

Anejo II. Metodología para la aplicación del Índice de Susceptibilidad de Inestabilidad de Taludes en terrenos Volcánicos (ISTV).

II.1 Introducción:

El ISTV (índice de susceptibilidad de inestabilidad de taludes en rocas volcánicas) permite evaluar el grado de inestabilidad en función de una serie de factores predominantes observados en numerosos casos con problemas de caída de rocas o desprendimientos.

Los principales objetivos específicos de este índice son los siguientes:

- Aportar un procedimiento para identificar taludes con mayor posibilidad de sufrir caídas de rocas, de fácil y rápida aplicación sin requerir medios especializados.
- Aportar criterios para la adopción de medidas preventivas.
- Seleccionar las zonas que requieran mayor atención para la realización de estudios detallados conducentes a la estabilización y control de taludes.

Con respecto a su alcance, el ISTV tiene carácter de evaluación preliminar, y debe ser complementado con estudios adicionales en los taludes que requieran la adopción de medidas de estabilización o control. El índice ISTV es aplicable a rocas volcánicas con las siguientes exclusiones:

- Materiales muy meteorizados o alterados.
- Depósitos de suelos, derrubios de ladera o coluviales.

II.2. Diagrama de flujo:

En la siguiente figura se presenta un diagrama de flujo en el que se muestran los pasos a seguir para el cálculo del ISTV:

