

## **CONGRESO NACIONAL DE INGENIEROS CONSULTORES**

**Madrid, 21 y 22 de Octubre de 2002**

**Sede: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos**

**Título:**

### **CALIDAD EN LA OBRA LINEAL DESDE LA VULNERABILIDAD DE LA RED FRENTE A LA GEOTECNIA VIAL**

- **Juan Carlos Hernández del Pozo**, Doctor Ingeniero de Caminos, Universidad de Granada.
- **Isidro Ocete Ruiz**, Licenciado en Geología, Geotécnica del Sur.
- **Ramón García**, Ingeniero de Caminos, Dirección General de Carreteras, Junta de Andalucía.
- **Juan Carlos Hernández Garvayo**, Ingeniero de Caminos, Doctorando Universidad de Granada.

#### **RESUMEN.**

Los autores de esta comunicación se han visto enfrentados desde un contrato, en curso actualmente, de investigación de La Fundación de la Universidad de Granada con la empresa Probisa, a realizar un inventario de Calidad sobre la autovía A-92, a su paso por la provincia de Granada. Con este marco y como trabajo previo, nos hemos permitido una digresión intelectual previa a nuestro objetivo final, que hemos creído sería de interés en este congreso asociando la Calidad de la obra a su Vulnerabilidad una vez realizada.

La comunicación discurre enlazando sucesivamente Vulnerabilidad, Riesgo y Seguridad con la Calidad. Medida desde el grado de vulnerabilidad, nuestro trabajo se dirige a la definición de este término expresado en tantos por uno, y presentado en forma de matriz, función de los distintos factores de afección que presenta la Vulnerabilidad geotécnica, tales cual son: La definición geométrica de los elementos de la traza, pendiente y altura, características geomecánicas de los materiales, situación en planta desde la concavidad, afecciones del agua y sismología.

La presentación de nuestro trabajo no es el resultado de una investigación ya realizada como hemos comentado con anterioridad, se refiere exclusivamente a un patrón de tipo teórico que nos sirva como brújula en el posterior desarrollo del trabajo que hemos iniciado y que esperamos llegue a buen puerto. Por ello incluimos :

- En primer lugar una definición etimológica y técnica enlazada de los términos Calidad- Vulnerabilidad- Riesgo- Seguridad.
- En segundo lugar, una tabla resumen de los factores de Riesgo tratados en la definición del grado de Vulnerabilidad. Así como los coeficientes de seguridad propuestos en función de estos factores.
- En tercer lugar presentamos las recomendaciones a la calidad desde el Grado de Vulnerabilidad, entendiendo como es obvio que estas recomendaciones no son de obligado cumplimiento, solo una posible ayuda para los consultores que hacen de la Calidad de sus proyectos una norma de vida.

Este trabajo nace con una voluntad cierta de ser de aplicación, tomando como campo de estudio la autovía A-92 en la provincia de Granada.

## I.- INTRODUCCIÓN.

Debido a la complejidad del análisis del comportamiento de las obras lineales frente a los distintos factores de Riesgo potenciales, la complejidad aun mayor de la valoración de los daños provocados por dichos factores, la inexistencia de definiciones generales aceptadas de los términos usados, la intolerancia, cada vez mayor, de la población frente a estos daños, así como el aumento de una demanda de la población para la seguridad de sus familias, hogares y bienes, nos vemos obligados a encontrar métodos para dar soluciones a cada uno de estos problemas.

Uno de ellos podría ser relacionar Vulnerabilidad, Riesgo y Seguridad con la Calidad ya que parece evidente la existencia de dicha relación.

Empezaremos definiendo cada vocablo, para ello no basaremos en términos probabilísticos.

## II.- VULNERABILIDAD (V).

Grado de pérdida de un elemento o conjunto de elementos bajo riesgo, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud dada y expresada en una escala de cero “ningún daño” a uno “perdida total”.

La vulnerabilidad la podemos dividir en dos términos: (cole 1993)

- *vulnerabilidad estructural* ( $V_s$ ).
- *vulnerabilidad material* ( $V_m$ ).

Consideraremos que la vulnerabilidad es independiente del tipo de fenómeno o peligro.

$$V = V_s * V_m$$



Figura 1. Patologías en los firmes.

