




Administración
Portuaria Integral de
Progreso S.A. de C.V.

Estudio Costo Eficiencia del Nuevo Viaducto alterno del Puerto de Progreso, Yucatán.

– Estudio Costo Eficiencia –



Enero, 2012

| | | | | | | | | |
|---|---|-------------------------------------|----------|----------|--|--|--|--|
|  | PROYECTO: 16655 – Estudio Costo Beneficio del Nuevo Viaducto alterno del Puerto de Progreso, Yucatán. | | | | | | | |
| | IT NO. IT-012-4 | TÍTULO: ESTUDIO COSTO EFICIENCIA | | | | | | |
| | C. D. 10.00 | CLIENTE: API Progreso | | | | | | |
| | FECHA: 23-01-12 | | | | | | | |
| ADJUNTOS: | Copias | IDOM 6 | API 4 | SUP 1 | | | | |

ÍNDICE

- 1. RESUMEN EJECUTIVO**
 - 1.1 PROPÓSITO DEL PROYECTO
 - 1.2 PROBLEMÁTICA QUE SE PRETENDE RESOLVER
 - 1.3 COMPONENTES DEL PROYECTO
 - 1.4 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO
 - 1.5 COSTOS DEL PROYECTO
 - 1.5.1 Costos de la alternativa 1
 - 1.5.2 Costos de la alternativa 2
 - 1.6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS
 - 1.7 CONCLUSIONES
- 2. SITUACIÓN SIN PROYECTO Y POSIBLES SOLUCIONES**
 - 2.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.
 - 2.1.1 Resultados de la visita al viaducto
 - 2.1.2 Análisis de la documentación disponible sobre el estado del viaducto
 - 2.2 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ACTUAL OPTIMIZADA
 - 2.2.1 Vida útil del viaducto en el momento actual
 - 2.2.2 Riesgo de fallo
 - 2.2.3 Conclusiones
 - 2.3 ANÁLISIS DE LA OFERTA Y DEMANDA DE LA SITUACIÓN SIN PROYECTO.
 - 2.3.1 Análisis de la oferta de conectividad del Puerto
 - 2.3.2 Análisis de la demanda del viaducto
 - 2.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
 - 2.4.1 Condicionantes de diseño
 - 2.4.2 Soluciones planteadas
 - 2.4.3 Presupuesto de la alternativa 1

2.4.4 Presupuesto de la alternativa 2

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1 OBJETIVO

3.2 PROPÓSITO

3.3 COMPONENTES

3.4 CALENDARIO DE ACTIVIDADES

3.5 TIPO DE PROYECTO

3.6 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ZONA DE INFLUENCIA

3.7 VIDA ÚTIL DEL PROYECTO Y HORIZONTE DE EVALUACIÓN

3.8 CAPACIDAD INSTALADA Y EVOLUCIÓN EN EL HORIZONTE DE EVALUACIÓN

3.9 METAS ANUALES Y TOTALES DE PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS.

3.10 ASPECTOS MÁS RELEVANTES DE LAS EVALUACIONES TÉCNICA, LEGAL Y AMBIENTAL DEL PROYECTO.

3.11 AVANCE EN EL DESARROLLO DE TRÁMITES

3.12 COSTOS DEL PROYECTO

3.12.1 Costos de la alternativa 1

3.12.2 Costos de la alternativa 2

3.13 FUENTES DE RECURSOS PARA FINANCIAMIENTO Y CALENDARIZACIÓN ESTIMADA

3.14 SUPUESTOS TÉCNICOS Y SOCIO-ECONÓMICOS

3.15 INFRAESTRUCTURA EXISTENTE Y PROYECTOS EN DESARROLLO QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO.

4. SITUACIÓN CON PROYECTO

4.1 EFECTOS ATRIBUIBLES AL PROYECTO

4.1.1 Efectos del proyecto para API

4.1.2 Efectos del proyecto para los usuarios

4.1.3 Efectos del proyecto para la colectividad en general

5. EVALUACIÓN DEL PROYECTO

5.1 IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE COSTOS

5.2 CÁLCULO DEL COSTO ANUAL EQUIVALENTE.

6. CONCLUSIONES

1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento constituye el "Estudio Costo-Eficiencia del Nuevo Viaducto Alterno del Puerto de Progreso, Yucatán", para su registro en la Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. El estudio está desarrollado conforme a los lineamientos que, para la presentación de dichos estudios, publica la mencionada unidad. Se ha optado por realizar un estudio Costo Eficiencia debido a que los beneficios de la construcción del nuevo viaducto no son fácilmente cuantificables, ya que no producen beneficios en coste generalizado del transporte y se carece de información para evaluar los beneficios no monetarios.