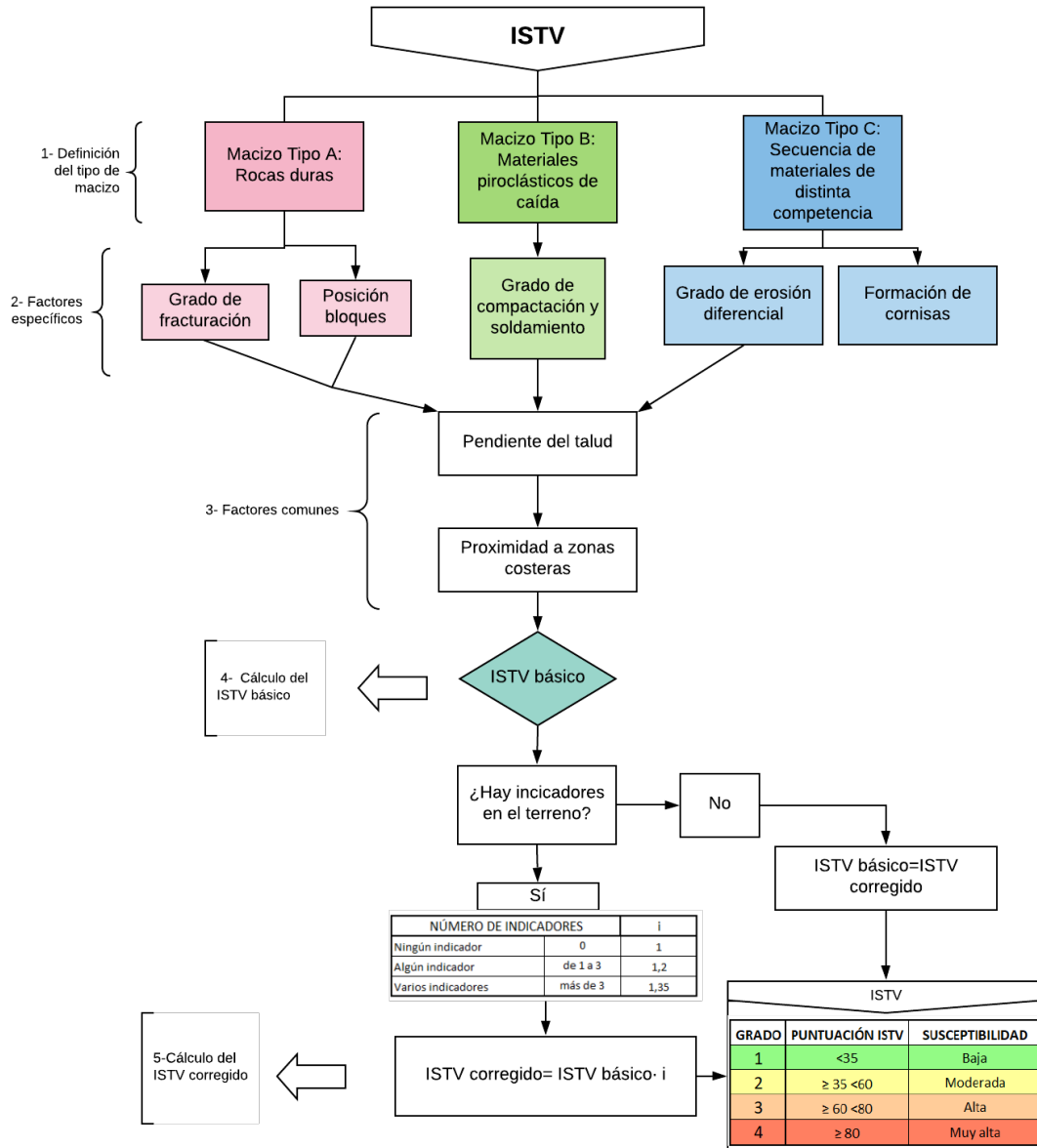


Figura II.1. Diagrama de flujo.

II.3. Definición de parámetros

En este apartado se define cada uno de los parámetros y se describe la metodología de toma de datos recomendada, que ha sido adaptada a las necesidades y capacidades de este índice, de manera que no sea necesario un instrumental específico y se pueda realizar rápidamente con la sencillez y la precisión que requiere una evaluación preliminar de este tipo.

Los factores se han clasificado en tres grupos: en primer lugar, los específicos para cada tipo de macizo, a continuación los factores comunes, que son aplicables a los tres tipos, y por último los indicadores en el terreno y en las infraestructuras.

Cada parámetro tiene una valoración que se indica en la última columna de los cuadros que se van a ir exponiendo a continuación. El índice ISTV básico se obtiene mediante la suma de la ponderación de los parámetros específicos y comunes y el ISTV corregido se obtiene aplicando el factor correspondiente a los indicadores que se observen sobre el terreno.

II.3.1. Factores específicos del tipo de macizo:

En base a las unidades geotécnicas y sus características (*ver Anejo I*), así como al tipo de problemática que puedan presentar, se ha realizado una clasificación de los taludes en tipos A, B o C. Cada tipo de macizo tiene unas características propias y unos parámetros a observar propios del material o materiales que lo forman y la manera en que se desencadenan las inestabilidades en cada caso. A continuación se describe cada tipo y los factores asociados a cada uno de ellos:

- **Taludes tipo A:** serán aquellos en los que predominen las rocas duras: coladas basálticas y sálicas (traquitas, fonolitas y riolitas) o piroclastos compactos como pueden ser tobas o ignimbritas soldadas, la figura II.2 muestra dos ejemplos de taludes tipo A. Como inestabilidades más frecuentes, estos taludes presentan desprendimientos por vuelco o caídas de bloques y chineo, y su principal problema, o causa de la inestabilidad, es la fracturación y diaclasado.



Figura II.2. Ejemplos de macizos tipo A. A la izquierda macizo basáltico y a la derecha talud en piroclastos sálicos.

- **Fracturación del macizo:** la fracturación del macizo rocoso está ligada al número y condiciones de las fracturas que afectan a los materiales geológicos que forman el macizo. Muchas de estas discontinuidades a las que llamamos fracturas no lo son, sino que se trata de diaclasado de retracción, una característica común a la mayoría de rocas volcánicas que se forman a partir del enfriamiento de un fundido (lava). A fin de simplificar, se adopta en esta clasificación el término fracturación para todas las discontinuidades planares que afectan al macizo rocoso.