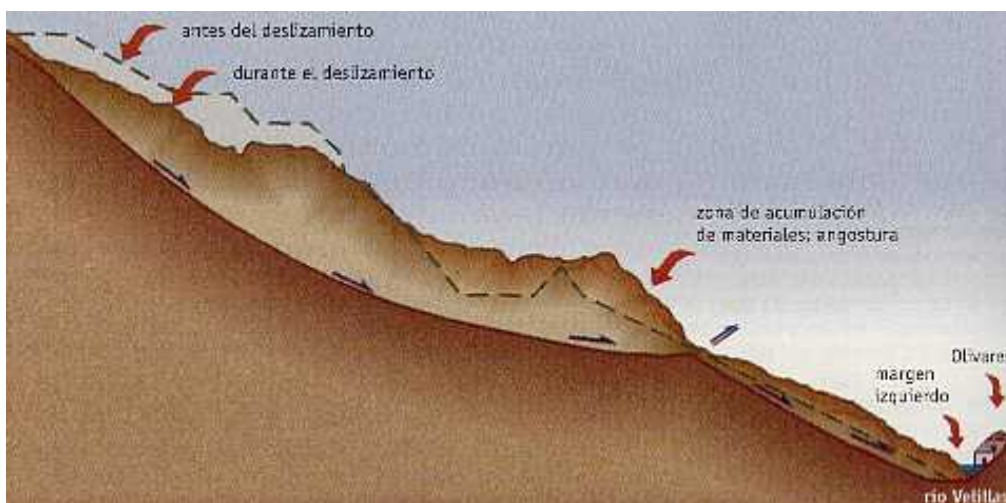


Figura.2.- Representación de un deslizamiento en Olivares ( provincia de Granada) .

Otra división sería la que formuló, *Morgan*, 1992 que dividía la vulnerabilidad en tres términos:

- **Vs**: probabilidad del impacto espacial que un elemento sea afectado por el fenómeno en caso de que ocurra.
- **Vt**: probabilidad de impacto temporal (por ejemplo: que la casa este ocupada en el momento del impacto.)
- **VI**: probabilidad de pérdida de un usuario en particular en el momento de impacto, o la proporción del valor del elemento de impacto que se pierde.

Y la vulnerabilidad sería :

$$V = V_s * V_t * V_I$$

## II.- RIESGO (R).

Es el número de pérdidas de vidas humanas esperado, personas heridas, daños a propiedades e interrupción de actividades económicas a causa de fenómenos naturales particulares.

Aquí entran dos parámetros de gran importancia que son:

Elementos de riesgo (Er): población, edificios, instalaciones, obras e infraestructura, actividades económicas, servicios públicos, expuestos a una amenaza.

Riesgo específico (Re): Cálculo matemático de pérdidas (elementos de riesgo) durante un periodo de referencia (suele ser un año) en una región dada para un peligro particular.

Se calcula mediante el producto de la amenaza por la vulnerabilidad.

Amenaza(I): probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente perjudicial en un área dada en un periodo específico.

$$R = R_e * E_r$$



Figura 3. Desprendimientos a causa de un terremoto. Inutilización de la vía de comunicación.

Existen dos términos que tienen gran influencia sobre los valores de riesgos y sus costes, estos son riesgos voluntarios y riesgos inaceptables; se ha demostrado que la población está dispuesta a aceptar riesgos voluntarios aproximadamente 1000 veces más que involuntariamente impuestos, sobre la aceptabilidad de riesgos no hay información detallada, lo que si está claro es que la población acepta menos sucesos de muerte múltiple que un número de sucesos con menos muertes.

El riesgo aceptable debería ser dependiente del número de vidas perdidas en un suceso, inversamente proporcional.

Centrándonos en los riesgos geológicos podemos dividirlos en: riesgos causados por materiales geológicos y riesgos derivados de procesos geológicos.

Materiales geológicos: la reducción de los riesgos causados por materiales geológicos podría llegar a ser el más costoso de los proyectos que tendrá que soportar la sociedad durante el siglo XXI, y son debidos a minerales reactivos (suelos expansivos), asbestos, radón y otros gases peligrosos.

Procesos geológicos: son procesos dinámicos que caracterizan a nuestro planeta, frente a los cuales solo podemos tomar precauciones ya que sus efectos pueden no ser apreciables pero llegar a ser devastadores. Estas pérdidas se minimizan mediante la zonificación de los usos del suelo y la realización de proyectos de ingeniería que tengan en cuenta la geología. De estos riesgos podemos destacar los debidos a terremotos, deslizamientos, subsidencias, inundaciones, etc.

