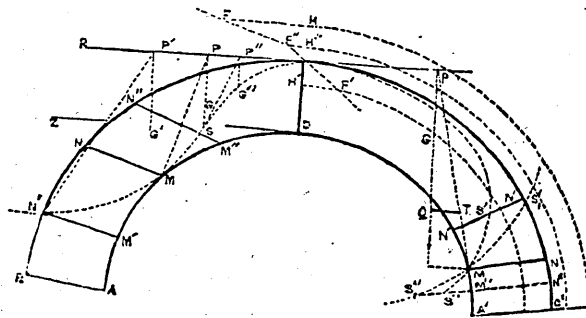


MODO DE HALLAR

LA JUNTA DE ROTURA DE UNA BÓVEDA,
POR UNA CURVA DE ERROR.

Si los que proyectan bóvedas se retraen muchas veces de hacer tanteos é investigaciones sobre la estabilidad que poseen ó las proporciones que sean mas á propósito para cada una de ellas, no es debido en tanta parte á lo difícil ó complicado del método, como á lo pesado y embarazoso de los cálculos que son necesarios. Esto nos ha movido á dar una manera sencilla de hallar la posicion de la junta de rotura, cuya precision no consistirá sino en la mayor ó menor con que se aprecien los primeros datos que se necesitan, segun la importancia del objeto á que se hayan de aplicar.



tricamente colocados respecto al plano vertical *dc*, y aparejada siguiendo las juntas una ley cualquiera.

El efecto de la semi-bóveda *cd a' b'* será ejercer sobre el plano *cd* un cierto empuje normal. Podremos reemplazarla por ese esfuerzo para hacer el estudio de la estabilidad de la semi-bóveda *abcd*, único que necesitamos á causa de la simetría de la bóveda.

Este empuje no debe ser tan pequeño que permita que la totalidad ó una parte de la semi-bóveda *abcd* caiga hácia dentro resbalando sobre una junta, ó girando al rededor de una arista de intrados; ni debe ser tan grande que haga que la totalidad ó una parte de la semi-bóveda caiga hácia fuera resbalando, ó girando al rededor de una arista de trasdos.

Tomo V.

PRIMER PROBLEMA. *Estando la bóveda completamente definida, hallar su estabilidad.*

Una bóveda es un conjunto de partes sólidas sobrepuestas llamadas *dovelas*. Las superficies de separacion de estas partes se denominan *juntas* y estan recubiertas de mortero.

En general se verifica el descimbramiento de las bóvedas antes que el mortero haya fraguado completamente, y así en el cálculo de la estabilidad de ellas no deberemos tener en cuenta para nada la cohesion de este. Ademas ese mismo estado del mortero disminuye considerablemente el coeficiente del rozamiento de las dovelas sobre sus planos de junta, por lo que, y para ponernos en el caso mas desfavorable, lo consideraremos reducido á cero.

Consideremos una bóveda cilíndrica *abc a' b'* apoyada sobre dos planos fijos *ab* y *a' b'*, simé-

Como suponemos que es nulo el rozamiento de las dovelas, cualquier fuerza oblicua á las juntas ocasionará un movimiento de traslacion, y por consiguiente es condicion precisa para el equilibrio de resbalamiento que la presion en cada plano de junta sea perpendicular á la direccion de esta.

Llamemos ahora *Q* al mayor empuje capaz de evitar que la totalidad ó una parte de la semi-bóveda caiga hácia dentro girando al rededor de una arista de intrados. Este, que será el verdadero empuje que la semi-bóveda suprimida ejerce sobre la otra en este caso de rotura, tendrá su punto de aplicacion en la arista *c* ó *d* segun la especie y dimensiones de la bóveda (Navier, III seccion, n.º 525 y 524). Considerémosle aplicado primero en la arista *c*.

Madrid 15 de Marzo de 1857.

Sea mn la junta correspondiente de rotura, P el peso de la parte $cdmn$, α el brazo de palanca de esta fuerza y δ el del empuje respecto á la arista de giro m .

