

**ANÁLISIS DE RIESGO, CONFIABILIDAD
ESTRUCTURAL Y MANTENIMIENTO
DE PRESAS DE TIERRA: UN CASO EN EL ESTADO
DE MÉXICO**

Dr. David Joaquín Delgado Hernández¹

y

Dr. David De León Escobedo²

Octubre, 2007

¹ Ingeniero civil con maestría en ingeniería de sistemas ambos por la UNAM y doctorado en ingeniería civil por la Universidad de Birmingham, Inglaterra. Miembro del SNI. Profesor-Investigador de la Facultad de Ingeniería UAEM.

² Ingeniero civil de la Universidad Autónoma de Tamaulipas con maestría en estructuras por la UNAM. Doctor en Ingeniería estructural por la Universidad de California en Irvine. Miembro del SNI. Profesor-Investigador de la Facultad de Ingeniería UAEM.

Resumen

En las etapas de diseño y construcción de obras de ingeniería civil debe tomarse en cuenta la posibilidad de que los proyectos pongan en riesgo la salud o seguridad pública o provoquen pérdidas económicas a la comunidad. Los análisis de riesgo y confiabilidad contribuyen a desarrollar programas óptimos de mantenimiento preventivo, ya que permiten anticipar los posibles daños que la obra pudiera presentar durante su vida útil. Así, el desarrollo y la protección de infraestructura impacta directamente al desarrollo de un país. Por lo tanto, es necesario administrar los riesgos involucrados y mantener niveles aceptables de confiabilidad de las estructuras que forman parte de estas importantes obras, ya que esto permite garantizar que ellas no causarán fatalidades ni pérdidas económicas a la comunidad. Una de las obras más importantes de infraestructura civil son las presas, el objeto de este estudio. En particular, se abordará el caso de una presa de tierra en el Estado de México, con la finalidad de mejorar sus prácticas de operación y mantenimiento, mediante la aplicación de algunas técnicas desarrolladas por los líderes mundiales en la materia.

Abstract

During the design and construction stages of a civil engineering infrastructure project, the possibility to cause health and public damage resulting in economical community loss is always present. Risk and reliability analysis help to develop useful preventive maintenance programmes, because they provide early evidence of potential breaks during the life cycle of the infrastructure. The protection of this projects has a direct impact in a country's development. Therefore it is necessary to manage the risks involved, to keep them within acceptable reliability levels. This contributes to ensure that the infrastructure will not cause economical and life losses. One of the most important civil engineering projects are dams, the subject of this research. Particularly, an earth dam will be studied within the State of Mexico in order to enhance operation and maintenance practices, through the application of methods developed by global leaders in the subject.

Antecedentes

A finales del año 2005, un grupo de ciudadanos mexicanos involucrados en distintas actividades académicas, empresariales, culturales, deportivas y sociales, decidieron firmar el Acuerdo Nacional para la Unidad, el Estado de Derecho, el Desarrollo, la Inversión y el Empleo, ahora conocido como el Acuerdo de Chapultepec (AC, 2005). Entre los principales objetivos de dicho acuerdo está el acelerar la construcción de la infraestructura que México requiere para convertirse en un país desarrollado en el mediano plazo.

Dado que el diseño, construcción y mantenimiento de infraestructura son actividades que competen, entre otros profesionistas, a los ingenieros civiles, el Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM) reunió a finales de la década pasada a un conjunto de expertos en la materia. El principal objetivo fue formar un grupo que reflexionara sistemáticamente sobre el tema de infraestructura y que identificara sus rezagos y requerimientos para el año 2025. Estos profesionales se conocen como el Grupo Visión 2025 (GV2025) y han analizado la situación de la industria de la construcción haciendo hincapié en su relación con el desarrollo de México (GV2025, 2003).

El XXIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, organizado por el CICM, fue el escenario donde el GV2025 presentó algunos resultados de sus investigaciones. Después de haberse reunido con distintos especialistas de la profesión, miembros del gabinete, académicos reconocidos y gobernadores de entidades como Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nuevo León y Puebla (Zarate, 2006), se identificaron los 109 proyectos estratégicos de infraestructura que México requiere para acelerar su desarrollo económico en el periodo 2005-2015 (Borja, 2006). Estos proyectos se pueden usar directamente en el Acuerdo de Chapultepec ya que son el resultado de varios años de investigación y cubren el rubro de infraestructura.

En este contexto, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMEX) decide responder a la convocatoria de crear esta nueva infraestructura en beneficio del país. De nuevo, la planeación, diseño, construcción y mantenimiento de estos proyectos requerirán la participación de especialistas en todas las ramas de la ingeniería civil, y dado que la UAEMEX tiene experiencia en el área de estructuras³, se determinó que se podría colaborar en materia de análisis de riesgo y confiabilidad estructural. Es así como surge la siguiente propuesta de investigación.

³ Las principales líneas de investigación son: comportamiento estructural e ingeniería sísmica enfocada al peligro, riesgo y vulnerabilidad de estructuras (UAEMEX, 2006). En esta última, se analiza la importancia y el potencial de las herramientas de riesgo y confiabilidad para respaldar la toma de decisiones sobre normatividad, diseño, inspección y mantenimiento de infraestructura, peligros sísmicos, hidrometeorológicos y geotécnicos, entre otros.

Introducción

En las etapas de diseño y construcción de obras de ingeniería civil debe tomarse en cuenta la posibilidad de que los proyectos pongan en riesgo la salud o seguridad pública o provoquen pérdidas económicas a la comunidad (Merrit et al, 1999). De acuerdo con el estándar BS 8800 (1996), un “riesgo” es la combinación de la probabilidad de que un evento peligroso ocurra y el efecto de sus consecuencias⁴. La misma fuente define “análisis de riesgo” como el proceso para estimar la magnitud de un riesgo y decidir si es o no aceptable. Finalmente, el término “administración de riesgo” se refiere al proceso mediante el cual la sociedad u organización reduce los riesgos a un nivel tolerable y se asegura de controlarlos, monitorearlos y comunicarlos a los posibles afectados (Renn, 1998).

