



Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

ÍNDICE

Actividad 1 Recopilación de la información

- 1.1 Carreteras
- 1.2 Puentes
- 1.3 Estaciones meteorológicas

Actividad 2 Recorridos carreteros

- 2.1 Zona del Pacífico (Colima-Sonora)
- 2.2 Zona del Pacífico (Chiapas-Oaxaca-Guerrero-Michoacán-Colima)
- 2.3 Zona de Baja California (Baja California Norte y Baja California Sur)

Actividad 3 Identificación de estructuras de puentes más vulnerables

- 3.1 Por ubicación
- 3.2 Por condición física actual

Actividad 4 Análisis de información meteorológica

- 4.1 Revisión de estadísticas disponibles de huracanes
- 4.2 Análisis de la información meteorológica recabada
- 4.3 Elaboración de modelos regionales
- 4.4 Predicción estadística de la respuesta del viento en las regiones de huracanes

Actividad 5 Estudios topohidráulicos en los sitios de los puentes más vulnerables

- 5.1 Estudio topohidráulico antes de la época de huracanes.
- 5.2 Estudio topohidráulico después de la época de huracanes.

Actividad 6 Estudios de mecánica de suelos en los sitios de los puentes más vulnerables



Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

- 6.1 Estudio de mecánica de suelos en puentes seleccionados, según su estado, ubicación y tipo de cauce.
- 6.2 Análisis de los resultados de los estudios de mecánica de suelos.

Actividad 7 Elaboración de modelos matemáticos de las subestructuras de los puentes elegidos como más vulnerables

- 7.1 Elaboración de modelos
- 7.2 Análisis de resultados

Actividad 8 Propuesta de medidas de mitigación y monitoreo

- 8.1 Priorización de riesgos
- 8.2 Propuesta de medidas de mitigación del riesgo
- 8.3 Propuesta de sistemas de monitoreo

Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

1. Resumen Ejecutivo del Informe Técnico Final (Metas y Actividades programadas, Metas y Actividades alcanzadas, Indicadores de cumplimiento en términos porcentuales, etc.).

Durante el periodo comprendido entre el _____ de 2016 al ____ de _____ de 2017, se brindó continuidad a las gestiones técnicas y administrativas correspondientes para la ejecución del Proyecto.

DESCRIPCIÓN DE AVANCE PARA CADA UNO DE LOS RUBROS DEL PROGRAMA DE ACTIVIDADES PLAZOS Y COSTOS (PAPC)			
Nombre de la actividad	Breve descripción de la actividad desarrollada	ENTREGABLE	% AVANCE
1. Recopilación de la información	1.1 Carreteras Se presentó la investigación realizada con el fin de recabar toda la información necesaria para el estudio de Vulnerabilidad de Estructuras de Puentes en Zonas de Gran Influencia de Ciclones Tropicales. En primer lugar se recabaron los datos concernientes a las redes carreteras federales involucradas. 1.2 Puentes Se presentó la investigación realizada con el fin de recabar toda la información necesaria para el estudio de Vulnerabilidad de Estructuras de Puentes en Zonas de Gran Influencia de Ciclones Tropicales, en segundo lugar, se identificaron los puentes existentes en dichas redes.	Informe técnico con listados de carreteras, puentes y estaciones meteorológicas obtenidas resultado de la búsqueda en las instancias de gobierno responsables de cada rubro: carreteras, puentes y estaciones meteorológicas.	100

Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	Número de puentes con información: 79, Información entregada por SCT producto de la petición oficial del CENAPRED. 1.3 Estaciones meteorológicas Se presentó la investigación realizada con el fin de recabar toda la información necesaria para el estudio de Vulnerabilidad de Estructuras de Puentes en Zonas de Gran Influencia de Ciclones Tropicales, finalmente se recopiló la información de estaciones meteorológicas de interés para el proyecto. Toda la información presentada sirve como antecedente y banco de información de los estudios y análisis que se efectuarán en cada una de las estructuras con mayor vulnerabilidad. Número de Estaciones Meteorológicas Automáticas revisadas: 69, incluye a todos los estados de la zona de estudio. Número de estaciones hidrométricas revisadas: 84, incluye a todos los estados de la zona de estudio.		
2. Recorridos carreteros	2.1 Zona del Pacífico (Colima-Sonora) 2.2 Zona del Pacífico (Chiapas-Oaxaca- 2.3 Zona de Baja California (Baja California Norte y Baja California Sur)	Informes de los recorridos carreteros por la Zona del Pacífico (Colima-Sonora),	100

Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

	Se presenta la descripción de las actividades realizadas con el fin de recabar la información necesaria para el estudio de Vulnerabilidad de Estructuras de Puentes en Zonas de Gran Influencia de Ciclones Tropicales, las cuales comprendieron, en primer lugar, obtener datos correspondientes a las redes de carreteras federales involucradas; y, en segundo lugar, la identificación de los puentes existentes en dichas redes. La información recopilada comprende exclusivamente la región del litoral del Océano Pacífico, ya que esta región es donde se encuentran los puentes con mayor riesgo a ser dañados por el paso de ciclones tropicales. En esta etapa de trabajo se realizaron recorridos carreteros en tres grupos de dos ingenieros especialistas en estructuras de puentes y sus respectivos ayudantes, por los diferentes segmentos/zonas (carreteras principales) costeras seleccionadas. Esta actividad junto con la información recabada, y una evaluación del estado físico real de los puentes, permitió identificar las estructuras de puentes más vulnerables, ante el posible aumento del gasto de los ríos que cruzan como consecuencia de la posible ocurrencia de huracanes.	Zona del Pacífico (Chiapas-Oaxaca-Guerrero-Michoacán-Colima), Zona de Baja California (Baja California Norte y Baja California Sur). Los informes se centran en la identificación de los tramos carreteros y los puentes que forman parte de la infraestructura. Se reporta información básica correspondiente a la geometría del puente, características del sitio, condiciones del cauce y definición cualitativa del nivel de riesgo por socavación.	
--	--	--	--

Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	También se definieron los cauces más peligrosos, desde el punto de vista hidrológico. Para la zona de estudio, se revisaron 429 puentes en total, estando distribuidos de la siguiente manera: 2.1 Zona del Pacífico (Colima-Sonora) Comprendiendo a los estados de Colima, Jalisco, Nayarit, Sinaloa y Sonora, se revisaron 169 puentes. 2.2 Zona del Pacífico (Chiapas-Oaxaca-Guerrero-Michoacán-Colima) Comprendiendo a los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Michoacán, se revisaron 202 puentes. 2.3 Zona de Baja California (Baja California Norte y Baja California Sur) Comprendiendo a los dos estados de la península de Baja California, se revisaron 58 puentes.		
3. Identificación de estructuras de puentes más vulnerables	3.1 Por ubicación 3.2 Por condición física actual Se presenta la metodología para la clasificación de los puentes con base en su estado de deterioro, haciendo especial énfasis en aquellos en los que se pudieran presentar problemas de inestabilidad. El proceso mostrado para determinar la vulnerabilidad de los puentes comprendió 4 fases:	Informe técnico con datos de las estructuras de los puentes clasificados con mayor vulnerabilidad; lo anterior, de acuerdo con su ubicación y	100

Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

	1. Clasificación del estado de deterioro de la estructura del puente respecto a una escala propuesta para este proyecto, dicha escala consta de 5 niveles de deterioro que comprenden desde daños insignificantes, hasta daños que inevitablemente llevarían al colapso del puente o a la falla de elementos estructurales. 2. Identificación de los puentes con daños que aumenten la posibilidad de manifestación del problema de volteo y/o deslizamiento. 3. Determinación de la existencia de daños estructurales y daños que pudiesen comprometer la vida útil de las estructuras. 4. En la cuarta fase se consideraron los tres puntos anteriores y se prestó especial atención a puentes que se encuentran aledaños a puentes previamente colapsados (la mayoría durante el huracán Stan). Aquellos puentes con daños de severidad media y aledaños a puentes colapsados fueron considerados con un grado mayor de vulnerabilidad. Para clasificar a los puentes de mayor vulnerabilidad se aplicó la siguiente metodología:	condición física actual. Se presentan reportes fotográficos y descriptivos de las condiciones de daño y de las características del entorno que permitieron clasificarlos como de probable mayor vulnerabilidad. Se presenta el resumen de la información que indica la concentración de estructuras de puentes comprometidos y, de ellos los clasificados como vulnerables en siete estados de la costa del Pacífico, de la siguiente manera:	
--	---	--	--

Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

1. Clasificación de acuerdo con la escala de daños propuesta.	Chiapas, 66 comprometidos, 7	
2. Localización de puentes con daños del tipo 2 o superiores en la escala propuesta para socavación local y/o general.	vulnerables. Oaxaca, 75 comprometidos, 3	
3. Determinación de daños estructurales aparentes, así como daños por procesos de oxidación y/o corrosión del acero de refuerzo.	vulnerables. Guerrero, 50 comprometidos, 2	
4. Para que un puente se considere vulnerable deberá cumplir, por lo menos, con dos de las siguientes condiciones:	Michoacán, 40 comprometidos, 2	
Ψ Daños por socavación local o general iguales o mayores a 2.	vulnerables.	
Ψ Daños estructurales iguales o mayores a 1.	Jalisco, 13 comprometidos, 1	
Ψ Daños por socavación local o general mayores iguales a 3.	vulnerable. Nayarit, 28	
Ψ Evidencia de colapso de puentes en la cercanía.	comprometidos, 1	
De la evaluación se identificaron 20 puentes con la mayor vulnerabilidad, teniendo la distribución geográfica que se indica:	Sinaloa, 106 comprometidos, 4	
Chiapas 7	vulnerables.	
Oaxaca 3		
Guerrero 2		
Michoacán 2		
Jalisco 1		
Nayarit 1		

Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

	Sinaloa 4		
4. Análisis de información meteorológica	4.1 Revisión de estadísticas disponibles de huracanes 4.2 Análisis de la información meteorológica recabada 4.3 Elaboración de modelos regionales 4.4 Predicción estadística de la respuesta del viento en las regiones de huracanes La información obtenida de los valores máximos para los efectos de fenómenos hidrometeorológicos en las estaciones de los tramos carreteros del Eje Transpeninsular de Baja California, Eje Salina Cruz – Manzanillo, Tramo Tapachula – Salina Cruz y Tramo Tepic – Guaymas, se empleó para calcular los valores máximos anuales asociados a diferentes periodos de retorno, correspondientes a 10, 50 y 200 años. Para el análisis se emplearon datos de 30 estaciones, con número de muestras variable. Se identificó que algunas de las estaciones cuentan con un número limitado de muestras; sin embargo, con fines informativos, los resultados también están incluidos en el estudio. Para cada una de las estaciones consideradas se calcularon parámetros estadísticos básicos,	Informe técnico con la determinación y análisis de los parámetros estadísticos disponibles de huracanes, centrándose en el análisis de la información meteorológica recabada. El informe contiene la elaboración de modelos regionales y predicción estadística de la respuesta del viento y precipitación en las regiones consideradas para el estudio.	100

Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

	como la media, la desviación estándar muestral y el coeficiente de variación. También se calcularon las distribuciones de probabilidad anuales considerando la distribución de probabilidad de Gumbel, la cual generalmente es empelada para ajustar parámetros meteorológicos máximos. La información de los valores máximos esperados se emplea para determinar la potencialidad de socavación y el nivel de demandas laterales en las estructuras de los puentes clasificados como de mayor vulnerabilidad, lo anterior para determinar la potencialidad de inestabilidad ante el fenómeno de volteo.		
5. Estudios topohidráulicos en los sitios de los puentes más vulnerables	5.1 Estudio topohidráulico antes de la época de huracanes. 5.2 Estudio topohidráulico después de la época de huracanes. Se realizaron los trabajos de determinación de las isoyetas de intensidad de lluvia para periodos de retorno de 10, 20, 25, 50 y 100 años, considerando información acumulada cada 5, 10, 20, 30, 60, 120 y 240 minutos. También se hicieron las isoyetas de altura máxima para los mismos periodos de retorno que para el caso de intensidad de lluvia.	Se presentan veinte informes técnicos con los resultados de los estudios topohidráulicos antes de la época de huracanes, y los estudios topohidráulicos después de la época de huracanes. Se presenta la información de las isoyetas de	100

Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

	Para cada uno de los 20 puentes clasificado como vulnerable se hicieron los estudios hidrológicos considerando la cuenca de aportación al punto de ubicación del puente, se hizo el levantamiento topográfico de la superficie de inundación, presentando los perfiles topográficos antes y después de la temporada de huracanes, así como el NAME para los periodos de retorno de 100 y 1000 años. El objetivo de estos estudios fue obtener el gasto de diseño asociado a un periodo de retorno 100, 500 y 1000 años, en el sitio donde se localiza el cruce o puente. Se aplicaron métodos hidrológicos apropiados a las características de cada cuenca. En el caso de los estudios hidrológicos, para el cálculo probabilístico del gasto en los periodos de retorno seleccionados, se utilizó un software diseñado ex profeso. El gasto se determinó mediante la aplicación de ocho funciones de distribución de probabilidad, resultando la del método de Nash una de la más adecuada (debido a su coeficiente de correlación). Para el cálculo del gasto máximo probabilístico se utilizó información de gastos máximos aforados en las estaciones hidrométricas cercanas al sitio de cruce.	intensidad de lluvia y de altura máxima para los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Michoacán. Se tienen los levantamientos topográficos de la línea de puente, identificando claramente la diferencia en los periodos antes y después de la temporada de huracanes.	
--	---	---	--

Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	Para la ubicación de cada cruce se utilizaron las cartas topográficas del INEGI, con escala 1: 50,000. Para realizar el estudio hidráulico se utilizaron tres secciones las cuales fueron levantadas en campo con las siguientes ubicaciones: 1. Sección hidráulica núm. 01 ubicada a 100 m aguas arriba del cruce. 2. Sección hidráulica núm. 02 localizada en el cruce. 3. Sección hidráulica núm. 03 ubicada a 100 m aguas abajo del cruce. Los gastos se obtuvieron aplicando la fórmula de Manning, utilizando para ello la información recabada en campo correspondiente a las huellas del nivel máximo del agua. A cada gasto se le asoció una velocidad y se obtuvo un nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME) referenciado al banco de nivel utilizado para el levantamiento en campo. El levantamiento topográfico se llevó a cabo con cuadrillas de cuatro personas y estaciones totales.		
6. Estudios de mecánica de suelos en los sitios de los puentes más vulnerables	6.1 Estudio de mecánica de suelos en puentes seleccionados, según su estado, ubicación y tipo de cauce.	Estudios de mecánica de suelos en los sitios de los 20 puentes	100

Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

	6.2 Análisis de los resultados de los estudios de mecánica de suelos. Con base en muestras del terreno superficial se determinó el material en el lecho del río para puentes en peligro alto y crítico. El muestreo se dividió en dos métodos según el tipo de suelo en el lecho: 1. Para los ríos de lecho con material tipo grava, el muestreo se propuso de tipo volumétrico según se explica en la bibliografía consultada. 2. Para los ríos de lecho con material predominantemente arenoso, se propuso un muestreo típico con una muestra sensiblemente inalterada para determinar las propiedades del suelo en el estrato sub superficial y un muestreo de tipo volumétrico según se explica en la bibliografía consultada, para determinar las propiedades del material superficial. Se extrajeron muestras sensiblemente inalteradas de suelo en forma de cubo de 0.3 m de lado. Las muestras se protegieron con nylon, cera y parafina para evitar la contaminación y pérdida de humedad. En el estudio se muestra el procedimiento para determinar el sitio para la construcción del o los pozos a cielo abierto, los cuales permitieron	seleccionados o clasificados como vulnerables, según su estado, ubicación y tipo de cauce. Análisis de los resultados de los estudios de mecánica de suelos. Conclusiones de los estudios de mecánica de suelos para los 20 puentes vulnerables.	
--	--	--	--

Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	contar con información visual de la estratigrafía del sitio a profundidades variables, dependiendo del sitio, así como permitió la obtención de las muestras sensiblemente inalteradas. Con base en la información de las muestras se hizo el estudio granulométrico y clasificación del suelo.		
7. Elaboración de modelos matemáticos de las subestructuras de los puentes elegidos como más vulnerables	7.1 Elaboración de modelos 7.2 Análisis de resultados Se elaboraron modelos matemáticos del sistema subestructura-superestructura para los 20 puentes clasificados como vulnerables. Se tomó en consideración las características de los diferentes tipos de pilas y dados que conforman las cimentaciones, así como las propiedades geométricas y mecánicas de los componentes de la superestructura. Para el cálculo de las demandas se consideró la interacción con el agua, para estudiar su comportamiento y estabilidad estructural ante los posibles empujes y fuerzas de arrastre generadas por la masa de agua en movimiento. También se tomó en cuenta las fuerzas de arrastre generadas por el viento para los diferentes valores de velocidad asociados a los huracanes.	Se entrega informe con 20 modelos matemáticos y el análisis de los resultados de los mismos. Para cada caso se incluye una conclusión, indicando si el puente tiene potencial de manifestar una anomalía de comportamiento por resistencia o por estabilidad.	100



Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

	Para definir las condiciones de borde, en la elaboración de los modelos matemáticos se consideraron los resultados de los estudios topohidráulicos y de mecánica de suelos, así como las estimaciones de profundidades de socavación. El estudio de estabilidad final de los 20 puentes clasificados como vulnerables incluyó el efecto de la fuerza sísmica incidiendo en la masa de la superestructura. El sistema se revisó ante los mecanismos posibles de deslizamiento, volteo y resistencia estructural. Para los dos primeros mecanismos se llevaron a cabo análisis de estabilidad, y para el tercer mecanismo se hizo una revisión de la demanda de elementos mecánicos, con base en los que se verificó que el mecanismo de falla definido por la resistencia de los elementos estructurales no es dominante en ninguno de los puentes estudiados. Para cada modelo, se incluye una conclusión sobre el estatus potencial de daño y/o falla por alguno de los mecanismos antes mencionados, centrándose principalmente en el de falla de inestabilidad por volteo.		
8. Propuesta de medidas de mitigación y monitoreo	8.1 Priorización de riesgos 8.2 Propuesta de medidas de mitigación del riesgo	Priorización de riesgos. Propuesta de medidas de	100



Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

	8.3 Propuesta de sistemas de monitoreo Con base en una metodología para la evaluación de riesgos por socavación en puentes y mediante la identificación de su ubicación y condiciones físicas actuales en zonas de gran influencia de tormentas tropicales, se definieron prioridades de riesgo/susceptibilidad de daño en puentes ubicados en uno de los principales corredores carreteros del país. Se presentaron recomendaciones para protección contra socavación en aquéllos puentes identificados con mayor vulnerabilidad ante los efectos de la socavación, y se presentó un esquema de monitoreo para estructuras de puentes existentes que permite hacer un seguimiento de los efectos de la socavación. Estas recomendaciones sirven para evaluar con mayor eficiencia el riesgo por socavación durante la ocurrencia de tormentas tropicales.	mitigación del riesgo. Propuesta de sistemas de monitoreo	
Describir cada uno de los resultados alcanzados, indicando de manera cuantitativa en qué medida cubre lo comprometido en la Ficha Técnica.			
Se cumple al 100% con la actividad 1: Recopilación de la información 1.1 Carreteras 1.2 Puentes 1.3 Estaciones meteorológicas Se entrega la información correspondiente a cada uno de los subcapítulos que conforman esta actividad.			



Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

Se cumple al 100% con la actividad 2: Recorridos carreteros

Se entrega la información documental de las visitas de campo que sustentan los subcapítulos 2.1, 2.2 y 2.3:

2.1 Zona del Pacífico (Colima-Sonora)

2.2 Zona del Pacífico (Chiapas-Oaxaca-Guerrero-Michoacán-Colima)

2.3 Zona de Baja California (Baja California Norte y Baja California Sur)

Se cuenta con archivo en formato shape donde se muestra la distribución de los 419 puentes visitados durante el proceso correspondiente a esta actividad.