La ecuacion de equilibrio en este caso será:

$$P\alpha = Q\delta, \dots (1)$$

de ahí

$$Q = P \frac{\delta}{\alpha}$$

Sea R la resistencia por rotacion, ó el menor esfuerzo que aplicado en el mismo punto haria caer la totalidad ó una parte de la semi-bóveda hácia fuera, girando al rededor de una arista de trasdos.

Siendo $m'n'$ la junta de rotura correspondiente á este caso, P' el peso de la parte $n'm'dc$ y α' y δ' los brazos de palanca respectivos de esta fuerza y de la R correspondientes á la arista de giro n' ; se tendrá $P'\alpha' = R\delta'$ (2)

y de ahí

$$R = P' \frac{\alpha'}{\delta'}$$

De la ecuacion (1) se saca $\frac{\alpha}{\delta} = \frac{Q}{P}$, lo que

indica que la línea pm , que une la proyeccion p del centro de gravedad de $nmc d$ sobre la horizontal cr con el punto m , es paralela á la direccion de la resultante de Q y P ; pero esta ha de ser necesariamente normal á la junta mn para precaver el deslizamiento sobre ella, luego tambien lo será aquella en el punto m .

Del mismo modo, de la ecuacion (2) se saca $\frac{\alpha'}{\delta'} = \frac{R}{P'}$, lo que indica que la línea $n'p'$ que

une la proyeccion p' del centro de gravedad g' de $m'n'cd$ con el punto n' es paralela á la direccion de la resultante de R y P' , y normal en el punto n' á la junta $m'n'$.

Sea Q' el mayor empuje que habria que aplicar en un punto cualquiera del plano cd para que no haya rotura por deslizamiento hácia dentro y que será realmente el que ejercerá la semi-bóveda suprimida en ese caso de rotura.

Llamemos R' la resistencia por resbalamiento, ó el menor esfuerzo necesario para que la totalidad ó una parte de la semi-bóveda caiga hácia fuera resbalando sobre una junta.

La estabilidad de la construccion exige que el mayor de los valores Q ó Q' sea menor que el menor de los R ó R' . En general se verifica que el mayor valor de los primeros, es Q , y el menor de los segundos R , lo que corresponde al modo de rotura considerado primeramente, del que solo nos ocuparemos, prescindiendo del segundo y sus combinaciones con el primero pues estos se pueden evitar fácilmente por varios medios.

Así deberá ser

$$R > Q \text{ y de ahí } \frac{R}{Q} = \delta \text{ siendo la relacion } \delta$$

la medida, digámoslo así, de la estabilidad de la bóveda. A ese número se le dá el nombre de *coeficiente de estabilidad*.

El menor valor admisible de δ seria la unidad, correspondiendo al caso del equilibrio estricto, en que no conviene ponerse en la práctica, y así sus valores se hacen generalmente variar entre 1,2 y 2,0.

Vemos, pues, que para hallar la estabilidad de la bóveda tenemos que calcular los valores de Q y R . Este cálculo se haria inmediatamente si conociésemos con toda exactitud las juntas mn , $m'n'$ de rotura. Pues bien, si consideramos varias juntas $m''n''$, mn , $m'n'$, etc., trazadas segun sea la ley adoptada, proyectamos los centros de gravedad g'' , g , g' , etc., de las partes que desde ellas hay hasta el vértice de la bóveda sobre la horizontal cr , y desde estos puntos p'' , p , p' , etc., bajamos perpendiculares á las juntas respectivas, haciendo pasar por sus pies s , m , n' , etc., una curva, nos determinará por sus puntos de contacto ó interseccion con las de trasdos ó intrados las aristas de giro c , m , n' , y por lo tanto las juntas de rotura. Esta curva de error pasará necesariamente por el punto c de aplicacion del empuje.

Los valores de Q y R (1) y (2) se hallarán referidos á la misma unidad que los de P y P' , y estos los estarán á metros cúbicos, prescindiendo del factor comun que es el peso específico de la mamposteria.

