



Universidad de Oriente
Facultad de Construcciones
Departamento de Ingeniería Hidráulica

Ideas básicas para una monografía temática sobre vulnerabilidad sísmica en obras hidráulicas

Tesis en opción al título de Ingeniero Hidráulico

Autor:

Mirliobis Chic Martínez

Tutor:

DrC. Liber Galbán Rodríguez

Junio, 2020



DEDICATORIA

- Este trabajo está dedicado a las personas que considero imprescindibles en mi vida:
- A mis padres, por su apoyo incondicional durante esta trayectoria, por hacer de mí la persona que soy y por servirme de ejemplo como padre y profesional.
- A mi hermana, que me ha dado la confianza y seguridad para seguir adelante.
- Mi pareja, por estar siempre a mi lado y confiar en mí.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis agradecimientos a todas las personas que contribuyeron de forma directa o indirecta para que la realización de esta tesis fuera posible.

- Quiero agradecerle a Dios por permitir que este sueño se hiciera realidad
- Agradezco de forma especial a mi tutor DrC. Liber Galbán Rodríguez por su constante apoyo, por estar siempre dispuesto a ayudar, por su experiencia y profesionalidad.
- Agradecerle de forma especial al Teniente Coronel Evaristo y al Teniente Coronel Osorio por su apoyo y dedicación durante esta trayectoria.
- A todos los docentes que me formaron y con quienes compartimos el día a día en la facultad.
- Quiero mencionar a quienes realizaron valiosos aportes para esta tesis y me orientaron desinteresadamente en numerosas oportunidades, Raúl Pérez Director Técnico de Recursos Hidráulicos Holguín y a los especialistas de Recursos Hidráulicos de Santiago de Cuba.
- Gracias a mis compañeros y amigos, que juntos pudimos seguir adelante, y llegar hasta el final en especial a Jorge Lázaro Céspedes Rojas y Leandro Alfonso Osorio.
- No podría haber afrontado este desafío sin la contención de mi familia. Mis tías queridas y en especial a mi tío Miguel Chic.
- Quiero también expresar mi enorme agradecimiento a mis padres, Odalis Martínez y Mirleider Chic, no sólo por su apoyo incondicional, sino por haberme dado todas las herramientas que necesité para transitar este camino. Son mi ejemplo. Y a mi única y queridísima hermana Yannelis por estar siempre presente.
- A todos muchas gracias.

ÍNDICE

➤ RESUMEN	5
➤ ABSTRACT	6
➤ INTRODUCCIÓN	7
➤ CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	10
➤ 1.1 El impacto de los sismos en las obras hidráulicas.	10
➤ 1.1.1 Los fenómenos sísmicos y el peligro sísmico.	10
➤ 1.1.2 Las obras hidráulicas y el impacto de los fenómenos sísmicos que causan desastres.....	13
➤ 1.1.3 La vulnerabilidad sísmica en obras hidráulicas	15
➤ 1.1.4 El riesgo sísmico en obras hidráulicas	22
➤ 1.2 Sobre la inspección técnica de las obras hidráulicas actualmente en Cuba.	26
➤ 1.3 Necesidad de la monografía sobre estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos sísmicos en obras hidráulicas, en la asignatura El ingeniero hidráulico en la defensa de la carrera de Ingeniería Hidráulica.	27
➤ 1.3.1 Los estudios de vulnerabilidad sísmica y la asignatura El Ingeniero hidráulico en la defensa.....	27
➤ 1.3.2 Características de las monografías.....	28
➤ CAPÍTULO 2. ELEMENTOS GENERALES PARA LA ELABORACIÓN LA MONOGRAFÍA SOBRE EVALUACIÓN VULNERABILIDAD Y RIESGOS SÍSMICOS EN OBRAS HIDRÁULICAS.....	31
➤ 2.1 Descripción de las características del peligro generado por los fenómenos sísmicos en el área de estudio.....	33
➤ 2.2 Descripción de las características constructivas y de funcionamiento actual de la obra hidráulica, así como otros estudios y acciones preliminares realizadas con anterioridad.	36
➤ 2.3 Evaluación de la vulnerabilidad de los componentes de la obra hidráulica ante los fenómenos sísmicos.....	39
➤ 2.3.1 Recomendaciones para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en edificios administrativos y otros asociados a las obras hidráulicas.....	45

TRABAJO DE DIPLOMA

➤ 2.3.2 Recomendaciones para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en tanques de almacenamiento de agua.	46
➤ 2.3.3 Recomendaciones para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en grandes conductoras de agua.....	47
➤ 2.3.4 Recomendaciones para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en Estaciones de bombeo.....	48
➤ 2.3.5 Recomendaciones para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en sistemas de alcantarillados.	49
➤ 2.3.6 Recomendaciones para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en canales de agua.	50
➤ 2.3.7 Recomendaciones para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en presas.	51
➤ 2.4 Estimación de los riesgos sísmicos presentes en los componentes y la obra hidráulica en general.....	52
➤ 2.5 Realización de las recomendaciones de intervención tecnológica y acciones organizativas para reducir las vulnerabilidades y riesgos sísmicos.	54
➤ CONCLUSIONES	57
➤ RECOMENDACIONES	58
➤ BIBLIOGRAFÍA	59
➤ Anexo 1	64

RESUMEN

Las amenazas o peligros que afrontan las obras hidráulicas son de carácter natural o antrópico, entre las más desastrosas están los sismos o terremotos. Cuando se presenta una amenaza sísmica, a nivel institucional de los Recursos hidráulicos, se suele detener la producción, dañar maquinaria, equipos y tuberías en obras hidráulicas. Este efecto es causado por el nivel de vulnerabilidad que estas presentan.

En el presente trabajo se realiza un estudio sobre las ideas básicas para la realización de una Monografía que recopila información acerca de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en obras hidráulicas (canales, estaciones de bombeo, sistemas de alcantarillado, presas, entre otros), sirviendo así como un medio de enseñanza para los estudiantes del 2do. año de la carrera de Ingeniería Hidráulica en la asignatura El Ingeniero Hidráulico en la Defensa, perteneciente al currículo optativo electivo del Plan de Estudios E. Finalmente se propone un procedimiento general a seguir para lograr este propósito,

ABSTRACT

The threats or hazards that hydraulic works face are natural or anthropic, among the most disastrous are earthquakes. When there is a seismic threat, at the institutional level of the Hydraulic Resources, production is usually stopped, damaging machinery, equipment and pipes in hydraulic works. This effect is caused by the level of vulnerability they present.

In the present work a study is carried out on the basic ideas for the realization of a Monograph that compiles information about the assessment of seismic vulnerability in hydraulic works (channels, pumping stations, sewage systems, dams, among others), thus serving as a means of teaching for the students of the 2nd. year of the Hydraulic Engineering career in the subject The Hydraulic Engineer in Defense, belonging to the optative elective curriculum of the E Study Plan. Finally, a general procedure is been proposed to get the initial objective.

INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo económico y social de las regiones y estados, paralelo al mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes se genera también un incremento de factores de vulnerabilidad y riesgo. El hombre crea obras constructivas de todo tipo, cada día más sofisticadas y complejas para conformar la infraestructura que permite dicho desarrollo, las cuales, a su vez, a través de sus diversas vulnerabilidades, contribuyen al incremento de los riesgos de daños en las personas y sus bienes, los que se catalizan con la ocurrencia de eventos naturales extremos e inclusive con el propio accionar del hombre al hacer uso de estas.

La prevención y mitigación de riesgos es una problemática actual y de carácter multidisciplinario que adquiere un carácter universal. Cada día crece más el interés por estos temas, sin embargo, aunque se encaminan los esfuerzos hacia la gestión de riesgos, prevalece una visión correctiva, es decir, un accionar luego de ocurrido el desastre o el daño. Sin embargo, emerge con gran fuerza la necesidad de prevenir, de adelantarse al futuro, evaluando, analizando y tomando todas las medidas para preparar a las obras y a las personas que las explotan para enfrentar cualquier tipo de amenaza o peligro. Se precisa entonces determinar, caracterizar y evaluar los principales factores de vulnerabilidad de las obras hidráulicas, siendo así la mejor manera de prevenir y mitigar los riesgos y garantizar un desarrollo sustentable.

Actualmente los contenidos relacionados con las evaluaciones de peligro, vulnerabilidad y riesgos asociados a las obras hidráulicas se están introduciendo con fuerza en el Plan de Estudio E para la carrera de Ingeniería Hidráulica de la Facultad de Construcciones en la Universidad de Oriente, específicamente en la asignatura El Ingeniero Hidráulico en la Defensa y otras relacionadas. Esto provoca un cambio de concepción que inicialmente traía la asignatura en el plan de estudio anterior, lo que está soportado en las indicaciones del Estado cubano relacionadas a los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos que deben realizarse por las instituciones.

El proceso de enseñanza-aprendizaje tiene como propósito esencial a la formación integral de la personalidad del educando, constituyendo la vía mediatizadora fundamental para la adquisición de conocimientos, procedimientos, normas de comportamiento y valores. La integralidad de este proceso radica precisamente en que

TRABAJO DE DIPLOMA

éste dé respuesta a las exigencias del aprendizaje de los conocimientos del desarrollo intelectual y físico de los estudiantes y a la formación de sentimientos, cualidades y valores, todo lo cual dará cumplimiento a los objetivos de la educación en sentido general y en particular a los objetivos de cada enseñanza.

En esta investigación se hace referencia directa al papel de los medios de enseñanza dentro del proceso de enseñanza- aprendizaje según las nuevas exigencias que sugieren las transformaciones en la Educación Superior. Estos medios de enseñanza como herramienta, sirven de hoy al profesor en la docencia favoreciendo el desarrollo de habilidades, hábitos y capacidades que contribuyen a la formación de convicciones, actitudes y viabilizan la actividad del aprendizaje de los alumnos. Existe toda una diversidad de medios de enseñanza, por ejemplo: libros de textos, manuales, guías de estudio, láminas, fotografía, películas, modelos y maquetas, objetos reales, médicos técnicos, simuladores, médicos audiovisuales, entre muchos otros, sin embargo, todos son importantes.

En el caso de los manuales o monografías especializadas sobre una temática en particular, por sus características, tienen la ventaja de abordar un tema específico con mayor profundidad, de modo que los estudiantes o profesionales que las usen se sientan informados y motivados sobre este tema.

La revisión bibliográfica y documental realizada en el 2do. año de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, pudo constatar la necesidad de perfeccionar el proceso de enseñanza- aprendizaje, a través de una monografía actualizada sobre formas de evaluación de peligro, vulnerabilidad y riesgos en obras hidráulicas, como medio de enseñanza que propicie la gestión del conocimiento por parte de los estudiantes en la asignatura El Ingeniero Hidráulico en la Defensa que forma parte del currículo optativo electivo de la carrera, y tiene como objetivos fundamentales:

1. Identificar los elementos del proceso de compatibilización de una obra o proyecto hidráulico con los intereses de la defensa del país según la normativa vigente.
2. Caracterizar los principios metodológicos para los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos ante el impacto de distintos fenómenos ambientales a las obras hidráulicas y fuentes de agua.

TRABAJO DE DIPLOMA

Actualmente existe mucha información en distintos formatos sobre los temas de peligro, vulnerabilidad y riesgos en obras hidráulicas, sin embargo, su incorporación en un medio de enseñanza, podría contribuir de forma significativa al proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura El Ingeniero Hidráulico en la Defensa.

Problema de investigación: Necesidad de medios de enseñanza alternativos para optimizar la gestión del conocimiento sobre peligro, vulnerabilidad y riesgos sísmicos en obras hidráulicas por parte de los estudiantes del 2do año de la carrera de Ingeniería Hidráulica en la asignatura El Ingeniero Hidráulico en la Defensa.

Objeto de estudio: Proceso de enseñanza – aprendizaje en la asignatura de El Ingeniero Hidráulico en la Defensa

Objetivo general: Elaborar las ideas básicas para una monografía como medio de enseñanza que propicie la gestión del conocimiento sobre peligro, vulnerabilidad y riesgos sísmicos en obras hidráulicas por parte de los estudiantes del 2do. año de la carrera de ingeniería Hidráulica en la asignatura El Ingeniero Hidráulico en la Defensa.

Campo de acción: Medios de enseñanza y aprendizaje de la asignatura de El Ingeniero Hidráulico en la Defensa.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar el peligro, la vulnerabilidad y riesgos sísmicos en obras hidráulicas.
2. Exponer las ideas básicas para una monografía sobre peligro, vulnerabilidad y riesgos sísmicos en obras hidráulicas.

Hipótesis: Si existiera una monografía como medio de enseñanza que propicie de manera eficiente la gestión del conocimiento por parte de los estudiantes del 2do añade la carrera de Ingeniería Hidráulica en la asignatura El Ingeniero Hidráulico en la Defensa, sobre peligro, vulnerabilidad y riesgos sísmicos en obras hidráulicas, entonces se pudiera optimizar el proceso de enseñanza – aprendizaje en dicha asignatura.

CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

1.1 El impacto de los sismos en las obras hidráulicas.

Dentro de los sistemas constructivos y de servicios se destacan las obras hidráulicas: Acueductos, alcantarillados, las grandes conductoras de agua, plantas de tratamiento de agua para consumo humano, plantas de tratamiento de aguas residuales, los sistemas bombeo, las cisternas, los tanques de almacenamiento de agua, las presas, los edificios administrativos y otros asociados a las obras hidráulica. Estas obras hidráulicas por ser parte de la infraestructura básica o esencial para la vida actual, deberían ser las mejores preparadas ante la ocurrencia de algún fenómeno que pueda ocasionar una emergencia. A causa del colapso de sistemas como el de acueducto y alcantarillado de algunas ciudades por los efectos desastrosos del impacto de los terremotos, su población ha sufrido pérdidas millonarias, no sólo económicas, sino también humanas por la degradación general de la salud de sus habitantes posterior al impacto. Esta situación ha traído la proliferación de epidemias como el cólera, la malaria, el dengue, y otras ya conocidas.

1.1.1 Los fenómenos sísmicos y el peligro sísmico.

Un sismo, terremoto o temblor de tierra es un fenómeno geológico de carácter repentino que ocurre en un punto o área de la corteza terrestre, donde se produce un movimiento brusco o violento que genera una liberación súbita de energía acumulada en el interior de la tierra; este movimiento causa una redistribución súbita de masas en la corteza terrestre y ondas de choque, también conocidas como ondas sísmicas, que se propagan desde el punto de origen y viajan a través de la Tierra (Galbán, 2012).

Correig (2006), considera que un terremoto ocurre por un proceso de relajación de los esfuerzos acumulados en la corteza terrestre, especialmente en los bordes de las placas litosféricas, debidos a las deformaciones provocadas por su movimiento relativo.

(Figura 1.1)



Figura 1.1 Escenario físico de la ocurrencia de terremotos. (Correig, 2006)

TRABAJO DE DIPLOMA

Los terremotos se caracterizan por cinco elementos o parámetros:

- Foco: (Hipocentro) Lugar en la profundidad de la corteza terrestre donde se libera la Energía del Sismo. Esa profundidad se da como h en km. (Figura 1.2).
- Tiempo de origen: La hora a la que se produce la liberación de Energía en el Foco. Se da en el Tiempo Universal Coordinado (UTC): UTC= hora local+5 en invierno, UTC= hora local+4 en verano.
- Epicentro: El Punto de la superficie terrestre perpendicular al Foco. Ese Epicentro se da en coordenadas de Latitud Norte (Lat. N) y Longitud Oeste (Lon. W). El epicentro se localiza trazando una línea vertical sobre el foco hasta la superficie terrestre (Figura 1.2).
- Magnitud: Valor proporcional a la Energía liberada. Ese valor se da generalmente en Magnitud Richter con valores que van de uno a diez (1 - 10), aunque actualmente es común también emplear la escala de momento (Tabla A1.1), sobre todo para aquellos que sobrepasan la magnitud 7 en la escala Richter (Figura 1. 2). Al generarse un temblor las ondas sísmicas se propagan en todas direcciones, provocando el movimiento del suelo tanto en forma horizontal como vertical.
- Intensidad: En los sismos perceptibles, es el valor que representa las características de los efectos producidos en la superficie sobre las personas, edificaciones o el medio circundante. Existen varias escalas de Intensidad, como la Mercalli Modificada (MM), JMA de Japón, la EMS y la MSK.

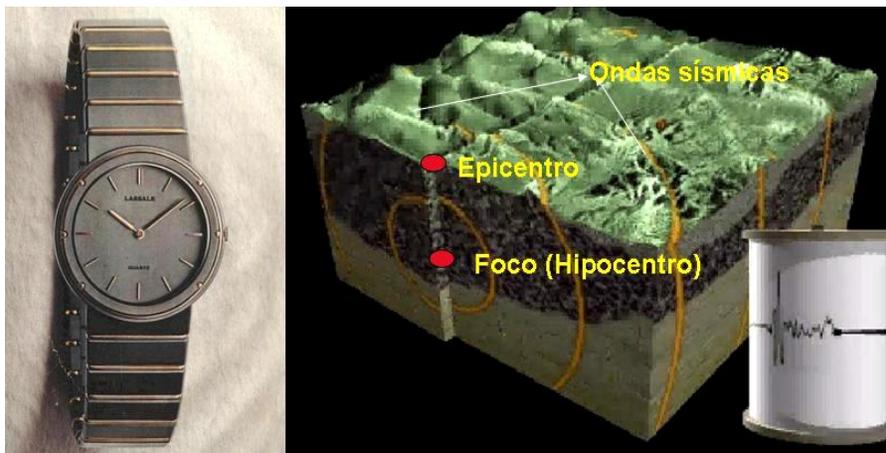


Figura 1.2. Imagen que muestra el foco y el epicentro de un sismo o terremoto, así como las ondas viajando en fracciones de tiempo.

es cuáles son las zonas de conflicto y la frecuencia aproximada de los terremotos más intensos. Independientemente a estas consideraciones, lo cierto es que sólo una vez en la historia reciente los sismólogos lograron anticipar con éxito un gran terremoto y establecer comunicación y medidas gubernamentales para evacuar a la población: La predicción ocurrió días antes del 4 de febrero de 1975, cuando un destructivo terremoto de 7,3 Richter azotó a la localidad de Haicheng, en el noreste de China, dañando casi la totalidad de las estructuras de la urbe.