1.1 PROPÓSITO DEL PROYECTO

El propósito inmediato del proyecto es disponer de una infraestructura de acceso nueva, alternativa al viaducto existente, que elimine el riesgo de falla de ésta, por haber llegado ya al límite de su vida útil, fortaleciendo la conectividad carretera del puerto al no hacerlo depender de una única estructura, deteriorada y sujeta a altas probabilidades de fallo.

1.2 PROBLEMÁTICA QUE SE PRETENDE RESOLVER

Derivado de la visita que se realizó al viaducto y del análisis de los dictámenes elaborados por el Instituto Mexicano del Transporte, la problemática actual es la siguiente.

- Hay daño patente, en forma de fisuras estructurales en arcos y cabezales y fisuras longitudinales debidas a corrosión. Existe incertidumbre y preocupación en API al respecto.

Se realizaron actividades diversas de monitoreo y pruebas, cuyos resultados son los siguientes:

- Existen numerosos cabezales donde se detectan grietas. En la mayor parte de los arcos y cabezales hay contaminación por hongos. Se detectan algunas pérdidas de material y, puntualmente, filtraciones. En general, los daños reportados en 2007 son mayores que los de los levantamientos anteriores. Se plantea la necesidad de llevar a cabo actuaciones de reparación en cuarenta y seis arcos.
- Es de reseñar que, aunque en 2003 se realizaron algunas reparaciones, existen grietas que son **repetición** de grietas ya reparadas anteriormente. En otros casos son nuevas o incipientes y, en algunos más, son continuación de grietas que hay en los arcos adyacentes.

- La medición de potenciales de corrosión revela que el acero está activo para este fenómeno en los tres casos estudiados. El valor obtenido es preocupante y es muy probable que comience a suceder también en otros cabezales. Se habla de un periodo de aparición de fisuras por corrosión que podría llegar a ser de cinco años, (esta afirmación se hace en el año 2007), aunque podría llegar a veinte. Además, se reportan daños considerables y deterioro extensivo de los sistemas de protección catódica que se implementaron en su momento. En general, se reporta lo poco adecuado del sistema empleado, que no aporta prácticamente protección alguna después de tan solo un año de haberse instalado.

Se recomendaron acciones para alargar la vida útil del viaducto lo suficiente para permitir construir uno alternativo en paralelo. Las acciones recomendadas son las siguientes:

- **Prioridad urgente.** Reparar mediante el sistema empleado en 2003, (resinas), los 46 arcos que presentan fisuras.
- **Prioridad alta.** Reparar mediante el sistema ya comentado, (resinas), el total de los 145 arcos que forman el viaducto en toda su anchura. El alargamiento estimado de vida útil es de entre diez y veinte años, (lo que representa una gran incertidumbre), además de condicionar la validez de la solución a limitar el aumento de las cargas que transitan por el viaducto a tan solo un 30%.
- **Prioridad media.** Se propone construir un viaducto alternativo y pasar a transitar por el mismo todas las cargas pesadas, dejando el actual para tráfico ligero. (Esta es la propuesta que se evaluará como parte del presente estudio costo-eficiencia).

1.3 COMPONENTES DEL PROYECTO

El proyecto posee un único componente, que corresponde al viaducto alternativo que nos ocupa. Se trata de una estructura para dar servicio de conectividad carretera alternativa al viaducto existente para el Puerto de Progreso, Yucatán.

La longitud del nuevo viaducto es de 2.184 metros. Posee una calzada única, con un carril por sentido. Los carriles son de 3.5 metros de ancho y se disponen, además, acotamientos de un metro de ancho y una banqueta de un metro de ancho en uno de sus lados, que alojará una trinchera de servicios.