Para el ISTV, la descripción de la fracturación del talud se realizará siguiendo el procedimiento del parámetro J_v , que contabiliza el número de discontinuidades en un metro cúbico del talud. Dado que un metro cúbico implica estimar tridimensionalmente las discontinuidades o fracturas, se puede determinar el J_v por el número de discontinuidades en una unidad de longitud en los casos en que el talud no permita observar ni estimar las discontinuidades en la tercera dimensión. En general, se tomará un metro lineal como unidad de longitud para el ISTV:

$$J_v = \frac{n^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{\text{Longitud de medida}} \quad (\text{II.1})$$

Así, según el valor de J_v (ver Cuadro II.1), el macizo se definirá como masivo, poco fracturado, moderadamente fracturado o muy fracturado:

Cuadro II.1. Clasificación del macizo según su fracturación y puntuación a aplicar.

Nivel de fracturación	J_v (Nº descont./unidad de medida)	Puntuación ISTV
Masivo	<1	0
Poco fracturado	de 1 a 3	5
Moderadamente fracturado	de 3 a 10	20
Muy fracturado	>10	30

A continuación, se muestran imágenes de taludes con diferentes grados de fracturación, la figura II.3 presenta dos taludes, a la izquierda se encuentra un talud sin fracturación, constituido por ignimbrita soldada, que se puede definir como masivo, y a la derecha se observa un talud poco fracturado, de naturaleza basáltica, que presenta entre 1 y 3 discontinuidades por metro lineal.



Figura II.3. Ejemplos de grados de fracturación. A la derecha macizo masivo, a la izquierda poco fracturado.

La figura II.4 muestra imágenes de taludes con grados de fracturación altos, a la derecha se observa un talud moderadamente fracturado, correspondiente a un macizo traquítico, con más de tres discontinuidades por metro lineal, mientras que a la izquierda se observa un macizo con un alto grado de fracturación, correspondiente a un dique basáltico, en el que hay discontinuidades en todos los sentidos y sin separación entre ellas.



Figura II.4. Ejemplos de grados de fracturación. A la derecha macizo moderadamente fracturado, a la izquierda muy fracturado.

- **Posición de los bloques:** es el segundo factor a tener en cuenta para los macizos tipo A, y se refiere a la inclinación y orientación de los bloques que forman los planos principales de discontinuidad en relación con la pendiente del talud.

Para la toma de datos se observará la orientación e inclinación de la estructura general del talud y de los planos que formen las discontinuidades o fracturas más importantes, describiendo si los bloques se inclinan a favor de la pendiente, favoreciendo la inestabilidad, o si por el contrario, la posición de los mismos dificulta que se produzca un desprendimiento.

Para la valoración de este parámetro se puntuará 0 la posición favorable a la estabilidad y con 10 la posición desfavorable a la estabilidad. Las figuras 5 y 6 muestran ejemplos de bloques cuya posición es desfavorable a la estabilidad.



Figura II.5. Ejemplo de talud en el que los planos de discontinuidad y la inclinación de la estructura, generan bloques cuya orientación favorece el desprendimiento por vuelco.



Figura II.6. Colada traquítica con pendiente muy elevada en la que los bloques tienen una orientación que favorece el desprendimiento por descalce.

- **Taludes tipo B:** Son macizos compuestos por depósitos de materiales piroclásticos tanto basálticos como sálicos, sueltos o débilmente soldados (conocidos como picón o pómez) (Figura II.7). Los desprendimientos característicos de este tipo de taludes son la caída de bloques y chineo, además de movimientos en masa (deslizamientos rotacionales).



Figura II.7. Ejemplos de macizos tipo B con distinto grado de soldamiento, a la izquierda con cierto grado de cohesión, y a la derecha piroclastos sueltos.

- **Compactación/soldamiento:** se refiere a la cohesión entre las partículas piroclásticas que conforman los macizos tipo B. El hecho de que un talud formado por materiales piroclásticos de caída esté más o menos compactado o soldado influye de manera relevante en su estabilidad, siendo más inestable a medida que disminuye su compactación y soldamiento.

