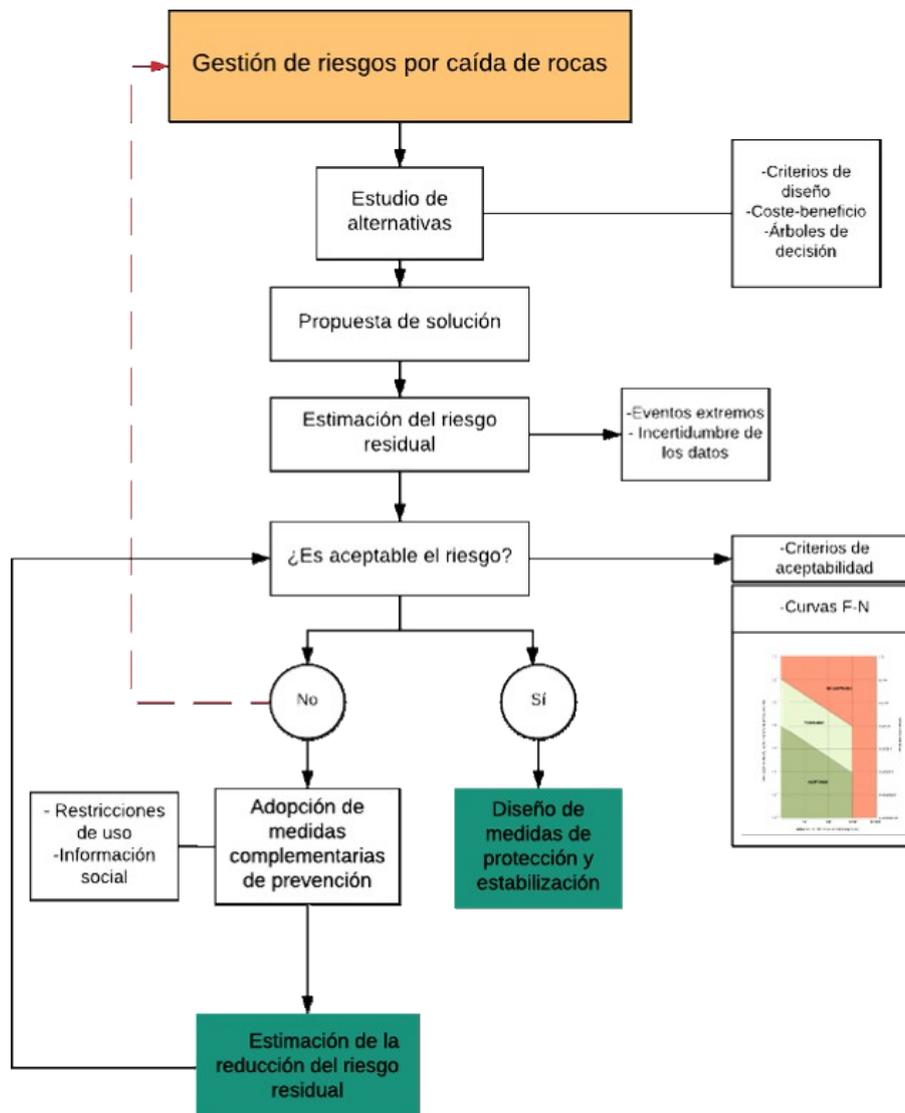


CAPÍTULO 6. Gestión del riesgo

6.1. Análisis de alternativas de sistemas de protección.

La gestión del riesgo se refiere al análisis de soluciones alternativas conducentes a la mitigación y control de caída de rocas, mediante la aplicación de criterios técnicos y económicos, y también aquellos que tengan impacto social y medioambiental. Para ello se deben analizar las distintas alternativas de medidas de estabilización, protección y prevención que de forma individual o combinada, conduzcan al objetivo de la reducción del riesgo. En la figura 6.1 se muestra la metodología detallada para la gestión del riesgo de caída de rocas.



