces son mas sensibles en las quebradas cuya pendiente es mas accentuada i su longitud mayor; lo que es una verdad en su jénero, si se tiene presente que en todas las quebradas la naturaleza del terreno es igual; que la inclinacion de las vertientes es sensiblemente idéntica, como tambien lo es la aridez de su suelo.

MEDIDAS QUE HAN DE TOMARSE PARA EVITAR EL TRANSPORTE DE ARENAS I ATENUAR LA VELOCIDAD DE LAS AGUAS QUE CORREN POR LAS QUEBRADAS DURANTE LAS GRANDES LLUVIAS.

Como lo hemos dicho mas arriba, la causa única de los accidentes que asolan periódicamente a Valparaiso, es la desaparicion de los bosques que cubrian sus cerros, i la medida mas racional que se impone para neutralizar estos efectos, es la replantacion de los árboles en la hoya de recepcion de las quebradas, que es la parte mas activa del torrente; i, si fuera posible, el cultivo de esos terrenos, destinándolos ora a la formacion de bosques, ora a la formacion de campos de pastaje, que cubrieran el suelo de las colinas, ahí donde todavia no hai construcciones. Fácilmente se comprende, en efecto, que un suelo consolidado por las raices de los árboles, no es removido con tanta facilidad, por las aguas, como otro que está desnudo. Ademas, esas mismas raices detienen los detritos o despojos arrastrados por las aguas, los cuales formando a la larga una capa de limo, retienen por medio de la imbibicion una parte del agua lluvia que al fin se evapora. Los árboles mismos detienen tambien una parte de esas aguas, i los céspedes producen efectos sensiblemente análogos.

De todos estos fenómenos resulta que el agua que serpentea por las quebradas, despues de cada lluvia intensa, sufre gran disminucion; que su llegada a las vertientes es ménos simultánea i que las materias arrastradas por ella han disminuido mucho de volúmen para que pueda temerse su accion.

Empero, debemos añadir que estas medidas no son siempre suficientes i que para que sean eficaces, será necesario mucho tiempo, ya que no serán solo unos cuantos árboles los que se deberán plantar para que basten a detener los efectos de la erosion; es la multiplicidad de los árboles la que, con sus raices i la trabazon de sus ramas, darán el resultado apetecido. Para afianzar el éxito seria necesario, a lo ménos, asegurar a esos terrenos un riego continuo durante el período de sequía, construyendo al efecto estanques de agua en los puntos culminantes.

Sin embargo, este trabajo de replantacion es mui realizable, aunque de largo alien-

to; ¿seria lo mismo el transformar esos terrenos, desocupados e incultos, en campos de pastaje i pascos? Sin duda alguna el problema no es insoluble; pero puede conducir a fuertes desembolsos.

Admitido por todos este primer punto, examinaremos cuáles son los trabajos complementarios que nos parece indispensable emprender, previa o posteriormente a la re-plantacion, trabajos que serán útiles en union de dichas plantaciones, o aunque estas no se lleguen a hacer.

#### RECTIFICACION DEL PERFIL LONJITUDINAL DEL LECHO DE LAS QUEBRADAS

Uno de los primeros puntos que debe tratarse es la rectificacion del perfil lonjitudi- nal del lecho que siguen las aguas. Es preciso darle a este perfil un trazado curvilíneo parabólico, para retardar o mantener la misma velocidad de las aguas, desde su oríjen, en la parte alta, donde la velocidad es mínima, hácia abajo donde ya se ha aumentado el caudal durante el trayecto.

Para llegar a este resultado, basta establecer, de distancia en distancia, barreras transversales, mas o ménos espaciadas, con las alturas correspondientes, hasta obtener la curva previstas. Si de esta manera se pudiera llegar a dar a las aguas una velocidad que no sea superior a 2.50m. por segundo, tomando por base de cálculo una de las lluvias máximas conocidas, para una altura determinada, habria la seguridad de evitar el desgaste de la maza i, de consiguiente, la acumulacion de los productos de la erosion.

Esta velocidad máxima se obtendria al tanteo empleando la formula:

$$U = \frac{87 \sqrt{R I}}{\alpha \left( 1 + \frac{\alpha}{\sqrt{R}} \right)}$$

en la que se podria admitir un valor de 1.30 para  $\alpha$

La figura núm. 1 de la lámina adjunta, da un croquis del perfil rectificado del le- cho de una quebrada.

Las barreras rectificadoras del perfil lonjitudinal pueden construirse de pircas secas o de mamposteria, con mezclas de cemento o cal hidráulica, fig. 2; tambien pueden ha- cerse estas barreras, con mas economia, empleando pilotes redondos sin labrar, fig. 3 o bien con estos pilotes entretejidos con zarzos, formando canastillos dobles o triples, llenos con piedra, fig. 4 i 5; o tambien con canastos cilíndricos de zarzo grueso, sin pilotes, igualmente llenos de piedra.

La importancia de estos trabajos dependerá de las resistencias que tengan que ven- cer, las que a su vez dependerán de la altura de la barrera i de su largo. Para los traba- jos de importancia de esta naturaleza debe usarse la mamposteria.

A estas barreras debe dárseles una forma angular o sea convexa, como la fig. 6, para darles mayor resistencia.

