

## Anejo V. Índice de riesgo de caída de rocas en taludes volcánicos (IRTV).

### V.1. Introducción.

El Índice de riesgo de caída de rocas en taludes volcánicos IRTV propone un método de estimación cualitativa de este riesgo en un talud o zona determinada, expresado en función de la probabilidad anual de caída de rocas cuyas consecuencias puedan producir unas pérdidas materiales determinadas. Este índice es aplicable a taludes o laderas carentes de medidas de protección o de estabilización en zonas de permanencia.

Su objetivo es proporcionar una evaluación preliminar del nivel de riesgo, aportando criterios para la sectorización y priorización de actuaciones. Para el diseño de medidas específicas de protección se requiere cuantificar tanto el riesgo (QRA) como los parámetros de diseño (SEL, MEL, etc.).

Para el cálculo del IRTV es necesario estimar la probabilidad de caída de rocas. Este parámetro puede determinarse directamente in situ o a partir del historial de eventos de caídas registrados. Si no se dispone de esa información, se puede estimar el dato mediante la correlación entre el grado de susceptibilidad ISTV y la frecuencia de caída de rocas que se indica en el Cuadro V.1.

En los casos en los no sea aplicable el ISTV, por ejemplo en suelos, depósitos de ladera o coluviales, rocas muy alteradas, rocas con presencia de cavidades grandes o cuevas (ver *Anejo II*), la valoración del grado de estabilidad del talud y la posible frecuencia de caídas de rocas, deberán ser estimadas por un profesional competente, que aporte esta información.

El IRTV se expresa en función de la peligrosidad (P) y el índice de pérdidas (IP), según la expresión:

$$\text{IRTV} = P \cdot \text{IP} \quad (\text{V.1})$$

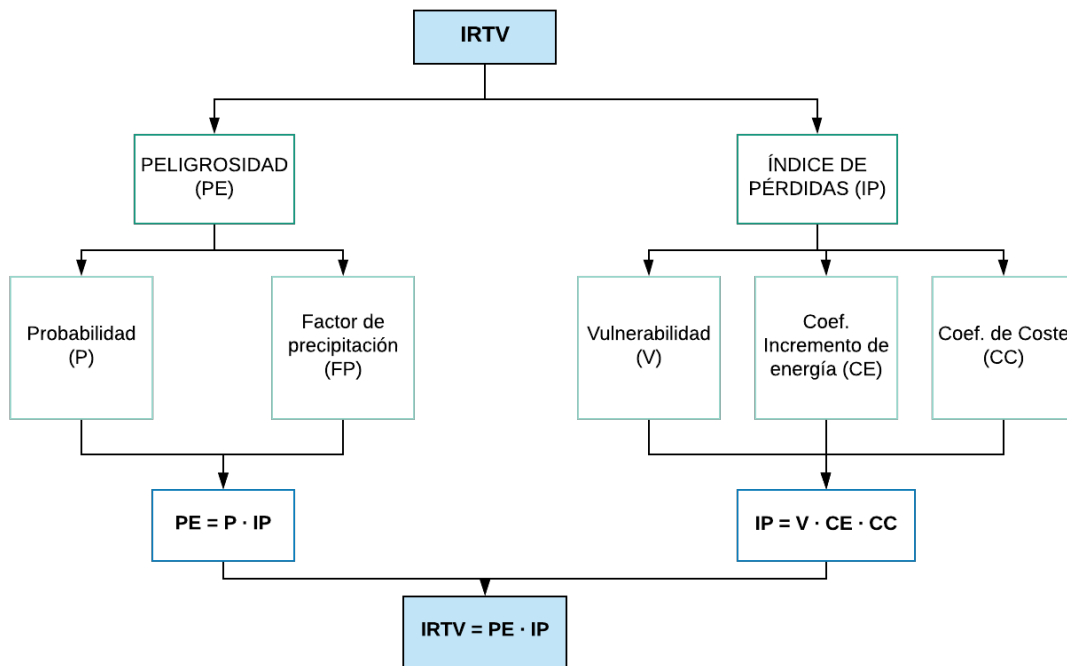


Figura V.1. Diagrama de flujo para la estimación del IRTV.

## V.2. Estimación de la peligrosidad:

La peligrosidad representa la probabilidad de que ocurra un proceso de determinada intensidad o magnitud en un lugar determinado y en un periodo de tiempo dado. La componente temporal de la peligrosidad puede ser también expresada a partir del periodo de retorno del proceso de que se trate ( $T = 1/P$ ) pudiendo estimarse en función de la probabilidad anual ( $P_y$ ) o bien en función de la probabilidad durante la vida útil del elemento expuesto ( $P_n$ ). Para el cálculo del IRTV se ha considerado como referencia la vida útil de una vivienda estimada en 70 años ( $n$ ), aunque igualmente podría expresarse en función de cualquier otro valor de vida útil o por año.