Es de planta rectilínea, en su mayor parte y su alzado coincide con el del viaducto existente, (en tanto en cuanto discurren paralelos).

Se configura mediante una serie de claros de 24 metros de longitud cada uno, resueltos mediante una estructura isostática, compuesta por tres traveses cajón y losa superior. Las traveses se apoyan en cabezales transversales los cuales, a su vez, se apoyan en tres pilas de 1,50 metros de diámetro, empotradas en el lecho rocoso marino, a aproximadamente siete metros de profundidad.

Se consideran dos alternativas para las traveses. Por un lado la alternativa en la que éstas se configuran como traveses de hormigón preesforzado y por otro la alternativa que considera estructura metálica, con sección tipo cajón.

El viaducto estará iluminado en toda su extensión y se dispondrá un sistema de instrumentación para poder monitorear y conocer en todo momento sus movimientos de desplazamientos al paso de la carga.

1.4 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se localiza dentro de la zona federal del Puerto de Progreso, Yucatán, con las coordenadas aproximadas, (punto medio de la estructura), 21° 17' 50" N y 89° 39' 59" O. En la imagen satelital que se acompaña se observa detalladamente tanto la ubicación dentro de la república mexicana como dentro del estado y, por último, detalladamente en relación a la propia ciudad de Progreso y su borde costero.

1.5 COSTOS DEL PROYECTO

Se describen en este apartado los costos necesarios para la generación de los componentes del proyecto, tanto en su fase de ejecución como en su fase de operación a lo largo del horizonte de evaluación.

1.5.1 Costos de la alternativa 1

Costos durante la ejecución

Se considera un costo de ejecución de la obra del viaducto de 325,608,180.61.- MXN. Se estima un costo para desarrollo de proyecto ejecutivo y estudios preliminares, (estudio de impacto ambiental, estudio de mecánica de suelos, etc.), de un 3% del monto anterior, igual a 9,768,245.42.- MXN. La supervisión de la obra del viaducto se estima también en un 3% del

monto de inversión, por una cantidad, igualmente, de 9,768,245.42.- MXN. Estos montos no incluyen el IVA aplicable.

El calendario previsto de inversiones por año, (igualmente sin incluir el IVA), es el siguiente.

- Año 2012, estudios y proyectos, 3,256,081.81.- MXN
- Año 2013, estudios y proyectos, 6,512,163.61.- MXN
- Año 2014, ejecución de la obra y supervisión, 167,688,213.01.- MXN
- Año 2015, ejecución de la obra y supervisión, 167,688,213.02.- MXN

Puesto que el proyecto solamente posee un componente, todos los recursos se emplearán en él.

Costos durante la operación

Durante el periodo de operación se consideran dos tipos de costos: los de operación, propiamente dichos, y los de mantenimiento. Se ha optado por evaluar ambos rubros mediante porcentajes del presupuesto de inversión para la obra, basándose en experiencias similares de infraestructuras como la que es objeto del presente estudio.

- El presupuesto de operación es de un 0.5% anual, lo que equivale a 1,628,040.90.- MXN
- El presupuesto de mantenimiento es, igualmente, de un 0.5% anual, lo que equivale a 1,628,040.90MXN

1.5.2 Costos de la alternativa 2

Costos durante la ejecución

Se considera un costo de ejecución de la obra del viaducto de 472,320,334.69.- MXN. Se estima un costo para desarrollo de proyecto ejecutivo y estudios preliminares, (estudio de impacto ambiental, estudio de mecánica de suelos, etc.), de un 3% del monto anterior, igual a 14,169,610.04.- MXN. La supervisión de la obra del viaducto se estima también en un 3% del monto de inversión, por una cantidad, igualmente, de 14,169,610.04.- MXN. Estos montos no incluyen el IVA aplicable.

El calendario previsto de inversiones por año, (igualmente sin incluir el IVA), es el siguiente.