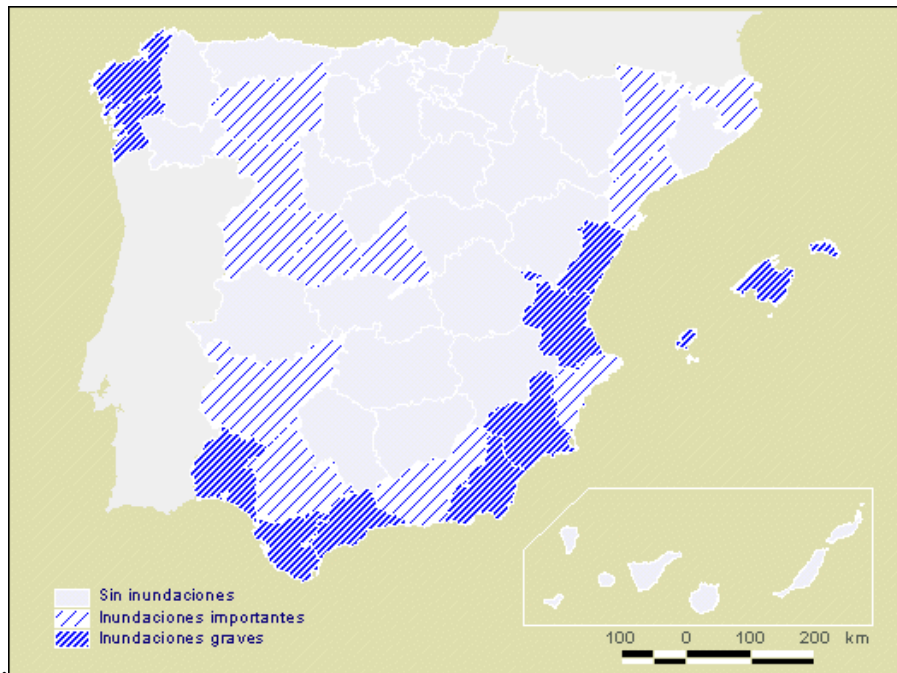


Figura 4 y 5. Mapa de caracterización de las zonas de riesgos y de daños por inundaciones.



	Alto	Moderado	Bajo
Riesgo	$10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$

Figura 6. Tabla de clasificación de riesgos .

### **III.- SEGURIDAD.**

A rasgos generales, la seguridad es la ausencia o la probabilidad reducida de riesgos de accidentes. En cuanto a infraestructuras, la seguridad es el margen que se tiene en cuenta en los cálculos de estructuras, mayorando las solicitaciones o minorando la resistencia tomada en cuenta para los materiales.

La creciente preocupación de la sociedad por la seguridad, ha conducido en los



Figura 7. Edificios totalmente destruidos por causa de un terremoto.

últimos años al desarrollo de una serie de iniciativas que tratan de fomentar la seguridad como tarea prioritaria.

A partir de un determinado nivel, los fallos y accidentes producidos tienen una amplia repercusión en los medios y un gran impacto social.

Dicho así, queda claro que la seguridad debe ser el eje sobre el que debe girar la construcción.

La valoración de seguridad en las estructuras geotécnicas se basa

normalmente en descripciones del comportamiento utilizando modelos teóricos. Las interpretaciones de cualquier modelo intentarán representar el comportamiento de la estructura. Sin embargo, en vista de las idealizaciones mediante análisis matemáticos, habrá algún grado de imprecisión entre las predicciones del modelo y el comportamiento de la estructura completada.

Una forma de corregir estos errores es usando lo que llamamos “factores de seguridad”. Estos son, la relación entre las solicitaciones que provocan la ruina y el valor de las solicitaciones de diseño previstas por la reglamentación.