Se cumple al 100% con la actividad 3: Identificación de estructuras de puentes más vulnerables

Se cumple al 100% con los entregables correspondientes a los subcapítulos 3.1 y 3.2:

3.1 Por ubicación

3.2 Por condición física actual

Se entrega toda la información recopilada en campo para los 20 puentes clasificados como más vulnerables. En el entregable se incluye la metodología empleada para la evaluación cualitativa de la vulnerabilidad de puentes ante la posible ocurrencia del fenómeno de inestabilidad por socavación.

Se cuenta con archivo en formato shape donde se muestra la distribución de los 20 puentes clasificados como más vulnerables, y se tiene como parte de los metadatos, toda la información empleada en el estudio de estabilidad de los mismos (información obtenida durante las visitas de campo, de los estudios de mecánica de suelos, de los estudios topohidráulicos, de los modelos matemáticos y los resultados concluyentes sobre la estabilidad ante volteo.)

Se cumple al 100% con la actividad 4: Análisis de información meteorológica

Se cumple al 100% con los entregables correspondientes a los subcapítulos 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4:

4.1 Revisión de estadísticas disponibles de huracanes

4.2 Análisis de la información meteorológica recabada

4.3 Elaboración de modelos regionales

4.4 Predicción estadística de la respuesta del viento en las regiones de huracanes

Se entrega un informe técnico con la determinación y análisis de los parámetros estadísticos disponibles de huracanes, centrándose en el análisis de la información meteorológica recabada. El informe contiene la



Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

elaboración de modelos regionales y predicción estadística de la respuesta del viento y precipitación en las regiones consideradas para el estudio.

Se cumple al 100% con la actividad 5: Estudios topohidráulicos en los sitios de los puentes más vulnerables

Se cumple al 100% con los entregables correspondientes a los subcapítulos 5.1 y 5.2:

5.1 Estudio topohidráulico antes de la época de huracanes.

5.2 Estudio topohidráulico después de la época de huracanes.

Se entregaron veinte informes técnicos con los resultados de los estudios topohidráulicos antes de la época de huracanes, y después de la época de huracanes. También se presenta la información de las isoyetas de intensidad de lluvia y de altura máxima para los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Michoacán ante diferentes. Se tienen los levantamientos topográficos de la línea de puente, identificando claramente la diferencia en los periodos antes y después de la temporada de huracanes.

La información resulta de utilidad para estudios posteriores de vulnerabilidad ante el fenómeno de sismo.

Se cumple al 100% con la actividad 6: Estudios de mecánica de suelos en los sitios de los puentes más vulnerables

Se cumple al 100% con los entregables correspondientes a los subcapítulos 6.1 y 6.2:

6.1 Estudio de mecánica de suelos en puentes seleccionados, según su estado, ubicación y tipo de cauce.

6.2 Análisis de los resultados de los estudios de mecánica de suelos.

Se entregan los estudios de mecánica de suelos en los sitios de los 20 puentes seleccionados o clasificados como vulnerables, según su estado, ubicación y tipo de cauce. Estudios que incluyen el análisis de los resultados y las conclusiones.

Se cumple al 100% con la actividad 7: Elaboración de modelos matemáticos de las subestructuras de los puentes elegidos como más vulnerables

Se cumple al 100% con los entregables correspondientes a los subcapítulos 7.1 y 7.2:

7.1 Elaboración de modelos

7.2 Análisis de resultados



Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

Se entrega informe con 20 modelos matemáticos y el análisis de los resultados de los mismos, se incluye una conclusión, indicando si el puente tiene potencial de manifestar una anomalía de comportamiento por resistencia o por estabilidad. Se cumple al 100% con la actividad 8: Propuesta de medidas de mitigación y monitoreo Se cumple al 100% con los entregables correspondientes a los subcapítulos 8.1, 8.2 y 8.3: 8.1 Priorización de riesgos 8.2 Propuesta de medidas de mitigación del riesgo 8.3 Propuesta de sistemas de monitoreo
Los resultados, ¿de qué forma abonan a la parte preventiva del proyecto? Los resultados del proyecto se integrarán en un sistema de información referenciada geográficamente en términos de daños esperados, vulnerabilidad y grado de exposición de las estructuras de puentes en diversas carreteras de la costa Pacífico de nuestro país. Con la identificación de los puentes vulnerables a los efectos inducidos por las tormentas tropicales, será posible tomar decisiones para la reducción de su vulnerabilidad ante este, y probablemente otros fenómenos, lo cual permitirá lograr la mitigación del riesgo. Esto permitirá emplear los recursos de manera preventiva y no reactiva. Los resultados de este proyecto permiten tener un diagnóstico de vulnerabilidad en infraestructura carretera cuya funcionalidad es crítica antes, durante y después de un desastre. Aunque el proyecto no implica cobertura a nivel nacional al 100%, los resultados sí permiten prevenir y mitigar el riesgo ante un fenómeno de alta recurrencia como lo son las tormentas tropicales en la zona del Pacífico Mexicano. También, los resultados y parte de la información proporcionada en el estudio, pueden dar lugar al diseño de medidas preventivas por parte de las dependencias responsables de la operación de la infraestructura carretera del país. Por otra parte, la información entregada es compatible con la plataforma del Atlas Nacional de Riesgos.
Señalar el proceso o la metodología empleada para la obtención de los productos reportados En este proyecto se desarrolló una metodología para la evaluación de riesgos por socavación en puentes, mediante la identificación de su ubicación y condiciones físicas actuales, en zonas de gran influencia de tormentas tropicales. La evaluación de las condiciones físicas se hizo con base en una inspección visual y en la recopilación de planos de proyectos ejecutivos de los puentes. Los segmentos carreteros considerados en esta



Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

etapa del proyecto son el tramo Tepic-Guaymas del eje México-Nogales con ramal a Tijuana; el eje Salina Cruz-Manzanillo, en toda su longitud; el tramo Tapachula-Salina Cruz del eje Puebla-Oaxaca-Ciudad Hidalgo; y el eje Transpeninsular de Baja California, en toda su longitud; por ser los segmentos de mayor exposición a tormentas tropicales en el país. Posteriormente, se hizo una clasificación del nivel de riesgo por socavación de todos los puentes ubicados sobre ríos en los segmentos mencionados de los corredores carreteros longitudinales, tomando en cuenta la probabilidad de generación de tormentas tropicales y el cauce de los ríos que cruzan las carreteras. Con base en esta clasificación, además de tomar en cuenta factores tales como la estabilidad de la corriente, años de servicio del puente, tipo de terreno, tipo de cimentación y tipo de subestructura del puente (Arneson *et al*, 2012), se elaboraron modelos matemáticos de aquéllos puentes cuyo entorno presenta mayor posibilidad de manifestar el fenómeno de socavación.

En primer término se recabó la mayor información posible sobre las carreteras y puentes de los tres corredores seleccionados, tanto federales como de cuota; buscando el apoyo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Caminos y Puentes Federales de la misma SCT y BANOBRAS, además de realizar búsquedas en internet. De la misma forma, se recabó información de todas las estaciones meteorológicas del país, además de consultar mapas existentes de fenómenos hidrometeorológicos (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) que hayan incidido en las zonas costeras de las carreteras por estudiar).

En una segunda etapa de trabajo se realizaron recorridos carreteros en tres grupos de dos ingenieros especialistas en estructuras de puentes y sus respectivos ayudantes, por los diferentes segmentos/zonas (carreteras principales) costeras seleccionadas. Esta actividad, junto con la información recabada, y una evaluación del estado físico real de los puentes, permitió identificar las estructuras de puentes más vulnerables ante el posible aumento del gasto de los ríos que cruzan como consecuencia de la posible ocurrencia de huracanes.

Simultáneamente, durante los recorridos se definieron los cauces más peligrosos, desde el punto de vista hidrológico.