Para definir la solución más adecuada en cada caso, se deberá realizar un análisis de posibles alternativas que tenga en cuenta los condicionantes económicos, técnicos y los aspectos medioambientales, de manera que puedan identificarse las alternativas que compatibilicen los criterios de aceptabilidad con los de coste-beneficio. Los análisis probabilísticos mediante árboles de decisión permiten combinar distintos factores resultando útiles para la selección de alternativas.

6.2. Tipo de medidas.

Las medidas de estabilización o control para caídas de rocas incluyen tanto medidas activas como pasivas. El objetivo de las primeras es evitar las caídas de rocas mediante la consolidación por refuerzo del macizo rocoso. Las pasivas tratan de evitar que las caídas alcancen al objeto a proteger. En este apartado se exponen a modo orientativo las medidas a utilizar tanto para la estabilización de taludes con problemas de inestabilidad total o parcial (Cuadro 6.1), como para el control de caída de rocas (Cuadro 6.2).

Medidas de estabilización	
Objetivo	Medidas
Disminución de las fuerzas desestabilizadoras	<ul style="list-style-type: none"> ○ Retaluzado ○ Excavación de cabecera
Aumento de la resistencia al corte del terreno mediante el incremento de las tensiones normales en zonas convenientes de la superficie de rotura	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tacones de tierra o escollera ○ Bermas intermedias
Aumento de la resistencia al corte del terreno reduciendo presiones intersticiales	<ul style="list-style-type: none"> ○ Drenaje superficial ○ Drenaje profundo
Proporcionar una fuerza contraria al movimiento de la masa deslizante	<ul style="list-style-type: none"> ○ Anclajes ○ Bulonado
Evitar el deslizamiento mediante contención o sostenimiento	<ul style="list-style-type: none"> ○ Muros de contención y sostenimiento ○ Muros pantalla
Evitar el deslizamiento mediante transmisión de esfuerzos a capas estables inferiores	<ul style="list-style-type: none"> ○ Pantallas de pilotes y micropilotes

Cuadro 6.1. Resumen de las distintas medidas activas de estabilización de taludes. (IGME, 1987)



Medidas de protección de caída de rocas	
Objetivo	Medidas
Eliminación del riesgo	<ul style="list-style-type: none"> · Saneos · Excavaciones · Voladuras
Evitar o reducir la erosión y meteorización de la superficie del talud, evitando su degradación y la caída de fragmentos de rocas.	<ul style="list-style-type: none"> · Mallas de guiado · Siembra de taludes · Hormigón proyectado · Canalización de aguas de escorrentía en cabecera y pie del talud.
Evitar la apertura de discontinuidades y posterior rotura del talud.	<ul style="list-style-type: none"> · Anclajes · Bulonado · Atado de bloques · Sistema mixto de cables y mallas · Hormigón proyectado
Interceptar la caída de rocas evitando alcanzar el elemento a proteger.	<ul style="list-style-type: none"> · Barreras flexibles de cables y mallas. · Estructuras de hormigón armado y falsos túneles. · Ménsulas y voladizos. · Zanjas y cunetones. · Terraplenes de tierra armada y bloques prefabricados de hormigón.

Cuadro 6.2.Resumen de medidas para el control de caída de rocas. (Modificado de IGME, 1987)

En el *Anejo VII de este documento* se presenta una descripción mediante fichas de ambos tipos de medidas en las que se indican sus características técnicas, aplicaciones, ventajas e inconvenientes y se dan recomendaciones de uso, aunque para una descripción detallada de las mismas se recomienda el libro de Fonseca, R. (2010).

6.3. Diseño de medidas de protección frente a caída de rocas.

En el caso de que tras realizar el estudio de alternativas valorando los costes y beneficios tanto funcionales como económicos y medioambientales se considerase

que la solución más adecuada consiste en la instalación de medidas de tipo pasivo, para su diseño, se recomienda seguir las indicaciones de la metodología expuesta en el *Anejo VIII* de esta guía.

En la Figura 6.2 se muestran distintos sistemas de protección de caída de rocas en función de su capacidad de absorción energía de impacto.