- Año 2012, estudios y proyectos, 4,723,203.35.- MXN
- Año 2013, estudios y proyectos, 9,446,406.69.- MXN
- Año 2014, ejecución de la obra y supervisión, 243,244,972.36.- MXN
- Año 2015, ejecución de la obra y supervisión, 243,244,972.37.- MXN

Puesto que el proyecto solamente posee un componente, todos los recursos se emplearán en él.

Costos durante la operación

Durante el periodo de operación se consideran dos tipos de costos: los de operación, propiamente dichos, y los de mantenimiento. Se ha optado por evaluar ambos rubros mediante porcentajes del presupuesto de inversión para la obra, basándose en experiencias similares de infraestructuras como la que es objeto del presente estudio.

- El presupuesto de operación es de un 0.5% anual, lo que equivale a 2,361,601.67.- MXN
- El presupuesto de mantenimiento es, igualmente, de un 0.75% anual, (superior al anterior por tratarse de estructura mixta), lo que equivale a 3,542,402.51.-MXN.

1.6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Los valores obtenidos para el CAE de las dos alternativas consideradas son los que se incluyen en la tabla siguiente.

| Alternativa | CAE |
|-------------|------------|
| 1 | 34,824,216 |
| 2 | 51,343,990 |

Resultando que es preferible la alternativa 1.

1.7 CONCLUSIONES

- El riesgo de falla del viaducto actual, en las condiciones prevalentes de utilización actual, así como en las de evolución futura de su uso, crecerá en el futuro próximo hasta hacerse inaceptable.

- La mera aplicación de actuaciones de mitigación, tales como las reparaciones que se han llevado a cabo hasta ahora, no servirá para alargar la vida útil del viaducto y, por tanto, no contribuirá a disminuir su riesgo de fallo.
- El perjuicio económico que causaría una falla de la estructura, (lo que provocaría la interrupción del acceso al puerto y, por tanto, la paralización de la actividad comercial de éste), es muy elevado.
- El viaducto es un icono de la ciudad y del estado y debe mantenerse en su estado estético actual, como componente del paisaje de la ciudad de Progreso. Su utilización para tráfico ligero sí está garantizada en condiciones de seguridad.
- La solución óptima para eliminar el riesgo de falla del acceso, conservar la infraestructura y permitir el funcionamiento normal del puerto sin interrupciones es construir un viaducto alternativo, paralelo al actual, que conecte con la zona del puerto ejecutada sobre relleno y protegida por bloques de concreto.
- En las condiciones anteriores la alternativa más eficiente desde el punto de vista del Costo Anual Equivalente es la número 1.

2. SITUACIÓN SIN PROYECTO Y POSIBLES SOLUCIONES

El objeto del presente apartado es describir la situación del viaducto así como las posibles soluciones para la misma. Consta de los siguientes apartados:

- **Diagnóstico de la situación actual** que motiva la realización del proyecto, resaltando la problemática que se pretende resolver.
- **Descripción de la situación actual optimizada.**

En este apartado se detallarán las acciones que podría llevar a cabo la Administración Portuaria Integral de Progreso con el fin de reducir el impacto de la problemática descrita en el inciso anterior.

- **Análisis de la Oferta y Demanda de la situación sin proyecto.**

En esta sección se realizará un análisis de la demanda del flujo vehicular que existe en la actualidad en el viaducto, así como su proyección bajo escenarios razonables y se comparará con la capacidad actual para llevarlos a cabo.

- **Alternativas de solución.**

En esta sección se presentarán y analizarán las alternativas que existen para resolver el problema descrito en el primer inciso de este apartado.

2.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

Para la evaluación de la situación actual se llevó a cabo una visita a las instalaciones de API Progreso y se desarrolló una reunión de trabajo además de una visita de inspección al viaducto. Adicionalmente, se analizaron diversos documentos, facilitados por API Progreso, que sirvieron para evaluar la problemática actual.

A continuación se indican los resultados de la visita realizada así como los del análisis de la documentación disponible relativa al viaducto. Por último se indican las principales cuestiones que definen la situación actual del viaducto.