Hoy existen diversas instituciones que se destacan a nivel internacional en el estudio y medición de la magnitud de los terremotos que se suceden a nivel global, la mayoría ofrece información gratuita en tiempo real. Se destacan: el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en Inglés), el Servicio Geológico Japonés (JGS), el Servicio Geológico Chino, y otros que nacionalmente en sus países se encargan de monitorear la actividad sísmica local. En Cuba el encargado de esta actividad es el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS)

El peligro o amenaza sísmica es un término técnico, mediante el cual se caracteriza numéricamente la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de origen sísmico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, con una magnitud que depende de la distancia al epicentro donde se originó el sismo, el tipo de suelo que se encuentra en este sitio, generando efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente. (Galbán, 2020)

1.1.2 Las obras hidráulicas y el impacto de los fenómenos sísmicos que causan desastres.

En la literatura internacional suele llamarse al conjunto de obras construidas por el hombre para captar, almacenar, conducir, tratar y distribuir los recursos hídricos como sistemas de agua y saneamiento (En inglés “water supply systems”).

El concepto de obra hidráulica es un término más general, reúne a las obras concentradas y no concentradas (lineales o no) construidas para la captación, almacenamiento, conducción, potabilización, distribución, uso, recolección, evacuación, riego, drenaje y tratamiento de las aguas residuales antes de su vertimiento, o de cualquier tipo de obra que se haya concebido para captar, conducir, controlar o proteger los recursos hídricos. Entre las más conocidas están:

TRABAJO DE DIPLOMA

- Acueductos
- Alcantarillados
- Plantas potabilizadoras de agua para consumo humano
- Plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Sistemas bombeo
- Cisternas
- Tanques de almacenamiento
- Canales hidráulicos
- Presas
- Sistemas de riego y drenaje agrícola, o de uso para jardinería.
- Obras de extracción de aguas subterráneas
- Edificios administrativos y otros asociados a las obras hidráulicas.
- Instalaciones interiores en edificaciones para agua potable, aguas residuales y sistemas contra incendio.
- Entre otras.

La ingeniería hidráulica (también conocida como la ingeniería del agua y los fluidos) es la rama de ciencia que se encarga del estudio, aprovechamiento y protección de los recursos hídricos e hidráulicos terrestres y marítimos, es decir, desde los océanos hasta los ríos, incluyendo los lagos, los arroyos y las lagunas, presas, humedales, acuíferos, etc.; de manera que se garanticen el desarrollo sostenible de la sociedad y la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres. Para esto emplea distintos métodos y técnicas actuales de uso común en la profesión que requieren del dominio y aplicación por los profesionales que la practican. (Galbán, 2019)

Para el correcto funcionamiento de las obras hidráulicas existen determinados principios que los especialistas de esta rama de la ciencia emplean comúnmente, entre ellos:

- Calidad del agua.
- Mecánica de los fluidos.
- Conducciones forzadas.
- Conducciones libres.
- Conducciones de los fluidos en medios porosos.
- Esgurrimiento superficial y subterráneo.

- Estática y dinámica de las estructuras.

Los principios antes mencionados son evaluados intrínsecamente para el funcionamiento de las obras hidráulicas y, dependen a su vez, de distintos indicadores que tienen que ver con el diseño hidráulico, constructivo y equipamiento empleado en estas obras. Para ello, los especialistas han diseñado un conjunto de metodologías que no se explican en este documento, debido a que forman parte de la forma y características físicas, químicas y biológicas de los fluidos que estas obras procesan y el funcionamiento tecnológico del equipamiento y partes componentes.

Las obras hidráulicas se construyen generalmente sobre el terreno o soterradas, aunque muchas veces se combinan estas formas, por tanto el impacto de los sismos a éstas tiene que ver en primer lugar, con la incidencia de los esfuerzos causados en el terreno por las ondas sísmicas, y consecuentemente sobre la infraestructura civil de la obra hidráulica en cuestión. Esta es la razón por la que en este texto se hace énfasis en la vulnerabilidad sísmica constructiva de las obras hidráulicas.

1.1.3 La vulnerabilidad sísmica en obras hidráulicas

Autores como Ayala (2002), Cardona (2003), Lavell (2009), entre otros, plantean que la vulnerabilidad está representada por la predisposición intrínseca de elementos a sufrir daños debido a posibles acciones externas. Tiene causantes relacionadas con el comportamiento humano, tanto individual como social y, crece exponencialmente con el crecimiento de la población y los grandes conglomerados urbanos e industriales.

La vulnerabilidad es un proceso dinámico y sus manifestaciones varían de una comunidad a otra, o de un año a otro. Sin embargo, la mayor vulnerabilidad está en la falta de recursos y el desconocimiento de los peligros a que una ciudad está sometida, tanto a nivel de la población, las empresas, como de los tomadores de decisiones. Por esto es importante estudiar y conocer las fuentes de la vulnerabilidad para actuar sistemáticamente sobre ellas y reducir sus efectos negativos.

Según Lavell (2009) un sistema se muestra vulnerable frente a ciertas perturbaciones, pero robusto frente a otras. Sin embargo, algunos sistemas son tan frágiles que exhiben vulnerabilidad frente a muchos tipos de perturbaciones, y en ese sentido se les podría atribuir una "vulnerabilidad genérica".

TRABAJO DE DIPLOMA

Hoy la literatura reconoce varios tipos de vulnerabilidad (Milanés-Galbán-Olaya, 2017): física o de localización, económica, social, política, técnica, ideológica, cultural, educativa, ecológica, y la institucional. Para el caso de las razones expuestas en este texto, se hará referencia a la vulnerabilidad física, expresada por la ubicación del escenario, elemento o comunidad expuesta con respecto a los peligros estimados y, por las condiciones técnico-materiales que determinan la resistencia para absorber los efectos del fenómeno amenazante, en este caso los sismos. Esta es la vulnerabilidad más estudiada de todas, tendiente a determinar la causa de las fallas de los elementos y sistemas constructivos, tanto en el aspecto estructural como no estructural. Hoy existen muchos métodos y metodologías para su estudio y determinación que son tanto cualitativos como cuantitativos, pero lo cierto es que aún es insuficiente el dominio que se tiene sobre los factores condicionantes y desencadenantes de ésta.

Para el caso de la vulnerabilidad sísmica específicamente, distintos autores reconocen tipos de vulnerabilidad ligadas esencialmente a las construcciones (como es el caso de las obras hidráulicas):

- La vulnerabilidad sísmica estructural: Relacionada con el nivel de daños que pueden experimentar los elementos estructurales (cimientos vigas y zapatas, columnas, vigas, losas)
- La vulnerabilidad sísmica no estructural: Está relacionada con el nivel de daños que pueden experimentar los elementos no estructurales (muros divisorios, carpintería, objetos, equipos.)
- La vulnerabilidad sísmica funcional: Está relacionada con los elementos que permiten el normal funcionamiento de una construcción como son las redes de agua, energéticas, telefónicas, alcantarillado y vías de acceso.

Para su cálculo se pueden emplear distintas metodologías y métodos, se citan entre estos: el Método del índice de vulnerabilidad (Benedetti- Petrini, 1984), Método de Scarlat (Scarlat, 1996), Método de Cardona (Cardona, 1991), Método de Hirosawa (Hirosawa, 1992), la Metodología ERAD (Álvarez et al, 2000), entre otras. Otros métodos o metodologías se encuentran recogidos en normas técnicas ya elaboradas, como por ejemplo, las normas que establecen los procedimientos y análisis de las cargas que inciden en las estructuras, los códigos sísmicos, etc. La selección del

TRABAJO DE DIPLOMA

método depende de las condiciones del escenario y el tipo de vulnerabilidad que se requiere determinar.

La vulnerabilidad también puede calcularse a partir de las valoraciones cualitativas y cuantitativas que se realizan con el empleo de indicadores de vulnerabilidad. Su análisis se incluye dentro de las metodologías antes mencionadas, a partir de la asignación de valores y pesos a estos indicadores, los cuales en su conjunto darán como resultado la vulnerabilidad total del territorio u obra ingeniera en cuestión.

La literatura también reconoce otros estudios particulares de vulnerabilidad ligados a las construcciones de infraestructura no asociadas a las construcciones directamente, pero si asociadas al servicio público (alcantarillados, acueductos, redes de distribución de gas licuado, carreteras, canales, túneles, entre otras). Las vulnerabilidades en estos casos igualmente, reconocen las partes integrantes que las componen y generalmente, también se evalúan a través de indicadores. La selección y evaluación de indicadores de vulnerabilidad es un tema aún en investigación a nivel mundial y, cualquier acercamiento (incluyendo el expuesto en este texto) estará sujeto a mejoras continuas.

Entre estas las que más se destacan son:

- Metodología de la American Water Works Association (AWWA).
- Metodología de la Organización Panamericana de la Salud para estudios de vulnerabilidad de los sistemas de agua y saneamiento.
- Metodología de tiempos de rehabilitación.
- Metodología para determinar la vulnerabilidad de los sistemas de bombeo.
- Metodologías de la Defensa Civil de Cuba.
- Metodología para el análisis de riesgo y vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento en las Empresas Públicas de Medellín Colombia, (E.S.P).

La metodología de la American Water Works Association, como tal, no expresa el grado de daño que sufren los componentes implicados en el impacto, pero si ofrece un valor que puede indicar el porcentaje de la vulnerabilidad de dicho sistema. La AWWA establece la contabilidad (CE) de un componente en términos de capacidad de producción (Q_p) de agua luego del impacto con respecto a la cantidad de agua necesaria (Q_n). Así, la contabilidad se expresa como:

TRABAJO DE DIPLOMA

$$CE = Q_p / Q_n \text{ (AWWA)}$$

La vulnerabilidad es la inversa de la contabilidad y se expresa como:

$$V = 1 - CE = 1 - Q_p / Q_n$$

Si bien esta metodología da un valor de vulnerabilidad, el valor nos informa que la captación tiene un índice de operación y que será necesario rehabilitarla para que pueda captar el restante; pero este valor por sí solo no da idea de la magnitud del daño, ni de cuánto tiempo se tardará la rehabilitación, valor importante para determinar si será necesario suplir el faltante, o el requerimiento mínimo de agua de la población carente del servicio durante un tiempo que puede ser considerablemente largo.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS), plantea que los desastres sobrevienen por la intervención de dos factores la amenaza o el peligro potencial, y la vulnerabilidad. La forma de determinar el riesgo de que ocurra un daño en una obra hidrotécnica en específico, es mediante la conjunción de ambos factores, según la siguiente expresión:

$$Rie = A_i \times V_e$$

Donde:

El riesgo "Rie" es, la probabilidad de que se presente un daño sobre la obra hidrotécnica (e), que tiene una vulnerabilidad intrínseca (V) a raíz de la presencia de un evento peligroso (A) con una intensidad igual a (i).

La probabilidad de que se produzcan daños sobre una obra hidrotécnica del sistema de bombeo, por la acción de una amenaza natural o antrópica, será mayor cuanto mayores sea su intensidad y la vulnerabilidad.

La Metodología de tiempos de rehabilitación, fue desarrollada en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Ofrece guías para buscar una medida de la vulnerabilidad que informe no solo la capacidad remanente del componente sino la magnitud del daño y las expectativas de rehabilitación en términos de tiempo. Esta metodología se aplica a componentes estructurales como estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, plantas de tratamiento o tuberías de conducción y distribución. Para cuencas hidrográficas, acuíferos o grandes represas, el método requiere análisis especializados.

El tiempo de rehabilitación depende de:

TRABAJO DE DIPLOMA

- La magnitud del daño
- La disponibilidad de recursos humanos, materiales, financieros y de transporte para reparar el daño
- El acceso al sitio donde debe efectuarse la rehabilitación.

El tiempo de rehabilitación (TR), en días, se establece para cada componente afectado del sistema, por lo que será necesario calcular los TR para cada componente y para el sistema como un todo. Para el establecimiento de los tiempos de rehabilitación se requiere amplia experiencia en rehabilitación, reconstrucción y reparación, conocimiento detallado del sistema de abastecimiento de agua potable, de los recursos disponibles y de la capacidad de la empresa para atender estas situaciones con recursos propios y de Defensa Civil.(CEPIS, 1991)

Hay dos tipos de TR en este caso “paralelo” o en “serie” para la rehabilitación de los componentes. Es en serie cuando la rehabilitación se hace una después de la otra, o cuando se rehabilita un componente y luego el segundo por razones de recursos. Es en paralelo cuando la rehabilitación se ejecuta simultánea o independientemente. Es importante tener presente que la determinación de los TR definitivos puede implicar un proceso iterativo. Para un determinado componente, hay un determinado TR que puede llevar a una rehabilitación distinta, pero en un solo sistema.

El profesor MsC. Ing. Ángel Barreda Trujillo del Departamento de Ingeniería Hidráulica de la Universidad de Oriente en Santiago de Cuba, desarrolló la metodología para determinar la vulnerabilidad de los sistemas de bombeo (inédita). Cuando fue aplicado se obtuvo como resultado fundamental el grado de vulnerabilidad del Proyecto de Rehabilitación del Sistema de Rebombeo “Campo de Tiro –Caballo Blanco” ubicada en la ciudad de Santiago de Cuba, para peligros naturales y antrópicos. Esta metodología tiene como elemento positivo la asignación de pesos en el nivel de vulnerabilidad de los componentes del sistema, lo que hace que uno tenga mayor influencia que otros ante el impacto de un fenómeno natural.

La Defensa Civil cubana y distintas instituciones de este país han realizado varios esfuerzos por lograr estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo cada vez más certeros; en este propósito se han emitido distintas indicaciones y diseñado varias metodologías, entre las principales se encuentran los lineamientos metodológicos para

TRABAJO DE DIPLOMA

la realización de los estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo de Desastres de inundación por penetraciones del mar, inundaciones por intensas lluvias y afectaciones por fuertes vientos. Las metodologías empleadas por la Defensa Civil de Cuba no se enfocan en sistemas de distribución y saneamiento de agua, están más concentradas a las obras de construcción.

La Metodología para el análisis de riesgo y vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento en las Empresas Públicas de Medellín Colombia, (E.S.P), está basada en metodología de la Organización Panamericana de la Salud para estudios de vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento, constituye a criterio de los autores de este texto la metodología la proposición más completa, independientemente de sus posibles deficiencias.

Según Acevedo *et al* (2002) parte del estudio de que, a cada uno de los componentes o subprocesos del sistema, es conveniente identificarle todas aquellas características básicas que puedan influir en el riesgo o en la vulnerabilidad del mismo, y en las decisiones que vayan a adoptarse para su manejo. La ventaja de esta metodología radica en que tiene en cuenta los peligros de tipo natural sobre los sistemas de abasto de agua potable y saneamiento, y solo considerará las afectaciones propias de la operación dentro de las posibles consecuencias.

La metodología caracteriza el factor operación, ya que constituye uno de los elementos esenciales en la rápida recuperación del sistema dañado, evitando la propagación de enfermedades a la población y una vez estabilizado el sistema permite recuperar la inversión. En la misma no se analizarán factores de riesgo de tipo tecnológico y antrópico, ni factores de vulnerabilidad humana, económica, social y ambiental. Esta metodología asume como criterio propio de que ante un posible desastre de tipo natural, se tienen que definir medidas preventivas y de mitigación que permitan evitar un alto impacto sobre el sistema o la rápida rehabilitación del mismo en caso de ser afectado.

La metodología establece los términos frecuencias de recurrencia y gravedad de las consecuencias para determinar la vulnerabilidad de los escenarios de riesgo, en este sentido, le asigna un mayor peso a las consecuencias que puedan tener sobre el servicio en operación.