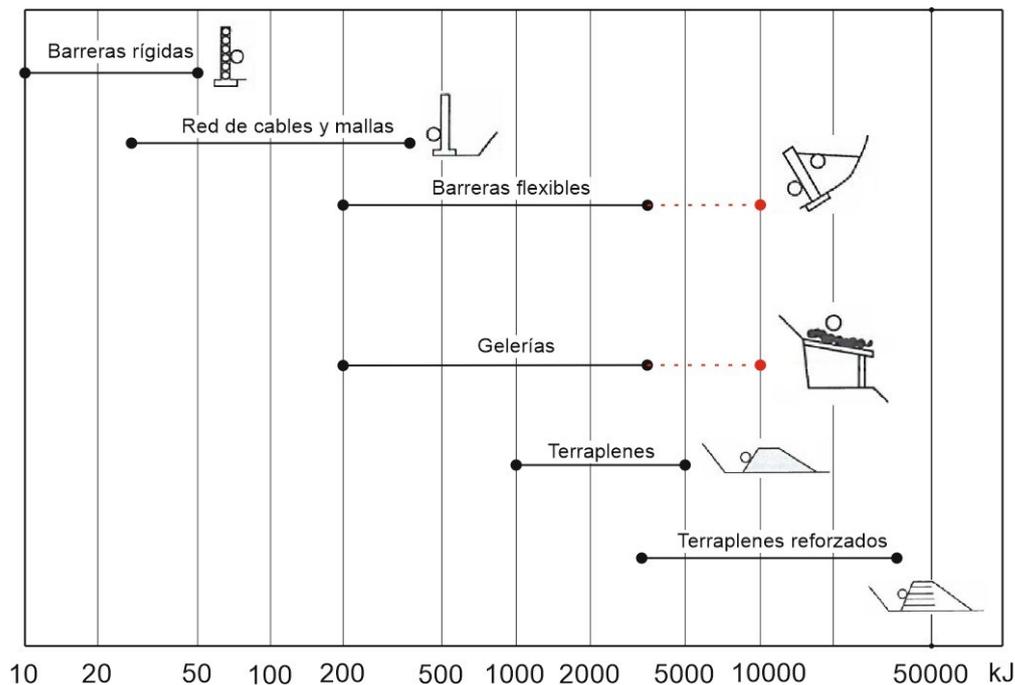


Figura 6.2. Sistemas de protección de caída de rocas en función de su capacidad de absorción de energía de impacto. Modificado de Vogel et al, 2009.

6.4. Riesgo residual.

El riesgo residual se refiere al remanente después de haber adoptado medidas de control, incluso cuando en los cálculos se estime que la reducción del riesgo sea del 100%, ya que en la práctica se ha verificado que aún pueden existir riesgos no contemplados, además de las propias incertidumbres del sistema.

En el riesgo residual se incluyen los eventos extremos que, aunque muy poco probables, tienen cierta posibilidad de ocurrencia, así como las incertidumbres derivadas de la información e hipótesis utilizadas. Se considerarán los tamaños de bloques no previsibles tanto por su volumen como por sus posibles trayectorias así

como los producidos como consecuencia de riesgos extraordinarios, como terremotos de magnitudes superiores a las establecidas por normas sismorresistentes, grandes lluvias y temporales, huracanes, erupciones volcánicas, etc. Todos estos eventos caen en la consideración de riesgos muy poco frecuentes cuya probabilidad anual es inferior a 1/500. Para el cálculo del riesgo residual se utilizan procedimientos probabilísticos.

6.5. Criterios de aceptabilidad del riesgo.

El riesgo resultante después de adoptar las medidas de control junto con el riesgo residual, representa el riesgo total. Para determinar el grado de aceptabilidad es necesario disponer de criterios que regulen los límites entre lo aceptable y lo no aceptable.

Los criterios de aceptabilidad se basan en estudios sobre la relación de pérdidas económicas y de vidas en función del número de accidentes o fallos que han producido tales pérdidas, y que han sido recopilados por numerosos autores. Dichos estudios han permitido establecer acuerdos o consensos sobre lo que es aceptable o inaceptable. Así se ha definido la denominada zona Tolerable o ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*), que indica el intervalo de probabilidad para el cual un riesgo determinado sería tolerable, después de adoptar medidas de control, mitigación y prevención. Si aun así el riesgo resultara inaceptable, deberá revisarse la solución propuesta hasta alcanzar una mayor reducción del riesgo, incluso incorporando medidas preventivas complementarias como restricciones de uso o de información social, hasta alcanzar el nivel de tolerable.