2.1.1 Resultados de la visita al viaducto

Dado que no había medios marítimos para inspeccionar la parte inferior de los arcos triarticulados que componen el puente se optó por realizar un recorrido en superficie (superestructura), y observar desde ambos extremos lo más posible de la infraestructura.

También se visitaron los posibles lugares de arranque y llegada del viaducto alterno objeto del estudio.

2.1.1.1 Descripción general del viaducto

Se trata de un viaducto de trazo aproximadamente rectilíneo, con un carril por sentido y parapetos a ambos lados, siendo más alto el del lado oeste, el cual dispone también de una banqueta. La banqueta tiene un ancho aproximado algo inferior al metro mientras que los carriles son de aproximadamente 3,50 metros. No se dispone de acotamiento. Bajo la banqueta hay una galería de servicios, con diversas canalizaciones, que ocupa todo el ancho de ésta.

La infraestructura del viaducto está compuesta de una sucesión de arcos triarticulados apoyados en cabezales que a su vez descansan en pilares que se apoyan en el lecho marino. Dado que el fondo es de roca masiva, es probable que, al menos en una gran parte de su

desarrollo, las cimentaciones sean directas. Los arcos son de timpano cerrado como se observa en las fotografías.

El viaducto parte de la playa de Progreso, sobre un relleno. Los primeros arcos están prácticamente enterrados en la arena, como se observa en las fotos. Su final se produce sobre un muelle ejecutado sobre pilas, creando una plataforma en la que se encuentran también parte de las oficinas actuales de la API. Tras este pequeño muelle se sitúa el relleno artificial, protegido por un manto de bloques de hormigón, que configura el resto de las superficies que componen el recinto portuario.

2.1.1.2 Estado general del viaducto

La superestructura presenta un correcto estado de conservación. El pavimento está en buen estado, aunque presenta algunos puntos de agrietamiento o piel de naranja. Se observan también secciones donde el mismo ha sido reparado. No se observan baches de consideración.

La banqueta está bien, en términos generales, aunque en ciertas secciones las piezas que cubren la galería de servicios no ajustan bien. Dado que no es una banqueta transitable, más que para mantenimiento, este hecho no parece representar un grave problema.

El parapeto del lado de la banqueta posee una altura aproximada de unos ochenta centímetros. El del otro lado apenas es de cuarenta, con lo que no contribuye mucho a contener un posible choque. La limitación de velocidad que el viaducto impone hace un hipotético impacto sea muy improbable.

La subestructura sí presenta problemas. La mayor parte de los paneles que conforman los arcos triarticulados están separados apreciablemente, (uno o dos dedos), y en los arcos se observan una cierta pérdida de la geometría circular que revela cabeceo de las piezas en la sección centro de claro.

Se observan algunas pérdidas de material, reparadas en su mayor parte. Las reparaciones llevadas a cabo pueden ocultar o haber mitigado los defectos existentes, que no se observan, por ello, claramente a simple vista.

El estado observado de cabezales y pilares es, sin embargo, bastante aceptable.

2.1.1.3 Reportaje fotográfico de la visita al viaducto

Se incluye a continuación el reportaje fotográfico realizado durante la visita.