Dispuestas de este modo las barreras interceptarán sucesivamente las arenas i las piedras que vinieran a colmar el lecho mas arriba de ellas, fig. 2 i 3. A la larga, i una vez que se llenaran todos los espacios libres, el perfil tomara la forma deseada; i el agua se deslizaria por ellas formando cascadas con la cual disminuiria considerablemente su velocidad.

Con estos trabajos es necesario operar la estraccion de los depósitos de piedra que se acumulan i arrumarlos en paramentos a lo largo del perfil.

Pero, una vez que se obtuviera el perfil longitudinal parabólico, es decir, una vez que se llenasen todos los huecos al lado arriba de las barreras, se verá que los efectos de la erosion son todavía importantes, bastará efectuar la limpia de los huecos, o de alguno de ellos, para dar lugar al depósito de nuevos sedimentos i evitar así toda probabilidad de estorbos hácia abajo.

Naturalmente los sedimentos estraidos de la limpia deben ser sacados de las quebradas.

#### ESTABLECIMIENTO DE UNA BARRERA FINAL DE RETENCION

Las anteriores, son las primeras obras que hai que ejecutar, las que bastan cuando las aguas del torrente se vacian en un estero o en un rio, cuando están distantes de las habitaciones o todavía, cuando el fondo hidrológico de las quebradas es poco importante i la cantidad de materias arrastradas por el agua es insignificante. Pero en Valparaiso no se encuentran, jeneralmente, estas condiciones favorables: las aguas al abandonar las quebradas corren por galerias abovedadas, llamadas cauces, de seccion mas o ménos reducida, i las quebradas mismas están situadas en plena ciudad; además, salvo algunas excepciones, las hoyas de cada una de ellas son bastante importantes.

Hai pues, en este caso, otra precaucion que tomar conjuntamente con las obras anteriores, en la mayoría de los casos, al ménos, para evitar todo acarreo de arenas o de piedras, en los desagües; o una afluencia brusca de agua: esta precaucion consiste en la construccion de una barrera de retencion en la boca de la quebrada. Este trabajo especial puede ser de una construccion variable, para cada quebrada donde se establezca i el estudio particular que se haga tendrá que estar basado en los factores siguientes:

Cantidad de agua que pasa por la quebrada segun la cuenca que sirva; declive del talweg; naturaleza de su terreno i de sus vertientes; volúmen arrastrado de materias en suspension.

Este puede calcularse con bastante exactitud, segun las constataciones que se han hecho ya; naturalmente será susceptible de un fuerte coeficiente de reduccion, en razon de las barreras sucesivas de la parte superior i de las plantaciones que se hayan hecho en la hoya de recepcion.

Damos en seguida la descripcion de uno de estos trabajos para que sirva de tipo en los diferentes casos que se presenten. Bastará, segun los casos, aumentar o reducir su importancia, calcular los espesores de la mamposteria sin tratar de aumentarlos mas allá de los límites admitidos para evitar todo peligro.

Las figuras 6, 7, 8 i 9 dan la vista de plan, elevacion i cortes de un tipo de barrera de mampostería.

Admitiendo una pendiente para el talweg de 15% la barrera podria almacenar un cubo de 600 metros cúbicos de capacidad, aproximadamente, es decir, que la retencion podria funcionar útilmente durante un tiempo mas o ménos largo, segun los casos. Esta obra está dispuesta en el plano, segun un arco de círculo de 23 metros de radio, con 18,20 metros de desarrollo, partiendo de un centro colocado en el talweg del arroyo.

Como lo indica la fig. 7, la fundacion está embutida en los flancos i en el lecho de la quebrada por gradas horizontales. Hai una altura total axial de 6,25 metros, el ancho de la corona es de 2 metros constantes, por 1 de altura.

Partiendo de este punto la oblicuidad interior i exterior continuará segun dos arcos de círculo simétricos de 12 metros de radio, lo que asegurará a la base una anchura de 4,40 metros. La cresta sube en forma de embudo, segun dos pendientes de 0,05 centímetros por metros converjendo sobre el eje de la barrera i reunidas a los 6 metros de largo, por un arco de círculo de 60 metros de radio.

Este muro está atravesado por barbacanas que aseguran el escurrimiento de las aguas i materias en suspenso. En la parte inferior i en el eje, se ha dejado un pequeño acueducto de forma circular de 50 centímetros de diámetro, cerrado aguas arriba. Este acueducto hace en realidad el oficio de desaguadero; pero podria utilizarse, en caso necesario, para asegurar el escurrimiento del agua de la quebrada, en ciertas épocas.

Bastará, para el caso, destruir la máscara que le obtura en parte, por dentro. A lo largo de la superficie interior de la barrera, se ha dispuesto un muro de piedras, que sirven de filtro, a fin de asegurar a las aguas una comunicacion permanente con el acueducto inferior i los desaguaderos, i prevenir así su acumulacion.

Aunque no damos mas que un tipo de barrera de retencion, la verdad es que pueden multiplicarse los tipos; i aun se podrian construir estos trabajos de madera de fuertes dimensiones. Sin embargo, no creemos que se obtendria una economía considerable, con adoptar este procedimiento, cuyas condiciones de resistencia i duracion serian necesariamente inferiores a los de la albañilería.

DOMINGO V. SANTA MARIA I PAUL WÉRY