El grado de compactación o soldamiento se obtiene con ayuda de un martillo de geólogo (Figura II.8), con el que se deberá tratar de extraer material del talud, y se clasificará según la resistencia del talud al arranque de material con esta herramienta como se detalla en la Cuadro II.2:

Cuadro II.2. Clasificación del macizo según su grado de compactación y puntuación a aplicar.

Grado de compactación/soldamiento	Descripción	Puntuación ISTV
Muy bajo	Se arranca fácilmente con la mano	35
Bajo	Se arranca fácilmente con el martillo	25
Medio	Se arranca con dificultad con el martillo	5



Figura II.8. Martillo de geólogo.

- **Taludes tipo C:** Son macizos formados por secuencias de materiales de distinta competencia, como por ejemplo, alternancias entre niveles de compactos de lavas y niveles de escorias, o de piroclastos que se erosionan a ritmos distintos, la figura II.9 muestra dos ejemplos de este tipo de taludes. La erosión diferencial provoca que estos taludes sufran la caída de bloques por descalce.



Figura II.9. Ejemplos de macizos tipo C. A la izquierda se observa la alternancia de materiales y a la derecha formación de cornisas en el talud.

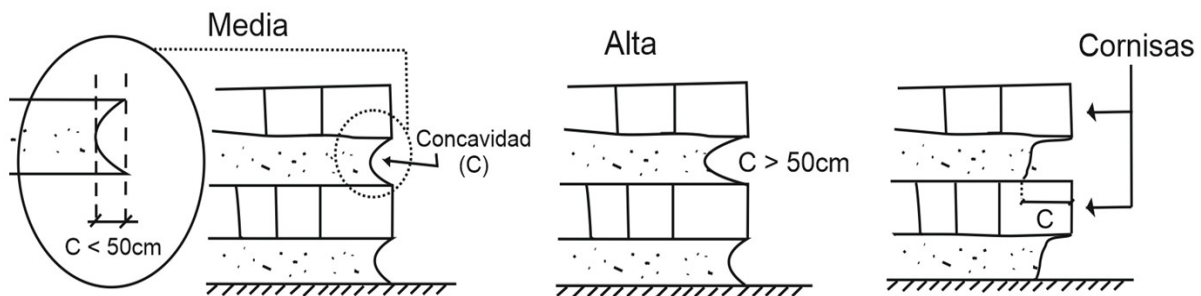
- **Erosión diferencial:** los diferentes materiales que conforman los macizos tipo C tienen características geológicas y resistencias distintas, lo que provoca que las capas se erosionen a distinto ritmo en función de su resistencia a los elementos erosivos. Esta erosión diferencial da lugar a la formación de cavidades o cornisas, que favorecen las inestabilidades. En caso de no encontrar erosión diferencial se observará el material predominante o el que sea más desfavorable para tratar el macizo como tipo A o B según proceda.

El grado de erosión diferencial se clasificará en medio, alto o con formación de cornisas (Cuadro II.3), dependiendo de la socavación máxima que presente la zona erosionada del talud o la formación de cornisas. La Figura II.10 explica gráficamente las diferencias entre los distintos niveles de erosión diferencial.

La medición de la profundidad de la zona erosionada, así como del tamaño de bloque se realizará de la forma más aproximada posible, por lo que los valores mostrados en el cuadro II.3 son aproximados.

Cuadro II.3. Clasificación del macizo según su grado de erosión diferencial y puntuación a aplicar.

Grado de erosión diferencial	Descripción	Puntuación ISTV
Bajo	Menos de 15 cm de erosión	0
Medio	Pequeñas concavidades en el material erosionado ($C < 50\text{cm}$)	15
Alto	Concavidades grandes ($C > 50\text{cm}$)	30
Formación de cornisas	Bloques muy pequeños ($\Phi \leq 0,2\text{m}$)	0
	Bloques pequeños ($0,2\text{m} < \Phi \leq 0,6\text{m}$)	10
	Bloques medianos ($0,6\text{m} < \Phi \leq 0,9\text{m}$)	30
	Bloques grandes ($0,6\text{m} < \Phi \leq 1,2$)	40



C= máxima socavación por erosión en cm.