TRABAJO DE DIPLOMA

La metodología emplea un programa de gestión de riesgos, estableciendo una calificación a la gravedad relativa que exhiben los peligros naturales, este programa define como priorizar las inversiones dirigidas a disminuir la vulnerabilidad de un componente dado hasta un nivel aceptable. La metodología en ningún caso está dirigida a eliminar por completo la vulnerabilidad detectada, sino a reducir el impacto que cada posible consecuencia pueda provocar sobre la estabilidad del sistema. La cuantificación de la vulnerabilidad asigna valores a la gravedad de las consecuencias, este porcentaje de puntos se aplica a la expresión matemática siguiente:

$$V (\%) = (V r x / V r \text{ máx.}) \times 100$$

Con el fin de realizar el análisis de riesgo y vulnerabilidad, dependiendo de su frecuencia y consecuencias relativas, cada escenario tendrá asignado un valor de riesgo de 1 a 4 determinado y dividido por el riesgo máximo, se obtiene la probabilidad de que el riesgo ocasione el impacto máximo al sistema de referencia; ya que la vulnerabilidad está en función del riesgo máximo. La matriz de riesgo y vulnerabilidad que contempla esta metodología es asumida de las teorías generales de evaluación de riesgos. (Figura 1.5)

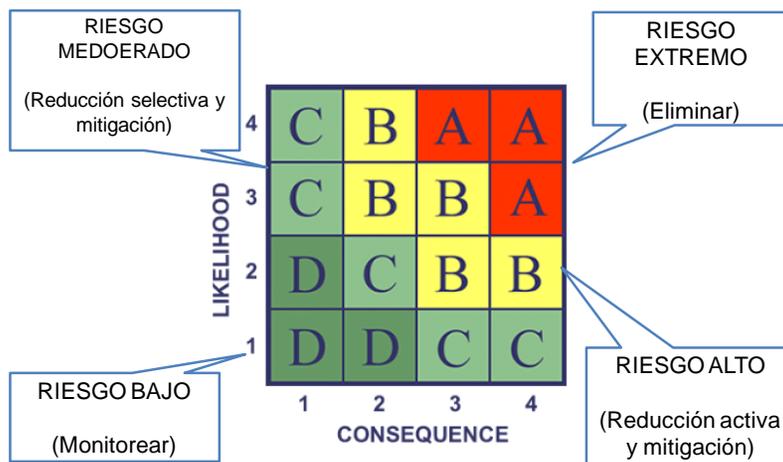


Figura 1.5 Matriz general de Riesgos. <http://info.ogp.org.uk/RiskManagement/Terminology/main.html>

Otra ventaja que ofrece esta metodología es que los niveles o rangos de aplicación de los términos cualitativos, se realicen de acuerdo al nivel de experiencia de personal que proceda ejecutar este procedimiento. (Acevedo, 2002)

La desventaja fundamental de esta metodología radica en la no descripción del estado físico y operatividad de los sistemas de agua y saneamiento ante el impacto de un

peligro, además de no establecer prioridades o pesos para los niveles de estado de vulnerabilidad de sus componentes.

1.1.4 El riesgo sísmico en obras hidráulicas

Las escalas de intensidad y su descripción interna están estrechamente relacionadas con un término actual empleado en la ingeniería sísmica, es el caso del riesgo sísmico, o sea los posibles daños generados por el impacto de un terremoto.

La intensidad es un parámetro muy importante para el estudio de terremotos históricos, es decir terremotos ocurridos en épocas cuando no había sismógrafos. Los diferentes tipos de archivos de épocas anteriores aportan información muy valiosa sobre los efectos de los terremotos históricos y, después de un análisis crítico, es posible estimar las intensidades en las regiones comprometidas por el terremoto; lo cual puede conjugarse con elementos como tipos de rocas y distancias epicentrales actualmente conocidas, para de esta manera estimar el tamaño o magnitud de los terremotos históricos. A continuación se describen las escalas de intensidad sísmica más conocidas:

- Escala de Mercali o Mercalli modificada (Tabla A1.2)
- Escala Medvédev-Sponheuer-Kárník (MSK o MSK-64) (Tabla A1.3)
- Escala Macrosísmica Europea (EMS)
- Escala sísmica de la Agencia Meteorológica de Japón (Shindo)

En los medios de comunicación internacionalmente, es común la combinación de los términos propios de la medida de magnitud (energía) e intensidad (efectos), confundiendo o mezclando ambos conceptos. Se puede oír que «el terremoto fue de 3,7 grados», empleando el término grado para expresar la magnitud, cuando esa unidad o término es propia de la medida de intensidades, en la que no existen valores decimales.

Otra manera que también se usa para resolver en falso esta forma de indicar la importancia del terremoto, es publicar que el terremoto tuvo «una magnitud de 3,7 grados», que resulta igualmente confusa, pues viene a ser como decir que «el corredor de maratón recorrió una distancia de 2 horas y 15 minutos». Ambas percepciones son incorrectas. Deberían evitarse estas formas, diciendo que «el terremoto tuvo una magnitud de 3,7», o alcanzó los 3,7 en la escala de Richter, aunque esta segunda

TRABAJO DE DIPLOMA

expresión no es del todo correcta, pues desde hace algún tiempo la magnitud de los terremotos se mide con la escala de magnitud de momento, coincidente con la escala de Richter solamente en los terremotos de magnitud inferior a 6.9.

Una forma de representar gráficamente los niveles de intensidad de un sismo es a través de mapas de isosistas, los cuales representan curvas con igual nivel de intensidad a partir de observaciones de un evento en particular. (Figura 1.6).

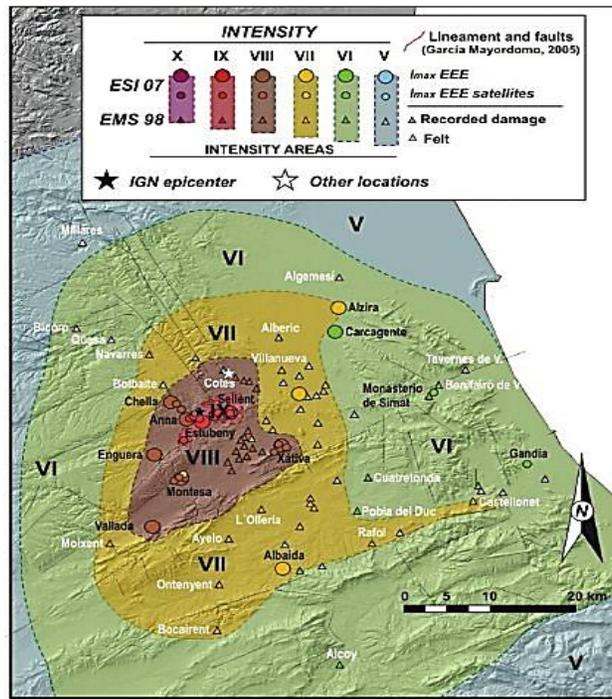


Figura 1.6 Mapa resultado de la asignación de intensidades sísmicas percibidas en un caso de estudio al determinar el mapa de intensidades para el terremoto de Tavernes, Valencia, España en 1396 AC (Imax ESI-07: X). Giner y Robles (2015).

Por otro lado, los terremotos sucesivamente generan otros fenómenos geológicos secundarios, que también afectan las obras hidráulicas, los más estudiados al respecto son:

- Fallamiento; Desplazamiento de partes adyacentes de la corteza terrestre, concentrados en zonas de fallas relativamente angostas. Los principales tipos son transcurrentes, normales e inversas.
- Densificación: Reducción de volumen causado por vibraciones que compactan los suelos no cohesivos, secos o parcialmente saturados.

TRABAJO DE DIPLOMA

- Levantamiento tectónico o subsidencia: Cambios de dimensiones o topográficos, a nivel regional, asociados a la actividad tectónica. Generalmente resulta distribuido en grandes extensiones.
- El efecto de sitio (Amplificación sísmica).
- Los deslizamientos de tierra.
- La licuefacción.

De estos los que más afectan a las obras hidráulicas son el efecto de sitio, la licuefacción y los deslizamientos.

La licuefacción por ejemplo ha causado los siguientes daños a las obras hidráulicas:

- Las tuberías de distribución de agua, gas y otros ductos pueden flotar y desplazarse hacia la superficie, o simplemente colapsar por los movimientos diferenciales por rotura en sus uniones. (Figura 1.7).



Figura 1.7 El terremoto de Chuetsu de 2004 provocó la licuefacción de suelo y elevó este registro de inspección del sistema de alcantarillado en las calles de Ojiya, Niigata, Japón. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1e/Chuetsu_earthquake-earthquake_liquefaction1.jpg/799px-Chuetsu_earthquake-earthquake_liquefaction1.jpg

- Las presas pueden experimentar el fenómeno conocido como sifonamiento mecánico en la base. Si son construidas fundamentalmente con diques de tierra experimentan primero un deslizamiento en cualquiera de los taludes aguas arriba o abajo, y/o consecutivamente el desplazamiento y la ruptura de la presa. Si son

TRABAJO DE DIPLOMA

de hormigón entonces puede suceder el volcamiento de la estructura. Igualmente sufren del fenómeno de agrietamiento y tubificación. (Figuras 1.8 y 1.9)



Figura: 1.9 Vista de la presa de Caspe USA (izquierda) (www.seprem.es). Vista de la presa de Teton en (USA), la cual fallo por tubificación (erosión interna) en la cortina tras impacto de terremoto en 1967 (derecha): (www.rinconabstracto.com).



Figura. 1.10 Vistas del deslizamiento del talud aguas arriba en la Presa de Fujinuma por efecto de un sismo, Tohoku el 12 de marzo de 2011. Fujinuma – Ike, colapsando el terraplén de cierre. (Carmona, Juan S., 2011).

Existen casos de eventos sísmicos ocurridos en los cuales la propagación de las ondas sísmicas y la deformación permanente del suelo, ocasionaron grandes daños a las redes de tuberías, como es el caso de la ciudad de Miyagui – Ken – Oki en Japón, ver tabla 1.1.

Tabla 1.1: Daños por kilómetro de tuberías para diferentes materiales Sismo ocurrido en la ciudad de Miyagui – Ken – Oki, Japón en junio de 1978.

Diámetro (mm)	Tipo de Tubo				
	Asbesto Cemento	Tubería de PVC	Hierro Fundido	Hierro Dúctil	Tubería de Acero
50	0,56	0,18	0	0	3,43
75	0,86	0,17	0,15	0	1,95
100	0,34	0,18	0,14	0,12	1,99
125	0,38	0,06	0	0	0,15

TRABAJO DE DIPLOMA

150	0,30	0,19	0,19	0,04	1,22
200	0,29	-	0,19	0,02	1,10
250	0,17	-	0,49	0,05	0
300	0,06	-	0,16	0,03	0,14
350	0	-	0	0	0
400	0	-	0,21	0,03	0,82
450	0,4	-	0	0,20	0,91
500	-	-	0	0,05	-
550	-	-	0	0	-
600	-	-	0	0	-
700	-	-	0	0	0,18
1100	-	-	0	0	0,12
Promedio	0,48	0,27	0,17	0,04	1,24

1.2 Sobre la inspección técnica de las obras hidráulicas actualmente en Cuba.

Los estudios de vulnerabilidad en obras hidráulicas cubanas están establecidos en la Resolución No. 386 /2014 del INRH, a través de la cual se establecen la Metodología para otorgar y mantener la condición de “**Obra Certificada**” a las obras de la infraestructura hidráulica del país.

Esta resolución no contiene en sus preceptos la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico, ni particulariza en cada obra hidráulica los pasos a seguir para lograr este objetivo. Según se pudo comprobar por entrevista a los especialistas de la empresa de Aprovechamiento Hidráulico en Santiago de Cuba, los encargados de realizar este proceso con regularidad son los cuidadores y operadores de las presas y otras obras, que en la mayoría de los casos son operarios que no cuentan con el conocimiento necesario ni la instrumentación para realizar este proceso.

Como se puede observar en ninguno de los casos se realizan estudios profundos con equipamiento especializado de las estructuras, lo que da la necesidad de implementar metodologías más adecuadas que verdaderamente permitan caracterizar la vulnerabilidad sísmica de estas obras hidráulicas.

1.3 Necesidad de la monografía sobre estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos sísmicos en obras hidráulicas, en la asignatura El ingeniero hidráulico en la defensa de la carrera de Ingeniería Hidráulica.

Los instrumentos como apoyo a la docencia, de especial relevancia permiten incrementar el esfuerzo cognitivo de los estudiantes por los contenidos de las asignaturas que reciben por cuanto se manifiesta una necesidad impostergable la creación de monografías u otro material como apoyo en el proceso de enseñanza aprendizaje para las asignaturas de las carreras universitarias.

1.3.1 Los estudios de vulnerabilidad sísmica y la asignatura El Ingeniero hidráulico en la defensa.

En el actual plan de estudios la asignatura el Ingeniero Hidráulico en la Defensa, de acuerdo al programa diseñado por el claustro de profesores para ella, tiene las siguientes especificaciones:

Objetivos generales de la asignatura.

1. Identificar los elementos del proceso de compatibilización de una obra o proyecto hidráulico con los intereses de la defensa del país según la normativa vigente.
2. Caracterizar los principios metodológicos para los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos ante el impacto de distintos fenómenos ambientales a las obras hidráulicas y fuentes de agua.

Distribución de tiempo por temas y formas de enseñanza.

No.	Nombre del Tema	FORMAS DE ENSEÑANZA					TOTAL HORAS
		C	CP	L	S	T	
I	El ingeniero hidráulico y los intereses de la defensa	4	4				8
II	Estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos en obras hidráulicas	6	4		8		18
TOTAL HORAS POR FORMAS DE ENSEÑANZA		10	8		8		26

Como puede observarse el tema 2 específicamente trata los estudios de peligro vulnerabilidad y riesgos en obras hidráulicas, la idea es particularizar para cada fenómeno natural o antrópico cuales son las metodologías que existen para realizar estos estudios o diseñar herramientas didácticas que las describan, de manera que el estudiante pueda emplearlas dentro de la asignatura y en su vida futura.

Por otro lado, particularmente la región oriental de Cuba, donde está ubicada la Universidad de Oriente, es una región sísmica activa. Es por esta razón que los estudios de vulnerabilidad sísmica de obras hidráulicas se hacen imprescindibles, quedando la misión de particularizar acciones en este marco de acción.

La monografía que identifique las principales maneras de realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica en obras hidráulicas, constituirá entonces esa valiosa herramienta de trabajo necesaria por los profesionales de la hidráulica.

1.3.2 Características de las monografías.

Una monografía es un informe escrito, relativamente extenso, argumentativo, con función informativa, en el cual se presentan y organizan los datos acerca de una determinada temática, obtenidos de diversas fuentes. La misma debe contar con un objeto de estudio bien delimitado, para así poder investigar, descubrir y reunir la información pertinente sobre el tema elegido. Luego, hay que enunciar la hipótesis sobre la que va a girar el trabajo, y brindar elementos que afirmen o nieguen esas hipótesis, de manera crítica. La monografía debe tener un lenguaje preciso, claro y estar redactada correctamente. (Acosta et al, 2012)

Las monografías exponen temas a nivel académico. Es por esto, que los buenos textos en las ciencias, las tecnologías y otras áreas, usan el formato de monografía en cada capítulo. Las monografías también permiten medir la habilidad para manejar información encontrada en una biblioteca académica. Por esto, las tesis generalmente requieren que su primer capítulo sea como una monografía: los profesores de programas graduados desean determinar la habilidad para hacer investigaciones académicas del futuro profesional. Por último, al escribir una monografía, nos disciplina en el manejo de gran cantidad de información.

Los tipos de monografías son variados tanto como lo son las ciencias y sus métodos particulares; por ejemplo: una temática relacionada con lo jurídico diferiría en su tratamiento de otra con cercanía a las matemáticas.

En general se pueden diferenciar tres tipos distintos (Acosta et al, 2012):

- **Monografía de compilación:** el alumno, después de elegir el tema, analiza y redacta una presentación crítica de la bibliografía que existe al respecto. Es importante tener un buen nivel de comprensión y "ojo crítico", para referirse a

TRABAJO DE DIPLOMA

diferentes puntos de vista y exponer la opinión personal tras una revisión exhaustiva.

- **Monografía de investigación:** se aborda un tema nuevo o poco explorado y se realiza la investigación original; para eso hay que conocer lo que ya se ha dicho y aportar algo novedoso.
- **Monografías de análisis de experiencias:** es frecuente que se emplee este tipo de monografía en las carreras que implican una práctica, por ejemplo en medicina en el período de residencia, o bien en el ejercicio profesional, se analizan experiencias, se sacan conclusiones, se compara con otra semejante, entre otras cosas.

Características de la monografía:

- a) Exactitud, Para el logro de los datos, planteamiento de problemas, búsqueda de la verdad y conclusiones.
- b) Idoneidad, proveniente de la solvencia del investigador.
- c) Verificación, en lo concerniente a la comprobación de las fuentes bibliográficas, método utilizado, proceso de la investigación.
- d) Imparcialidad, al margen de consideraciones y subjetivismos personales; solo considera la verdad escueta y precisa.
- e) Novedad, en el tratamiento de temas desconocidos y marginados.
- f) Claridad, desdoblada en el manejo temático y en el perfil estilístico.

Etapas de un trabajo monográfico:

- a) Selección del tema: debe ser concreto y delimitado, puede ser establecido por el profesor o quedar a elección del cursante.
- b) Selección de la bibliografía: es importante el conocimiento de la bibliografía sobre el tema elegido.
- c) Redacción de un primer esquema o plan de trabajo: es imprescindible organizar la información y determinar los pasos a seguir. este plan, o primer esquema, será una guía "provisoria"; es un punto de partida que ayuda a ordenar las ideas, orienta y da sentido a la investigación.

TRABAJO DE DIPLOMA

- d) Corrección del primer esquema: en un segundo momento, a medida que progresa la investigación, el primer esquema podrá ser ampliado, mejorado o modificado, hasta llegar a una solución satisfactoria del problema.
- e) Redacción final: presentación de la monografía propiamente dicha.

Pasos de la investigación para la elaboración de una monografía

- 1) Elección del tema
- 2) Fuentes de información
- 3) Elaboración del diseño
- 4) Elección de técnicas
- 5) Recolección de información
- 6) Redacción

Estructura de las Monografías.

<https://www.caracteristicas.co/monografia/#ixzz6QRemESQS>)

- Carátula
- Índice: Tabla de contenidos. Relación de títulos y subtítulos, con indicación de la página donde se encuentran.
- Introducción: Presentación del tema a ser tratado: objetivos propuestos, breve comentario de los capítulos que se desarrollarán y la justificación del estudio.
- Contenido temático: Desarrollo de todos los capítulos y subcapítulos previstos, de manera clara y coherente, evitando repetición de temas. Observar las pautas de la redacción científica y utilizar las citas para referencias, según Vancouver.
- Conclusiones: No excederán de cinco. Enunciados precisos, claros y coherentes con el contenido temático y los objetivos.
- Recomendaciones: Enunciar de manera clara y comprensible las propuestas que el estudiante debe aportar respecto al tema. Presentar un máximo de tres. Deben ser factibles.
- Fuentes de información: Listado de todas las fuentes consultadas, siguiendo el Sistema Vancouver.

