

CAPITULO. 1 GENERALIDADES.

1.1.- Introducción.

Este trabajo está enfocado a estudiar, conocer y describir las principales características del fracturamiento en las rocas en las que se encuentran los yacimientos de hidrocarburos y minerales, o en zonas de suelos blandos donde existe infraestructura urbana y asentamientos humanos vulnerables por riesgo geológico ocasionado por la subsidencia del terreno.

Estos sitios se pueden caracterizar por la presencia de uno o varios sistemas de fracturas con diferentes morfologías, dimensiones y orientaciones, por lo que se pueden formar estructuras irregulares complicadas, y en consecuencia difíciles de evaluar.

Se tiene que hacer énfasis, en que para hacer una efectiva caracterización del tipo de fracturamiento, se requiere de un temprano reconocimiento de los atributos de la fracturas o sistemas de fracturamiento natural, producidas por tectonismo, por procesos geológicos o actividad humana.

Estos atributos son la morfología, distribución, dirección, longitud, espaciamiento, espesor e intensidad. Su determinación es de gran importancia en diferentes aplicaciones geológicas, por ejemplo en el desarrollo de una óptima producción en campos de gas y aceite, lo que nos permite realizar cálculos más precisos en la determinación de las propiedades petrofísicas de las rocas (porosidad, permeabilidad, saturación, etc.).

En los años recientes se han ido aplicando exitosamente novedosas metodologías para la caracterización de fracturas, tanto para formaciones que afloran como para las del subsuelo; la presencia de fracturas en subsuelo representa en muchos casos el incremento en la recuperación de sustancias de interés económico como los hidrocarburos el agua y los minerales.

La aplicación de un enfoque conceptual adecuado en cuanto a la adquisición de datos y análisis de los atributos del fracturamiento en campo proporciona muy buenos resultados.

El estudio de los yacimientos fracturados posee ciertos obstáculos inherentes a su naturaleza, los cuales para un buen análisis en su estudio, generan dificultades referentes a la predicción, evaluación y caracterización del yacimiento, algunas de estas dificultades son:

- La ausencia general de un enfoque cuantitativo en el análisis, descripción y caracterización de un yacimiento altamente fracturado.
- El descuido de los geocientíficos al no reconocer ni describir todos los atributos de los sistemas de fracturas y la irregularidad de su distribución.

- El enfoque simplista en la descripción de la distribución de las fracturas y su morfología.

Estas dificultades dan como resultado una caracterización inadecuada de las características de las fracturas naturales en el subsuelo; la mayor parte de estas técnicas de trabajo se aplican en muchos casos de manera independiente, por lo que a menudo dejan duda sobre los resultados, por lo que es recomendable trabajar con la mayor cantidad técnicas y fuentes de información. Por esta razón se han desarrollado variadas y sofisticadas metodologías de trabajo y tecnologías, que han facilitado el entendimiento de la naturaleza de los sistemas de fracturas en las rocas y suelos.

En los años recientes se ha mejorado la forma de medir, describir e interpretar las propiedades físicas y estructurales de los cuerpos de roca y suelos, así como el procesado y modelado de los datos obtenidos, considerando los diversos procesos geomecánicos naturales que afectan las masas de roca o a los suelos.

Estos procesos comprenden el estudio desde el origen de las rocas y su transformación hasta su estado actual, tomando en cuenta la progresión de los procesos que intervienen, comenzando en el caso de las rocas sedimentarias desde el depósito sucesivo de sedimentos en depresiones de la corteza terrestre, quedando confinadas y posteriormente sepultados por los depósitos sucesivos de materiales de igual o diferente naturaleza, los cuales son posteriormente deformados por las fuerzas corticales y por las condiciones físico-químicas del subsuelo.

El presente trabajo trata los conceptos, fundamentos, técnicas y tecnologías que nos ayudan a la comprensión y cuantificación de las propiedades genético-estructurales de los sistemas de fracturamiento que afectan las rocas, como ocurre con los yacimientos naturalmente fracturados o a los sistemas de fracturas que causan riesgo geológico en suelos o rocas de las zonas urbanas.

Aunque las fracturas naturales afectan a todo tipo de rocas, es en las rocas carbonatadas, donde se refleja un mayor incremento de estas estructuras, por lo que se origina la porosidad secundaria, estimulando cuando hay conducción de agua la comunicación y el desarrollo de cavidades por disolución; pudiendo ser en algunos casos en yacimientos petroleros contraproducente, generando una producción prematura de agua, aceite o gas.

