

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

SECCIÓN DE POST-GRADO

GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA CIVIL

L.G.G.A. N° 176 (BOLETÍN TÉCNICO M.I.G-12)

**ALTERACIÓN Y ALTERABILIDAD
DE LAS ROCAS
ANÁLISIS Y APLICACIÓN
EN GEOTECNIA**

ALBERTO JOSÉ MARTÍNEZ VARGAS

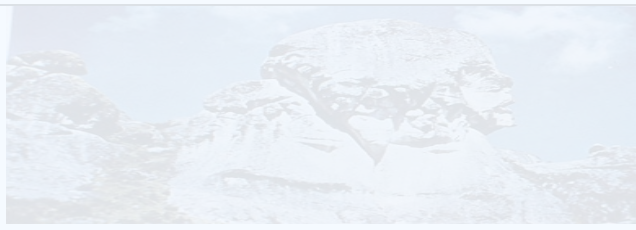
PROFESOR POST-GRADO FIC-UNI

LIMA-PERÚ

2005

BOLETÍN TÉCNICO

M.I.G



U.N.I

SECCIÓN DE
POSTGRADO

INGENIERÍA
GEOTÉCNICA

ALTERACIÓN Y ALTERABILIDAD DE LAS ROCAS ANÁLISIS Y APLICACIONES EN GEOTECNIA Alberto José Martínez Vargas

NÚMERO-12
Enero-Abril . 2005

EDITORIAL

La Mecánica de Rocas, viene recibiendo en el Perú el aporte geotécnico con la realización de grandes obras de Ingeniería Civil, Minera y Petrolera, que con nuevos criterios, conceptos, principios y tecnología permiten soluciones económicas y prácticas.

La apreciación de la alteración de carácter cualitativo, se hace significativa cuando sirve de base para determinar los índices de alteración de las rocas y alterabilidad, parámetros cuantitativos, obtenidos por técnicas, ensayos simples y rápidos, sin apartarse de las limitaciones propias a los fines de la ingeniería Civil y Minera.

El análisis, desde el diagnóstico al diseño, permite conocer el probable comportamiento de los macizos rocosos, más consecuente y realista, mejor si existen relaciones directas de los índices de alteración y alterabilidad con las diferentes propiedades de las rocas en su transformación a suelos residuales, permitiendo nuevos enfoques y planteamientos en la solución de problemas que afectan las obras Civiles en su cimentaciones, recientemente en Minera por el envejecimiento de rocas y obtención de los minerales de interés económico por medio de la lixiviación.

Las bases teóricas, laboratorio y campo son expresadas como índices y la observación de pruebas, experiencia, y uso conducen a soluciones que parecían inciertas o insolubles, en el pasado al aplicar una clasificación sin sustento teórico y práctico que se requiere en geotecnia.

Se consideran los conceptos y principios básicos de HAMROL – 1961, analizados por FERRAN-THENOZ-1975, aplicados por BERNAIX-1967, el diseño del expansímetro de NASCIMENTO-1968, el porosímetro y permeámetro de MARTINEZ-1970, y el tiempo de vida y ruina de una obra por NASCIMENTO-1971 y la explotación de minerales por lixiviación de las rocas en las minas de Chile y Perú.

Se analiza las informaciones disponible del proceso seguido, hasta llegar de una simple clasificación cualitativa (geológica), hasta la cuantitativa (geotécnica), finalmente se expone y determina el tiempo de vida útil, y ruina de una obra, como función de los índices de alterabilidad de las rocas.

DIRECTOR



M.I.M.S. ALBERTO MARTÍNEZ VARGAS

PROFESOR EMÉRITO UNI.
ASESOR CONSULTOR EN INGENIERÍA
GEOTECNICA

COLABORADORES

ING° JOSÉ MARTÍNEZ DEL
ROSARIO

B.I.C A. Martínez, V Junior .UNI
“ J.. Velarde, M -UNI
“ A. Najjar, .J-UNP

RECTOR – U.N.I.:

ING°. ROBERTO MORALES

DECANO: F. I.C.