Figura II.10. Esquemas de los niveles de erosión diferencial.



Figura II.11. Ejemplo de talud con erosión diferencial y formación de cornisas. Se observa que la erosión del material más blando ha dejado los bloques de

II.3.2. Factores comunes:

Los factores comunes afectan a cualquier tipo de macizo y son: la pendiente del talud, y la cercanía al mar, que se valorará sólo en el caso de un talud a menos de 50 metros del mar.

- **Pendiente del talud:** la inclinación del talud, es decir su pendiente, condiciona la estabilidad general. Para ponderar este factor se indicará si la pendiente del talud está dentro de los siguientes rangos: 45°-75° o de más de 75° en cuyo caso será un talud con pendiente subvertical como se indica en el Cuadro II.4:

Cuadro II.4. Clasificación del macizo según su pendiente y puntuación a aplicar.

Pendiente del talud	Descripción	Puntuación ISTV
45°-75°	Muy alta	10
>75°	Subvertical	20

- **Proximidad a la costa:** Si se trata de un talud en un acantilado costero o taludes o laderas sometidos a la acción erosiva del mar, se tendrá en cuenta este parámetro, penalizando con 10 puntos la estabilidad del macizo.



Figura II.12. Acantilado afectado por la erosión marina.

II.3.3. Indicadores en el terreno y en infraestructuras:

En muchas ocasiones el desencadenamiento de una inestabilidad va precedida de una serie de fenómenos precursores que se reflejan en el terreno o en las estructuras y que pueden indicar un proceso de inestabilidad activo. Los indicadores más frecuentes de inestabilidad observables en las laderas y taludes son:

- Grietas y escarpes.
- Abombamientos y deformaciones.
- Caída de rocas o presencia de cicatrices.
- Desvío de cauces.
- Acumulación de depósitos a pie de ladera o caída de tierras.

- Encharcamientos.
- Cambios en fuentes y en sugerencias de agua.
- Inclinación de árboles.

Cuando las deformaciones del terreno inciden en edificaciones e infraestructuras, se puede observar la presencia de las siguientes afectaciones a las mismas:

- Grietas en muros, cimentaciones y elementos estructurales.
- Inclinación y desplomes de muros.
- Roturas en conducciones.

La presencia de estos indicadores debe penalizar el valor de ISTV básico obtenido, para ello se utiliza un factor de corrección que multiplica el valor de ISTV básico por un *índice (i)* en función del número de indicadores que se encuentren en el talud (Cuadro II.5).

$$ISTV_{\text{corregido}} = ISTV_{\text{básico}} \cdot i \quad (II.2)$$

Cuadro II.5. Valores del índice *i* para la corrección del valor obtenido en el ISTV.

Número de indicadores		<i>i</i>
Ningún indicador	0	1
Algún indicador	de 1 a 3	1,2
Varios indicadores	más de 3	1,35

El resultado del ISTV, ya sea básico o corregido, alcanzará una valoración entre 0 y 100 puntos que permitirá clasificar los taludes según el grado de susceptibilidad a las inestabilidades en: bajo, moderado, alto o muy alto según se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro II.6. Valores del ISTV.

Grado	Puntuación ISTV	Susceptibilidad
1	< 35	Baja
2	≥35 < 60	Moderada
3	≥ 60 < 80	Alta
4	> 80	Muy Alta

II.4. Ficha de toma de datos

La Figura II.13 muestra una ficha de toma de datos que se propone para llevar a cabo la toma de datos sobre el terreno.