En los yacimientos petroleros en rocas siliciclasticas las fracturas pueden incrementar la permeabilidad y complicar el modelo de flujo. También están los yacimientos de hidrocarburos no convencionales, como los de metano en capas de carbón, los yacimientos de gas en lutitas, y los yacimientos de roca basal y roca volcánica, en estos casos los sistemas de fracturamiento juegan un papel muy importante.

Entre otros efectos, las fracturas cuando están selladas desempeñan un rol contraproducente en los yacimientos, ya que disminuye la permeabilidad y porosidad sirviendo como barreras para el flujo.

Este trabajo inicia con una revisión de la terminología y principios físicos que se involucran en el entendimiento del origen y comportamiento de los procesos de fracturamiento y fallamiento naturales que afectan a las rocas.

Se continúa con la descripción y clasificación de la forma de las fracturas y su ocurrencia. Posteriormente se plantearán algunas técnicas desarrolladas para la obtención de datos estructurales.

El propósito de aplicar diferentes técnicas para obtener datos cualitativos y cuantitativos más precisos, es con el objetivo de alcanzar una mayor confiabilidad en los resultados, y con ellos realizar una interpretación mucho más coherente y certera en la evaluación de los sistemas de fracturamiento, lo cual nos permite determinar con mayor certeza la calidad de un yacimiento naturalmente fracturado.

En la figura 1.1 se ilustran las regiones del mundo donde existe en la actualidad mayor deformación ocasionada por los esfuerzos de origen tectónico, debidos a la dinámica de las placas tectónicas. Si ubicamos el área correspondiente a la Republica Mexicana, notamos inmediatamente que en ella convergen limites de placas que ocasionan diferentes sistemas de esfuerzos, lo cual se manifiesta en la topografía de mayor relieve.