ING° FRANCISCO CORONADO

JEFE DEL POST GRADO:

Dr.-JORGE ALVA HURTADO.

JEFE DE INVESTIGACIÓN

Dr. CARLOS ZAVALA.

Calle 3, 853. La Florida, Rímac
T: 4816278. Lima-Perú.
amv @ speedy.com.pe

EDITORIAL

El conocimiento geotécnico de la alteración y alterabilidad en las roca, deviene en el interés que se tiene en las obras de ingeniería Civil y Minera para obtener conocimiento de los efectos y daños, que significan grandes inversiones que requieren de responsabilidad de quien recomienda y utilizan el uso de las rocas.

Se presenta de manera simple, los principios, criterios, conceptos y ejemplos, de un análisis crítico que resulta de sumo interés y utilidad a los ingenieros, como dar pautas a los asesores y consultores sobre los alcances y limitaciones en los que se vean involucrados en su trabajo; pues debemos tener un conocimiento geotécnico de la alteración y la alterabilidad de las rocas, dentro de la vida de servicio, diseño y ruina de una obra, como la función de la roca en su comportamiento y/o tratamiento metalúrgico por lixiviación en el caso de explotación de minerales y de los relaves o desmontes de baja ley que no fueron atractivos en su explotación inicial.

Como sabemos en Mecánica de Rocas los criterios y conceptos geotécnicos contribuyen en la solución de muchos problemas de modo práctico, simple y económico.

Se concluye que las simples descripciones y observaciones geológicas de carácter cualitativo, sólo tienen un carácter geotécnico significativo sí, se expresaran por parámetros cuantitativos y son capaces de soportar un análisis y evaluación por el ingeniero, que optimiza el aprovechamiento de las rocas como material de construcción y brinda a su vez seguridad a la estabilidad de la obra como, en las carreteras (fotos-1 y 2) en su interacción entre el suelo, roca y la vía, permitiendo el conocimiento de su vulnerabilidad y riesgo.

En la actualidad es factible acelerar los procesos geológicos de alteración de las rocas en el laboratorio y en el campo por medio de la lixiviación se consigue el envejecimiento de las rocas y de este modo se determina su vida de ruina de una obra o la separación y explotación de los minerales económicos de una roca en minería.

ALTERACIÓN

Las rocas al estar sometidas a la acción agresiva del medio ambiente sufren modificaciones en su estructura y composición mineralógicas, es decir, se alteran. modificando de esta forma sus características y propiedades originales (cuadro. 1)

CUADRO-1

Concepto de alteración y desgaste de las rocas

PROCESOS	AGENTES	EFECTOS
Alteración	Atmosférico (Meteorización) Otros	Modificación de su: - Resistencia - Permeabilidad y - Color
Desgaste	Agua: Hielo y Viento (erosión) Otros	Modificación: - Geometría - Superficie

El grado de alteración de una roca es un parámetro con el que se trata de definir el estado presente de la roca.

La expresión que representa la alteración esta dada por:

$$i(\%) = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100 \quad (1)$$

donde:

i (%) = Índice o grado de alteración en porcentaje.

P₁ = Peso del espécimen de la roca.

P₂ = Peso de la roca saturada.



Foto-1: Talud de Carretera Chalhuanca-Abancay. Que muestra el macizo rocoso fracturado y alterado.

ALTERABILIDAD

Se define como alterabilidad de una roca o de una obra a la velocidad de alteración en el tiempo. Esta definición se hace más evidente cuando se compara un volumen determinado, para una misma roca en las condiciones del estado de su composición mineralógicas, texturas y estructuras.

El tiempo en el proceso de alteración nos presenta los parámetros vinculados con la vida de diseño, útil y ruina de una obra (Nacimiento, 1971).

La alterabilidad goza de las bondades de la alteración, con la ventaja que la precisa en el tiempo y espacio, su expresión se da en (2) :

$$J = \frac{\Delta i}{\Delta t \rightarrow 0} \Rightarrow \frac{di}{dt} \tag{2}$$

de donde $t > 0$, $t = i / j$, que permite estimar el tiempo en sus condiciones de fronteras como sería:

- $t = 0$ La roca es inalterable (estable relativo)
- $t < 0$ La roca es alterable (inestable)
- $t > 0$ Es lo más común y razonable en las obras de ingeniería, donde esta en proceso de alteración , en transición a un suelo residual.