S<sub>d</sub>: solicitaciones desfavorables

S<sub>D</sub>: solicitaciones de diseño.

$$F_s = S_d / S_D$$

Para conocer los niveles de seguridad, podríamos aplicar lo siguiente:

Si suponemos tres grados de funcionamiento: estado de servicio (S), estado de fallo (F) y estado de daños reparables (Dr), tendríamos la siguiente relación:

$$MS_1 = C_1 - D > 0 \text{ caso de estado de servicio.}$$

$$MS_2 = C_2 - D < 0 \text{ caso de estado de fallo.}$$

$$MS_3 = (Z_1 < 0) \text{ y } (Z_2 > 0).$$

En términos probabilísticos:

Estado de servicio  $\implies P_s = P(Z_1 > 0)$

Estado de fallo  $\implies P_f = P(Z_2 < 0)$

Estado de daños reparables  $\implies P = 1 - P_s - P_f$

#### **IV.- CALIDAD.**

Históricamente, la calidad ha sido identificada con control de calidad como “las técnicas y actividades de carácter operativo utilizadas para cumplir las necesidades de las características de una entidad que permiten su realización y examen”, la calidad era entendida como producto final, tan solo se detectaba la existencia de errores pero no lo más importante, sus causas.

En cambio, a finales de la pasada década y sobre todo a principios de ésta, cuando comienzan a aparecer normativas y recomendaciones sobre aseguramiento de calidad, como “conjunto de acciones planificadas y sistemáticas implantadas dentro del sistema de calidad, y demostrables, si es necesario, para proporcionar la confianza adecuada de que una entidad cumplirá los requisitos para la calidad”(ISO 8402.94).

La calidad es un concepto que adquiere cada vez más importancia como elemento estratégico de las empresas y países, de cara a la implantación de sus productos en mercados más exigentes y competitivos. En primer lugar intentaremos analizar las razones de las dificultades del sector de la construcción para que se generalice la implantación de las técnicas de gestión de la calidad con el mismo grado de éxito que se ha dado en otras industrias.

Esta intención de mejora se basa en dos razones fundamentales:

- la constatación de que las prácticas actuales suponen pérdidas en las empresas como consecuencia de los fallos internos (durante la fase de producción).
- La persistencia de una determinada tasa de fallos externos (cuando la construcción ha sido ya entregada) da lugar a reclamaciones de los usuarios que se resuelve en los tribunales o mediante otros procedimientos.



Figura 8. Construcción de una carretera.

Además de estos dos puntos principales, a los costes totales de calidad del sector se se añade, en la actualidad, los costes a seguir de daños y el control asociado.

La construcción constituye una actividad muy singular, en la que intervienen múltiples agentes, lo que conlleva a algunas características propias de este sector:

- Cada obra constituye un prototipo.
- La mano de obra es, en gran parte, poco cualificada y con mucha rotación.
- Existe una gran complejidad tecnológica en su diversificación y evolución debido al número de variables que intervienen.

- Hay multiplicidad de agentes participantes.
- Las responsabilidades no están todavía muy bien delimitadas.
- Es un sector cíclico, lo que dificulta enormemente la planificación estratégica a medio y largo plazo.
- Gran proliferación de normativas y ésta se encuentra muy dispersa.
- La relación promotor / cliente es muy especial.

No cabe duda que en la sociedad existe, en general, una sensación de falta de calidad en el sector, con críticas constante.



Figura 9. Estructura colapsada por los efectos de un fenómeno sísmico.

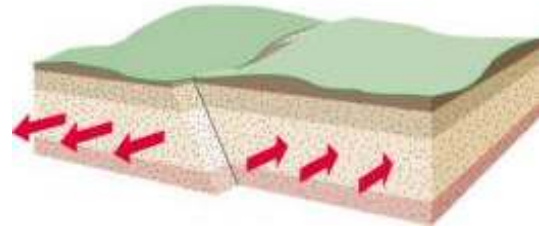


Figura 10. Mecanismo geológico de un terremoto.

El control de calidad pasa por:

- Las responsabilidades de la dirección: la empresa debe establecer su política y organización de manera formal y agregando el campo de calidad.
- Sistema de calidad: tiene el objetivo de asegurar que un producto a través de su proceso sea conforme con los requisitos establecidos siguiendo la planificación de calidad.
- Revisión de contrato: se determina la necesidad de recoger como actuaremos en las sucesivas revisiones y mantener las modificaciones controladas.
- Control de la documentación y de los datos.
- Compras: se definen todos los datos de las compras.
- Control de los productos suministrados por los clientes: es necesario definir como se actuará cuando el cliente nos proporcione sus productos, manteniendo registros de daños y pérdidas.
- Identificación y trazabilidad del producto: hay que establecer procedimientos para poder identificar de forma inequívoca, desde la recepción hasta la ejecución o colocación, cada lote.
- Control de los procesos: debemos asegurar que los procesos se llevan a cabo siguiendo lo recogido en los procedimientos. Así mismo, los procesos especiales (aquellos en los que nos puedan verificar mediante ensayos posteriores o que las deficiencias del proceso se manifiestan durante la utilización del producto) tienen que estar claramente definidos tanto en su ejecución como el personal y los medios que se utilizan.
- Inspección y ensayo: es una tarea ardua pues hay que trabajar en la recepción, producción y final de los lotes. Llevar a cabo las inspecciones y controles en obra, por los mismos operarios. Es de los aspectos mas complejos y que requiere