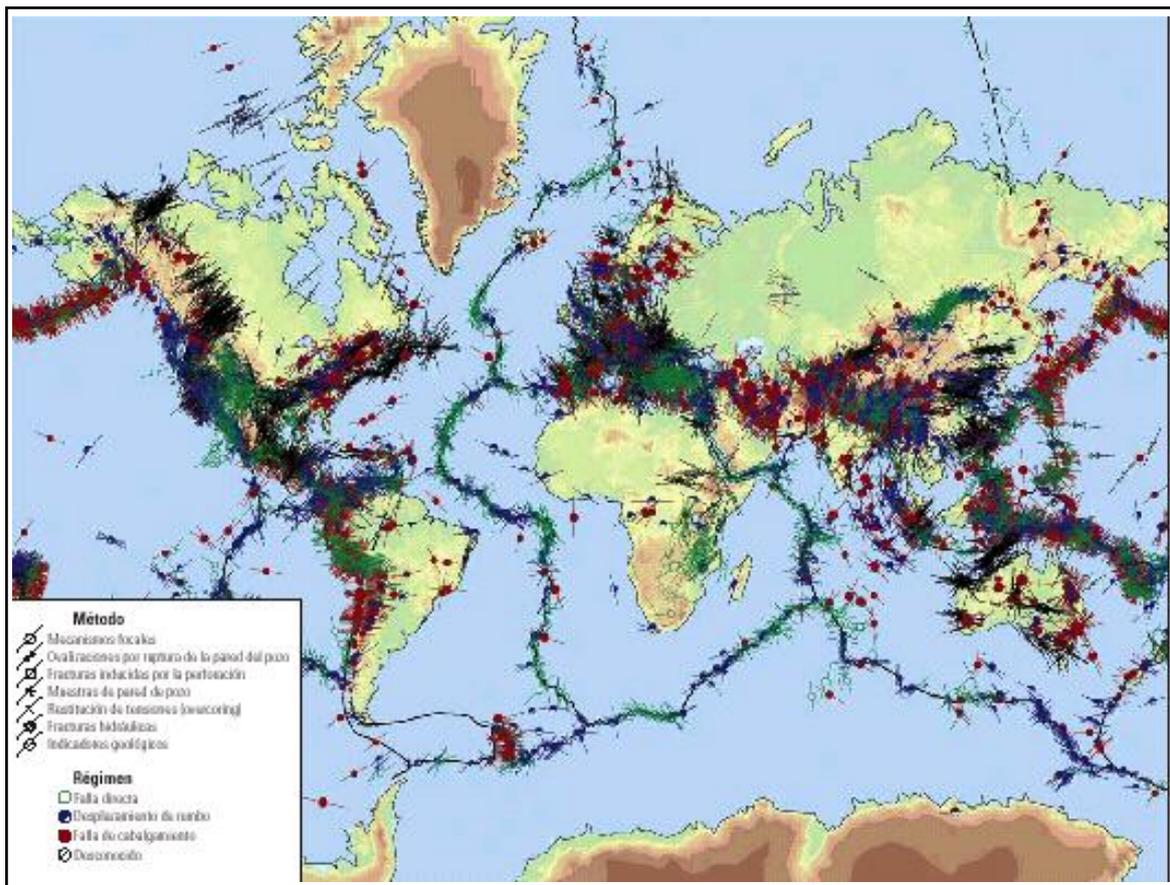


Fig.1.1.- Mapa mundial de esfuerzos se asocian a las zonas de mayor deformación (Tomado del Proyecto de Mapa Mundial de Esfuerzos: http://www-wsm.physik.unkarlsruhe.de/pub/casmo/content.frames/stress_maps_frame.htm, 2008).

En el país, debido a las condiciones geológicas ocurridas durante el Mesozoico, se desarrollaron potentes secuencias estratigráficas y complicadas estructuras geológicas, como es el caso de los pliegues en los que se encuentran las principales reservas de hidrocarburos, las cuales corresponden con yacimientos naturalmente fracturados, generalmente en carbonatos.

Estas características estructurales traen por consecuencia que la extracción de hidrocarburos resulte más complicada, al existir complejidad geológica. Para que el crudo salga bajo presión natural, por el efecto de toda la interacción de los elementos implicados como agua, gas natural y petróleo; es necesario que el sistema de entrapamiento sea de buena porosidad y permeabilidad.

El detectar fracturas en el subsuelo o predecir su ocurrencia y características es el primer y más básico paso en la evaluación de un yacimiento naturalmente fracturado.

Así también, este trabajo tratara lo relacionado a la interacción entre las técnicas geológicas y geofísicas, en lo referente al análisis integral de la información sobre el fracturamiento, realizando la comparación entre los datos estructurales de muestras físicas obtenidas directamente en campo contra los datos obtenidos con los métodos sísmicos y los registros geofísicos de pozo.

Considerando las condiciones de vulnerabilidad y las implicaciones que genera el habitar en terrenos con materiales no compactos como los que se encuentran en el valle de México, es necesaria la aplicación del estudio detallado de las manifestaciones del agrietamiento y fracturamiento de suelos y consecuentemente en estructuras civiles (casas, edificios, puentes, etc.) para lo cual el entendimiento de la génesis y comportamiento de las diversas formas y sistemas de fracturamiento, nos proporcionan una valiosa herramienta para definir las zonas urbanas propensas a potenciales afectaciones donde se desplantan las obras civiles.

1.2. - Objetivos.

Realizar una síntesis adecuada de la terminología relacionada con las fracturas, los principios en que se fundamenta su estudio, las técnicas de medición y su caracterización.

Conocer los mecanismos y procesos geológicos que originan los sistemas de fracturamiento en los yacimientos y en las zonas de subsidencia en áreas donde existen grandes asentamientos humanos.

Conocer las ventajas y limitaciones de las diferentes técnicas que son utilizadas en la evaluación y caracterización del fracturamiento para las diferentes áreas de aplicación en Ciencias de la Tierra.

1.3.- Metas.

+ Académicas: realizar un documento que sirva como una fuente de consulta sobre la caracterización de los diferentes sistemas de fracturamiento útiles en la evaluación de yacimientos o en zonas donde existe riesgo geológico.

+ Profesionales: Contar con una metodología que sirva como marco de referencia en el estudio de las fracturas en cualquier área de aplicación.

+ Personales: elaborar un trabajo que aporte información útil al campo profesional y que me sirva para poder obtener el título profesional y completar mi formación como ingeniero geólogo.

1.4. - Justificación.

El presente trabajo es un requerimiento para la obtención de mi grado en Ingeniería geológica; y el tema se propuso como referencia de los conocimientos académicos y laborales que he obtenido dentro de las áreas del estudio del fracturamiento en las rocas y suelos, los cuales considero son ejemplos característicos y adecuados para un tema de tesis.

1.5. - Antecedentes.

La mecánica de fractura en las rocas y otros materiales ciertamente ha sido usada desde la época neolítica cuando el hombre invento y diseño las primeras herramientas sencillas de piedra y posteriormente más sofisticadas.

Es dudoso que éstos primeros ancestros del hombre moderno no hayan entendido los mecanismos de fractura, puesto que desarrollaron técnicas muy hábiles de cómo moldear y formar cuchillos, lanzas y otras herramientas de piedra.