Los criterios para decidir la aceptabilidad del riesgo varían en función de varios parámetros, como son el uso que tenga la infraestructura o instalación que puede ser afectada, los posibles daños económicos o víctimas y el tipo de riesgo (voluntario, involuntario, individual y social).

El denominado riesgo social (*societal risk*), se refiere a un peligro que puede afectar al mismo tiempo y con el mismo origen, en una o en varias zonas, a un número significativo de personas. En este caso el nivel de aceptabilidad del riesgo es menor que con respecto al riesgo individual, es decir, se requiere alcanzar una probabilidad mucho más baja para que el riesgo sea tolerable.

En la Figura 6.3 se representa la relación **F-N**, muy utilizada en los análisis de riesgos, donde se considera la frecuencia o la probabilidad de sucesos (F), y el número de víctimas potenciales (N). Dicha figura corresponde a la aplicación de un diagrama F-N a un caso de riesgo por caída de rocas en una playa de Tenerife.

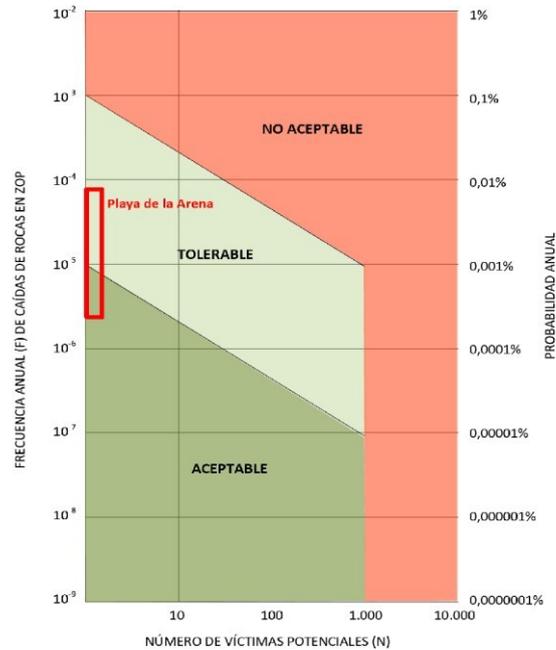


Figura 6.3.Relación F-N aplicada a un caso de desprendimientos en una playa.

De acuerdo con la figura 6.3, se establecen tres niveles de aceptabilidad aplicables cuando las consecuencias del riesgo puedan producir víctimas:

RIESGO ACEPTABLE: Correspondiente a una probabilidad inferior a 10^{-5} , equivalente a un riesgo aceptable por la sociedad sin restricciones.

RIESGO TOLERABLE: Correspondiente a una probabilidad entre 10^{-3} y 10^{-5} , definido por el criterio “**ALARP**”(acrónimo de “*as low as reasonably practicable*”) ,que implica la necesidad de adoptar medidas de protección y prevención capaces de disminuir el riesgo hasta valores razonables de acuerdo con su coste-beneficio.

RIESGO INACEPTABLE: Correspondiente a una probabilidad superior a 10^{-3} , inaceptable en cualquier circunstancia.

6.6. Justificación de la solución recomendada.

La solución adoptada, deberá justificarse de acuerdo con el procedimiento indicado estimando el factor de seguridad adoptado y su conformidad con los criterios de aceptabilidad.

Tanto en los casos en los que no sea posible reducir el riesgo a valores aceptables o tolerables como en los casos en los que se quiera dotar de mayor seguridad, se pueden adoptar medidas preventivas alternativas como restricciones de uso ya sea total o parcial, así como realizar acciones de información social para concienciar a los usuarios de los riesgos a los que están expuestos y las medidas de seguridad que deben seguir.

Las medidas preventivas pueden ir desde cerrar una carretera cuando se declaren alertas meteorológicas, a restringir el paso permanentemente a zonas recreativas, o cerrar dichas zonas en horario nocturno para reducir el riesgo.