En cuanto a confiabilidad se refiere, Noori y Radford (1995) la definen como la probabilidad de que un producto opere sin fallar durante un periodo de tiempo específico. En términos estructurales Canto y Alamilla (2000) afirman que se trata de la probabilidad de que una estructura no falle cuando es sometida a sollicitaciones externas. Ellos mismos indican que, para que una estructura se pueda considerar como segura, es imperativo garantizar que resistirá la carga máxima que se le aplicará durante su vida útil. Dicha carga, de acuerdo con Ang y De Leon (2005), es una variable que debe predecirse o estimarse en el análisis de confiabilidad.

Los análisis de riesgo y confiabilidad contribuyen a desarrollar programas óptimos de mantenimiento preventivo, ya que permiten anticipar los posibles daños que la obra pudiera presentar durante su vida útil (Nessim y Stephens, 1995).

Pero, ¿cuál es la relación entre infraestructura, riesgo, confiabilidad y mantenimiento?. El desarrollo y conservación de las obras de infraestructura⁵ que requiere el país puede comenzar un círculo virtuoso ya que al construirla y operarla se provee de servicios a las otras industrias y a la población en general, se reducen las inversiones en producción, distribución de mercancías y mantenimiento provocando un aumento en la competitividad del país (CMIC, 2003). Esto genera un incremento en los recursos de la nación, lo que permite una mayor inversión en infraestructura dando inicio de nueva cuenta al ciclo (Quintana, 2006). Habiendo afirmado esto es ahora evidente que el desarrollo y la protección de infraestructura impacta directamente al desarrollo del país. Por lo tanto, es necesario administrar los riesgos involucrados y mantener niveles aceptables de confiabilidad de las estructuras que forman parte de estas importantes obras, ya que esto permite garantizar que ellas no causarán fatalidades ni pérdidas económicas a la comunidad.

De esta manera, se ha decidido realizar un estudio cuyo *objetivo principal* es analizar el riesgo y confiabilidad estructural de los proyectos de infraestructura clave que México opera

⁴ El riesgo R es una función de la probabilidad de un evento adverso y sus consecuencias, es decir, $R = F(\text{probabilidad} \times \text{consecuencias})$.

⁵ El término infraestructura se referirá, en este documento, a proyectos de construcción en los sectores energético, comunicaciones y transportes, vivienda, salud y seguridad social, educación, etc.

actualmente y requiere en los próximos 10 años para llegar a ser un país de clase mundial (Borja, 2006). En este sentido, y para enfocar y delimitar el alcance de la investigación, se han seleccionado las **presas**, pues se puede argumentar que son las obras de ingeniería civil más grandes y que involucran en su diseño y construcción a todas las ramas de la profesión⁶. De hecho, los resultados del análisis del GV2025 demuestran que la inversión en éste tipo de infraestructura es necesaria en los próximos años. Así, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la Secretaría de Energía (SE) tendrán no solo que mantener las obras actuales, sino también construir nuevos proyectos hidroeléctricos, entre los que destacan: la Yesca, Pozolillo, Copainalá, Río Verde, Tenosique y la Parota (Borja, 2006).

Con relación a las presas actuales, Marengo (2002) reportó la existencia de al menos seis tipos, cuatro de concreto (gravedad, arco y arcos múltiples, contrafuertes y mampostería) y dos de materiales sueltos (tierra y enrocamiento). Ese autor también encontró que de las 15,800 presas construidas a nivel mundial hasta 1975, el 62.6% eran de Tierra. En México, se construyeron entre 1550 y 1998 un total de 1017 presas de las cuales casi el 70% fueron de ese mismo material. En consecuencia, son las que más fallas han presentado en comparación con los otros tipos (33 de 58 entre 1800 y 1983 internacionalmente) y las que más muertes han causado (7,692 de 16,634 en todo el mundo en el mismo periodo). Consecuentemente, en este proyecto se estudiarán con detalle las presas de tierra pues su posible falla puede tener consecuencias graves como lo demuestran los estudios previos⁷.

El formato del estudio se definió con base en la metodología propuesta por Hernández Sampieri et al (2003). A continuación se presentarán los alcances, objetivos, preguntas, hipótesis, supuestos y justificación de la investigación así como el valor potencial del estudio, la metodología y el marco teórico que se emplearán en este trabajo.

Alcances

Con base en la información anterior, y con el fin de contribuir a mejorar las condiciones en esta materia, se decidió enfocar el estudio a presas de tierra ubicadas en el Estado de México con una antigüedad mayor a los 30 años. Esto, debido a que las estadísticas reportadas por Marengo (2002) indican que son este tipo de estructuras las que más fallan, en comparación con sus contrapartes nuevas. Específicamente, de las 105 presas que fallaron en México entre 1800 y 1983, 72 ocurrieron en cortinas de tierra. De los tipos de falla existentes (desbordamientos, tubificación,

⁶ Si se compara a las presas con puentes, edificios, carreteras o cualquier otra obra de ingeniería civil, se puede entender la magnitud de esas obras.

⁷ Aquí solo se mencionan las fatalidades personales, sin embargo hay que considerar además otros daños como los de interrupción del servicio, la reconstrucción de la obra, los daños materiales en comunidades y en el campo, etc. Esto se describe y cuantifica más adelante, en la metodología, para el caso de una presa que falló en Hawái en Marzo de 2006

deslizamientos, fugas en conductos enterrados, erosión de taludes y sismos), los desbordamientos son los más frecuentes (70.5% de las fallas registradas de 1900 a 1976). Es por ello que el presente trabajo se orientará al estudio de esta causa en particular.