grandes dosis de formación y mentalización del personal. Es interesante simplificar al máximo los formatos e ir modificándolos con el paso del tiempo hasta que se llegue a su punto de máxima utilidad.

- Control de los equipos de inspección, medición y ensayo: no tiene mas que mantener los equipos en el correcto estado de calibración y realizar periódicamente las necesarias verificaciones.
- Estado de inspección y ensayo.
- Control de los productos no conformes: debemos evitar la colocación de un lote que no cumpla las especificaciones marcadas y las especificaciones.
- Acciones correctoras y preventivas: su implantación se realiza tras reclamaciones, no conformidades o causas de no potenciales.
- Manipulación, almacenamiento, embalaje, conservación y entrega.
- Control de los registros de calidad: es un apartado nuevo el establecer procedimientos para mantener al día y conservar los registros de calidad. Se controla en la primera fase de la implantación.
- Auditorias internas de la calidad, se trata de verificar el nivel de implantación del sistema de calidad en la empresa.
- Formación, es el aspecto más importante debido a que la industria de la construcción ha carecido históricamente de personal cualificado a nivel de obras.
- Servicio post-venta, se deriva de la exigencia del cliente, redactándose procedimientos para ponerlos en práctica.
- Técnicas estadísticas, para implantarlas: se debe tener un archivo histórico de registros y preferiblemente informático.



Figura 11.Deslizamiento en Chile.



## **V.- TABLA RESUMEN DE LOS FACTORES DE RIESGO.**

	Vulnerabilidad	Riesgo	Coficiente Seguridad	Calidad
Breve descripción	Grado de pérdida de un elemento bajo riesgo	Nº de pérdidas humanas esperado.	Estimación de la imprecisión del resultado.	Conjunto de acciones para proporcionar confianza.
Unidad de medida	0 ningún daño 1 pérdida total	10 <sup>-2</sup> alto 10 <sup>-4</sup> moderado 10 <sup>-6</sup> bajo	Menor o igual que uno.	
Aceptabilidad		Según sea voluntario o involuntario.		
Relación entre definidos				
Correlaciones entre términos				
Ámbito de aplicación	De un elemento del conjunto			
Sistematización del proceso	Definir funciones Intensidad / grado			
Afecciones	Personas Uso de la vía a fincas	Personas Bienes Actividades económicas Servicios		
Referente palabras clave	Porcentaje de daños.	Procesos que afectan a la estabilidad		