El estudio del fracturamiento ha sido abordado por diferentes autores con distintos objetivos y aplicaciones, tanto en el campo científico, áreas interés social económico (exploración y explotación de recursos naturales) y en la valoración riesgo geológico dentro de la protección civil.

Los principales pioneros sobre el estudio del fracturamiento fueron Leonardo da Vinci (1452–1519) y Galileo Galilei (1564 -1642). Leonardo da Vinci, fue el primero en realizar experimentos para determinar la capacidad de carga de alambres de acero. Galileo Galilei fue el primero en formular que la carga de fractura de una barra en tensión es directamente proporcional al área de su sección transversal e independiente de su longitud.

Varios incidentes relacionados con fractura, ocurrieron en experimentos realizados en los siglos XII y XIII en Europa, los cuales están documentados en la literatura (A Balankin. 2000). Las primeras técnicas de control de calidad y ensayo

de cañones de bronce, hicieron pruebas o ensayos, llevaron a los científicos a aproximarse a los problemas de resistencia y fractura.

La gran mayoría de los siguientes investigadores han aceptado que Galileo hizo las primeras aportaciones al conocimiento de los factores considerados que la resistencia mecánica de los materiales es una propiedad intrínseca.

Dentro de los primeros autores están Robert Hooke (1635 – 1703), Isaac Newton, (1642 – 1727), quienes comenzaron a razonar a partir de deducciones de la física de los materiales y conformaron las primeras interpretaciones físicas de los esfuerzos y la deformación; con el postulado de que dos tensores están relacionados por las ecuaciones lineales conocidas como ecuaciones de Hooke generalizadas, estas son las ecuaciones constitutivas que caracterizan el comportamiento de un sólido elástico lineal.

Charles-Augustin de Coulomb (1736 - 1806), entre otras teorías y estudios que realizó, se le debe la teoría de la torsión recta y el análisis del fallo del terreno dentro de la mecánica de suelos.

Saint-Venant (1797-1886), generó un modelo de resistencia de los materiales que establece una relación entre las fuerzas aplicadas, también llamadas cargas o acciones, y los esfuerzos y desplazamientos inducidos por ellas.

La revolución Industrial del Siglo XIX trajo consigo un incremento en la demanda de metales, particularmente del hierro y acero, para ser usados en ingeniería y la construcción a grandes escalas. Esta grande y feroz expansión del mundo de la ingeniería fue acompañada por una frecuencia mayor de fallas en estructuras de ingeniería civil.

Hacia 1882 el ingeniero civil alemán Christian Otto Mohr (1835-1918), desarrolla el método de la circunferencia de Mohr (Incorrectamente llamado círculo de Mohr, ya que no se trabaja con un área sino con el perímetro) la cual es una técnica usada para representar gráficamente un tensor simétrico (de 2×2 ó de 3×3) y calcular con ella momentos de inercia, deformaciones y tensiones, adaptando los mismos a las características de una circunferencia (radio, centro, etc.). También es posible el cálculo del esfuerzo cortante máximo absoluto y la deformación máxima absoluta.

Posteriormente en el siglo XX se comenzaron a postular los primeros criterios sobre el fracturamiento de los materiales, dentro de las cuales podemos mencionar a Henri Tresca (1841 – 1884)

Richard Von Mises (1883-1953), postula la teoría de la máxima energía de distorsión (Criterio de Von Mises); este criterio puede considerarse un refinamiento del criterio de Tresca.

El criterio de la máxima energía de distorsión fue formulado primeramente por Maxwell en 1865 y más tarde también mencionado por Huber (1904). Sin embargo, fue con el trabajo de Von Mises (1913), que el criterio alcanzó notoriedad, a veces se conoce a esta teoría de fallo elástico basada en la tensión

de Von Mises como teoría de Maxwell-Huber-Hencky-von Mises. En la expresión propuesta por Von Mises y Hencky, una pieza resistente o elemento estructural falla cuando en alguno de sus puntos la energía de distorsión por unidad de volumen rebasa un cierto umbral.

A partir de estos antecedentes se considera que los orígenes de la mecánica del fracturamiento pueden remontarse a un artículo publicado por A.A. Griffith (1921), en el cual demostró por primera vez que la resistencia real a la tensión de materiales frágiles era significativamente menor que la resistencia predicha teóricamente debido a la presencia de grietas. Durante la primera guerra mundial A. A. Griffith, desarrolló la mecánica de la fractura para explicar el fracaso de materiales frágiles.