Foto-2: Cantera de roca alterada como material de construcción para el terraplén de la Carretera Chalhuanca-Abancay.

CRITERIOS DE VIDA Y RUINA DE UNA OBRA

El concepto de vida y ruina de una roca o una obra es función de su uso y estabilidad, dentro de las limitaciones y vulnerabilidad que se impone concientemente a las obras de ingeniería civil.

Podemos deducir el tiempo de la expresión (3) como una función de la alteración y alterabilidad:

$$\Delta t = \frac{\Delta i}{J} \tag{3}$$

El incremento de tiempo representa:

$\Delta t = t_s$: Tiempo de servicio o vida de una obra desde la entrada de servicio a su retirada.

$\Delta t = t_p$: Tiempo de proyecto o vida calculada de una obra, impuesta y determinada generalmente por causas de orden económico.

$\Delta t = t_r$: Tiempo de ruina o vida estimada de una obra que por sus características inadecuadas de uso, es causa de accidentes o riesgos no previstos ni calculados.

Una obra no debe arruinarse sin antes cumplir el tiempo de proyecto, por ello se tiene la expresión:

$$t_r \geq t_p$$

Lo más conveniente es prolongar el tiempo de servicio para alargar el tiempo de proyecto sino será impedido por la ruina de la obra, por lo que se debe verificar la desigualdad:

$$t_r \geq t_s$$

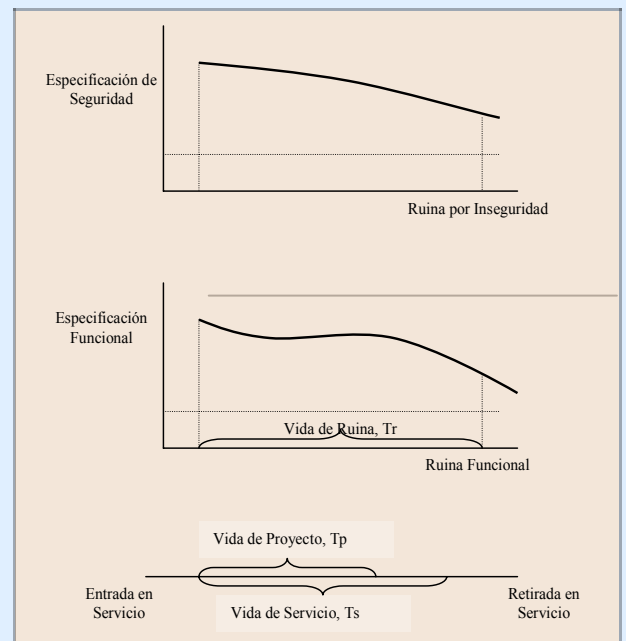


Fig. 2: Conceptos de Vida y Ruina en una Obra

**PERIODO DE VIA ÚTIL
PARA DISTINTAS INSTALACIONES (t)**

Estructuras o Instalación	t (años)
Almacenamiento de residuos radiactivos	10.000
Centrales nucleares	40-80
Presas	100-150
Puentes, túneles y grandes obras de infraestructura	100
Almacenamiento de residuos tóxicos	250
Edificios y construcciones convencionales	50-70

Tomado Cuadro 13.2 de Luis I Gonzáles de Vallejo et al 2002.

La influencia de la alteración es importante en el macizo rocoso, afecta las características de las rocas en los parámetros de resistencias como esfuerzos, cohesión, ángulo de rozamiento, dureza y deformabilidad, velocidad de propagación de las ondas elásticas.

Su presencia puede obligar a profundizar la cimentación que implica una mayor excavación, volumen de material por retirar y otros problemas colaterales que aumentan su costo y tiempo que son mayores en obras subterráneas y en explotación de canteras

El interés de este problema es creciente en todo el mundo y algunos países comienzan a normalizarse los ensayos para definir su alteración de las rocas.