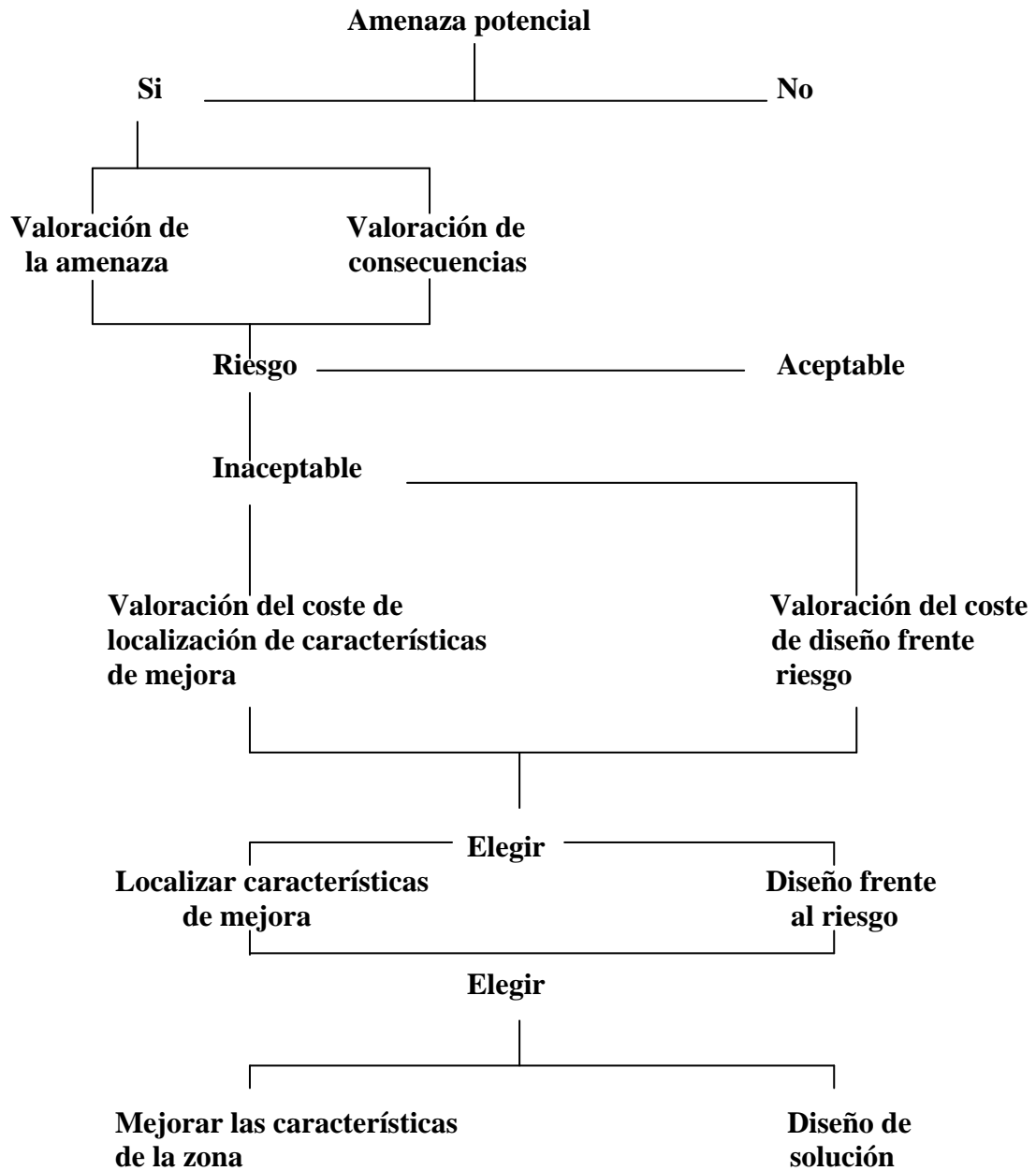
## **IV.- CONCLUSIONES.**

Queda clara la relación entre los términos ya definidos. Podríamos decir que cada factor influye en los demás y lo condiciona. En la teoría de sistemas esta relación se llama “retro-alimentación” o bien “feed-back”, que es una secuencia cíclica que permite regular el proceso por medio de la propia información generada por los resultados del mismo.



Sistema de “feed-back”

En caso de enfrentarnos a una amenaza deberíamos actuar de la siguiente forma:



## **V.- BIBLIOGRAFIA**

- *Risk and reliability in ground engineering: proceeding of the conference organised by the institution of civil engineers, and held in London in 11 and 12 november 1993 (edited by B.O Skipp).*
- *Guía ciudadana de los riesgos geológicos: guía para comprender los riesgos geológicos, incluyendo suelos expansivos, asbestos, radón, terremotos....* Proctor, Richard J (coaut) / Moser, Paul U.(coaut) /Nuhfer, Edward B.(aut). Madrid, colegio oficial de Geólogos, 1997.
- *Geological hazards: earthquakes, tsunamis, volcanoes, avalanches, landslides* Bolt, B. A. (coaut.) / Macdonald, G. A. (coaut.) /Scott, R.F. (caut) Berlin: Springer, 1975.
- *Calidad y coste total en la construcción.* Croome, D. J. (col)/ Sherratt, A.F.C.(col.) Barcelona, Gustavo Gili, 1980.
- *Calidad en construcción, las cosas claras.* Madrid: Asociaron Española para la Calidad, 2001.
- *Introducción al problema de la vulnerabilidad de las infraestructuras de carreteras.* Jacobo Díaz Pineda.(director técnico de la Asociación Española de la Carretera) Carreteras, num. 106 enero-febrero 2000.

## **VI.- AGRADECIMIENTOS**

Nuestro más sincero agradecimiento a la Fundación Empresa – Universidad de Granada y a PROBISA por su apoyo.