Se puede afirmar que a partir de estos postulados, los estudios se fueron enfocando hacia la comprensión más detallada del comportamiento y características del fracturamiento en los diferentes tipos de materiales, principalmente en los de interés económico social que a partir de esta época fueron los más demandados, como el caso de la minería y del petróleo; siendo este último el que ha demandado más estudios debido al control que ejercen los sistemas de fracturamiento en la transmisión de fluidos dentro de los campos petroleros, circunstancias por las cuales infinidad de autores se han enfocado en su estudio. A continuación se señalan los que han hecho los estudios más recientes.

Hafner, W., (1951) publicó acerca de la distribución de esfuerzos y fallamiento. Robertson, E. C., (1955), publicó sobre estudios experimentales sobre la dureza de las rocas. Darcy, H., (1856), aportó sus conceptos de transmisión de fluidos en las rocas en sus estudios de las fuentes de la villa de Dijon. Price, N, J., (1966), realizó estudios sobre desarrollo de fallas y diaclasas en rocas frágiles y semifrágiles. Parsons, R, W., (1966), generó estudios de permeabilidad en rocas fracturadas ideales. Friedman, M., (1969), desarrolló técnicas para el Análisis estructural de núcleos del campo Saticoy. Conrad R.E. III. (1974), estudio la importancia de las fracturas microscópicas en los procesos de fallamiento de las rocas. Ramsay, J. G. (1977), recopiló los estudios existentes sobre la relación entre el plegamiento y el fracturamiento de las rocas.

Recopilaciones más completas sobre el estudio de los yacimientos naturalmente fracturados son las de Aguilera, R. (1995), y de Nelson A. R. (2001). Siendo este último quien complementó el análisis geológico de los yacimientos naturalmente fracturados.

Posteriormente se han desarrollado trabajos que han aportado conocimientos nuevos acerca del microfracturamiento, como los de Laubach, Reed, y Olson, (2004). Donde exponen bajo observaciones en catodoluminiscencia la coevolución de las texturas crack–seal y la porosidad de la fractura en rocas sedimentarias afectadas por fracturamiento regional.

Otras perspectivas y metodologías de trabajo para el estudio del fracturamiento en México, son las que desarrollaron Nieto – Samaniego, Alaniz–Álvarez, Tolson G, Xu S, Pérez–Venzor (2006). Con sus estudios de la estimación de densidades,

distribuciones de longitud y longitud total de fracturas, en la falla de los planes, la Paz, B. C.S.

Otro punto de vista para el estudio y cuantificación del fracturamiento es el de Ortega, O Marrett R. y Laubach S. (2006). Con su trabajo acerca de un acercamiento hacia una escala independiente de la intensidad del fracturamiento y el promedio de las medidas del espaciamiento.

Para entender los procesos geológicos estructurales que se presentan en la republica Mexicana, es un pilar el trabajo que desarrollo Padilla y Sánchez (2007), en su síntesis de la evolución geológica del sureste Mexicano, desde el mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México.

En el contexto de la geología petrolera, los trabajos realizados por Nelson A. R. (2001); PEMEX (2008); Bratton T, (2006), sirvieron como base para entender las características generales de la importancia del fracturamiento en los yacimientos naturalmente fracturados.

Para entender las características particulares de las afectaciones por hundimiento y fracturamiento en el valle de México, algunos de los autores que han hecho contribuciones al conocimiento como:

Alberro, J. y Hernández. R., (1990), en su trabajo sobre la génesis de las grietas de tensión en el valle de México, titulado En "El subsuelo de la cuenca del Valle de México y su relación con la ingeniería de cimentaciones a cinco años del sismo".

Auvinet, G. y Arias, A., (1991), con sus puntos de vista para la propagación de grietas, en suelos compresibles. Paniagua Zavala, W. (1991), con su trabajo sobre el agrietamiento de suelos. Carreón-Freyre D.C., Hernández-Marín M., Vargas-Cabrera C. (2002), con sus trabajos sobre el análisis de los factores geológicos durante la consolidación de suelos arcillosos y consideraciones para la evaluación de compresibilidad en laboratorio y campo. Domínguez L. M. (2002), con las recomendaciones sobre los agrietamientos del terreno en varias colonias y poblados de la delegación Tláhuac, Distrito Federal.

El tema de la estratigrafía del Valle de México, ha sido abordado por diversos autores quienes han concluido que existe una variada composición de la estratigrafía lacustre en diferentes puntos del Valle. Los principales trabajos han sido de: Zeevaert, (1953); Marsal y Mazari, (1959); Leonards y Girault, (1961); Girault, (1964); Mesri, (1975); Peralta y Fabi, (1989); Diaz-Rodriguez, (1998); Mazari-Hiriart, (2000).