Hasta 1976, la entidad Mexiquense contaba con 53 presas (SRH, 1976). De ellas, solo 5 (Huapango, San Antonio, Ñadó, La Loma y El Molino) fueron construidas antes del año 1900 y las otras 48 datan del siglo XX. De estas últimas, 19 son de tierra y se terminaron de edificar entre 1942 y 1972. Marengo (2002) reportó que, entre 1900 y 1975, las presas de tierra que fallaron más frecuentemente en México por desbordamiento tenían una altura entre los 15 y 30 m. Tomando en cuenta esta información, se determinó que el número de presas con esta característica en el Estado es de solo 7 (Embajomuy, San Joaquín, José Trinidad Fabela, Dolores -La Gavia-, José Antonio Alzate -San Bernabé-, Ignacio Ramírez y El Guarda). Al localizar las presas descritas, se encontró que la Ignacio Ramírez guarda cercanía con la Universidad, por lo que el potencial de elegir esta presa es significativo (ver Figura 1).

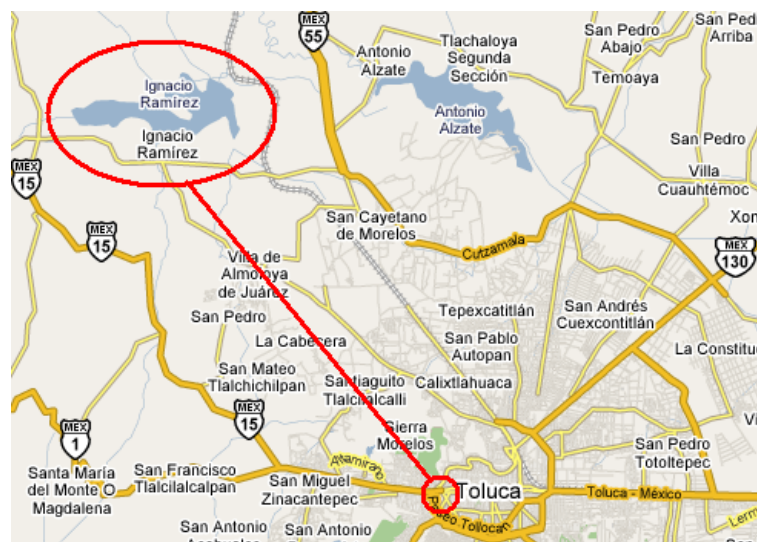


Figura 1. Posición relativa de la presa Ignacio Ramírez con respecto a la Ciudad Universitaria de la UAEMEX (Fuente: google map)

Independientemente de lo anterior, como parte de este proyecto, se considerará una visita técnica a cada una de las otras seis obras mencionadas, con la finalidad de contar con más de una alternativa en caso de que no se pudiera trabajar en la elegida. De cualquier forma, se acordará con los administradores en cuestión el intercambio de datos para desarrollar el trabajo⁸.

⁸ Se analizará la posibilidad de firmar un convenio pero si esto no es posible, se les ofrecerán los productos de este proyecto a cambio de la información. Esto, siempre y cuando no se violen los derechos de autor establecidos por el patrocinador del proyecto, en este caso la Secretaría de Investigación y Estudios Avanzados (SIEA) de la UAEMEX

Objetivos

Como es claro ya, el objetivo general de la investigación es analizar el riesgo y confiabilidad estructural de una de las principales obras de infraestructura con las que México cuenta, las presas de tierra. Así mismo, se analizarán las cuestiones relacionadas con el mantenimiento de éstas obras. Además, se tienen los siguientes objetivos particulares:

1. Identificar las técnicas que actualmente se emplean para analizar riesgos en infraestructura en general, particularmente en presas, y su utilidad en el mantenimiento de las mismas.
2. Identificar los métodos para calcular la confiabilidad de una obra nueva y/o existente de infraestructura.
3. Adaptar los métodos apropiados a presas de tierra existentes.
4. Aplicar los métodos de análisis de riesgo y confiabilidad a un presa “tipo” para optimizar los costos de mantenimiento.
5. Obtener y discutir los índices de riesgo y confiabilidad estructural calculados.
6. Evaluar el costo de las consecuencias provocadas por la eventual falla de una presa de tierra.
7. Proponer una serie de recomendaciones a los tomadores de decisiones, con base en el análisis de los resultados obtenidos, para que formulen políticas públicas de prevención, mitigación y control de riesgos en materia de seguridad de presas.

Preguntas de Investigación

1. ¿Cuáles son las técnicas que se emplean actualmente en el análisis de riesgos de infraestructura en general y de presas en particular?
2. ¿Cuál es su utilidad en el mantenimiento de estas obras?
3. ¿Cuáles son los métodos que permiten calcular la confiabilidad de una presa nueva y/o existente?
4. ¿Se pueden adaptar los métodos encontrados a las presas de tierra?
5. ¿Cuáles son los índices de riesgo y confiabilidad calculados en estas obras y qué significan?
6. ¿Cuáles son las técnicas para evaluar los costos de las consecuencias provocadas por la falla de presas de tierra?
7. ¿Cuáles son las recomendaciones que se pueden hacer a los tomadores de decisiones, después de haber analizado los resultados del estudio, en términos de formulación de políticas publicas de prevención, mitigación y control de riesgo?.

