

FALLAS ACTIVAS Y SUS IMPLICACIONES EN LA INGENIERIA

Luis González de Vallejo*

RESUMEN

En la presente comunicación, se clasifican las fallas en relación con su actividad y la sismicidad, que puede o no, acompañarlas, haciendo especial hincapié en los efectos que, debido a modificaciones tanto de carácter estático como dinámico pudieran originar alteraciones en el comportamiento geotécnico del terreno, con las consiguientes implicaciones Ingenieriles. Se discuten así mismo los métodos de investigación de fallas activas, fundamentalmente basados en profundos estudios geológicos-con cartografía, estratigrafía y geomorfología y, en casos más concretos, con estudios volcanológicos geotérmicos y sismológicos, con localización de epi e hipocentros, investigación histórica, estudio de mecanismos focales, etc. Finalmente, se establecen las conclusiones oportunas que se derivan del análisis de los distintos fenómenos antes mencionados.

INTRODUCCION

Las fallas son accidentes tectónicos de gran importancia en la ingeniería práctica porque pueden causar problemas que, en ocasiones, determinan la exclusión de un emplazamiento por razones de seguridad, o condicionan la viabilidad de un proyecto por razones técnicas y/o económicas. De acuerdo con Bonilla (1970) estos problemas pueden ser de tres tipos:

- Daños o destrucción de las estructuras construidas sobre fallas.
- Generación de terremotos a lo largo de las mismas.
- Cambios en las propiedades geotécnicas del terreno, disminuyendo su resistencia, modificando su permeabilidad, poniendo en contacto formaciones litológicas diferentes y activando la erosión diferencial.

Sin embargo, no todos estos problemas se resentan simultáneamente en cualquier tipo de fallas, por lo que el proyectista necesitará conocer que problemas ocasionará la presencia de una falla en su obra. A estos fines se pueden dividir las fallas en activas y no activas.