La peligrosidad depende del grado de estabilidad del talud, estimado a través del ISTV descrito en el *Anejo II*, y la incidencia de precipitaciones de determinada intensidad, como factor desencadenante, expresado en función del Factor de precipitaciones (FP), según la expresión:

$$P = P_n \cdot FP \quad (V.2)$$

donde  $P_n$  es la probabilidad de caída de rocas en  $n$  años y  $FP$  el factor de precipitación.

-Probabilidad ( $P_n$ ): En el Cuadro V.1 se indican las equivalencias entre el grado de susceptibilidad frente a la inestabilidad del talud ISTV y el período de retorno asociado, en caso de no disponer del análisis de ISTV es posible obtener el período de retorno a partir de los datos de frecuencias de caídas que se muestran en este cuadro.

El cuadro V.2. indica la probabilidad de caída de rocas asociada a cada periodo de retorno y a cada grado de ISTV. Estas equivalencias se han basado en la frecuencia de eventos de caída de rocas en taludes de la isla de Tenerife, en los cuales se determinó el ISTV. Para valores de ISTV comprendidos entre los intervalos del Cuadro V.2 se podrá interpolar estimándose la probabilidad mediante la siguiente expresión:

$$P_n = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (V.3)$$

donde  $P_n$  es la probabilidad de caída en  $n$  años,  $T$  es el período de retorno y  $n$  el número de años.

**Cuadro V.1.** Obtención de  $T$  en función del ISTV o la frecuencia de caída de rocas.

ISTV		Frecuencia de caídas		
Puntos	Susceptibilidad	Observaciones de campo (1)	Historial de eventos de caídas de rocas (2)	T (años)
< 35	Baja	No se observan bloques caídos	Sin registros de caídas de rocas en la zona	$\geq 100$
35 – 59	Moderada	Algún bloque caído de pequeño o mediano tamaño	Sin registros de caídas de rocas en la zona	> 50
60 – 79	Alta	Varios bloques caídos de distinto tamaño	Algún registro de caídas en los últimos 25 años	> 25
$\geq 80$	Muy Alta	Numerosos bloques caídos de distinto tamaño	Varios registros de caídas en los últimos 25 años	$\leq 25$

(1) Observación in situ de bloques caídos, señales de inestabilidad y roturas en áreas fuentes. Se excluyen los bloques o fragmentos de roca de pequeño tamaño, chineo, etc. Se incluyen también las zonas próximas a las áreas fuente y las zonas altas y bajas de la ladera.  
(2) A partir de datos registrados en carreteras, informes técnicos, ayuntamientos, testigos, hemerotecas, datos bibliográficos, fotografías, etc.  
T = período de retorno

**Cuadro V.2.** Probabilidad de caída de rocas estimadas a partir del ISTV.

ISTV		Probabilidades			Grado
Puntos	Susceptibilidad	T (años)	Py	Pn	
< 35	Baja	> 100	< 0.01	< 0.5	Poco probable
≥ 35 <60	Moderada	≤ 100 > 50	≥ 0.01 < 0.02	≥ 0.5 < 0.75	Probable
≥ 60 <80	Alta	≤ 50 > 25	≥ 0.02 < 0.04	≥ 0.75 < 0.94	Muy probable
≥ 80	Muy Alta	≤ 25	≥ 0.04	≥ 0.94	Altamente probable

T= período de retorno.

Py= Probabilidad anual de excedencia.

Pn= Probabilidad de ocurrencia en n años. "n" es la vida útil de una vivienda o instalación. Se ha tomado como referencia 70 años.

-Factor de precipitaciones (FP): Este factor tiene en cuenta el incremento de la probabilidad de caída de rocas por precipitaciones a partir de determinados rangos de intensidad pluviométrica referidos a una zona y a un período de tiempo determinado. Este factor se ha estimado de acuerdo con el régimen de precipitaciones indicado en la Guía CLIMCAN (2010), y al estudio de la frecuencia de caída de rocas obtenido a partir de la base de datos del Cabildo de Tenerife. En el Cuadro V.3 se indican los intervalos de precipitación media anual y su correspondiente factor de precipitaciones. En los casos en los que la cabecera y el pie del talud presenten regímenes de precipitación distintos, se tomará el más desfavorable.