Hipótesis

A partir de estas preguntas de investigación, se establece la siguiente hipótesis: *la probabilidad de que una presa de tierra falle se puede disminuir mediante acciones de mantenimiento preventivo, basadas en análisis de riesgo y confiabilidad.*

Supuestos

En el presente trabajo, se ha supuesto que los administradores de las presas por estudiar están interesados en conocer los últimos avances científicos y tecnológicos en la materia. Así mismo, se presume que ellos están dispuestos a colaborar en el proyecto, a cambio de los resultados de la investigación. Estos supuestos se basan en la diferencia de información existente entre México y países líderes en el área como Australia, Canadá y Estados Unidos (Muller and Mayer, 2005; Halpin, 2005; Davis et al, 2005; Bowles et al 1999; Bowles et al, 2005).

Estos países han dedicado tiempo y recursos en la organización de eventos anuales relacionados con la seguridad de presas (ver por ejemplo el artículo de Bowless et al –1999- presentado en Australia o el de Davis et al –2005- expuesto en EU) mientras que en México, hasta donde se tiene conocimiento, el último evento relacionado con el tema se realizó en 2002 (ver Marengo, 2002).

Justificación

La industria de la construcción normalmente constituye entre el 5 y 10% del PIB en una nación cualquiera, lo cual refleja su gran importancia (DTI, 2003) -en México, con los ingresos extraordinarios debidos al incremento en el precio del petróleo por la guerra en el medio oriente, dicha contribución, en 2004, fue de 5.3% (INEGI, 2004). Al realizar y mantener proyectos de infraestructura, este sector tiene un efecto multiplicador ya que más de la mitad de las 73 ramas industriales y de servicios que componen la actividad económica nacional le suministran los insumos que requiere (CMIC, 2003). Además esta industria emplea directamente, en promedio, a casi 4 millones de personas, lo que representa un 12% de la población trabajadora en México (FICA, 2005).

Los proyectos de infraestructura, como ya se ha explicado, pueden llegar a tener grandes impactos no sólo a nivel regional sino nacional (Borja, 2006). Los gobiernos federal, estatales y municipales en conjunto con las empresas constructoras son, en principio, los propietarios de los proyectos. Por lo tanto ellos son responsables de calcular la probabilidad de ocurrencia de los peligros, la magnitud de sus consecuencias y la confiabilidad de las obras que construyen (Merrit et

al, 1999). En caso de no tener la experiencia suficiente para hacer estas mediciones, pueden crear alianzas estratégicas con expertos en la materia como se ha hecho en países desarrollados como el Reino Unido, Japón y Estados Unidos (Bennet, 2000). Esto permitirá que se realicen los análisis necesarios para asegurar que sólo se operarán y construirán estructuras seguras para la comunidad, es decir aquellas en las que los riesgos son tolerables y las confiabilidades son aceptables⁹ (Stahl, 1986). De igual manera es importante asegurar la minimización de costos de mantenimiento en el mediano y largo plazo.

Así, para garantizar el desarrollo y conservación de infraestructura útil y libre de amenazas para la sociedad, idealmente es indispensable conocer y minimizar sus riesgos durante las etapas de planeación y diseño, donde las modificaciones al proyecto son menos costosas que durante la etapa de construcción (Merrit et al, 1999). En forma alternativa, se pueden implantar estrategias de mantenimiento en las obras ya existentes. Por lo tanto el conocimiento actualizado del análisis de riesgo y confiabilidad es fundamental para que las obras de infraestructura que se operen y desarrollen no causen pérdidas económicas ni lesiones personales.

Siendo las presas obras de gran magnitud, la potencial ocurrencia de una falla estructural severa, que genere consecuencias dañinas a las poblaciones, personas y bienes cercanos, así como la suspensión del servicio de energía eléctrica o del suministro de agua, tendría graves impactos (Mena, 2002). Además de los costos directos provocados por la falla, habría una serie de costos indirectos que difícilmente se pueden estimar, por ejemplo, el daño en la reputación de la empresa o persona que es dueña de la obra. Por ello, es necesario hacer investigaciones como la propuesta, que permitan a los tomadores de decisiones actuar oportuna y confiablemente en caso de que existan riesgos que pongan en peligro vidas y bienes materiales.

Valor Potencial de la Investigación

De acuerdo con Hernández Sampieri et al (2003) una investigación puede ser útil por varias razones: resuelve un problema real, soporta una nueva teoría o produce más preguntas de investigación. Ellos proponen los criterios mostrados en la Tabla 1 para evaluar la utilidad de un estudio, mismos que se han empleado para justificar la realización de este trabajo.

Como se puede apreciar, el presente estudio será conveniente no sólo para las compañías interesadas en desarrollar infraestructura durante los próximos años como CFE o la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), sino también para los gobiernos federal, estatales y municipales y otras empresas paraestatales que tienen que planificar, llevar a cabo y mantener esas obras. Los resultados de la investigación ayudarán a las primeras a analizar los riesgos y la confiabilidad de las

⁹ El índice de confiabilidad β para obras convencionales como edificios de oficinas o de vivienda va de 2.5 a 3 y para obras de infraestructura, debido a su importancia, oscila entre 3 y 3.5.

obras que pretenden operar y realizar. Además permitirán a los segundos asegurar y garantizar que dichas obras no causarán daños a las comunidades en las que se han edificado o construirán.

Criterio	Base para justificar la investigación
Conveniencia	El presente estudio ayudará a las empresas interesadas en el desarrollo y conservación de infraestructura en México (presas en particular) a analizar el riesgo y confiabilidad de las estructuras que operan y las que se construirán, para optimizar los costos de mantenimiento.
Relevancia social	Los resultados de la investigación beneficiarán principalmente a las compañías que tengan que operar o deseen elaborar proyectos de infraestructura (presas en particular) pues tendrán una idea clara de cómo analizar el riesgo y la confiabilidad de las estructuras que operan o edificarán. Además los gobiernos federal, estatales y municipales podrán garantizar a la sociedad que los proyectos hechos y aquellos por realizar serán seguros y funcionarán como fueron diseñados para su vida útil y serán mantenidos de forma óptima.
Implicaciones prácticas	El estudio puede ayudar a los gobiernos y empresas paraestatales del país a analizar el riesgo y la confiabilidad en las obras de infraestructura que México opera y aquellas que requiere en los próximos años, con un enfoque en las presas de tierra. Asimismo puede ser útil en la optimización de costos de mantenimiento.
Valor teórico	La presente investigación adaptará los métodos existentes para el análisis de riesgo y confiabilidad de obras de infraestructura (presas en particular).
Utilidad metodológica	Como parte del estudio se podrían desarrollar nuevas metodologías para el análisis de riesgo y confiabilidad de proyectos de presas de tierra.