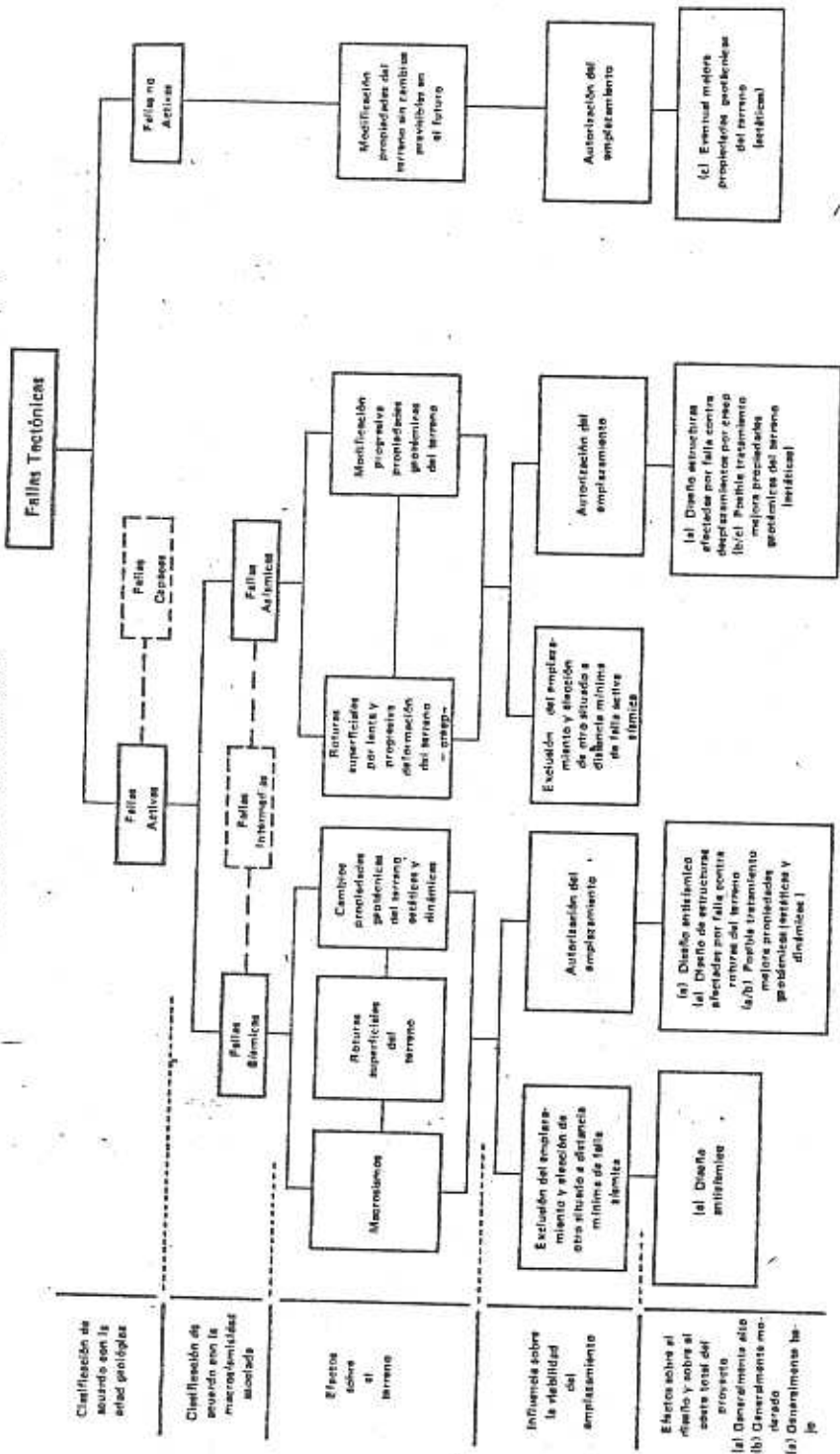
El concepto básico de fallas activa, desde el punto de vista ingenieril, es el siguiente: Falla activa es aquella que se ha movido en el pasado geológico reciente y que puede moverse en el próximo futuro. Por pasado geológico reciente se entiende al Holoceno (últimos 10.000 años) y por próximo futuro a la vida de la estructura en proyecto, o período de retorno en años que se elija para el riesgo contra el que se diseña. Este concepto suele adaptarse a las condiciones del tipo de proyecto. Así, para grandes presas, Cluff and Brogan (1974) consideran que el próximo futuro es la vida operativa de la presa. Sin embargo, en el caso de una central eléctrica nuclear, las grandes exigencias que requieren estas obras en materia de seguridad, ha hecho que se acepten las recomendaciones de la USNRC (1975) y las de la Agencia Internacional de Energía Atómica quienes han propuesto el término de falla capaz —semejante al de falla activa— cuya definición abreviada es la siguiente. Falla capaz es aquella falla que ha presentado deformación tectónica en los últimos 500,000 años, o cualquier otra falla en relación estructural con la primera, o con macrosismicidad asociada.

En el cuadro 1, se presenta un diagrama

*) EMPRESA NACIONAL ADARO S.A. - Serrano, 116 - Madrid (España).

nr 7.000

Cuadro 1.- FALLAS Y SUS EFECTOS EN LA INGENIERIA



esquemático de los distintos tipos de fallas y sus efectos. Las fallas activas, se pueden dividir en sísmicas y asísmicas. Las sísmicas, se diferenciarían de las asísmicas por presentar las primeras macrosismicidad asociada. En las sísmicas, el desplazamiento sería relativamente transitorio, del orden de 10 a 100 cm/seg. a lo largo de períodos de, a lo más, varias decenas de segundos, e intervalos de decenas o miles de años (Brune 1970). En las asísmicas, las deformaciones tendrían lugar dentro de un rango del orden de 0.1 a 10 cm/año. En la Fig. 1 se presenta una relación entre las velocidades del desplazamiento de fallas, y la potencia disipada, pudiendo existir una distribución bimodal de frecuencias para las deformaciones y, por consiguiente tipos de fallas intermedias (Sibson, 1977).