**Cuadro V.3.** Factor de precipitaciones (FP).

Factor de precipitaciones (FP)			
Precipitación media anual (mm)	<300	< 300 <500	> 500
Factor (FP)	1,0	1,7	2,0

- Grado de peligrosidad (P): Multiplicando la probabilidad ( $P_n$ ) obtenida, por el factor de precipitaciones (FP), como indica la ecuación V.2, se obtiene el grado de peligrosidad. En el Cuadro V.4 se muestran los grados de peligrosidad establecidos.

**Cuadro V.4.** Grados de peligrosidad (P) referidos a la probabilidad ( $P_n$ ), y al factor de precipitaciones (FP).

Peligrosidad (P)	
Peligrosidad ( $P_n \cdot FP$ )	Grado de Peligrosidad
< 0,5	Baja
$\geq 0,5 < 1$	Moderada
$\geq 1 < 1,5$	Alta
$\geq 1,5$	Muy Alta
$n= 70$ años	

### V.3. Índice de pérdidas (IP).

Corresponde a las pérdidas esperables (económicas) y que dependen de la vulnerabilidad de los elementos expuestos frente al proceso de que se trate, y de su coste. Viene definido por la siguiente expresión:

$$IP = V \cdot CE \cdot CC \quad (V.4)$$

donde V es vulnerabilidad, CE es el coeficiente de incremento de energía de impacto y CC el coeficiente de coste.

- Vulnerabilidad (V): Grado de daño que puede sufrir un elemento expuesto a un peligro de determinada intensidad. Si el elemento a proteger se encuentra en la zona de posible exposición, se considera que es vulnerable. Esta vulnerabilidad será mayor en función del elemento de que se trate, según el porcentaje de elemento que pueda verse afectado y de la magnitud o intensidad del proceso. Se puede expresar en una escala de 0 a 1 o en tanto por ciento. En el Cuadro V.5 se sugieren algunos intervalos de vulnerabilidad frecuentes, que deberán estimarse en cada caso.

**Cuadro V.5.** Intervalos de vulnerabilidad frecuentes para zonas de permanencia.

Vulnerabilidad (V)	
Tipo de elemento	Valores frecuentes de vulnerabilidad
Viviendas	0,2-0,8
Núcleos urbanos	0,1-0,2
Instalaciones industriales	0,1-0,2
Zonas recreativas	0,1-0,3

Una vez se haya comprobado que el elemento está expuesto al riesgo, se procederá a realizar una inspección del talud observando el tamaño de los bloques susceptibles de caer, la distancia relativa entre el elemento a proteger y el talud o la zona fuente, y en función del tipo y calidad de la construcción de dicho elemento, se asignará un valor entre 0 y 1 de vulnerabilidad a criterio del técnico.

- Coefficiente de incremento de energía (CE): Este coeficiente tiene en cuenta el incremento de energía de impacto por efecto de la altura del talud. Los incrementos de energía están tomados con respecto a un talud de 5m de altura, asumiendo que el inicio de la caída de rocas se da en el punto más alto del talud. En el cuadro V.6 se indican los coeficientes de energía sugeridos.

**Cuadro V.6.** Coeficientes de incremento de energía.

Coeficiente de incremento de energía (CE)		
Altura talud (m)	Energía de impacto	CE en rocas
≤ 5	Baja	1
≤ 10	Moderada	1,5
≤ 30	Alta	2,5
> 30	Muy alta	3,5

- Coeficiente de coste (CC): Tiene en cuenta el coste o pérdidas económicas como consecuencia de un evento de caída de rocas. En el cuadro V.7 se indican los coeficientes de coste y el grado de pérdidas potenciales asociadas.

**Cuadro V.7.** Coeficiente de coste en función coste de reposición del elemento expuesto y el grado de pérdidas potenciales asociadas para varios intervalos de coste.

Coeficientes de Coste (CC)		
Coste € ( $\cdot 10^3$ )	Grado de pérdidas	Coeficiente de coste (CC)
< 50	Bajas	1,0
50 - 200	Medias	3,0
200 - 1000	Altas	8,0
> 1000	Muy altas	15- 20

-Cálculo del índice de pérdidas (IP): Se multiplican estos tres parámetros y se obtiene el índice de pérdidas (IP) de acuerdo con la expresión:

$$IP = V \cdot CE \cdot CC. \quad (V.5)$$

En el cuadro V.8 se indican los valores de IP y el grado de pérdidas asociado.