Hemos supuesto hasta ahora el punto de aplicacion del empuje Q en la arista c . Si por

la naturaleza de la bóveda y su modo de romperse (Navier, núm. 524) se le hubiera de considerar aplicado en la arista d , el cálculo de la estabilidad se haría del mismo modo, sin mas diferencia que para trazar la curva de error deberemos proyectar los centros de gravedad sobre la horizontal $d z$.

En cada caso particular conoceremos por las esperiencias verificadas sobre la manera de romperse las bóvedas el punto de aplicacion del empuje máximo. Pero si se quisiera resolver el problema con toda generalidad, no habria mas que calcular separadamente la estabilidad para el caso en que el empuje estuviera aplicado en la arista c y para el en que estuviese aplicado en la d , ver cual dá un coeficiente menor, y tomar este por definitivo de la estabilidad de la bóveda.

Hagamos aplicacion á algunos casos particulares.

Cañon recto. Juntas normales al intrados.

Sea $c d a' b'$ la semi-bóveda. Tomemos varias juntas $m' n'$, $m'' n''$ etc. hácia los riñones de la bóveda donde sabemos por la esperiencia (Navier, núm. 525), se ha de hallar la de rotura.

Haremos todas las construcciones indicadas para trazar la curva de error; pero con el objeto de que corte menos oblicuamente á las de intrados ó trasdos, la haremos pasar, no ya por los pies s' , s'' etc. de las perdiculares respectivas, sino por los puntos s'_1 , s''_1 etc. que disten de los m' m'' etc. doble ó triple que aquellos.

La junta $m n$ será la de rotura correspondiente al máximo empuje, y la línea $m p$ que une la proyeccion del centro de gravedad de la parte $m n c d$ con el punto m , debiendo ser normal en él á la junta $m n$, será tangente á la curva de intrados.

La curva de error, que es tangente en c á la de trasdos, no la vuelve á tocar ni cortar, y por lo tanto no nos determina, en este caso, la junta de menor resistencia; pero por la esperiencia citada sabemos será la $a' b'$.

En el supuesto de no existir cohesion ni rozamiento no se puede admitir que la junta $a' b'$ sea horizontal sin verificarse un deslizamiento

sobre ella, pues claro es que la resultante del peso de la semi-bóveda y un empuje cualquiera no puede ser vertical.

La determinacion de las cantidades que entran en las espresiones de los valores R y Q (1) y (2) se hace fácilmente tomando una unidad de longitud de la bóveda. P será en este caso el área $m n c d$, y si esta la reducimos á un rectángulo en que uno de los lados sea la unidad, el otro nos representará ese peso. Si llevamos esa magnitud lineal de p á q y cerramos el triángulo rectángulo $p q t$, el cateto horizontal $q-t$ nos dará el empuje horizontal referido á la misma unidad que P .

Del mismo modo hallaremos R y veremos su relacion $\frac{R}{Q}$ con Q .

Bóveda cilíndrica, terminada por dos planos verticales que forman con el eje un ángulo cualquiera y aparejada como un cañon recto.

Si el punto de aplicacion del máximo empuje Q en la arista de intrados ó trasdos del vértice, está en el plano vertical perpendicular al eje que contiene el centro de gravedad de la parte de bóveda correspondiente, el método anterior es inmediatamente aplicable, proyectando los centros de gravedad de las diversas partes que consideremos sobre la direccion de esta fuerza.

Si esa circunstancia no se verifica, consideraremos en la proyeccion del centro de gravedad de la parte correspondiente al máximo empuje, sobre la arista de aplicacion de este, dos fuerzas iguales y contrarias, y de igual magnitud que Q . La que obra en distinto sentido que el empuje horizontal originará con él un par tendiendo á producir en la bóveda un movimiento de giro alrededor de un eje vertical, que es lo que constituye el *empuje al vacío*. La otra se opondrá á que aquella parte caiga, y se verificará tambien aqui la propiedad en que se funda el método para hallar la junta de rotura y se podrá aplicar, con efecto, proyectando los centros de gravedad correspondientes sobre la direccion de esta última fuerza.