EFFECTOS DE LAS FALLAS ACTIVAS

Al generarse terremotos en las fallas, se producen desplazamientos diferenciales del terreno con roturas del mismo, ocasionando saltos, torsiones e inclinaciones en superficie; sin embargo, en las fallas asísmicas se pueden producir deformaciones por creep, o lento y progresivo desplazamiento a través de la superficie de la falla que, en California, son del orden de 0,3 a 0,8 cm/año. Este tipo de deformaciones lentas no suelen estar acompañadas de macrosismicidad, aunque en la actualidad se esté revisando este concepto.

Como consecuencia del movimiento vibratorio transmitido al terreno se pueden producir importantes alteraciones en su comportamiento geotécnico. Típico ejemplo lo constituye la licuefacción; pero no sólo se pueden producir modificaciones de tipo dinámico sino también estático, tal y como se indicó al principio de este artículo.

Las implicaciones que puede ocasionar la presencia de una falla activa han sido esquematizadas en el Cuadro 1. En función del tipo de obra y de la legislación y normativas a aplicar, es posible que un emplazamiento sea excluido por el hecho de existir una falla activa sobre el mismo. En este caso, es común que se relocalice el emplazamiento y se elija otro situado a una distancia fuera del control de la falla activa. Esta distancia ha sido sugerida por la USNRC (1975) para centrales nucleares y su significado se discute más adelante.

Si por el contrario, se autorizara al emplazamiento, o, lo que a veces ocurre, se descubre la presencia de una falla activa durante una etapa avanzada del proyecto, además de realizar el diseño antisísmico, se deberán proyectar de

forma especial las estructuras que sean afectadas por la falla activa, de forma que resistan las deformaciones del terreno debidas al movimiento vibratorio y desplazamientos diferenciales.

Para el diseño sismoresistente y para el proyecto de las estructuras potencialmente afectadas por una falla activa, es de gran interés conocer las relaciones existentes entre la magnitud de un terremoto dado y el máximo salto, desplazamiento y zona de fracturación debidas al movimiento de la falla activa en consideración. Por el momento, no se dispone de expresiones de aplicación general que permitan calcular rigurosamente alguno de los mencionados parámetros. Sin embargo, se han realizado varios trabajos en este sentido entre los que destacan los de Bonilla (1970) quien ha empleado datos procedentes en su mayoría de Norte América.

En la Fig. 2 se muestra la relación entre el salto máximo de una falla principal y la magnitud del terremoto asociado. A pesar de existir bastante dispersión en los datos tratados, se han ajustado 3 líneas exclusivamente a efectos orientativos:

- Log D = 0,57 M = 3,39 (1)
- Log D = 0,57 M = 2,67 (2)
- Log D = 0,57 M = 4,11 (3)

En donde la expresión (1) representa la línea A, la (2) la línea B y la (3) la línea C de la citada Fig. 2, siendo D el salto en pies y M la magnitud Richter.

Análogamente en la Fig. 3 se presenta la relación entre la longitud de una falla y la magnitud del terremoto asociado, habiéndose trazado igualmente una línea con fines orientativos. En la Fig. 4 se muestra la variación del salto en función de la longitud, cuya línea de ajuste toma la siguiente expresión:

$$\text{Log D} = 0,86 \log L - 0,46 \dots \dots \dots (4)$$

en donde L es la longitud en millas y D el salto en pies.