TIPO DE MACIZO					
TIPO A: ROCAS DURAS		TIPO B: DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS		TIPO C: SECUENCIA MATERIALES DE DISTINTA RESISTENCIA	
A.1. Grado de fracturación	Ptos	B.1. Grado de compactación/ soldamiento	Ptos	C.1. Grado de erosión diferencial	Ptos
Masivo: < 1 junta/m3	0	Alto		Bajo	0
Poco fracturado: 1-3 juntas/m3	5	Medio	0	Medio	15
Moderadamente fracturado: 3-10/m3	20	Bajo	5	Alto	30
Muy fracturado: > 10 juntas/m3	30	Muy Bajo	25		
A.2. Posición de los bloques con respecto a la inclinación del talud	Ptos		35	C.2. Formación de cornisas	Ptos
- Favorable de la estabilidad	0			Bloques muy pequeños	0
- Desfavorable a la estabilidad	10			Bloques pequeños	10
				Bloques medianos	30
				Bloques grandes	40
P. PENDIENTE DEL TALUD		Z. ZONAS COSTERAS		i. INDICADORES DE INESTABILIDAD	
Pendiente predominante	Ptos	Taludes acantilados a menos de 50 m	Ptos		Núme i
< 45°	0		10	Ningún indicador	0 1
45° - 75° Muy Alta	10			Algún indicador	1 a 3 1,2
> 75° Subvertical	20			Varios	> 3 1,35
INDICADORES EN EL TERRENO O EN ESTRUCTURAS			CÁLCULO DEL ISTV		
Escarpes y grietas Abombamientos y deformaciones Bloques caídos o señales recientes de superficies de rotura Desvío de cauces Acumulación de depósitos a pie de ladera o caída de tierras Encharcamientos Cambios en fuentes y surgencias de agua Inclinación de árboles Grietas en muros, cimentaciones y elementos estructurales Inclinación y desplomes de muros Roturas en conducciones			$ISTV_{\text{básico}} = [(A1+A2) \text{ ó } B1 \text{ ó } (C1+C2)] + P + Z$ $ISTV = ISTV_{\text{básico}} \cdot i$		
			VALORES DEL ISTV		
			Puntuación	SUSCEPTIBILIDAD	
			< 35	Baja	
			35 – 59	Moderada	
			60 – 79	Alta	
			> 80	Muy Alta	
NOTAS					
1 - Valor máximo del índice ISTV: 100					
2 - No aplicable a suelos, depósitos de ladera o rocas muy meteorizadas o alteradas					
3 - La susceptibilidad indica la posibilidad de ocurrencia					
4 - Se elegirá sólo una de las opciones para el tipo de macizo: A, B o C					
5 - En el caso de macizos tipo C sin erosión diferencial, se elegirá entre los tipos A y B					
6 - Se elegirá solo una opción para cada parámetro en la asignación de puntuaciones					

Figura II.13. Ficha de obtención de datos para el campo.

II.5. Consideraciones finales

La susceptibilidad no indica una probabilidad de ocurrencia sino que trata de describir la posibilidad de que se produzca una inestabilidad bajo la influencia de determinadas condiciones que no se consideran en el análisis. Es decir, que a pesar de que un talud pueda presentar menor susceptibilidad que otro, puede tener mayor probabilidad de generar una inestabilidad si sus condiciones de contorno son más propicias para su desarrollo.

El resultado obtenido mediante el cálculo del índice de susceptibilidad de un talud permitirá valorar su estado de una manera previa y ofrecerá información sobre la conveniencia de realizar otros estudios adicionales de mayor intensidad y detalle. También permitirá establecer una relación ordenada de una serie de taludes que se encuentren dentro de un ámbito de actuación administrativa o geográfica que ayude a priorizar la realización de los estudios pormenorizados posteriores a aquellos taludes que se estimen más necesarios.

Por lo tanto, un resultado de susceptibilidad muy alta no implica necesariamente que el talud vaya a sufrir una inestabilidad de manera inminente sino que debe realizarse urgentemente un estudio más detallado por parte de técnicos expertos que valoren su importancia y alcance para, en su caso, establecer las medidas de estabilización y control correspondientes.

Por otro lado, debe considerarse que el resultado obtenido por un talud o ladera tampoco es permanente. Ya que son elementos dinámicos que están en constante cambio, por lo que la clasificación que se obtenga deberá ser actualizada cada cierto tiempo.