CAPÍTULO 2. ELEMENTOS GENERALES PARA LA ELABORACIÓN DE LA MONOGRAFÍA SOBRE EVALUACIÓN VULNERABILIDAD Y RIESGOS SÍSMICOS EN OBRAS HIDRÁULICAS.

Galbán y Sánchez (2016), especifican la interacción general que tienen los elementos hidráulicos y civiles que muchas veces forman parte de las obras hidráulicas y recomiendan el uso de indicadores para evaluar esta interacción con los fenómenos sísmicos a partir del uso de indicadores. Esta visión constituye una manera adecuada para integrar estos elementos a la evaluación de vulnerabilidad y riesgo sísmico de las obras hidráulicas.

A partir de estas consideraciones, a proposición del tutor de esta investigación se hace necesario organizar la información y determinar los pasos a seguir para confeccionar la monografía; lo que ayuda a ordenar las ideas, orienta y da sentido a la investigación. Los pasos son los siguientes:(Figura 2.1).

1. Descripción de lo relacionado a los sismos, el peligro sísmico, la vulnerabilidad y el riesgo sísmico; así como ejemplos de su impacto en obras hidráulica. (Realizado en el capítulo 1 de este documento)
2. Exposición de los pasos metodológicos a seguir para determinar la vulnerabilidad y los riesgos sísmicos en obras hidráulicas, tal y como se expresan en la figura 2.1.

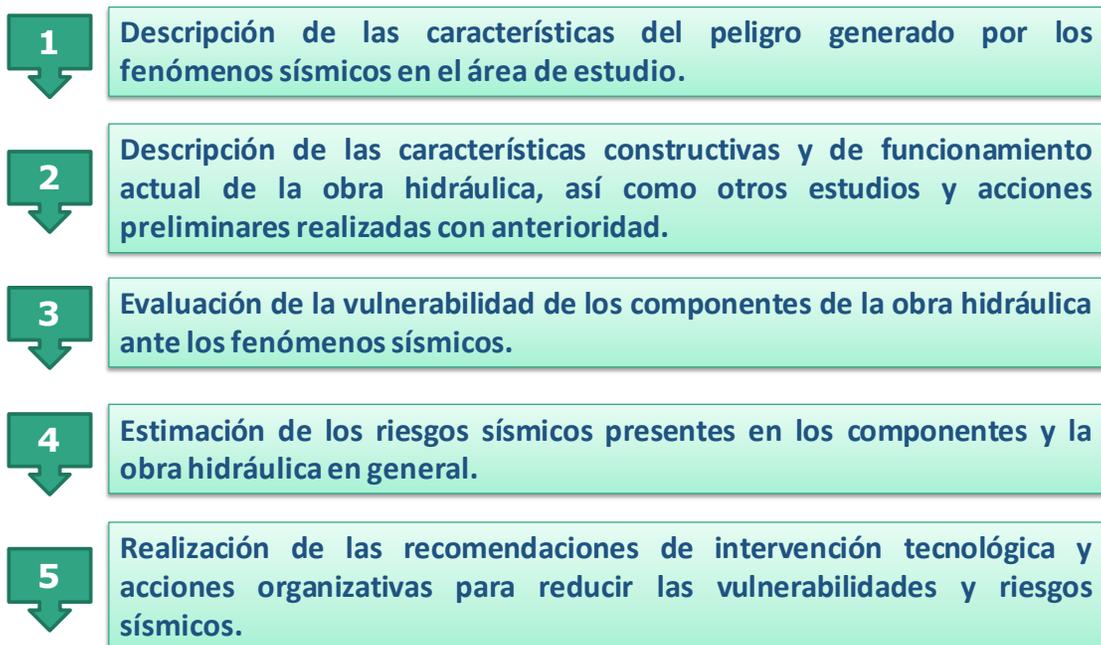


Figura 2.1 Pasos metodológico de trabajo diseñado.

TRABAJO DE DIPLOMA

Es preciso aclarar que en el caso del segundo paso propuesto, en este trabajo solo se expone de forma general la metodología. No se explica con detalle cada indicador de vulnerabilidad o riesgo sísmico en obras hidráulicas, debido a que solo se exponen las ideas básicas, dejando a los investigadores la realización de esta tarea.

Teniendo en cuenta que se trata de obras hidráulicas ya construidas, se plantea la evaluación de vulnerabilidad sísmica a partir de la realización de mediciones no destructivas con equipamiento especializado, empleándose además la inspección visual detallada, y el resultado de investigaciones ingeniero geológicas u otras precedentes ya realizadas a la obra y sus alrededores; así como elementos relacionados al proyecto inicial de su construcción.

Teniendo en cuenta la necesidad de uniformar las informaciones de salidas de los informes, mapas, etc., se sugiere estandarizar los indicadores de peligro, vulnerabilidad y riesgos, clasificándolos en una escala de cero a uno (0 -1) siguiendo niveles planteados en la tabla 2.1:

Tabla 2.1 Clasificación y valores para estandarización de PVR (Galbán, 2014).

	1er.Nivel	2do. Nivel	3er. Nivel	4to. Nivel
Peligro	Ninguno – Bajo (0 – 0,25)	Moderado (0,26 – 0,5)	Alto (0,51 – 0,75)	Muy alto (0,76 – 1)
Vulnerabilidad	Ninguna – Baja (0 – 0,25)	Moderada (0,26 – 0,5)	Alta (0,51 – 0,75)	Muy alta (0,76 – 1)
Riesgo	Ninguno – Bajo (0 – 0,25)	Moderado (0,26 – 0,5)	Alto (0,51 – 0,75)	Muy alto (0,76 – 1)

Según Galbán (2014), la proposición pretende integrar en una escala numérica estandarizada las valoraciones de peligro, vulnerabilidad y riesgos que se realicen, procurando que todas las estimaciones probabilísticas sean más asequibles; acción que matemáticamente se realiza aplicando métodos de normalización e interpolación. La selección del método dependerá de los evaluadores y puede realizarse automáticamente con la ayuda de software profesionales (tabuladores). Estas estandarizaciones facilitan, entre otros aspectos, los siguientes:

- Confiabilidad para el trabajo con indicadores.
- La asignación de pesos más adecuados a los indicadores utilizados.
- Interpretaciones más factibles de los resultados, y por tanto, la toma de decisiones más certeras.
- Uniformidad en las clasificaciones y la información de salida de los informes.

2.1 Descripción de las características del peligro generado por los fenómenos sísmicos en el área de estudio.

Aquí se describen las principales características de los fenómenos sísmicos que potencialmente pueden afectar la presa y cómo deben evaluarse, para ello:

1. Se describen los fenómenos sísmicos en la zona de estudio según las fuentes bibliográficas.
2. Se realiza el análisis del peligro según:
 - Magnitud probable de ocurrencia.
 - Análisis de frecuencia.

Para el análisis del peligro pueden emplearse fuentes ya estudiadas. Un elemento importante que puede ayudar a la interpretación de peligros sísmicos, lo puede constituir los estudios previos realizados por distintas instituciones, muchos de los cuales cuentan con mapas donde se realiza una zonación de los mismos; emplearlos para mostrar estos peligros es una herramienta muy útil para apoyar las investigaciones. Por otro lado, estos mapas no siempre reflejan elementos que para las obras ubicadas en el terreno son significativos, por ejemplo, en una región sísmica activa ocurren muchos sismos de baja magnitud cada año, los cuales poco a poco debilitan las estructuras, y a la hora de realizar estimaciones específicas de peligro, debido a la frecuencia con que ocurren, se convierten en un factor decisivo aun cuando su magnitud general es baja o moderada.

En caso de no tener a disposición estos estudios se deberán realizar nuevos estudios de peligro, proponiendo para ello el análisis de distintos indicadores en la región de estudio que ocupa la obra hidráulica, finalmente emitir un criterio acerca de la magnitud del peligro y la frecuencia con que se manifiestan, entre estos pueden considerarse los propuestos por Galbán et al (2017) (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Indicadores básicos para determinar el peligro sísmico de una región o área determinada. (Galbán et al, 2017)

Elemento a evaluar	Indicador	Grado de evaluación/valor promedio $\geq 0 - \leq 1$			
		Bajo 0.12	Moderado 0.37	Alto 0.62	Muy alto 0.87
Peligro	Aceleración sísmica	Menor que 150 m/s ²	Entre 150 y 200 m/s ²	Entre 200 y 250 m/s ²	Mayor que 250 m/s ²
	Tipo de suelo	Roca de	Rocas	Rocas de baja	Sedimentos

TRABAJO DE DIPLOMA

		cualquier tipo, sedimentaria o cristalina (Suelos rígidos)	medianamente compactadas (Depósitos estables de suelos no cohesivos o arcillas duras)	compactación (Depósitos de arcillas blandas o medias y arenas)	cuaternarios de reciente formación (rocas blandas)
	Velocidad de propagación de las ondas transversales	Menor a 150 m/s	Entre 150 – 450 m/s	Entre 450 – 800 m/s	Mayor de 800 m/s
	Tiempo de recurrencia	Más de 1000 años	Entre 500 y 1000 años	Entre 100 y 500 años	Menos de 100 años
	Distancia al epicentro	Más de 500 km	Entre 500 y 250 km	Entre 250 y 50 km	Menos de 50 kilómetros
	Magnitud en la escala de Richter (momento)	De 1 - 4	De 4 - 5	De 5 - 7	Mayores de 7
	Periodo de propagación de la onda	Menor a 0,5 s	Entre 0,5 – 0,8 s	Entre 0,8 – 1,2 s	Mayor a 1,2 s
	Presencia de estructuras tectónicas activas	En ubicaciones alejadas del área seleccionada	En las cercanías a la ubicación seleccionada	En las proximidades a la ubicación seleccionada	En las inmediaciones de la ubicación seleccionada
	Presencia de niveles freáticos	Más de 15 metros de profundidad	Entre 10 y 15 metros de profundidad	Entre 3 y 10 metros de profundidad	Menos de 3 metros de profundidad
Fenómenos geológicos secundarios o inducidos	Licuefacción	Suelo en estado sólido	Suelo en estado húmedo pero todavía compacto.	Suelo en estado semi licuado (saturado)	Suelo licuado
	Apertura del terreno	Menos de 1 centímetro	Entre 1 y 5 cm	Entre 5 cm y 10 cm	Aberturas de más de 10 cm
	Movimientos en masa o Deslizamientos	Corrimientos lentos y escasos de masas de terreno.	Corrimientos moderados de masas de terreno. Escasos colapsos de rocas.	Corrimientos rápidos y abundantes de masas de terreno, colapsos, derrumbes, caída de bloques rocosos	Corrimientos de grandes masas de terreno, lahares, colapsos, etc.
	Inundaciones costeras producto al impacto de los tsunamis	Escasas, solo se manifiestan en las zonas más bajas	Moderadas en zonas de hasta 5 metros de altura topográfica sobre el nivel del mar	Rápidas y abundantes de masas de agua, alcanzan zonas de hasta 15 metros de altura topográfica sobre el nivel del mar	Grandes masas de agua, alcanzan más de 15 metros de altura topográfica sobre el nivel del mar

Para la realización del análisis de peligro se tienen en cuenta dos aspectos fundamentales: La frecuencia de ocurrencia y la magnitud probable del impacto. En el

TRABAJO DE DIPLOMA

caso de la determinación de la frecuencia probable de ocurrencia, se realiza mediante los parámetros de la tabla 2.3 donde se presenta la matriz de valoración de las frecuencias. Para la aplicación de la escala o valor promedio, se tiene en cuenta la proposición realizada por Acevedo (2002) que inicialmente propone 7 niveles, y teniendo en cuenta lo expresado en la tabla 2.3 se llevó a 4 niveles.

Tabla 2.3 Frecuencia probable de ocurrencia. Adaptado de Acevedo (2002).

Frecuencia	Definición	Ocurrencia	Valor promedio
Remoto	Baja probabilidad de ocurrencia	Una vez entre 40 y 100 años	0.12
Ocasional	Limitada probabilidad de ocurrencia	Una vez entre 5 y 40 años	0.37
Moderado	Mediana probabilidad de ocurrencia	Una vez entre 1 y 5 años	0.62
Frecuente	Significativa probabilidad de ocurrencia	Entre 1 y 10 casos / año	0.87

El análisis de magnitud está basado en el inventario de los diferentes procesos sísmicos identificados. En caso de tener inventario con fecha de ocurrencia, se realizará un análisis estadístico de frecuencia a través de la relación magnitud/frecuencia de impacto de los fenómenos sísmicos. Estos datos se emplearán posteriormente en la evaluación del peligro (Tabla 2.4). Es preciso entender que siempre deberá asumirse por el colectivo de especialistas la magnitud de terremotos que más se manifiesta en el área o que interesa particularmente para la evaluación realizada.

Tabla 2.4 Análisis de magnitud adaptado de Torrente (2016)

Fenómenos /magnitud	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
Sismos	Sismos de baja magnitud (entre 0 y 3 en la escala Richter) Entre 1 y 10 veces al año Valor promedio = 0.12	Sismos de mediana magnitud (entre 4 y 5 en la escala Richter) Entre 1 y 5Años Valor promedio =0.37	Sismos de alta magnitud (entre 6 y 7 en la escala Richter) De 20 a 25 años Valor promedio = 0.62	Sismos de gran magnitud (más de 7 en la escala de Momento) Una vez en 465 años Valor promedio = 0.87

A la hora de evaluar el peligro se promedia la frecuencia y la magnitud, quedando la formulación:

$$P = (F+M)/2,$$

Donde: F es la Frecuencia y M la magnitud, y se expresa su valor de 0 a 1.

2.2 Descripción de las características constructivas y de funcionamiento actual de la obra hidráulica, así como otros estudios y acciones preliminares realizadas con anterioridad.

Los estudios de vulnerabilidad se están planteando para proponer planes de prevención ante el impacto de un evento natural en los componentes más vulnerables. Hoy en muchas instituciones se están realizando acciones para renovar estructuras y sistemas de agua y saneamiento, que muchas veces se ejecutan tras un largo tiempo sin tener un buen mantenimiento, encontrando dificultades como planos desaparecidos, entre otras causas, lo que impide tener un conocimiento completo de los componentes de estas obras hidráulicas.

Con la experiencia que los ingenieros han recibido, y los daños que ya han ocurrido a las obras hidráulicas, es preciso cumplir con varios pasos, entre ellos se encuentran:

- Recopilación y análisis de la información preexistente
- Elaboración del Informe preliminar

Para recopilar y analizar la información preexistente es necesario a su vez realizar los siguientes pasos:

- Localización de planos de la obra hidráulica en proceso de evaluación.
- Identificación y caracterización de los principales componentes.
- Investigación preliminar sobre acciones realizadas con anterioridad en la obra hidráulica, u otras de interés para la investigación en curso.

Para realizar esta labor es preciso comenzar por localizar los planos generales, los cuales se pueden encontrar en los archivos de la institución propietaria o administradora del inmueble o, en las oficinas encargadas del mantenimiento interno de la instalación.

Muchas veces no es posible localizar estos planos por la antigüedad de la construcción o por razones de descuido administrativo. Ante esta situación es posible también acceder a los archivos de las oficinas de planificación física, o los archivos históricos de la ciudad, poblado, oficina de bomberos, acueductos, u otra donde se pueda obtener. En caso de no lograr resultados, es preciso acudir a métodos técnicos de identificación de redes y estructuras, entre estos pueden aplicarse las siguientes:

- Métodos geofísicos (magnéticos, eléctricos y de ultrasonido).

TRABAJO DE DIPLOMA

- Métodos de inspección ingeniera de campo y de reconstrucción manual de planos.

En ambos casos hoy día se emplean software profesionales como herramientas auxiliares. Una vez realizado esto es posible entonces identificar y caracterizar los principales componentes de la obra hidráulica, así como su ubicación geográfica. Aquí se ofrece una variante (Tabla 2.5):

Tabla 2.5: Características técnicas de los componentes de la obra hidráulica.

Componente	Ubicación	Características constructivas	Características técnicas
Componente 1	Coordenadas, cercanías a lugares, etc.	Tipología constructiva, materiales que lo conforman, etc.	Capacidad de funcionamiento por diseño, función dentro de sistema, etc.,
Componente 2			
Componente 3			
Componente 4			
Componente 5.....			

La investigación preliminar sobre acciones realizadas con anterioridad en la obra hidráulica, u otras de interés para la investigación en curso, comprende los trabajos previos de recopilación y análisis de la información preexistente. En general, esta fase será desarrollada fundamentalmente en oficina, incluirá visitas de inspección al emplazamiento de la obra con toma de datos, realización de trabajos sencillos de reconocimiento, sondeos previos necesarios para conocer la estructura básica del terreno, visita a instituciones del estado y privadas que estuvieron involucradas en el proyecto, ejecución y control de los trabajos durante su construcción, así como su actual administrador.

Las posibles fuentes de información preexistente pueden agruparse del modo siguiente:

a. Información publicada

- Artículos científicos y libros que se refieran a la obra hidráulica.
- Artículos de prensa escrita, reportes breves, etc.
- Normativa aplicable.
- Documentación de proyectos ejecutivos y geotécnicos de carácter general. En particular, se recomienda la consulta de:
 - Mapa Geológico a escalas entre 1:100 000 y 1:25 000 (o más detalladas si es posible).