Se han dedicado varios trabajos a intentar obtener relaciones entre el producto de la longitud por el salto y la magnitud. Entre ellos destaca el de King y Knopoff (1968) quienes usando datos globales han propuesto la siguiente ecuación:

$$\text{Log L D}^2 = 1,90 M - 2,65 \dots \dots \dots (5)$$

Con respecto a las relaciones entre la zona de fracturación de una falla y la magnitud de un terremoto, la Fig. 5 puede servir de ejemplo de

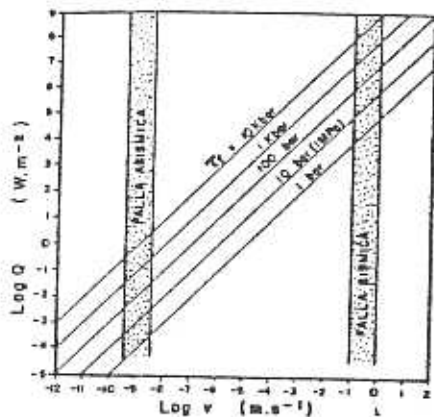


Fig. 1. — Relación entre la potencia disipada por unidad de área (Q) a través de una superficie de falla en función del desplazamiento (v) para distintos valores de resistencia al corte (T_s) (Sibson 1977).

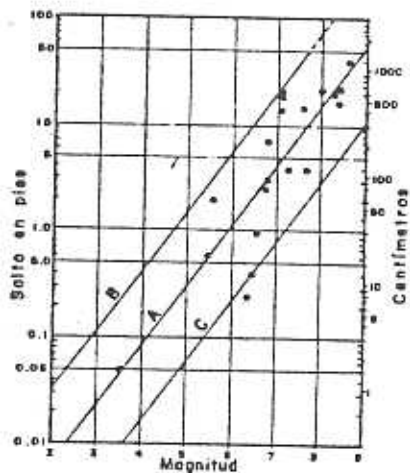


Fig. 2. — Relación entre el salto máximo de una falla principal y la magnitud del terremoto asociado, Bonilla 1970.

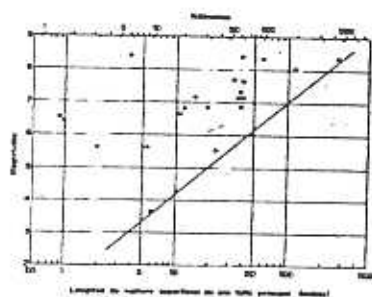


Fig. 3. — Relación entre la ruptura superficial promedio a través de una falla principal y la longitud de terremoto (Bonilla 1970).

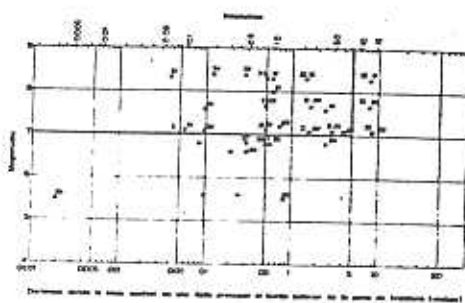


Fig. 5. — Relación entre la distancia y los saltos promedio de una zona de fractura y sus fallas secundarias (Bonilla 1970).

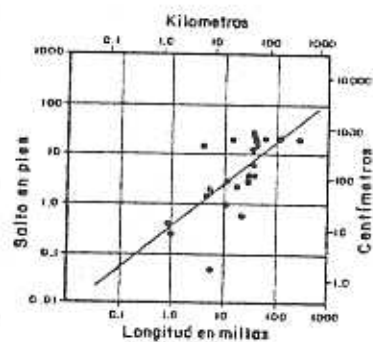


Fig. 4. — Relación entre el salto máximo y la longitud de una falla, Bonilla 1970.

acuerdo con datos de Bonilla (1970)

Hay que destacar el carácter empírico de las relaciones anteriormente citadas y, por tanto, sus limitaciones a la hora de aplicarlas a algún caso concreto. Estas limitaciones residen principalmente en el número insuficiente de datos analizados y en la procedencia de los mismos, por lo que se recomienda no usarlos más que como guía orientativa. Por otro lado, con la incorporación de información adicional, dichas relaciones serán revisadas y modificadas en el futuro.

RECONOCIMIENTO DE FALLAS ACTIVAS

El reconocimiento e investigación de las fallas activas requiere de precisos y completos estudios geológicos y sismológicos, además de prospecciones e instrumentación, no siendo objeto de este trabajo entrar en los detalles de los mismos sino mencionar y concretar alguno de los más significativos.