**Cuadro V.8.** Índice de pérdidas.

Índice de pérdidas (IP)	
IP	Grado de pérdidas
$\leq 2$	Bajas a muy bajas
$\leq 4$	Moderadas a altas
$\leq 8$	Altas
$> 8$	Muy altas

La figura V.2 muestra los cuadros para el cálculo del IRTV como ficha de campo para facilitar su aplicación.

Probabilidades (Pn) para edificaciones					Factor de precipitaciones (FP)				Grado Peligrosidad (PE)	
Susceptibilidad ISTV	T (años)	Py	Pn	Posibilidad de afectación a la estructura	Precipitación (mm/año)	<300	<500	> 500	Peligrosidad (Pn·FP)	Grado de Peligrosidad
(< 35) Baja	> 100	< 0,01	< 0,5	Baja-Moderada	Factor (FP)	1	1,7	2	< 0,25	Baja
(≥ 35 <60) Moderada	≤ 100 > 50	≥ 0,01 < 0,02	≥ 0,5 < 0,75	Alta	T= período de retorno. Pn= Probabilidad de ocurrencia en n años a partir de la expresión $P_n = 1 - (1 - 1/T)^n$ . "n" es la vida útil de una vivienda o instalación. Se ha tomado como referencia 70 años.				≥ 0,25 < 0,5	Moderada
(≥ 60 <80) Alta	≤ 50 > 25	≥ 0,02 < 0,04	≥ 0,75 < 0,94	Muy alta	Py= Probabilidad anual de excedencia.				≥ 0,5 < 0,75	Alta
(≥ 80) Muy Alta	≤ 25	≥ 0,04	≥ 0,94						≥ 0,75	Muy Alta
Vulnerabilidad (V)		Coeficiente de incremento de energía (CE)			Coeficientes de Coste (CC)		Índice de pérdidas (IP)			
Tipo de elemento	Valores frecuentes de vulnerabilidad	Altura talud (m)	Energía de impacto	CE en rocas	Coste € (·10 <sup>3</sup> )	Coeficiente de coste (CC)	IP (V·CE·CC)	Grado de pérdidas		
Viviendas	0,2-0,8	≤ 10	Bajo	1	< 50	1	≤ 2	Bajas a muy bajas		
Núcleos urbanos	0,1-0,2	≤ 20	Moderada	1,5	< 200	3	≤ 4	Moderadas a altas		
Instalaciones industriales	0,1-0,2	≤ 30	Alta	2,5	< 1000	8	≤ 8	Altas		
Zonas recreativas	0,1-0,3	> 30	Muy alta	3,5	> 1000	15- 20	> 8	Muy altas		

Figura V.2. Ficha de aplicación del IRTV.



#### V.4. Cálculo del IRTV:

El índice IRTV se obtiene mediante la expresión:

$$\text{IRTV} = P \cdot \text{IP}. \quad (\text{V.6})$$

En el Cuadro V.9 se muestran los niveles de riesgo sugeridos a partir del IRTV, en función del grado de pérdidas y del grado de probabilidad, así como la prioridad de actuación para cada nivel de riesgo y las recomendaciones en cada caso.

**Cuadro V.9.** Niveles de riesgo en función del IRTV.

Grado de Pérdidas	Muy Alto					<table border="1"> <thead> <tr> <th>Grado de Riesgo</th> <th>Recomendaciones</th> <th>Prioridad de actuación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A - Bajo o Muy bajo</td> <td>Ninguna, salvo incidencias</td> <td>Baja o no requiere</td> </tr> <tr> <td>B - Moderado</td> <td>Inspección y estimación preliminar</td> <td>A medio plazo</td> </tr> <tr> <td>C - Alto o Muy alto</td> <td>Inspección detallada por técnico competente</td> <td>A corto o muy corto plazo</td> </tr> </tbody> </table>	Grado de Riesgo	Recomendaciones	Prioridad de actuación	A - Bajo o Muy bajo	Ninguna, salvo incidencias	Baja o no requiere	B - Moderado	Inspección y estimación preliminar	A medio plazo	C - Alto o Muy alto	Inspección detallada por técnico competente	A corto o muy corto plazo
	Grado de Riesgo	Recomendaciones	Prioridad de actuación															
	A - Bajo o Muy bajo	Ninguna, salvo incidencias	Baja o no requiere															
	B - Moderado	Inspección y estimación preliminar	A medio plazo															
C - Alto o Muy alto	Inspección detallada por técnico competente	A corto o muy corto plazo																
Alto																		
Mod.																		
Bajo																		
		Bajo	Mod.	Alto	Muy Alto	Grado de Peligrosidad												