TRABAJO DE DIPLOMA

- Mapas de peligros geológicos y/o ambientales (zonación sísmica, deslizamientos, erosión, carso, etc.) a escalas entre 1:100 000 y 1:25 000 o más detalladas si es posible).
- Fotografías aéreas o satelitales, donde sea aplicable.
- Mapas antiguos (en el caso que puedan localizarse).
- Estudios y/o artículos publicados relativos a proyectos y obras en la zona próxima a la obra que es objeto de la investigación.
- Estudios y/o artículos publicados relativos a la obra hidráulica que es objeto de la investigación.

b. Información no publicada

- Proyecto original de la obra hidráulica, así como la memoria escrita de los trabajos durante su ejecución, lo que sirve para conocer aspectos como:
 - Materiales empleados y sus propiedades físico mecánicas iniciales de los suelos, comportamiento estructural, etc.
 - Tecnologías empleadas.
 - Métodos de colocación, compactación, construcción, etc.
 - Métodos geotécnicos y geofísicos empleados en las investigaciones previas.
 - Problemas enfrentados por los constructores durante la ejecución de la obra hidráulica y soluciones aplicadas, etc.
 - Planos originales,
 - Informes de estudios de vulnerabilidad anteriores.
 - Información diversa que pueda condicionar desde un punto de vista ingeniero: estructuras existentes, industrias y propiedades próximas que pueden verse afectadas por la falla de la obra hidráulica o cuyo fallo que puede afectar la obra hidráulica.
 - Entre otros elementos de interés.

Esta etapa concluye con la redacción del Informe preliminar, el cual deberá incluir la programación de los trabajos que se consideran necesarios para completar el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgos sísmicos. Esta programación incluirá:

- Los trabajos de campo y,
- Los ensayos de laboratorio

Vistos los aspectos que requieren investigación, confirmación o mayor detalle, se procederá a programar los trabajos del reconocimiento. A esa programación debe dedicársele especial atención pues, de otra forma, puede resultar una información exhaustiva en algunos aspectos mientras que en otros deje lagunas importantes.

Se recomienda que la programación de los reconocimientos quede recogida en un documento, en el cual, además de la definición de los mismos, se describan los objetivos concretos perseguidos con cada uno de los trabajos a realizar, la previsión de posibles modificaciones en la campaña (variaciones en la profundidad, reconocimientos complementarios, etc.), en función de los resultados que se obtengan y cualquier otra información o criterio que permita realizar, las adaptaciones necesarias para asegurar que se obtienen los datos requeridos. Para lograr este objetivo es preciso definir distintos parámetros:

- Indicador que se va a medir.
- Escala de trabajo para mapas y perfiles.
- La tecnología que se va a emplear en cada medición.
- El método de medición.
- La concepción del almacenamiento de las mediciones y el aseguramiento de copias de seguridad.
- Las medidas de seguridad para la recolección de muestras en caso que sea posible.
- Construcción de modelos tridimensionales de las estructuras que conforman la obra hidráulica en formato digital con el uso de software profesionales.
- Los especialistas, personal técnico y otros que participen en la medición e interpretación de resultados.

2.3 Evaluación de la vulnerabilidad de los componentes de la obra hidráulica ante los fenómenos sísmicos.

Una vez definidos los parámetros del plan de reconocimientos se llevan a cabo los trabajos de campo en los que se recomienda que, debido a la complejidad de las obras hidráulicas, sean empleadas escalas para los mapas y perfiles inferiores a 1:2000 para las mediciones puntuales en las estructuras construidas, y superiores en la aplicación de métodos geofísicos en los perfiles y mapas alrededor de estas (para medir

TRABAJO DE DIPLOMA

agrietamiento en las rocas subyacentes, filtración, límites de rocas y sus propiedades, niveles freáticos, presencia de zonas cársicas, etc.)

En el caso de la tecnología se recomienda emplear siempre equipos de última generación, previamente calibrados y certificados, los cuales deben ser de aplicación no destructiva o no invasiva, debido a que se trata de obras hidráulicas ya construidas.

Una variación sensible provocada por los equipos de medición en las estructuras o componentes de las obras hidráulicas, podría ocasionar o acelerar fenómenos posteriores que influyen en la inestabilidad, y por tanto en su fallo. Hoy en día con el desarrollo tecnológico alcanzado existen distintos equipos para mediciones de este tipo que se encargan de aplicar con ello distintos métodos: geofísicos, geotécnicos, estructurales, geodésicas, manuales, visuales.

Los métodos geofísicos tienen su campo de aplicación más idóneo cuando es necesario investigar, de un modo rápido y económico, áreas extensas, alineaciones de gran longitud o estructuras hidráulicas internas. Los trabajos de campo e interpretación de las medidas deben ser efectuados por personal muy calificado, previo estudio detallado de la información del terreno y la obra en cuestión, que se haya podido obtener por otros procedimientos. Los métodos geofísicos en su conjunto pueden ser empleados para determinar varios indicadores, muchas veces coinciden en su aplicación, por lo que el equipo de especialistas que participa en las mediciones deberá tener en cuenta su combinación a fin de obtener resultados más precisos y confiables. Entre los métodos geofísicos actuales, es muy popular emplear la técnica ultrasónica para verificar estructuras, estados de hormigones, aceros, etc.; aunque también pueden emplearse otros como los basados en métodos eléctricos y microsísmicos.

En el caso de los métodos geotécnicos de campo a emplear deben ser métodos “in situ” y, al igual que los geofísicos, permiten obtener fundamentalmente las propiedades físico mecánicas de las rocas y los suelos, con la variación de que es posible realizar sondeos mecánicos en las zonas exteriores a las obras hidráulicas para verificar tanto la litología como sus propiedades, además de observar el comportamiento de niveles freáticos, medición de la velocidad de movimiento de las aguas subterráneas, entre otros aspectos. En términos generales se recomienda determinar el mayor número de

TRABAJO DE DIPLOMA

parámetros geotécnicos, especialmente los relativos a la resistencia al corte, la compresibilidad, la permeabilidad, porosidad, humedad, entre otros.

Los reconocimientos se realizan estableciendo determinadas fases. La intensidad y duración de estas fases deberá adaptarse a las circunstancias específicas de cada caso.

Igualmente pueden realizarse otros ensayos para verificar la resistencia estructural de hormigones, elementos hidráulicos y prefabricados. En el caso de los métodos estructurales no invasivos se encuentran los métodos ultrasónicos, muy de moda actualmente por las posibilidades que brindan de ofrecer tridimensionalmente las características de hormigones, aceros y otros materiales en su estado construido, y con ello determinar o mapear tridimensionalmente las zonas de mayor vulnerabilidad. Estos son muy útiles para las mediciones de indicadores estructurales.

Las experiencias internacionales en este tipo de tecnología ultrasónica están principalmente dirigidas a obras estructurales compactas, su uso en estructuras hidráulicas es de reciente introducción, sobre todo está de moda el uso de georradars. La tecnología ultrasónica también es empleada para registrar variaciones en la temperatura subacuática, velocidad de las corrientes de agua, fisuras, los niveles de azolve de embalses, etc., lo que resulta muy útil para determinar zonas de filtración entre otros parámetros.

Además de estos métodos está la observación directa y medición directa por métodos manuales, los cuales se refieren, por ejemplo, a indicadores como nivel piezométrico en pozos, inclinación de vegetación, agrietamiento exterior en hormigones y estructuras, presencia de salideros, obstrucciones, entre otros.

Los métodos manuales y visuales directos son los más antiguos y han sido ampliamente empleados alrededor del mundo y, suelen combinarse con métodos matemáticos de probabilidad y estadística y con la opinión de expertos, lo que los hace finalmente más precisos.

Por las características de las obras hidráulicas, en ocasiones es necesario realizar observaciones subacuáticas para comprobar el estado de hormigones sumergidos, cimentaciones de las obras de toma, compuertas; así como, las filtraciones en el fondo

TRABAJO DE DIPLOMA

de los embalses, lo que dificulta aún más la investigación y requiere de la participación de un equipo multidisciplinario de especialistas y técnicos.

Los ensayos de laboratorio permitirán después ampliar esas características determinadas en las investigaciones de campo a rangos de presiones y ambientes diferentes a los de los ensayos “in situ” y que pudieran ser de interés dentro de los objetivos del reconocimiento. Por otro lado, es el momento donde se deben construir efectivamente las columnas estratigráficas con exactitud y bajo el auxilio de diversas técnicas, rectificar los planos de las obras hidráulicas, puntualizar los fallos presentes, entre otras.

La investigación de laboratorio corresponde esencialmente a las muestras que pudieron ser tomadas durante la investigación de campo referentes a:

- Muestras de hormigón desprendido en las estructuras hidráulicas, o las tomadas mediante métodos geotécnicos.
- Algunas muestras superficiales de suelo.
- Muestras recolectadas en sondeos mecánicos en las áreas exteriores a las obras hidráulicas para verificar sus propiedades y tipo.

En la recolección, conservación, traslado de la muestra y su manejo en el laboratorio deben cumplirse estrictamente las normas establecidas al respecto para cada país, garantizando así la confiabilidad de los estudios realizados a estas.

Los estudios a las muestras en laboratorio igualmente sirven para verificar las mediciones geofísicas, geotécnicas y estructurales, por tanto, es preciso finalmente establecer una correlación entre ambos tipos de mediciones y ofrecer un resultado que las integre.

Un paso importante en las demostraciones a realizar lo constituye la graficación, construcción de perfiles, mapeo y modelación tridimensional de los resultados obtenidos en el estudio preliminar, de campo y laboratorio; y con ello la evaluación de la vulnerabilidad de las obras hidráulicas.

Luego de realizados estos pasos iniciales, para determinar la vulnerabilidad de las obras hidráulicas se recomienda como primer paso evaluar de forma independiente determinados indicadores por tipo de partes componentes que la conforman, además

TRABAJO DE DIPLOMA

de realizar este proceso por zonas si fuera necesario. Se sugiere que los especialistas realicen un resumen a partir de lo planteado en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Consideraciones generales en la interpretación de la vulnerabilidad de la obra hidráulica en cuestión.

Componente 1, 2, 3, ..., etc.		
Zona	Detalles de vulnerabilidad estudiada	Evaluación del grado de vulnerabilidad (De 0 - 1)
Zona 1 (comprendida entre..., coordenadas..., etc.)	Indicador 1	
	Indicador 2	
	Indicador 3.....	
	Etc.	
	Resumen de vulnerabilidad del componente en zona 1	Valor Vst= (V1+V2+...Vn)/n
Zona 2		
Zona 3		
Etc.		

Nota: un procedimiento idéntico para cada zona y cada componente.

En caso de que la obra sea concentrada, como por ejemplo una caseta de bombeo, se sugiere que los especialistas realicen un resumen a partir de lo planteado en la tabla 2.7.

Tabla 2.7 Consideraciones generales en la interpretación de la vulnerabilidad de la obra hidráulica concentrada.

Detalles de vulnerabilidad estudiada	Evaluación del grado de vulnerabilidad (De 0 - 1)
Indicador 1	
Indicador 2	
Indicador 3.....	
Etc.	
Resumen de vulnerabilidad	Valor Vst= (V1+V2+...Vn)/n

Para determinar el nivel cualitativo y cuantitativo de la vulnerabilidad sísmica que está expuesta de la obra hidráulica, se realizará a través de los criterios siguientes donde se promedia la vulnerabilidad de los componentes (Tabla 2.8), quedando la formulación:

TRABAJO DE DIPLOMA

Tabla 2.8 Criterios finales de vulnerabilidad para componentes.

Vulnerabilidad	Descripción general	Valor
Baja	El componente no presenta afectaciones visibles, funciona correctamente.	0 – 0,25
Moderada	El componente presenta afectaciones leves que no impiden su funcionamiento.	0,26 – 0,50
Alta	El componente presenta afectaciones perceptibles que dificultan su funcionamiento.	0,51 – 0,75
Muy alta	El componente presenta afectaciones que impiden de forma total su funcionamiento.	0,76 – 1

Es preciso aclarar que para cada componente de una obra hidráulica deberá existir la descripción detallada de estos criterios. Esta descripción permitirá la toma de decisiones posteriores respecto al tratamiento de la información que se brinda y las posibles soluciones en la reducción de la vulnerabilidad.

Como paso necesario se deberán aplicar métodos no convencionales para determinar la vulnerabilidad efectiva de la obra hidráulica, debido a que esta puede fallar por cualquiera de sus partes componentes, en ello deberá estar implícita la opinión de los distintos especialistas que participan en el estudio pudiendo auxiliarse de métodos como:

- Brain storming.
- Estadística multivariada
- Método de experto
- Modelación dinámica de las estructuras con el empleo de software profesionales.
- Entre otros.

Toda la aplicación de estas técnicas permiten finalmente, conociendo el peligro sísmico, determinar el nivel cualitativo de los riesgos a que está expuesto cada componente y la obra hidráulica en general, así como los posibles fallos que experimentará durante una sacudida sísmica.

A continuación se ofrecen algunos elementos específicos para un número reducido de obras hidráulicas que permiten tener una visión de lo que se plantea (presas, canales, sistemas de alcantarillados, estaciones de bombeo, conductoras de agua, tanques de almacenamiento de agua, edificios administrativos y otros asociados a las obras hidráulicas).- No se explica con detalle cada indicador de vulnerabilidad o riesgo sísmico en obras hidráulicas, debido a que solo se exponen las ideas básicas, dejando a los investigadores la realización de esta tarea en etapas posteriores

2.3.1 Recomendaciones para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en edificios administrativos y otros asociados a las obras hidráulicas.

Se asume la proposición realizada por Cardona (2003), para el estudio de la vulnerabilidad constructiva en edificaciones. A continuación, se exponen en la tabla 2.9 algunos elementos para la evaluación de vulnerabilidad en edificaciones atendiendo a sus elementos constructivos.

Tabla 2.9 Resumen de la evaluación de la vulnerabilidad en edificaciones. Según Cardona, 2001.

COMPONENTE	Valor del peligro	Valor de la Vulnerabilidad
ASPECTOS GEOMÉTRICOS	(0 - 1)	(0 - 1)
• Irregularidad en planta de la edificación		
• Cantidad de muros en las dos direcciones		
• Irregularidad en altura		
ASPECTOS CONSTRUCTIVOS		
• Calidad de las juntas de pega en mortero		
• Tipo y disposición de las unidades de mampostería		
• Calidad de las juntas de los materiales		
ASPECTOS ESTRUCTURALES		
• Muros confinados y reforzados		
• Detalles de columnas y vigas de confinamiento		
• Vigas de amarre o corona		
• Características de las aberturas		
• Entrepiso		
• Amarre de cubiertas		
CIMENTACIÓN		
SUELOS DE CIMENTACIÓN		
ASPECTOS RELACIONADOS EL ENTORNO		
• Topografía		
• Otros efectos		
CALIFICACIÓN GLOBAL DE LA VULNERABILIDAD SISMICA de la edificación	$V_t = (V_1 + V_2 + \dots + V_n) / n.$	

2.3.2 Recomendaciones para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en tanques de almacenamiento de agua.

Los Tanques son depósitos construidos in situ o prefabricados para almacenar una determinada cantidad de fluidos, aunque bajo determinados diseños cumplen funciones adicionales. Constituyen una parte importante dentro de un sistema de acueducto, alcantarillado o como partes componentes de plantas de tratamiento de aguas domésticas y residuales, zonas residenciales, o en edificaciones aisladas. Como elementos externos pueden también poseer una pequeña caseta de operación y obras menores de protección como las cercas perimetrales. A continuación, se exponen en la tabla 2.10 algunos elementos para la evaluación de vulnerabilidad en cisternas atendiendo a sus elementos constructivos.

Tabla 2.10 Resumen de la evaluación de la vulnerabilidad en cisternas.

Partes	Indicadores	Grado de vulnerabilidad			
		Baja (0 - 1)	Moderada (0 - 1)	Alta (0 - 1)	Muy alta (0 - 1)
Loza de cubierta	Agrietamientos, corrosión del acero u hormigón, filtración, etc.				
Loza del piso	Calidad de las juntas o amarres con los muros, agrietamientos, socavación,				
Paredes o muros laterales	Muros confinados y reforzados, Calidad de las juntas o amarres con los muros, agrietamientos,				
Accesorios auxiliares directos conectados: tuberías de entrada y salida, Válvulas, registros, etc.)	Aberturas, corrosión, humedad, filtraciones, calidad de las juntas o amarres con los muros u otros elementos de la estructura,				

2.3.3 Recomendaciones para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en grandes conductoras de agua.

Las grandes conductoras de agua, son los sistemas de tuberías y sus obras auxiliares que conectan las fuentes primarias de abastecimiento de agua (presas, ríos, lagunas, canales magistrales, agua subterránea, el mar) con las plantas de tratamiento para potabilizar el agua. En muchas ocasiones, también se emplean para conectar las aguas residuales generadas por los sistemas de alcantarillado con las fuentes de deposición final (ríos, lagunas, canales, el mar). A continuación, se exponen en la tabla 2.11

algunos elementos para la evaluación de vulnerabilidad en grandes conductoras atendiendo a sus elementos constructivos.

Tabla 2.11 Resumen de la evaluación de la vulnerabilidad en grandes conductoras.