SEGUNDO PROBLEMA. *Dada la directriz del intrados de la bóveda y el coeficiente de estabilidad, determinar sus dimensiones.*

Sea a' d la curva de intrados dada.

Tomaremos para espesor en la clave una magnitud $d h$ deducida de las construcciones existentes con el coeficiente de estabilidad que se desea, ó de las tablas calculadas al efecto, y haremos pasar por el punto h una curva, trasladando de igual ó de distinto espesor, según se quiera.

Con esto ya tendremos la bóveda completamente definida, determinaremos las magnitudes lineales r y q de la mínima resistencia y máximo empuje y veremos si está satisfecha la ecuación $R = Q$; sino el exceso del primer miembro sobre el segundo se llevará sobre una perpendicular $h f$ á $d h$ y nos determinará un punto f . Tomando otro espesor de clave distinto $d h'$, haciendo pasar por h' otra curva paralela á la del anterior trasdos, y repitiendo todas las operaciones, determinaremos otro punto f' , á distinto lado que el anterior si era el segundo miembro de esa ecuación el que excedía al primero. En general basta repetir esta operación para un tercer punto f'' , y haciendo pasar por todos ellos una curva de error, nos dará por su intersección con $d h$ el punto c correspondiente á la estabilidad asignada por el que haremos pasar la curva definitiva de trasdos paralela á las anteriores.

ENRIQUE DE LEON Y MESONERO.

SERVICIO DE LAS OBRAS PUBLICAS

EN ESPAÑA.

Si quisieran clasificarse los diferentes ramos de la administración pública que mas importancia tienen en el porvenir de una nación, si se examinaran cuales son los elementos que en los países mas adelantados han contribuido al desarrollo de su riqueza y su bienestar y á dotarlos de la importancia y predominio que sobre los demas tienen, se hallarian siempre en las obras públicas el manantial

mas fecundo de estos envidiables resultados.

Las luchas políticas, y sus consecuencias han sido causa de que nuestra España haya quedado rezagada en esta marcha de la civilización; mas hoy día que los pueblos ansiando la paz quieren salir del aislamiento en que viven, en que todas las comarcas se apresuran á comunicarse entre si, deseosas de fomentar sus relaciones y acrecentar sus comodidades, y en que las naciones todas se aunan para facilitar sus cambios, y ofrecerse mutuamente los frutos y productos que son peculiares á sus respectivos climas y condiciones; preciso es que nuestra patria no se adormezca y pensando solamente en su esplendor antiguo, no encuentre ya, solo en la historia, un lugar distinguido en el rango de las naciones.

Si, pues, el camino trazado para un floreciente porvenir se halla cifrado en las obras públicas, como lo acreditan los resultados obtenidos en Francia, Inglaterra, Estados Unidos, Bélgica y Alemania, deber es de todo gobierno fomentar estos elementos de prosperidad, y posponer las discordias de los partidos políticos á estos gérmenes de vida, en los que todos los pueblos y todos los individuos tienen fijo su pensamiento.

Mas para conseguir el fomento de estos elementos, y desarrollar convenientemente las obras de pública utilidad, preciso es examinar con especial atención su estado actual, reconocer sus necesidades, descubrir las causas que pueden aminorar ó dilatar su desarrollo, para satisfacer oportunamente las primeras, haciendo desaparecer desde luego las segundas.

Algunas disposiciones recientemente tomadas han venido á demostrarnos que se reconoce la necesidad de hacer algunas modificaciones y adoptar medidas conducentes á la mejor organización y al buen servicio de las obras públicas, mas estas disposiciones serian ineficaces sino las siguieran otras mas necesarias y de mas inmediatos resultados, que hicieran desaparecer los defectos de que la organización actual del servicio adolece y de los cuales vamos á procurar apuntar algunos