Tabla 1. Criterios para evaluar el valor potencial de la investigación (Hernández Sampieri et al, 2003)

Metas

a) Académicas:

- Dar continuidad a la investigación en las áreas de comportamiento de estructuras e ingeniería sísmica enfocada al peligro, riesgo y vulnerabilidad de estructuras.
- Consolidar un nicho de investigación que no es atendido actualmente por ningún otro Cuerpo Académico en la UAEM.
- Incidir en la calidad de la docencia a través de la vinculación entre investigación relevante y práctica profesional con empresas como CFE y CONAGUA.

b) De fortalecimiento del Cuerpo Académico (CA) de Estructuras:

- Desarrollar proyectos de investigación en los que participen al menos dos miembros del CA con el fin de avanzar en su integración como equipo de trabajo.
- Fortalecer la labor de investigación de los miembros del CA a través de trabajos que se vinculan con un tema estratégico para la ingeniería civil: planeación y mantenimiento de presas.
- Avanzar en la consolidación de las líneas de investigación del CA: comportamiento de estructuras e ingeniería sísmica (este proyecto contribuirá a fortalecer la primera línea)
- Cumplir con una de las metas más relevantes del CA al generar investigación de calidad que pueda ser difundida en foros internacionales.

- Incrementar la producción científica de alto nivel que permita aumentar el número de miembros del CA en el Sistema Nacional de Investigadores (SIN).

Consistencia con los programas de desarrollo del CA

Entre las metas anuales permanentes del CA Estructuras se encuentra la publicación de por lo menos dos artículos en revistas indizadas que le den visibilidad a sus miembros. Debido a que uno de los productos específicos de ésta investigación es precisamente la elaboración de un artículo de esa calidad, así como otro para un congreso internacional, el proyecto contribuirá a seguir desarrollando al CA. Similarmente, se dirigirán tres tesis de licenciatura y se elaborará un libro con los resultados del estudio, acciones que coadyuvan a fortalecer al cuerpo.

Infraestructura disponible

En términos de infraestructura, los participantes del proyecto dispondrán de:

- Acervo bibliográfico: la biblioteca general de la Facultad cuenta con un acervo bibliográfico de 10,000 libros aproximadamente y 1,800 títulos especializados en diversas áreas de la ingeniería. Asimismo, se reciben por suscripción doce revistas científicas y de información general (en estructuras, se cuenta entre otras con: Journal of Bridge Engineering, Journal of Engineering Mechanics, Journal of Structural Engineering y Earthquake Engineering and Structural Dynamics).
- Equipo electrónico de medición: 3 sensores Kinematics modelo FBA-11 (acelerómetros uniaxiales), 4 sensores Kinematics Episensor modelo ES-U2 (acelerómetros uniaxiales), Grabadora Kinematics modelo SSR-1 de 3 canales, Grabadora Kinematics modelo Altus K2 de 6 canales y Acelerógrafo Altus serie Etna de 3 canales.
- Software: en específico, para el área de estructuras se cuenta con los siguientes programas para analizar distintos tipos de estructuras: STRUDL, DRAIN-2D y SAP2000.
- Recursos humanos: se propondrán temas de tesis (ver detalles abajo), basados en el proyecto de investigación propuesto, para que tres alumnos de licenciatura interesados los lleven a cabo.

Metodología

Existen varias técnicas que se han empleado para analizar riesgos. Jacinto (2003) menciona, entre otras, las siguientes: modo de falla y análisis de efectos, análisis preliminar de

peligros, estudio de peligros, análisis de desviaciones, análisis de energía, análisis de seguridad, análisis de falla, análisis de evento, diagrama de causa-consecuencia y análisis comparativo. Todos ellos serán estudiados a detalle y sus ventajas y limitaciones resaltadas. De igual forma existen varios métodos para calcular la confiabilidad de una estructura, por ejemplo los propuestos por Stahl (1986), Canto y Alamilla (2000), Campos et al (2000) y Díaz Lopez et al (2000). Estos también serán revisados para determinar si se pueden aplicar a los proyectos en cuestión y al aspecto de mantenimiento de los mismos.

Una revisión reciente de las técnicas actualmente empleadas en la evaluación de riesgos (USACE, 2004), reveló que la “metodología para evaluar el riesgo en presas” (RAM-D por sus siglas en inglés) considera la efectividad del sistema, para calcular los riesgos en estas obras. Esto representa un avance con respecto a los métodos tradicionales (ver por ejemplo: Clemens and Pfitzer, 2006), en donde solo se toma en cuenta la probabilidad de falla y la magnitud de las consecuencias. Así, en este trabajo se investigará la pertinencia de la aplicación de esta metodología (RAM-D) en el caso de estudio.

En términos estructurales, se encontró que el Dr. Jorge Alva Hurtado (2004), de la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima, Perú, ha modelado las presas de tierra por medio del método del elemento finito (ver también: Ruesta-Ruiz et al, 1988). Aunque sus análisis se han enfocado al comportamiento sísmico de estas estructuras, se puede argumentar que el sismo de diseño podría ser sustituido por una avenida de diseño con las correspondientes consideraciones en las fuerzas. Dichas acciones, representarían la influencia del agua sobre la cortina, que también se modelaría con elemento finito. Así, se pretende investigar si el empleo de este tipo de modelo, realmente representa el efecto de las acciones provocadas por lluvias extraordinarias en la presa, particularmente desbordamientos.