Partes componentes de las conductoras	Indicadores	Grado de vulnerabilidad			
		Baja (0 - 1)	Moderada (0 - 1)	Alta (0 - 1)	Muy alta (0 - 1)
Tuberías conductoras de mediano y gran diámetro.	Agrietamientos, salideros en las juntas, la deformación permanente del suelo, Y la ocurrencia de la licuefacción				
Registros para colocación de accesorios.	Corrosión, agrietamiento, calidad de las juntas, aberturas				
Cimientos aislados para sujeción aérea.	Licuefacción del suelo, Falla por colapso, Falla estructural de pilotes, pilas u otros elementos de la Cimentación.				
Accesorios directos conectados a las tuberías. (Válvulas, relojes de medición, etc.)	Rotura de las uniones, desplazamientos laterales y roturas por deslizamientos. Hundimientos y levantamientos, obstrucciones.				

2.3.4 Recomendaciones para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en Estaciones de bombeo.

Los sistemas de bombeo son estructuras hidráulicas que tienen como objetivo conducir un fluido desde un nivel energético inicial a un nivel energético mayor. El incremento del nivel energético se logra por medio de las bombas. La energía hidráulica transferida al fluido por la bomba se manifiesta por el incremento de su energía de presión, su energía cinética, y su energía potencial, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli (Barreda, 2009). Se clasifican en “Categorías” atendiendo a factores tales como:

- Uso a que está destinado.
- Capacidad de bombeo.
- Tiempo de vida útil y de consecuencias por averías o accidentes.
- Importancia de operación.

A continuación, se exponen en la tabla 2.12 algunos elementos para la evaluación de vulnerabilidad en Estaciones de Bombeo atendiendo a sus elementos constructivos

TRABAJO DE DIPLOMA

Tabla 2.12 Resumen de la evaluación de la vulnerabilidad en Estaciones de bombeo

Partes componentes de las estaciones de bombeo	Indicadores	Grado de vulnerabilidad			
		Baja (0 - 1)	Moderada (0 - 1)	Alta (0 - 1)	Muy alta (0 - 1)
Obra de Captación.	Agrietamiento y/o fallos de las estructuras, Desaplome o inclinación de la estructura. Entrada de azolves y cuerpos extraños.				
Conducciones de Succión	la deformación del suelo causada por problemas geotécnicos, geológicos y/o topográficos y fenómenos de corrosión, los esfuerzos ovalizantes (produce fisuras y roturas en el interior de la tubería)				
Edificación de la Estación de Bombeo	deformación del suelo causada por problemas geotécnicos, geológicos y/o topográficos. Corrosión eflorescencia. deterioro de los pisos				
Conducciones de Impulsión.	Corrosión, los procesos de licuefacción, los esfuerzos ovalizantes (produce fisuras y roturas en el interior de la tubería)				
Obra de Descarga	Fenómenos de corrosión, Agrietamiento, Lixiviación				
Instalaciones Tecnológicas Auxiliares de: 1) Desinfección 2) Suministro Energético 3) Protección contra Descargas Eléctricas 4) Dispositivos e Instalaciones	Tipo y disposición de los materiales, fallos en el sistema eléctrico,				

2.3.5 Recomendaciones para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en sistemas de alcantarillados.

Se denomina alcantarillado o red de alcantarillado al sistema de tuberías y construcciones usado para la recogida y transporte de las aguas residuales, industriales y fluviales de una población desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se vierten al medio natural o se tratan (AA.VV, 2007).

TRABAJO DE DIPLOMA

Las redes de alcantarillado son estructuras hidráulicas que funcionan a presión atmosférica, por gravedad solo y muy raramente y por tramos breves, están constituidos por tuberías que trabajan bajo presión o por vacío. Normalmente están constituidos por conductos de sección circular, oval o compuesta, la mayoría veces enterrados bajo las vías públicas. Estas son consideradas un servicio básico, sin embargo la cobertura de estas redes en las ciudades de países en desarrollo es ínfima en relación con la cobertura de las redes de agua potable. A continuación, se exponen en la tabla 2.13 algunos elementos para la evaluación de vulnerabilidad en sistemas de alcantarillado atendiendo a sus elementos constructivos.

Tabla 2.13 Resumen de la evaluación de la vulnerabilidad en sistemas de alcantarillado

Partes componentes de los sistemas de alcantarillado	Indicadores	Grado de vulnerabilidad			
		Baja (0 - 1)	Moderada (0 - 1)	Alta (0 - 1)	Muy alta (0 - 1)
Las acometidas	Pérdida o infiltración de agua por usar juntas inadecuadas.				
Las alcantarillas	Infiltraciones excesivas durante las tormentas, obstrucciones en las tuberías				
Los colectores (o colectores secundarios),	Fenómeno de la erosión, ataque interior hacia los conductos por vertidos de ácidos, gases, productos corrosivos				
Los colectores principales	Corrosión en las tuberías, tipo de terreno donde se encuentran.				
Los emisarios interceptores	Corrosión en las tuberías, condiciones topográficas, erosión en caso de revestimientos.				
Las cunetas, rigolas y caces	Sedimentaciones, erosión en caso de revestimiento y el tipo de suelo en que se encuentra.				
Los imbornales, tragantes o sumideros	Fenómeno de la corrosión, buena pendiente de la alcantarilla y a su construcción cuidadosa, buen estado de los materiales a emplear				
Los pozos de inspección	Agrietamientos en los pozos				

2.3.6 Recomendaciones para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en canales de agua.

En ingeniería se denomina canal a una construcción destinada al transporte de fluidos generalmente utilizada para agua y que, a diferencia de las tuberías, es abierta a la

TRABAJO DE DIPLOMA

atmósfera. También se utilizan como vías artificiales de navegación. La descripción del comportamiento hidráulico de los canales es una parte fundamental de la hidráulica y su diseño pertenece al campo de la ingeniería hidráulica, una de las especialidades de la ingeniería civil e ingeniería agrícola. A continuación, se exponen en la tabla 2.14 algunos elementos para la evaluación de vulnerabilidad en canales atendiendo a sus elementos constructivos.

Tabla 2.14 Resumen de la evaluación de la vulnerabilidad en canales

Partes componentes de los canales	Indicadores	Grado de vulnerabilidad			
		Baja (0 - 1)	Moderada (0 - 1)	Alta (0 - 1)	Muy alta (0 - 1)
Canales sin revestimiento	Fenómeno de la erosión, Sedimentaciones, Deslizamientos				
Canales revestidos con hormigón	Fenómeno de la Lixiviación, Fisuración, Agrietamiento, Corrosión del acero u hormigón, humedad, Deterioro de las juntas entre las losas de hormigón, etc.				
Canales revestidos con otros materiales (adobe, revestimientos en colchones Renos, con concreto asfáltico, mantos permanentes)	El uso de los materiales para formar el revestimiento del canal (concreto, mampostería, acero, etc.), fenómeno de la erosión Fenómeno de la erosión, Sedimentaciones, Fenómeno de la corrosión, Descorchos del revestimiento				
Obras en canales	Se evalúan según su tipología				

2.3.7 Recomendaciones para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en presas.

Se define como presa o conjunto hidráulico, al conjunto de obras que se construyen con el propósito de almacenar, evacuar y distribuir un cierto volumen de agua para satisfacer determinadas demandas de la zona donde se ubique (Pérez, 2001). A continuación, se exponen en la tabla 2.15 algunos elementos para la evaluación de vulnerabilidad en las cortinas de presas de tierra atendiendo a sus elementos constructivos.

TRABAJO DE DIPLOMA

Tabla 2.15 Indicadores para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las cortinas de presas de tierra. Adaptado de Galbán y Sánchez, 2016.

Elementos que conforman la cortina de la presa	Indicadores de evaluación	Estado de vulnerabilidad por indicador
Dique de hormigón armado o estructura tierra de la cortina	Presencia de sales solubles (yesos, halitas, carbonatos) en el material que compone la cortina.	De 0-1
	Presencia de procesos erosivos y/o deslizamientos evidentes en taludes aguas arriba y aguas abajo.	De 0-1
	Presencia y distribución de filtraciones primarias en el cuerpo de la cortina.	De 0-1
	Presencia de fisuración potencial primaria en el cuerpo de la cortina (agrietamiento).	De 0-1
	Tipo y estado técnico constructivo de los recubrimientos.	De 0-1
	Presencia de humedad primaria en el cuerpo de la cortina	De 0-1
	Estado de los materiales que componen la cortina.	De 0-1
Aliviadero (s)	Presencia de eflorescencia por sales en el material que compone el aliviadero.	De 0-1
	Presencia y distribución de filtraciones primarias en el cuerpo del aliviadero.	De 0-1
	Presencia de fisuración potencial primaria en el cuerpo del aliviadero (agrietamiento).	De 0-1
	Estado de los materiales que componen el aliviadero.	De 0-1
	Presencia de humedad primaria en el cuerpo de la cortina	De 0-1
Obras de toma	Presencia de eflorescencia por sales en el material que compone la obra de toma.	De 0-1
	Presencia y distribución de filtraciones primarias en el cuerpo de la obra de toma.	De 0-1
	Presencia de fisuración potencial primaria en el cuerpo de obra de toma (agrietamiento).	De 0-1
	Estado de los materiales que componen obra de toma.	De 0-1
	Presencia de humedad primaria en los materiales que componen la obra de toma	De 0-1
Diques laterales de cierre en el embalse	Se consideran los mismos que el dique o estructura terrea de la cortina	De 0-1
Centrales hidroeléctricas	Se consideran los mismos que se aplican a las edificaciones	De 0-1
Vulnerabilidad sísmica total de la cortina	$V_{tc} = V_1 + V_2 + \dots + V_n/n$	Valor

Nota: Los especialistas pueden considerar otros indicadores en función del tipo de presa y su complejidad.

2.4 Estimación de los riesgos sísmicos presentes en los componentes y la obra hidráulica en general.

Al igual que para la determinación de la vulnerabilidad, para determinar los riesgos sísmicos o posibles daños de las obras hidráulicas se recomienda evaluar de forma independiente por tipo de partes componentes que la conforman, además de realizar este proceso por zonas si fuera necesario. Se sugiere que los especialistas realicen un resumen a partir de lo planteado en la tabla 2.16.

Tabla 2.16 Consideraciones generales en la interpretación de riesgo sísmico de la obra hidráulica en cuestión.

Componente 1, 2, 3, ..., etc.				
Zona	Detalles del peligro sísmico estudiado para la zona	Detalles de vulnerabilidad estudiada	Evaluación del grado de vulnerabilidad (De 0 - 1)	Resumen del grado de riesgo
Zona 1 (comprendida entre..., coordenadas..., etc.)	Valor en la escala de 0 – 1	Indicador 1	Valor en la escala de 0 - 1	$R_s = (P + V) / 2$
		Indicador 2		
		Indicador 3.....		
		Etc		
	Valor promedio de riesgos: $R_{st} = (R_1 + R_2 + \dots + R_n) / n$			Valor promedio
Zona 2				
Zona 3				
Etc.				

Nota: un procedimiento idéntico para cada zona y cada componente.

En caso de que la obra sea concentrada, como por ejemplo una caseta de bombeo, se sugiere que los especialistas realicen un resumen a partir de lo planteado en la tabla 2.17.

TRABAJO DE DIPLOMA

Tabla 2.17 Consideraciones generales en la interpretación del riesgo sísmico de la obra hidráulica concentrada.

Detalles del peligro sísmico estudiado para la zona	Detalles de vulnerabilidad estudiada	Evaluación del grado de vulnerabilidad (De 0 - 1)	Resumen del grado de riesgo
Valor en la escala de 0 – 1	Indicador 1	Valor en la escala de 0 – 1	$R_s = (P + V) / 2$
	Indicador 2		
	Indicador 3.....		
	Etc		
Valor promedio de riesgos: $R_{st} = (R_1 + R_2 + \dots + R_n) / n$			Valor promedio

Para estimar si los riesgos son bajos, moderados, altos o muy altos se sugiere emplear la siguiente matriz, de manera que sirva como criterio esencial para los especialistas, y puedan así emitir criterios de intervención para reducir la vulnerabilidad estableciendo prioridades. (Figura 2.2)

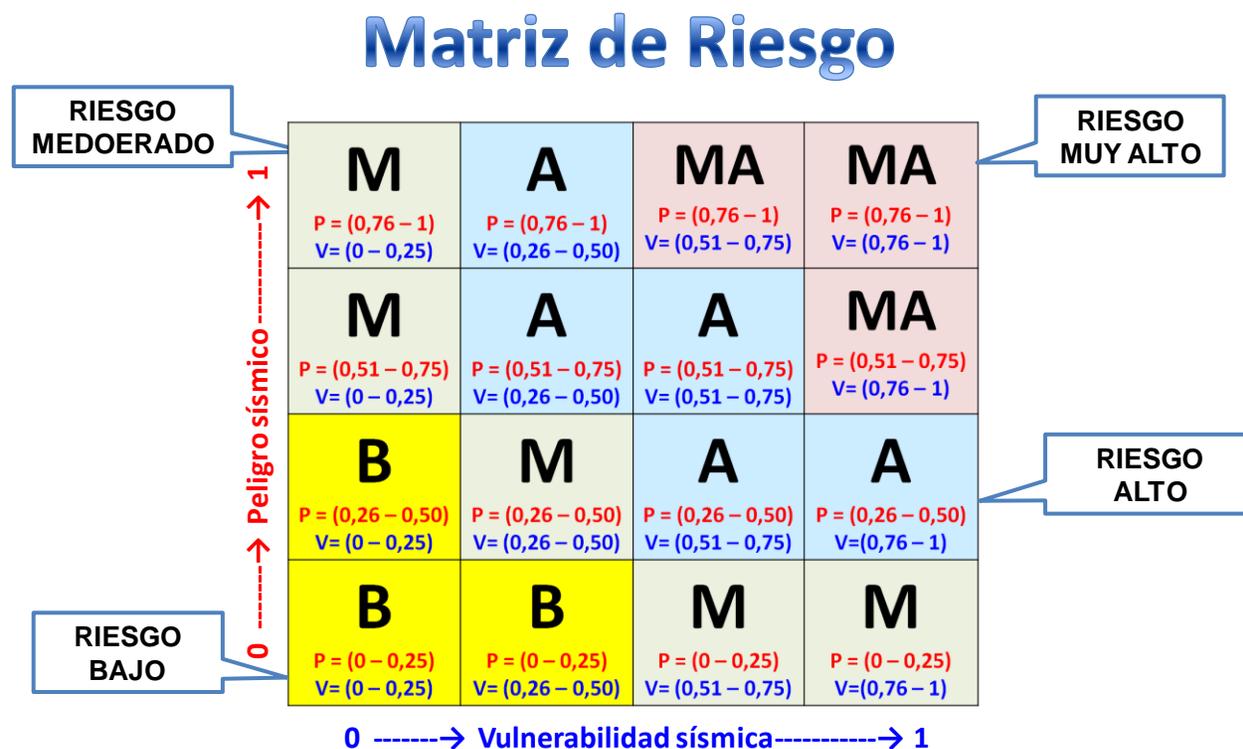


Figura 2.2 Matriz para la interpretación de riesgos sísmicos.

2.5 Realización de las recomendaciones de intervención tecnológica y acciones organizativas para reducir las vulnerabilidades y riesgos sísmicos.

Una vez determinado el peligro sísmico existente en el área de ubicación de la obra hidráulica, sus vulnerabilidades intrínsecas y el nivel de riesgos es preciso realizar los siguientes pasos lógicos:

- A partir de la experiencia práctica nacional e internacional, estimar de acuerdo a las vulnerabilidades estimadas, cuál o cuáles serían los fallos que podrían ocurrir si el componente específico de la obra hidráulica es impactado por un sismo de gran magnitud.
- A partir del resumen de riesgo de cada componente, establecer un plan de prioridades de intervención a la obra hidráulica en función de disminuir por fases y componentes las vulnerabilidades encontradas.

Como se describió en el capítulo anterior el impacto de los sismos sobre las obras hidráulicas vulnerables causan distintos fallos. A manera de resumen se ofrecen algunos en la tabla 2.18, pero se significa que es necesario que los especialistas evalúen todas las posibilidades.

Tabla 2.18 Ejemplos de fallos registrados tras el impacto de los sismos en las obras hidráulicas.

OBRA HIDRÁULICA	FALLOS REGISTRADOS TRAS EL IMPACTO DE LOS SISMOS
Acueductos y alcantarillados	Agrietamientos de tubería y galería, rotura de las uniones, desplazamientos laterales y roturas por deslizamientos, hundimientos y levantamientos, obstrucciones.
Estaciones de bombeo	Agrietamientos generales en la estructura civil, fallos en el sistema eléctrico, rotura de las uniones, hundimientos de la edificación, entre otras.
Pozos de agua subterránea	Agrietamientos generales en la estructura civil del encamisado, desplazamientos laterales diferenciales del eje vertical del pozo, fallos en el sistema eléctrico, rotura de las uniones, entre otras.
Presas	Agrietamientos generales en la estructura civil, fallos en el sistema de compuertas, rotura de las uniones, deslizamientos de taludes, sifonamiento mecánico, tubificación, entre otras.
Ciernas y tanques	Agrietamientos generales en la estructura civil, filtraciones, levantamientos, desplazamientos laterales diferenciales, rotura y colapso, entre otras.

Los planes de reducción de riesgos deberán estar diseñados de manera que en ellos se inserte el cumplimiento de lo legalmente establecido en el país. Un plan puede llevarse a cabo, por ejemplo, a través de un programa para la capacitación permanente de la población, profesionales, especialistas y decisores. Una proposición para el diseño de un Plan institucional puede verse en la Tabla 2.19.

TRABAJO DE DIPLOMA

Tabla 2.19 Ejemplo de estructura de planes institucionales.