En general, cualquier investigación suele ir precedida de una exhaustiva recopilación y análisis de toda la información relevante tanto geológica como sismológica.

Centrando la atención en los estudios locales, estos comprenden, en primer lugar, la investigación geológica detallada del área: cartografía, estratigrafía, tectónica y geomorfología. En casos concretos: volcanología y geotermia.

En esta fase es de gran utilidad el análisis de fotos aéreas, tanto en color como en blanco y negro. Las observaciones de imágenes de satélite, las fotos tomadas con bajo ángulo solar y las de infrarrojo, pueden ser particularmente útiles. Igualmente, el estudio de alineaciones morfológicas e hidrográficas son especialmente importantes. Estas investigaciones suelen ir acompañadas por zanjas, trincheras y sondeos aunque éstas suelen realizarse en fases más avanzadas. Las prospecciones geofísicas, concretamente métodos de sísmica por refracción y por reflexión de alta resolución, pueden ser muy aconsejables.

Las técnicas geocronológicas más empleadas son las radiométricas, las paleontológicas, las

paleomagnéticas y las palinológicas.

Paralelamente, se deben llevar a cabo estudios sismológicos, entre los que destacan la localización de epicentros e hipocentros, la investigación histórica y arqueológica de terremotos, y los estudios de mecanismos focales.

De forma menos generalizada, y en casos concretos, se puede investigar la deformación horizontal y vertical por medios geodésicos, extensometría e inclinómetros.

La instrumentación de fallas y la microsísmica son técnicas que pueden ser muy útiles para controlar sísmos de $M < 3.0$ y para identificar actividad en fallas de compleja caracterización.

CONCLUSIONES

Las consecuencias que pueden derivarse de la presencia de fallas activas sobre un emplazamiento pueden significar desde la exclusión del mismo y su relocalización a otro lugar, situado fuera del control de la falla activa, hasta el diseño de las estructuras afectadas por la falla, tanto antisísmicamente como resistentemente ante los esfuerzos debidos a las posibles roturas superficiales del terreno.

Es primordial investigar la presencia de fallas activas antes de elegir un emplazamiento, especialmente cuando la índole de los proyectos así lo justifique: centrales nucleares, grandes presas, escuelas y hospitales, etc.

El estudio de las fallas activas es fundamental para la sismotectónica e ingeniería sísmica y, por tanto, para la planificación y ordenación territorial, industrial y urbana.

Se considera necesario llevar a cabo en cada región sismotectónica estudios de las relaciones entre sísmicidad y fallas, registrando toda la información posible acerca del salto, longitud, anchura de fallamiento, tipo de falla y terremotos asociados a la misma.

AGRADECIMIENTOS

El autor está muy agradecido al geólogo D. Alvaro Linares-Rivas por su ayuda prestada, y al ingeniero Dr. D. Antonio Campos de Orellana por sus comentarios durante la redacción de este trabajo.

REFERENCIAS

- BONILLA, M.G. (1970). Surface faulting and Related Effects: *Earthquake Engineering*, Ed. Wiegel. Prentice Hall.
- BRUNE, J. N. (1970). Tectonic stress and spectra of seismic shear waves from earthquakes: *Jl. Geophys. Res.* 75, 4997-5009.
- CLUFF, L. S. and BROGAN, G.E. (1974). Investigation and evaluation of Fault activity in the USA: 2nd I.A.E.G. Sao Paulo.
- KING, C y and KNOPOFF, L. (1968). Stress drop in Earthquakes: *Seism. Soc. Am. Bull.* 58 (1) 249-257.
- SIBSON, R.H. (1977). Fault rocks and Fault mechanism *Jl. Geol. Soc. London*. Vol. 133, 191-213.
- USNRC (United States Nuclear Regulatory Commission) (1975). *Standard Review Plan NUREG 75/087*.