De hecho, se contempla la posibilidad de calibrar el modelo teórico con datos reales, tomados en el sitio, en caso de que la presa elegida se encuentre instrumentada. Así mismo, con base en los estudios realizados por la Association of State Dam Safety Officials (ASDSO, 2007), se estudiarán los costos de las consecuencias (económicos, fatalidades potenciales e interrupción del servicio). Por ejemplo, esa asociación reportó la falla de la presa “Kaloko” en Hawaii el 14 de Marzo de 2006, que provocó los siguientes daños:

- 33.5 millones de dolares (mdd) en apoyo a los damnificados (medicinas, agua, etc)
- 20 mdd para reparar la infraestructura carretera dañada (autopista Kuhio)
- 6 mdd en daños agrícolas (cultivos de azúcar)
- 3 mdd para remoción de escombros
- 3 mdd para pagar la ayuda técnica brindada por los especialistas de la USACE
- 1 mdd para ayuda a los granjeros afectados

- 0.5 mdd para estudios técnicos de evaluación de riesgos en las otras presas de la región (isla de Kauai)

Se espera, entonces, que como producto de la investigación se puedan estimar los costos potenciales de estos conceptos (y otros que resultasen ser relevantes) en el caso de estudio propuesto. Para la recolección de datos se entrará en contacto con las dependencias y/o autoridades responsables de operar y mantener las obras. De hecho, ya se tienen contactos dentro de CFE y CONAGUA que se pretenden usar para facilitar el acceso a la información, no revelándola cuando sea confidencial. El análisis de los datos se llevará a cabo con base en la revisión bibliográfica y se estudiarán los resultados obtenidos para crear las recomendaciones que les permitan a los tomadores de decisiones generar políticas públicas de prevención, mitigación y control de riesgos.

Marco Teórico

Para poder sustentar teóricamente la investigación, es necesario elaborar el marco teórico (Hernández Sampieri et al, 2003). Esto supone el análisis y exposición de los estudios previos en el área que se consideran válidos. Para ello se propone que el trabajo tenga la siguiente estructura:

1. Introducción
2. Análisis de riesgo y confiabilidad para obras de infraestructura
3. Aplicación de los métodos de análisis de riesgo y confiabilidad a presas de tierra
4. Aplicación de métodos de evaluación de costos por fallas de presas de tierra
5. Aplicación de los métodos de análisis de riesgo y confiabilidad al mantenimiento de presas de tierra
6. Análisis y discusión de resultados
7. Conclusiones y recomendaciones

Así, el documento final se organizará en siete capítulos. El primero ofrecerá una introducción al estudio resaltando sus antecedentes y motivación. En el capítulo 2 se expondrán las técnicas que se han empleado en el análisis de riesgos y confiabilidad de obras de infraestructura en general y de presas en particular. El tercer capítulo describirá la adaptación y aplicación de los métodos encontrados en el análisis de riesgo y confiabilidad de presas de tierra nuevas y/o existentes. En el cuarto, se identificarán los métodos empleados en la evaluación de costos por fallas en estas obras. En el capítulo cinco se presentará una descripción similar a la del tercero, pero aplicada exclusivamente a obras existentes con énfasis en la optimización de costos de mantenimiento. El sexto capítulo presentará el análisis y la discusión de los resultados de la investigación. Finalmente, el capítulo siete presentará las conclusiones generales del estudio y las recomendaciones a los tomadores de decisiones para que elaboren las políticas pertinentes.

Entregables

Los productos que el proyecto generará son:

- Un artículo publicado en revista científica indizada (en principio se considera Risk Analysis).
- Elaboración de tres tesis en la licenciatura de Ingeniería Civil. Los alumnos que las realizarán, sus números de cuenta y los títulos tentativos de sus trabajos son:
 - Pérez Flores David Carlos (9710636), “Mantenimiento de presas de tierra: un caso en el Estado de México”
 - Pérez Pliego Benjamín (9912559), “Análisis de riesgo y confiabilidad en presas de tierra: un caso en el Estado de México”
 - Rivero Santana José Emmanuel (9912598), “Evaluación de costos por fallas en presas de tierra: un caso en el Estado de México”
- Elaboración de libro sobre análisis de riesgo, confiabilidad estructural y mantenimiento de presas de tierra, reportando el caso estudiado.
- Presentación de una ponencia en congreso internacional (en principio se considera la 29th Annual United States Society on Dams -USSD- Conference, 2009).

Plan de trabajo detallado y calendarizado

El proyecto se llevará a cabo en 12 meses con la colaboración del Dr. David de León Escobedo, Profesor-Investigador de la Facultad de Ingeniería y miembro del SNI.