<ol style="list-style-type: none"> 1- Introducción 2- Índice de contenido 3- Antecedentes/situación 4- Objetivo del plan 5- Objetivos específicos 6- Funciones de la institución en el plan 7- Organización para la ejecución de actividades (toma de decisiones) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dirección ▪ Comité de especialistas y sus responsabilidades ▪ Representante institucional para la Defensa Civil 8- Logística y uso de recursos institucionales 9- Mecanismos de coordinación interinstitucional 10- Indicaciones para el control de la ejecución del plan 11- Acciones a tomar 						
Diseño de acciones:						
No.	Acción	Tipo (preventivas, de preparación, de respuesta y recuperación)	Fechas previstas de ejecución	Departamentos involucrados	Especialistas y/o trabajadores que participan	Responsables

Muchas veces, debido al daño potencial que puede causar en los sitios expuestos determinados peligros, el costo de inversión por la aplicación de distintas medidas de reducción de riesgos supera los beneficios básicos que se esperan, comparados con su costo en sitios con menores peligros; además, también existen construcciones u obras de infraestructura que resultan vitales por sus funciones o por los daños sucesivos que puedan causar a la sociedad, por ejemplo, la interrupción del servicio de agua potable, la rotura de presas, roturas en el sistema de alcantarillado, entre otras. En estos casos se hace necesario garantizar el mayor nivel de seguridad posible en el diseño y construcción de las medidas de reducción de riesgos, para lo cual se requieren estudios ingenieros detallados, de manera que las probabilidades de fallo posteriores sean mínimas; estos estudios, así como la propia ejecución de la obra según su complejidad y medidas de reducción que requieran, generalmente son costosos, por lo que se hace necesario establecer una relación entre los verdaderos beneficios, los detalles de las investigaciones y la clasificación de la obra. Por las razones antes expuestas se realiza una proposición en la Tabla A1.4.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con lo reflejado en este trabajo se pudo comprobar que las obras hidráulicas pueden ser muy vulnerables ante los impactos que pueden ocasionar los peligros sísmicos, de manera que el colapso de cualquiera de estas obras atendiendo a su nivel de vulnerabilidad puede provocar una catástrofe de gran magnitud.
2. Los estudios de vulnerabilidad en obras hidráulicas cubanas están establecidos en la Resolución No. 386 /2014 del INRH, empleada en la inspección técnica de las mismas, sin embargo no contiene en sus preceptos la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico.
3. Actualmente la carrera de ingeniería hidráulica del actual Plan de Estudios E no cuenta con un documento que desde la docencia muestre a los estudiantes de forma general como evaluar la vulnerabilidad sísmica en obras hidráulicas, especialmente en la asignatura El ingeniero hidráulico en la defensa, donde de forma particular se tratan estos temas.
4. En este trabajo se expone de forma general las bases para la elaboración de una monografía temática sobre evaluación de vulnerabilidad sísmica en obras hidráulicas, que tiene como elementos novedosos la descripción de daños causados internacionalmente, y una serie de pasos lógicos a seguir durante su evaluación para cualquier obra hidráulica.

RECOMENDACIONES

1- Asumir los elementos plasmados en este trabajo para la elaboración final de una monografía en la temática seleccionada, principalmente los relacionados al mejoramiento de los indicadores de vulnerabilidad sísmica en cada obra hidráulica, y su descripción detallada.

2- Se recomienda que cuando se elabore finalmente la monografía con todas las descripciones de los indicadores que se evalúan se cumpla lo siguiente:

- Presentarse correctamente encuadrada (si está impresa)
- Una portada atractiva, alegórica al contenido.
- Se recomienda no abusar de letras de diferentes colores. Los apartados y sub apartados se numerarán de la misma forma que aparecen en este documento: 1., 1.1, 1.1.1, etc.
- Es muy recomendable ir ilustrando el texto con diferentes esquemas, dibujos o fotografías relacionadas con el tema que se esté tratando.
- En el trabajo debe citarse al final todos los documentos que se han utilizado para elaborar el trabajo. A esto se le llama hacer la bibliografía.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo Toro, D.M, 2002. “Metodología para el análisis de riesgos y vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento”, Memorias del III Curso Internacional, Microzonificación y su aplicación en la Mitigación de Desastres, Lima, Perú.
2. Ballesteros, Mario; Rodríguez T., Iván. Guía Técnica para la Reducción de la Vulnerabilidad en los Sistemas de Agua y Saneamiento. Subsecretaria de agua potable y saneamiento básico. Septiembre 2003. Localizable en: <http://www.ceprode.org.sv/staticpages/pdf/spa/doc14793>.
3. Barreda T., Angel. 2009. La vulnerabilidad de los sistemas de bombeo. Monografía temática elaborada para la asignatura Sistemas de bombeo, Archivos del Departamento de Ingeniería hidráulica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. Cuba. Inédito.
4. Cantero, Luis. “Embalses de Cuba”. Power Point. Datos estadísticos. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). La Habana. Cuba, 2012.
5. Carmona, S. Juan. “Seguridad y Riesgo en la ingeniería de presas”; Universidad Nacional de San Juan. 2011.
6. Castañeda Zaldívar, Pavel. “Indicadores requeridos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las presas de tierra en la región oriental de Cuba”. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero hidráulico. Archivos del Departamento de Ingeniería Hidráulica, Facultad de Construcciones, Universidad de Oriente. 2014.
7. Chuy Rodríguez, T. J. 1999. “Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad y Microzonación Sísmica”. Tesis en opción de Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del CENAIIS e Instituto de Geofísica y Astronomía.
8. Chuy Rodríguez, T.J., Zapata Balanqué, J.A, 2009. “Apuntes sobre el comportamiento de reciente de la sismicidad de Cuba”, Salud y Desastres, Experiencias cubanas, La Habana: Editorial Ciencias Médicas.
9. Colectivo de Autores. “Diseño Hidráulico de Aliviaderos para Presas Pequeñas”; Editorial: Félix Varela, La Habana, 2001.

TRABAJO DE DIPLOMA

10. Colectivo de Autores; “Diseño Hidráulico de Obras de Toma para Presas Pequeñas”, Editorial: Félix Varela, La Habana, 2001.
11. Comisión Nacional del Agua. 2007. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.
12. Conagua, (2000), “Manual para la capacitación en Seguridad de Presas, (USBR 1990)” Ingeniería y Gerencia de Normas Técnicas, México.
13. Conagua, (2012), “Sistema Informático de Seguridad de Presas (SISP)”, Gerencia de Ingeniería y Normas Técnicas, Subdirección General Técnica, México.
14. Díaz González, Orestes. (2001). Análisis de Vulnerabilidad de Sistemas de abastecimiento de Agua Revista Ingeniería hidráulica y ambiental, VOL. XXII, No. 4, (La Habana).
15. Earth and Earth – Rock Dams, Sherard. Traducido al Español (Digital) Capítulo. - 1.a ap. 1.1.i p-18, Capítulo. 2.0 ap. 2.5 p-108 Capítulo. 8. ap. 8.2 p-317
16. Editor: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. ISBN: 978-968-817-880-5. México, D.F.
17. FEMA. Federal Guidelines for Dam Safety: Earthquake Analyses and Design of dams. <http://www.fema.gov/media-library/assets/documents/2482>, 2013.
18. Galbán Rodríguez, L. 2009. “Algunas reflexiones sobre las causas que generan el riesgo geológico en la provincia Santiago de Cuba”. CD ROM “III Taller Internacional Nuestro Caribe en el Nuevo Milenio”
19. Galbán Rodríguez, Liber (a). “Geología básica aplicada. Elementos básicos de la ingeniería geológica aplicados a la ingeniería civil e hidráulica”. Editorial Académica Española. ISBN: 978-3-659-04793-0 Madrid. España. 2012.
20. Galbán Rodríguez, Liber (b). “Procedimiento para la gestión y reducción de riesgos geológicos en la provincia Santiago de Cuba”. Tesis en opción al título de Doctor en ciencias geológicas. Archivos del Departamento de Ingeniería Hidráulica, Facultad de Construcciones, Universidad de Oriente. 2014.
21. Galbán Rodríguez, Liber (c). “Indicadores más comunes en la evaluación de riesgos geológicos. Indicadores cualitativos y cuantitativos para la evaluación de peligro, vulnerabilidad y riesgos geológicos”. Editorial Académica Española. ISBN: 978-3-8484-6869-0. Madrid. España.2012.

TRABAJO DE DIPLOMA

22. García Peláez, Julio A. et al. 2002. “Informe Final del Proyecto: Mapa de riesgo sísmico de la Ciudad de Santiago de Cuba”. Desarrollado por el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas – CITMA para el Programa Nacional de la Defensa.2002. Archivo CENAIS.
23. Grases, José. 1997. Guías para el análisis de vulnerabilidad. Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. Anexo 1. Ejemplos de efectos de sismos en sistemas de tuberías*
24. Informe Técnico de la presa Parada.
25. Ing. Bermúdez Diéguez, Guadalupe, Lic. Beyris Mazar, Alberto. “Estudios de peligro, Vulnerabilidad y Riesgo ante intensas lluvias”. 2015.
26. Inventario de presas y centrales hidroeléctricas de la República Argentina. Subsecretaría de Recursos Hídricos, 2010. “Presas y centrales argentinas. Presa Agua del Toro, Mendoza”. <https://presasuba.wordpress.com/2013/12/08/presa-agua-del-toro-mendoza>
27. Lescaille Hernández, Félix. “Estudio de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo en los Sistemas de Agua Potable y Saneamiento de la Sede “Julio Antonio Mella” de la Universidad de Oriente”. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero hidráulico. Archivos del Departamento de Ingeniería Hidráulica, Facultad de Construcciones, Universidad de Oriente. 2014.
28. Liyanage Perera, Uswatte. Evaluación del peligro por deslizamientos en laderas y taludes del municipio Santiago de Cuba”. 2014.
29. Monge Fong, Roberto. “Informe anual del Sistema de Control Técnico de la presa Parada”. 2013.
30. Murillo R., (2006), “Anomalías en presas”, Memorias XXIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Publicación de SMMS, Tuxtla Gutiérrez, Chis.
31. OPS/OMS El Salvador. Vulnerabilidad de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento en Áreas Rurales de El Salvador. Septiembre 2002. San Salvador.[http:// www.bvssan.incap.org.gt/bvsade/e/fulltext/lecciones/lecciones.pdf](http://www.bvssan.incap.org.gt/bvsade/e/fulltext/lecciones/lecciones.pdf)
32. Organización Panamericana de la Salud (1998). Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario, en el capítulo3, Descripción de las amenazas naturales y de sus efectos en los sistemas de agua

TRABAJO DE DIPLOMA

- potable y alcantarillado. Washington, D.C., OPS Publicaciones (Serie Mitigación de Desastres). www.cepis.opsoms.org/bvsade/cd/e/publicaciones/MitSurbanos/index.html.
33. Organización Panamericana de la Salud (1998). Quito. EC. Manual para Mitigación de los Desastres Naturales en Sistemas Rurales de Agua Potable. Washington, D.C., OPS Publicaciones (Serie Mitigación de Desastres). Escuela Politécnica de Quito, Ecuador, junio 2001. 84p. <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc9816/doc9816.htm>
 34. Organización Panamericana de la Salud. (1997). Vulnerabilidad de los sistemas de abasto de agua potable ante deslizamientos. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). <http://www.helid.desastres.net/>
 35. Organización Panamericana de la Salud. (1998). Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado - Guías para el Análisis de vulnerabilidad. Washington, D.C., OPS Publicaciones (Serie Mitigación de Desastres). 110 p. <http://www.helid.desastres.net>
 36. Quintero Dip, Aida. "Intensa sequía mantiene a Santiago de Cuba en situación crítica". <http://www.acn.cu/cuba/14815-intensa-sequia-mantiene-a-santiago-de-cuba-en-situacion-critica>.
 37. Sin autor. "El desastre de Vajont, un peligroso antecedente". <http://www.yesano.com/vajont.htm>
 38. Sin autor. Estudio técnico: Tipos de Presa 2013. <http://maquinarialavera.es/2013/06/11/estudio-tecnico-tipos-de-presa>.
 39. Sin autor. Las Presas. <http://es.paperblog.com/las-presas-524524>
 40. Sin autor. Presas. Tipología. <http://www.nuevaingenieria.com/presas-tipologia>
 41. Toro Acevedo. Dumar Mauricio. III Curso internacional "Micro zonificación y su aplicación en la Mitigación de Desastres". Del 11 al 29 de noviembre del 2002. Metodología para el Análisis de Riesgo y Vulnerabilidad de Sistemas de agua potable y Saneamiento. Editado por Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Lima-Perú. 24 p Localizable en: http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/redacis/redacis19_p.pdf

TRABAJO DE DIPLOMA

42. Vázquez Jeréz, Gabriel. 2012. "Estudio preliminar de las vulnerabilidades del Proyecto de Rehabilitación del Sistema de Rebombeo "Campo de Tiro – Caballo Blanco". Tesis en opción al título de Ingeniero Hidráulico. Tutores: Msc. Ing. Ángel Barreda Trujillo, Ing. Aláin Paneque Martínez. Archivos del Departamento de Ingeniería Hidráulica, Facultad de Construcciones, universidad de Oriente, Santiago de Cuba. Junio 2012.
43. Venegas Conrados, F. José. Tesis de Maestría, Respuesta sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto. Universidad Politécnica de Madrid, 2011.
44. Zavala Toledo, Carlos Alberto. Algunas Notas sobre Vulnerabilidad de Componentes de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable. Microzonificación y su aplicación en la mitigación de desastres. Lima, CISMID, 2002, <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/conf12.pdf>.
45. Liber Galbán Rodríguez. (2020) Earthquakes genesis and geography. Rakuten Kobo Inc. Publishing Services. Toronto, Ontario, Canadá. <https://www.kobo.com/ww/es/ebook/genesis-y-geografia-de-los-terremotos>
46. Acosta Berrospi, Jhoseline; Andrade Marin, Malu; Satalaya Jara, Aletia. (2012). "La monografía". Curso: Métodos y Técnicas Del Estudio Universitario. Centro de Estudios: Universidad Privada de Huánuco. Especialidad: E. A.P Psicología. <https://www.monografias.com/trabajos93/concepto-monografia/concepto-monografia.shtml>

TRABAJO DE DIPLOMA

Anexo 1

Tabla A1.1 Magnitudes de la escala de momento para terremotos y su equivalente en energía liberada. Adaptado de Hanks y Kanamori (1979).

Magnitud Richter (o)	Magnitud de momento	Equivalencia de la energía TNT	Referencias comparativas
-1,5		1 g	Rotura de una roca en una mesa de laboratorio.
1,0		170 g	Pequeña explosión en un sitio de construcción.
1,5		910 g	Bomba convencional de la Segunda Guerra Mundial.
2,0		6 kg	Explosión de un tanque de gas butano.
2,2		10 kg	Algunos de los sismos diarios en la Falla de San Andrés.
2,5		29 kg	Bombardeo a la ciudad de Londres.
2,7		64 kg	
3,0		181 kg	Explosión de una planta de gas. Sismos que ocurren diariamente al interior de la Región de Tarapacá en Chile, generalmente no son sensibles por su magnitud.
3,5		455 kg	Explosión de una mina.
4,0		6 t	Bomba atómica de baja potencia. Sismos que ocurren diariamente en la zona fronteriza de Chile-Argentina (Región de Antofagasta-Provincia de Jujuy-Provincia de Salta) a gran profundidad y por lo general no son sensibles.
5,0		199 t	Terremoto de Albolote de 1956 (Granada, España). Terremoto de Lorca de 2011 (Murcia, España). 25 de diciembre de 2017(cerca de Acapulco, Guerrero, México)
5,1			Terremoto provocado por una prueba nuclear de Corea del Norte de enero del 2016.
5,3			Terremoto provocado por una prueba nuclear de Corea del Norte de septiembre de 2016.
5,5		500 t	Terremoto de El Calvario (Colombia) de 2008. Terremoto de Popayán 1983 (Colombia). Terremoto del Río de la Plata de 1888 (Buenos Aires, Argentina - Uruguay).
6,0		1 270 t	Terremoto de Double Spring Flat de 1994 (Nevada, Estados Unidos).
6,2			Terremoto de Costa Rica de 2009. Terremoto del Estado de Carabobo de 2009 (Venezuela). Terremoto de Managua de 1972 (Nicaragua). Terremoto del Eje Cafetero de 1999 (Colombia).
6,3			Terremoto de mar de Alborán de 2016 (Melilla, España). Terremoto Amatrice (Lacio, Italia).
6,4			Terremoto de Salta de 2010 (Argentina). Terremoto de Taiwán de 2018.
6,5		31 550 t	Terremoto de Northridge de 1994 (California, Estados Unidos). Terremoto de Guerrero de 2011 (México). Terremoto de la costa de Tarapacá de 2009 (Iquique, Chile).
6,6		50 000 t	Terremoto de Los Santos de 2015 (Los Santos SD, Colombia).
6,7			Terremoto de L'Aquila de 2009 (Italia). Terremoto del Perú de 2011 (Loreto, Perú). Terremoto de Veracruz de 2011 (Veracruz, México). Terremoto de Tecpan de 2014 (Guerrero, México).