Uriel y Dapena (1976), definen un índice (4), que representa la alterabilidad para cuantificar la meteorización de una roca como:

$$I(x,y) = \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor en roca alterada}}{\text{Valor inicial} - \text{valor pésimo}} \times 100 \quad (4)$$

Índice que da la variación del valor de una propiedad x frente a un ciclo de alteración

Lixiviación

En minería la lixiviación es el proceso de obtención de minerales metálicos económicos por envejecimiento acelerado de los minerales no metálicos de una roca mineralizada con poco contenido de mineral metálico; que antes eran desechadas en depósitos como residuos sin valor, también se produce lixiviación en los suelos principalmente en zonas tropicales y subtropicales como en la selva del Perú en Iquitos donde los procesos de hidrólisis tiene lugar, ya que las aguas de lluvias apenas tienen iones de H⁺ son ácidas.

Hay tres tipos de alteración hidrolítica, en función de las características de la argilización:

El primer grado se forman arcillas montmorilloníticas, caracterizadas por la presencia de complejos silicatos aluminicos y sílice. Son de color ocre o rojo y muy plásticos, por lo que absorben grandes cantidades de agua, caracterizados por su aumento de volumen encuentra elementos residuales en forma de hidróxidos de aluminio y hierro, los cuales pueden formar corazas de gran

resistencia (Lateritas).

Las lateritas es una arcilla endurecida, muy frecuente en los países tropicales y sub tropicales húmedos como en la selva del Perú

En el segundo grado se forman arcillas caoliniticas ,definidas por la escasez de sílice y la neo formación de arcillas claras, con menor capacidad de absorción de agua. El caolín es la arcilla y la caolinita el silicato aluminio hidratado.

El tercer grado consiste en la laterización, cuando se ha eliminado totalmente el sílice y en las arcillas se

Las Pátinas

Son películas delgadas superficiales formadas en las rocas por alteración y debido a diversas causas, siendo la principal la meteorización al medio ambiente principalmente si la roca es básica.

Se atribuye una edad mínima de 500 años su formación natural y se les encuentra en las quebradas y sobre todo en desiertos de la costa peruana.

Se le atribuye las siguientes causas:

Envejecimiento: Por el propio paso del tiempo y expuesto a la intemperie.

Decoloración: varía la tonalidad natural de la roca, se le llama “noble pátina”

Biogénica: Si la roca esta cubierta de organismos.

Suciedad: Envejecimiento, contaminación ambiental

Histórica: Pátinas tradicionales antiguamente se usaban compuestas por leche y sangre, para uniformizar el color de la piedra y para cementar la superficie rocosa.(Gárato,1994).

BIBLIOGRAFÍA

1. **NACIMIENTO, U.** 1971.Problemas de Alterabilidad es de Rochas en Enginneeria Civil.-Memorias .do L.M.E.C-Portugal..
2. **MARTINEZ, A.** 1972.- “Aplicaciones de los índices de Alteración y Alterabilidad en Mecánica de Rocas”.
3. **MARTÍNEZ, A** .1979. “Alteración y Alterabilidad en Geotecnia” conferencia XIV. Aniversario del Dpto Académico de Geología UNI. Lima-Perú.
4. **MARTINEZ, A.** 1979.- “Alteración y Alterabilidad en Geotecnia” Conferencia XIV Aniversario del Dpto. Académico de Geología U.N.I., Lima – Perú. Y publicación L.g.g.a – 84. Actualizado por los Bachilleres Najar Jiménez A y Velarde Manrique J. 2004 y Boletín .M.I.G-12.
- 5.- **GONZÁLES DE VALLEJO L, FERRER M, OTUÑO L Y OTEO C.** “Ingeniería Geológica” 2002-España.
- 6.- **LOPEZ MARINAS J M.** “Geología Aplicada a la Ingeniería Civil. UNIVESIDAD POLITÉCNICA DE MADRID 2004. C.I.E- DOSSAT-2000.