Las actividades a realizar son:

Actividades	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Investigación Bibliográfica												
Análisis de riesgo y confiabilidad	■	■										
Aplicación de los métodos de riesgo y confiabilidad			■	■								
Aplicación de los métodos de costos por fallas y mantenimiento					■	■						
Análisis y discusión							■	■				
Investigación de campo												
Aplicación de los métodos de riesgo y confiabilidad					■	■	■	■	■			
Aplicación de los métodos de costos por fallas y mantenimiento							■	■	■	■	■	
Análisis												
Análisis de riesgo y confiabilidad			■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Aplicación de los métodos de riesgo y confiabilidad					■	■	■	■	■	■	■	
Aplicación de los métodos de costos por fallas y mantenimiento							■	■	■	■	■	
Análisis y discusión									■	■	■	
Elaboración del reporte de investigación												
Introducción												■
Análisis de riesgo y confiabilidad										■	■	■
Aplicación de los métodos de riesgo y confiabilidad										■	■	■
Aplicación de los métodos de costos por fallas y mantenimiento										■	■	■
Análisis y discusión										■	■	■
Conclusiones												■

Tabla 2. Programa de trabajo

Desglose financiero

a) Gasto corriente

Concepto	Monto (\$)	Etapas en las que se usará
Material para computadora		
Toner	2,400.00	Todas
2 cajas de CDS	130.00	
Papelería		
Libretas	1,500.00	Todas
Lápices		
Plumas		
Marcadores		
Hojas carta		
Post its, etc		
Fotocopias		
Fotocopias de los artículos y documentos relevantes para el proyecto	500.00	Investigación Bibliográfica
Material para audio y fotografía		
Revelado de fotos digitales	250.00	Investigación de campo
Viáticos, hospedaje y pasajes		
Gastos de alimentación y transporte durante visitas a las presas para elegir aquella por estudiar (10 días @ \$ 300)	3,000.00	Investigación de campo
Gastos de alimentación, hospedaje y transporte durante visitas a la presa en estudio (10 días @ \$ 1,400)	14,000.00	
Gastos de trabajo de campo		
Pago de servicios informales (taxis)	1,000.00	Investigación de campo.
Apoyo a estudiantes que participen en la investigación		
3 tesistas (\$2,000.00 mensuales para cada uno durante los 12 meses que dure la investigación)	72,000.00	Todas
TOTAL (gasto corriente)	94,780.00	

b) Gasto de inversión

Concepto	Monto (\$)	Etapas en las que se usará
Equipo de cómputo	17,000.00	Todas.
Acervo bibliográfico y artículos internacionales	13,000.00	Investigación Bibliográfica
TOTAL (gasto de inversión)	30,000.00	

c) Congresos

Se participará en un congreso internacional (en principio el 28th Annual USSD Conference), estimando un costo de \$ 25,000 que incluye la inscripción al evento, los gastos de traslado, hospedaje y comidas.

Así, la suma solicitada para concluir satisfactoriamente el proyecto es de: **\$ 149,780.00**

Referencias y Bibliografía

AC, (2005), Acuerdo Nacional para la Unidad, el Estado de Derecho, el Desarrollo, la Inversión y el Empleo, Acuerdo de Chapultepec, www.acuerdodechapultepec.org.mx

AIA, (2004), Primer on Project Delivery. The American Institute of Architects and The Associated General Contractors of America. US.

Alva-Hurtado, J.E. e Infantes-Quijano, M., (2004), diseño sísmico de presas de tierra y enrocado, curso de actualización profesional en dinámica de suelos, centro peruano japonés de investigación sísmica y mitigación de desastres, Lima, Perú

Ang, A., (2006), Quantitative Risk Assessment in Natural Hazard Mitigation, Memorias del 1er Simposio Internacional Aplicaciones del Análisis de Riesgo y Confiabilidad en la Planeación y Diseño de Ingeniería, UAEMEX, 16-18 Mayo, Toluca.

Ang, A. and De Leon, D., (2005), Modeling and Analysis of Uncertainties for Risk-Informed Decisions in Infrastructures Engineering, Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 19-31.

ASDSO, (2007), Dam failures, Association of State Dam Safety Officials, US <disponible en www.damsafety.org>

Bea, R, (1998), Risk Assesment and Management Based AWS and LRFD Criteria and Guidelines for Design and Requalification of Pipelines and Risers in the Bay of Campeche, México”, RAM PIPE Project – Phase I, Report 4. Marine Technology and Management Group, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley.

Bennet, J., (2000), Construction: The Third Way. ed. Butterworth-Heinemann. UK.

Bonini, C.P., Asuman, W.H., and Bierman, H., (1997), Quantitative Analysis for Management, 9th Edition, IRWIN, US.

Borja, N.G., (2006), Los 109 Proyectos Estratégicos de Infraestructura, Memorias del XXIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Colegio de Ingenieros Civiles de México, 1-3 Marzo, México D.F.

Bowles, D.S., Anderson, L.R., Evelyn, J.B., Glover, T.F. and Van Dorpe, D.M., (1999), Alamo dam demonstration risk assessment, Proceedings of the Australian Committee on Large Dams (ANCOLD), Annual Meeting, Jindabyne, New South Wales, Australia, November 1999

Bowles, D.S., Anderson, L.R., Glover, T.F., Chauhan, S.S. and Rose, R.S., (2005), Risk-based evaluation of operating restrictions to reduce the risk of earthquake-induced dam failure, 25th Annual USSD Conference, 6-10 June, Salt Lake City, Utah, US, pp. 727-744

BS 8800 (1996), Guide to Occupational Health and Safety Management Systems”, British Standard Institutions (BSI), UK

Campos, D., Ramírez Ruiz, G. Y Heredia Zavoni, E., (2000), Análisis de Confiabilidad Estructural de Plataformas Marinas para la Selección de Alturas de Cubierta, Memorias del XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, 1-4 Nov, León, Guanajuato.

Canto Contreras, J.T. y Alamilla López, J.L., (2000), Análisis de Confiabilidad de Estructuras de Varios Grados de Libertad, Memorias del XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, 1-4 Nov, León, Guanajuato.

Clemens, P. and Pfitzer, T., (2006), Risk Assessment & Control, Professional Safety, January Issue, pp 41-44

CMIC, (2003), Situación de la Industria de la Construcción. ed. Camara Mexicana de la Industria de la Construcción. Mexico.