TRABAJO DE DIPLOMA

6,8			Terremoto de Bolivia de 1998 (Aiquile, Bolivia).
6,9			Terremoto de Loma Prieta de 1989 (San Francisco, Estados Unidos). Terremoto de Hanshin-Awaji de 1995 (Kobe, Japón). Terremoto de zona pacífica en Colombia (Departamentos de Nariño, Valle del Cauca y Cauca) de 2013. Terremoto de Guatemala de 2017.
	7,0	199 000 t	Terremoto de Cariaco de 1997 (Venezuela).
	7,1		Terremoto de Biobío-Araucanía de 2010 (Chile). Terremoto de Punitaqui de 1997 (Chile). Terremoto de Alaska de 2016. Terremoto de Puebla de 2017 (México). Terremoto del sur del Perú de 2018.
	7,2	250 000 t	Terremoto de Spitak 1988 (Armenia). Terremoto de Baja California de 2010 (Mexicali, Baja California). Terremoto de Ecuador de 2010 (180 kilómetros de Ambato). Terremoto de Guerrero de 2014 (México). Terremoto de Oaxaca de 2018 (México).
	7,3		Terremoto de Veracruz de 1973 (México). Terremoto de Honduras de 2009. Terremoto de Xinjiang de 2014 (China). Terremoto de Kermanshah de 2017 (Irán).
	7,4	550 000 t	Terremoto de La Ligua de 1965 (Chile). Terremoto de Guatemala de 2012. Terremotos de Guerrero-Oaxaca de 2012 (Oaxaca, México).
	7,5	750 000 t	Terremoto de Caucete 1977 (San Juan, Argentina). Terremoto de Oaxaca de 1999 (México). Terremoto de Guatemala de 1976. Réplica del Terremoto de Iquique de 2014 (Chile). Terremoto de Afganistán de 2015.
	7,6		Terremoto de Colima de 2003 (México). Terremoto de Costa Rica de 2012. Terremoto de la Isla De Chiloé de 2016 (Chile).
	7,7		Terremoto de Limón de 1991 (Limón, Costa Rica y Bocas del Toro, Panamá). Terremoto de Orizaba de 1937 (Veracruz, México). Terremoto de Tocopilla de 2007 (Tocopilla, Chile). Terremoto de México de 1957 (México). Réplica del Terremoto de Iquique de 2014 (Chile).
	7,8	1 250 000 t	Terremoto de San Juan de 1944 (San Juan, Argentina). Terremoto de Sichuan de 2008 (China). Terremoto de Tarapacá de 2005 (Iquique, Chile). Terremoto de Nepal de abril de 2015. Terremoto de Ecuador de 2016 (Manta, Esmeraldas, Ecuador). Terremoto de Christchurch de 2016 (Nueva Zelanda). Terremoto de Sumatra de 2016.
	7,9	5 850 000 t	Terremoto de Áncash de 1970 (Perú).
	8,0	10 120 000 t	Terremoto del Perú de 2007 (Pisco, Perú). Terremoto de Algarrobo de 1985 (Chile).
	8,1	16 460 000 t	Terremoto de México de 1985 (Michoacán, México).
	8,2		Terremoto de Chiapas de 2017 (México). Terremoto de Arica e Iquique de 2014 (Chile) Terremoto de Valparaíso de 1906 (Chile).
	8,3	50 190 000 t	Bomba del Zar.

TRABAJO DE DIPLOMA

			Terremoto de Guatemala de 1942.
	8,4	50 190 000 t	Terremoto de Coquimbo de 2015 (Chile).
	8,5	119 500 000 t	Terremoto de Sumatra de 2007. Terremoto del sur del Perú de 2001 (Arequipa, Perú). Terremoto de Valdivia de 1875 (Chile).
	8,6	119 500 000 t	Terremoto de San Juan de 1894 (San Juan, Argentina). Terremoto de Sumatra de 2012. Terremoto de Vallenar de 1922 (Chile). Terremoto de San Francisco de 1906 (Estados Unidos). Terremoto de Nueva España de 1787 (México)
	8,7		Terremoto de Valparaíso de 1730 (Chile).
	8,8	210 000 000 t	Terremoto de Cobquecura de 2010 (Chile). Terremoto de Ecuador y Colombia de 1906.
	9,0	240 000 000 t	Terremoto de Japón de 2011.
	9,1	260 000 000 t	Terremoto del océano Índico de 2004 (Sumatra, Indonesia).
	9,2	260 000 000 t	Terremoto de Anchorage de 1964 (Alaska, Estados Unidos).
	9,5	290 000 000 t	Terremoto de Valdivia de 1960 (Chile).
	10,0	630 000 000 t	Estimado para el choque de un meteorito rocoso de 2 km de diámetro que impacte a 25 km/s (90 000 km/h).
	12,0	10^{12} t 10 ⁶ megatones 1 teratón	Fractura de la Tierra por el centro. Cantidad de energía solar recibida diariamente en la Tierra.
	13,0	10 ⁸ megatones 100 teratones	Impacto en la península de Yucatán que causó el cráter de Chicxulub hace 65 millones de años.
	25,0	1.200,000 trillones de bombas atómicas de Hiroshima	Impacto de Theia hace 4 530 millones de años. No hay lugar preciso del impacto debido al tamaño del planetoide.
	32,0	$1,5 \times 10^{43}$ t	Estallido de rayos gamma de la Magnetar SGR 1806-20, registrado el 27 de diciembre de 2004. Terremoto similar a los de la superficie solar.

Tabla A1.2. Descripción de los grados de la escala de Mercalli modificada.

Grado	Descripción
I - Muy débil.	Imperceptible para la mayoría excepto en condiciones favorables. Aceleración menor a 0,5 Gal.
II - Débil.	Perceptible solo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios. Los objetos colgantes suelen oscilar. Aceleración entre 0,5 y 2,5 Gal.
III - Leve.	Perceptible por algunas personas dentro de los edificios, especialmente en pisos altos. Muchos no lo perciben como un terremoto. Los automóviles detenidos se mueven ligeramente. Sensación semejante al paso de un camión pequeño. Aceleración entre 2,5 y 6,0 Gal.
IV - Moderado.	Perceptible por la mayoría de personas dentro de los edificios, por pocas personas en el exterior durante el día. Durante la noche algunas personas pueden despertarse. Perturbación en cerámica, puertas y ventanas. Las paredes suelen hacer ruido. Los automóviles detenidos se mueven con más energía. Sensación semejante al paso de un camión grande. Aceleración entre 6,0 y 10 Gal.
V - Poco	Sacudida sentida casi por todo el país o zona y algunas piezas de vajilla o cristales de ventanas se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos

TRABAJO DE DIPLOMA

fuerte.	inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen los relojes de péndulo. Aceleración entre 10 y 20 Gal.
VI - Fuerte.	Sacudida sentida por todo el país o zona. Algunos muebles pesados cambian de sitio y provoca daños leves, en especial en viviendas de material ligero. Aceleración entre 20 y 35 Gal.
VII - Muy fuerte.	Ponerse de pie es difícil. Muebles dañados. Daños insignificantes en estructuras de buen diseño y construcción. Daños leves a moderados en estructuras ordinarias bien construidas. Daños considerables en estructuras pobremente construidas. Mampostería dañada. Perceptible por personas en vehículos en movimiento. Aceleración entre 35 y 60 Gal.
VIII - Destructivo.	Daños leves en estructuras especializadas. Daños considerables en estructuras ordinarias bien construidas, posibles derrumbes. Fuertes daños en estructuras pobremente construidas. Mampostería seriamente dañada o destruida. Muebles completamente sacados de lugar. Aceleración entre 60 y 100 Gal.
IX - Muy destructivo.	Pánico generalizado. Daños considerables en estructuras especializadas, paredes fuera de plomo. Grandes daños en importantes edificios, con derrumbes parciales. Edificios desplazados fuera de las bases. Aceleración entre 100 y 250 Gal.
X - Desastroso.	Algunas estructuras de madera bien construidas quedan destruidas. La mayoría de las estructuras de mampostería y el marco destruido con sus bases. Vías ferroviarias dobladas. Aceleración entre 250 y 500 Gal.
XI - Muy desastroso.	Pocas estructuras de mampostería, si las hubiera, permanecen en pie. Puentes destruidos. Vías ferroviarias curvadas en gran medida. Aceleración mayor a 500 Gal.
XII - Catastrófico.	Destrucción total con pocos supervivientes. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados. Imposibilidad de mantenerse en pie.

Tabla A1.3 Descripción de la escala sísmica MSK.

Grado	Descripción de daños
Grado II: difícilmente perceptible	Las estructuras y objetos no lo notan, pero sí pueden notarlo personas en reposo.
Grado III: débil	Los edificios no sufren daño, aunque algunos objetos colgantes pueden balancearse ligeramente. Puede ser notado por unos pocos dentro de casas. Vibración comparable a las provocadas por un camión pequeño.
Grado IV: bastante notado	Dentro de los edificios es notado por muchos. Algunas personas dormidas se despiertan. Cristales, porcelana, ventanas y puertas tiemblan y hacen pequeños golpeteos. Algunos pocos muebles que no pesen pueden vibrar visiblemente. Vibraciones moderadas, comparadas a las provocadas por un camión grande.
Grado V: algo fuerte	La mayoría de las personas dentro de edificios lo nota, pero sólo unos pocos al aire libre, donde corren algunos pocos, asustados. Los observadores notan el balanceo del edificio, de los muebles o el temblor de las paredes. Los objetos colgantes se balancean muy notablemente. La porcelana y los vasos chocan entre sí y hacen bastante ruido. Muchas personas que duermen despiertan. Las ventanas y las puertas empiezan a abrirse y cerrarse. En algunos casos, incluso algunas ventanas pueden llegar a romperse. Los líquidos se desplazan y se pueden salir de recipientes llenos. Los animales en casas pueden empezar a sentirse intranquilos. Algunos edificios mal construidos sufren ligeros daños.
Grado VI: fuerte	La gran mayoría lo siente dentro de edificios y ya son muchos los que lo sienten fuera. Unas pocas personas pierden el equilibrio. Mucha gente corre asustada hacia la calle. Pueden caerse pequeños objetos y los muebles sufren un leve desplazamiento. Vajillas y cristalerías pueden romperse. Puede que animales de granja se sientan

TRABAJO DE DIPLOMA

	inquietos. Daño visible en obras de trabajos de mampostería, como grietas en la escayola. También hay grietas solitarias en el suelo.
Grado VII: muy fuerte	La mayoría de la gente está asustada e intenta correr hacia la calle. Los muebles se desplazan y pueden llegar a volcarse. Los objetos en las estanterías caen. El agua salpica en los recipientes. Daño grave a edificios viejos. Las chimeneas de mampostería se desploman. Aparecen grietas en los edificios. Se producen pequeños corrimientos de tierra.
Grado VIII: bastante dañino	A muchas personas les es difícil mantener el equilibrio, incluso al aire libre. Los muebles corren riesgo de volcarse. Se agravan las grietas, los edificios más antiguos se derrumban parcialmente o sufren grandes daños. Se pueden apreciar ondas en suelos muy blandos. Se pueden producir corrimientos de tierra y desprendimiento de rocas.
Grado IX: destructivo	Pánico general. Mucha gente cae a la fuerza al suelo. Se ven ondas en suelos no tan blandos. Se desploman las estructuras no muy bien construidas. Daño considerable a estructuras bien construidas. Se rompen las canalizaciones subterráneas. Grietas en el suelo y corrimientos de tierra generalizados.
Grado X: devastador	Se destruyen puentes y diques y se tuercen las vías de ferrocarril, así que las infraestructuras quedan inutilizadas. Desprendimientos de tierra más que generalizados y más graves.
Grado XI: catastrófico	La mayoría de las construcciones son destruidas. Las perturbaciones del terreno se extienden por todos lados. Riesgo de tsunamis.
Grado XII: extremadamente catastrófico	Todas las construcciones, subterráneas o no, han sido destruidas. El suelo se mueve como olas del mar. El terreno y el paisaje han cambiado, así como el cauce de los ríos. Tsunamis.

Tabla A1.4 Relación entre la clasificación de la obras, los detalles de las evaluaciones de riesgos y los costos de mitigación. (Fuente: Galbán, 2014)

Categorías de obras constructivas	Obras	Escalas de estudios de riesgos geológicos	Observaciones
Categoría A	<p>1. Edificios y obras de excepcional importancia Las construcciones cuya rotura tengan consecuencias catastróficas tales como las instalaciones termoeléctricas, refinerías, plantas de gases industriales y construcciones relacionadas con sustancias de gran toxicidad y similares.</p> <p>2. Edificios y obras de especial importancia. Los edificios cuyas roturas tienen gran trascendencia tales como edificios monumentales, edificios que guardan obras artístico culturales de gran valor y similares. Los edificios y obras cuya indestructibilidad es indispensable para garantizar las</p>	<p>Se propone utilizar escalas inferiores a 1: 5000 para los detalles de la evaluación PVR que se realice. Recomendándose escalas de entre 1: 1:1000 y 1:200 o inferiores para los objetos de obra más significativos.</p> <p>Se deberá además la ubicación de pozos de control geotécnico a distancias inferiores a los</p>	<p>Estas son obras estratégicas y de excepcional importancia social y económica, por cuanto independientemente a que se encuentren ubicadas en zonas de bajo o moderado riesgo requieren de monitoreo constante. Se sugiere la realización de estudios especiales, la consulta a especialistas e instituciones en aspectos tecnológicos y de riesgo, así como la necesaria capacitación constante de especialistas, técnicos y obreros en estos temas.</p> <p>Las consideraciones relacionadas a los costos de inversión deberán regirse por el criterio de la alta seguridad que estas requieren ante el impacto</p>

TRABAJO DE DIPLOMA

	<p>medidas mínimas destinadas a erradicar las consecuencias de terremotos intensos, tales como: hospitales policlínicos y obras relacionadas con la salud, la educación, así como algunas obras energéticas y similares.</p> <p>Muros de contención grandes que soportan estructuras u obras importantes o instalaciones, donde la falla podría tener consecuencias desastrosas destruyendo instalaciones vitales, de servicio o causar pérdidas de vida, tales como las presas.</p>	<p>500 metros uno de otro, para mediciones durante la ejecución y el funcionamiento de la obra de elementos relacionados a asentamientos, filtraciones, comportamiento de los niveles freáticos, etc.; además de sistemas de monitoreo y alerta temprana especiales ante posibles eventos geológicos de gran magnitud.</p>	<p>de un evento geológico severo, independientemente a que encarezca el proceso inversionista. Estos son costos que a largo plazo disminuyen las constantes rehabilitaciones y reconstrucciones luego del impacto de sucesos periódicos, alargan la vida útil de las instalaciones, disminuyen de forma general todos los daños globales que puedan causarse y sustentan el funcionamiento de las mismas en situaciones de desastre.</p>
Categoría B	<p style="text-align: center;">3. Edificios y obras de importancia primaria.</p> <p>Edificios y obras residenciales, escolares, públicas e industriales.</p> <p>Construcciones agropecuarias de larga permanencia del personal.</p> <p>Muros de contención de por lo menos 6 m de altura no ubicados en localidades como las consideradas en el grupo 2, pero donde su reemplazo podría ser difícil o costoso, y donde otras consecuencias podrían ser serias</p>	<p>Se propone utilizar escalas inferiores a 1: 10 000 para los detalles de la evaluación PVR que se realice. Recomendándose escalas de entre 1: 5 000 y 1:2 000 o inferiores para los objetos de obra más significativos.</p> <p>Instalación de sistemas de alerta temprana ante posibles eventos geológicos de gran magnitud.</p>	<p>Estas son obras de gran importancia social y económica, por cuanto independientemente a que se encuentren ubicadas en zonas de bajo o moderado riesgo se sugiere la realización de estudios especiales, la consulta a especialistas e instituciones en aspectos tecnológicos y de riesgo, así como la necesaria capacitación constante de especialistas, técnicos y obreros en estos temas.</p> <p>Las consideraciones relacionadas a los costos de inversión deberán regirse igualmente por el criterio de la seguridad que estas requieren ante el impacto de un evento geológico severo. Estos son costos que a largo plazo disminuyen las constantes rehabilitaciones y reconstrucciones luego del impacto de sucesos periódicos y, aseguran significativamente la integridad física de las personas y los recursos materiales.</p>
Categoría C	<p style="text-align: center;">4. Edificios y obras de importancia secundaria.</p> <p>Los edificios y obras cuya rotura presente poco peligro para la</p>	<p>Se propone utilizar escalas inferiores a 1: 25 000 para los</p>	<p>Estas son obras de mediana importancia social, por cuanto su diseño y ejecución deben regirse por las normas técnicas</p>

TRABAJO DE DIPLOMA

	<p>vida y salud de las personas y ocasionen pequeños daños materiales.</p> <p>Edificios industriales de una planta con un número de trabajadores no mayor de 50 y que no contengan instalaciones muy costosas, pequeños talleres y otros.</p> <p>Construcciones agropecuarias de corta permanencia del personal.</p>	<p>detalles de la evaluación PVR que se realice.</p> <p>Recomendándose escalas de entre 1: 10 000 y 1: 5 000 o inferiores para los objetos de obra más significativos.</p>	<p>normalmente establecidas para estas construcciones, sin costos adicionales de inversión por la aplicación de medidas de reducción de riesgos; aunque deberá establecerse un sistema periódico de mantenimiento.</p>
Categoría D	<p style="text-align: center;">5. Edificios y obras no importantes</p> <p>Los edificios provisionales de bajo costo cuya rotura no presente peligrosidad para la vida y salud de las personas, Estructuras para abrigo provisional de animales. Muros de contención no incluidos en los grupos 1, 2 y 3</p>	<p>Se propone utilizar escalas inferiores a 1: 50 000 para los detalles de la evaluación PVR que se realice.</p>	<p>Las consideraciones relacionadas a los costos de inversión deberán regirse por las normas técnicas normalmente establecidas para estas construcciones, sin costos adicionales de inversión por la aplicación de medidas de reducción de riesgos.</p>