Una vez realizado lo anterior se procedió a realizar los estudios topohidráulicos y de mecánica de suelos en al menos los 20 sitios representativos de la problemática de este estudio, los puentes clasificados como vulnerables. En paralelo se procesó la información meteorológica recabada y se procedió a hacer estimaciones



Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

probabilistas de las velocidades de viento y de los aumentos del flujo de agua en los cauces de los ríos, o en su caso en las cuencas hidrográficas.

Una vez realizados los estudios de campo y procesada la información respectiva, se elaboraron modelos matemáticos, considerando la interacción con el agua, considerando los diferentes tipos de pilas y con diferentes tipos de cimentaciones para estudiar su resistencia y estabilidad estructural ante los posible empujes y niveles de agua, así como ante velocidades de viento asociadas a los huracanes, ya que las fuerzas de empuje por viento, a considerar en los diseños, son función de la velocidad. Los estudios de estabilidad final incluyó el efecto de la fuerza lateral generada por el sismo de diseño en el sitio.

Los análisis de los modelos matemáticos consideraron los resultados de los estudios topohidráulicos y de mecánica de suelos, así como las estimaciones de profundidades de socavación.

En la etapa final, con base en lo realizado, se llevó a cabo una priorización de los riesgos, en términos de una lista de estructuras de puentes, lo anterior con el propósito de proponer medidas de mitigación del riesgo; se entregó una propuesta para el monitoreo de algunas estructuras seleccionadas de la lista de puentes clasificados como vulnerables.

2. Descripción detallada, en su caso, de las características de los bienes adquiridos de acuerdo al PAPC y lo comprometido dentro de la Ficha Técnica. Si se trata de equipo, incluir especificaciones técnicas y los mapas que se entreguen deberá tener formato shape.

No.	Concepto	Descripción
1	Geodatabase con tres capas de información: Capa 1, 446 puentes y su campo para el hipervínculo de los archivos asociados.	Geodatabase con tres capas de información: Capa 1, 419 puentes y su campo para el hipervínculo de los archivos asociados.

Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

Capa 2, 20 puentes más vulnerables y su campo para el hipervínculo de los archivos asociados. Capa 3, estaciones meteorológicas y su campo para el hipervínculo de los archivos asociados. Proyecto de Arcmap con simbologías y alias de los campos y una carpeta con los archivos asociados a las capas de información.	Capa 2, 20 puentes más vulnerables y su campo para el hipervínculo de los archivos asociados. Capa 3, estaciones meteorológicas y su campo para el hipervínculo de los archivos asociados. Proyecto de Arcmap con simbologías y alias de los campos y una carpeta con los archivos asociados a las capas de información.
---	---

3. Productos que se tienen al momento del reporte.

No.	Producto utilizable	Mecanismo de integración con la CNPC o el CENAPRED
1	Geo-data-base con tres capas de información: Capa 1, 446 puentes y su campo para el hipervínculo de los archivos asociados. Capa 2, 20 puentes más vulnerables y su campo para el hipervínculo de los archivos asociados. Capa 3, estaciones meteorológicas y su campo para el hipervínculo de los archivos asociados.	Geo-data-base con tres capas de información: Capa 1, 446 puentes y su campo para el hipervínculo de los archivos asociados. Capa 2, 20 puentes más vulnerables y su campo para el hipervínculo de los archivos asociados. Capa 3, estaciones meteorológicas y su campo para el hipervínculo de los archivos asociados.



Nombre del proyecto	Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

Proyecto de Arcmap con simbologías y alias de los campos y una carpeta con los archivos asociados a las capas de información.	Proyecto de Arcmap con simbologías y alias de los campos y una carpeta con los archivos asociados a las capas de información.
---	---

4. Comentarios

El Comité Interno de la Subcuenta de Investigación para la Prevención, aprobó el informe técnico final de este proyecto, mediante acuerdo RO/26/01/2018, con fundamento en el artículo 30 de los Lineamientos para la operación del Comité Interno de la Subcuenta de Investigación, en el marco del Acuerdo por el que se establecen las Reglas de Operación del Fondo para la Prevención de Desastres Naturales.

Los productos finales del proyecto pueden ser visualizados en la siguiente liga:

URL: <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/app/fenomenos/>

Menú: Capas/Sistema Expuesto/Infraestructura de Transporte/Carretera