Davis, A.P., Ahlgren, A., Yu, A. and Rettberg, W., (2005), Case studies for application of FERC performance monitoring program, 25th Annual USSD Conference, 6-10 June, Salt Lake City, Utah, US, pp. 713-726

Díaz López, O., Esteva, L., García, J. Y Méndez, O., (2000), Confiabilidad Sísmica de Estructuras Considerando diferentes Criterios de Capacidad de Deformación, Memorias del XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, 1-4 Nov, León, Guanajuato.

DTI, (2003), Review of Early Estimates of Construction Output for GDP in 2003. Department of Trade and Industry. UK.

Egan, J., (1998), Rethinking Construction. Department of Environment, Transport and the Regions. UK.

Esteva, M.L., (2006), Criterios Optimos para Diseño y Mantenimiento de Construcciones en Zonas Sísmicas, Memorias del 1er Simposio Internacional Aplicaciones del Análisis de Riesgo y Confiabilidad en la Planeación y Diseño de Ingeniería, UAEMEX, 16-18 Mayo, Toluca.

FICA, (2005), El Estado de la Industria de la Construcción en México. ed. Fundación ICA. México.

GV2025, (2003), Autodeterminación en Infraestructura, Ingeniería Civil, Vol. 53, No. 414, pp. 4-10

Halpin, E.C., (2005), Prioritizing dam safety budgets: beyond remedial measures and numerical approaches, 25th Annual USSD Conference, 6-10 June, Salt Lake City, Utah, US, pp. 703-712

Harris, F. and McCaffer, R., (1995), Modern Construction Management. ed. Blackwell Science. UK.

Heredia, Z. E, (2006), Análisis de Riesgo y Confiabilidad Estructural en el Diseño de Estrategias Optimas de Inspección y Mantenimiento de Plataformas Marinas, Memorias del 1er Simposio Internacional Aplicaciones del Análisis de Riesgo y Confiabilidad en la Planeación y Diseño de Ingeniería, UAEMEX, 16-18 Mayo, Toluca.

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y Baptista-Lucio, P., (2003), Metodología de la Investigación. ed. Mc Graw Hill. México.

Horcasitas, M.E., (2001), La Competitividad de la Industria de la Construcción, Cuadernos FICA, No. 37, Fundación ICA.

INEGI, (2004), GDP for economic activity since 1960. National Institute of Statistics, Geography and Informatics. Mexico. www.inegi.org.mx

Jacinto, R.C., (2003), Work Accidents Investigation Technique, PhD Thesis, The University of Birmingham, UK.

Juran, J.M., (1992), Quality by Design: The New Steps for Planning Quality into Goods and Services. ed. The Free Press. US.

Merritt, F.S., Kent Loftin, M. and Ricketts, J.T., (1999), Manual del Ingeniero Civil, Mc Graw Hill, México.

Marengo, M.H., (2002), Consideraciones de riesgo de falla en presas Mexicanas, Seminario de Seguridad de Presas, Comisión Nacional del Agua, 5-6 Septiembre, México D.F.

Mena, S., E., (2002), Instrumentación y Evaluación de la Seguridad de Presas, Seminario Seguridad de Presas, Comisión Nacional del Agua, 5-6 Septiembre, México, D.F.

Moreno, F.A., (2006), Infraestructura y Competitividad para el Desarrollo Sustentable de México: Conclusiones, Memorias del XXIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Colegio de Ingenieros Civiles de México, 1-3 Marzo, México D.F.

Muller, B.C. and Mayer, D., (2005), The evolution of reclamation risk based dam safety program management and decision making, 25th Annual USSD Conference, 6-10 June, Salt Lake City, Utah, US, pp. 693-702

Nessim, M.A. and Stephens, M.J., (1995), Risk-Based Optimization of Pipeline Integrity Maintenance, ASME Paper No. OMAE-95-900, Submitted by the Centre for Frontier Engineering Research.

Noori, H. And Radford, R., (1995), Production and Operations Management, Mc Graw Hill, US.

OHSAS 18001 (1999), Occupational health and safety management systems – Specification, British Standard Institutions (BSI), UK.

Ordaz, M., Pérez, L.E. y Sánchez, F.J., (2005), Evaluación de riesgos sísmicos en presas, Seminario sobre evaluación de riesgos en presas, Diciembre, Acapulco, México

Quintana, B., (2006), Competitividad de la Industria de la Construcción, Memorias del XXIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Colegio de Ingenieros Civiles de México, 1-3 Marzo, México D.F.

Renn, O., (1998), The Role of Risk Perception for Risk Management, Reliability Engineering & System Safety, 59(1), pp. 49-62

Romo, M.P., (2005), Comportamiento de presas de enrocamiento ante sismos severos, Seminario sobre evaluación de riesgos en presas, Diciembre, Acapulco, México

Ruesta-Ruiz, P.F., Diaz-Collantes, J. y Alva-Hurtado, J., (1988), El coeficiente sísmico en el diseño de presas de tierra y enrocado, VII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, 5-11 Septiembre, Huaraz, Perú

Schar, D. and Schaefer, J., (2006), An overview of the u.s. army corps of engineers' screening for portfolio risk assessment for dam safety program, ANCOLD Conference, Nov 18-22, Sidney

SRH, (1976), Presas Construidas en México, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México

Stahl, B., (1986), Reliability Engineering and Risk Analysis, Chapter 5 in Planning and Design of Fixed Offshore Platforms, edited by McClelland, C. and Reifel, M.D., Van Nostrand Reinhold CO, NY.

UAEMEX, (2006), Maestría y Doctorado en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, www.uaemex.mx

USACE, (2004), Review of risk based prioritization/decision making methodologies for dams, US Army Corps of Engineers, US

Zárate, R.L., (2006), Discurso de Inauguración, Memorias del XXIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Colegio de Ingenieros Civiles de México, 1-3 Marzo, México D.F.