Arranque del viaducto en la playa



Material de desecho junto al viaducto



Primeros arcos casi enterrados



Arco con cabeceo en la sección central



Reparaciones y grietas en paneles



Manchas sobre los paramentos de los arcos



Juntas verticales en secciones de arranque y central



Sección del viaducto situada sobre la playa



El viaducto en todo su desarrollo, desde la playa



Otra vista, con las oficinas de API al fondo



Juntas verticales en arranque de arcos



Punto de arranque de nuevo viaducto



Comienzo de viaducto. Banqueta pavimentada inicialmente



Comienzo de galería de servicios. Parapeto



Pavimento, sección inicial. Buen estado



Estado de piezas de cobertura de galería de servicios



Tránsito sobre viaducto. Carriles algo estrechos



Otra vista del tráfico de camiones



Pavimento reparado y galería de servicios



Ligero agrietamiento en pavimento. Parapeto bajo



Falso encaje de piezas de cobertura



Nueva sección de pavimento reparado



Junta central en pavimento asfáltico



Parapeto junto a galería de servicios



Vista de la sección del viaducto



Carretera de acceso una vez pasada las oficinas API



Calzadas separadas a partir de oficinas de API



Terminales al fondo y defensa de escollera



Parapeto metálico y escollera



Escollera próxima a sección de llegada de viaducto nuevo



Oficinas de API. Ductos de PEMEX



Detalle de escollera de bloques escollera



Escollera en punto de posible llegada



Detalle de bloques en el mar



Detalle de pilas y cabozales



Juntas abiertas en arcos. Eflorescencias



Nuevo detalle de cabezales



Juntas en arcos. Ligeras pérdidas de material



Grietas en extremo de pilares



Comienzo de escollera. Punto de posible llegada

2.1.1.4 Conclusiones de la visita al viaducto

El resultado de la visita de inspección se encuentra recogido en el documento IT-003, Informe Inspección Viaducto. Las principales conclusiones del mismo se resumen a continuación.

- Los problemas se presentan en la subestructura.
- Hay grietas o separación de paneles y un cierto cabeceo de las piezas que forman los arcos, los cuales han perdido ligeramente su directriz circular.
- Se observan algunas pérdidas de material.
- También se observa que el puente ha sufrido reparaciones, encaminadas a mitigar los defectos existentes.

Es claro que una mera inspección visual no revelará la realidad del estado y, específicamente, la profundidad del deterioro que sufre el viaducto. Es necesario consultar otra información.

2.1.2 Análisis de la documentación disponible sobre el estado del viaducto

De cara a evaluar el estado en que actualmente se encuentra el viaducto se han llevado a cabo diversos análisis y actividades. En primer lugar se realizó la visita de inspección al mismo. Que ya se ha comentado. Además, se analizó diversa información relativa a dictámenes técnicos y proyectos de reparaciones ejecutados en el viaducto, que fueron facilitados por el cliente.

2.1.2.1 Ponencia "construcción del muelle de progreso"

Se analizó, en primer lugar, el contenido de una ponencia publicada en 2004 acerca del viaducto y del denominado Muelle Fiscal. La información de mayor interés que aporta dicho documento se resume a continuación.

En cuanto al proceso constructivo y materiales, el documento concluye que,

- El viaducto está construido de concreto simple en su mayor parte. (arcos y pilas), habiéndose empleado concreto reforzado con varilla de acero inoxidable exclusivamente en los cabezales. Esta varilla tiene una vida útil reportada por el fabricante de 70 años en condiciones de laboratorio.
- Por tratarse de arcos triarticulados, se dispusieron pilares de anclaje cada seis entre ejes. Un fallo de un arco afectaría a esa longitud, exclusivamente.
- El muelle fiscal se construyó con idéntica tecnología y en su centro se ejecutó el edificio que hoy día aloja las oficinas de API.

Sobre las inspecciones llevadas a cabo el documento informa que:

- La inspección realizada en 1999 solamente se centró en el cabezal 9. No revela signos de agrietamiento ni corrosión, refleja un recubrimiento de 10.5 cm y no identifica signos de ataque por sulfatos aunque hay un contenido alto de cloruros en el concreto.
- La inspección de durabilidad se desarrolló en 2001 sobre 100 de los 146 cabezales. Se detectan agrietamientos de consideración (>3mm), en seis arcos, y agrietamientos menores en otros quince. No hay signos de corrosión.

La conclusión del documento, finalmente, es:

- El viaducto está en buen estado (2001), pero empieza a mostrar signos de envejecimiento. Recomienda tomar acciones que alarguen la vida útil de la estructura.

El hecho de que ya hayan pasado prácticamente diez años desde la última inspección reportada, así como el que se esté alcanzando la vida útil de la varilla que se detecten signos de envejecimiento, revelan la necesidad de estudiar información adicional.

2.1.2.2 Proyecto de rehabilitación y monitoreo del sistema de protección catódica

Se consultó, adicionalmente, el documento “**Proyecto de rehabilitación y monitoreo del sistema de protección catódica del viaducto y plataforma del antiguo muelle del API Progreso**”, elaborado por el Instituto Mexicano del Transporte que pretende, por un lado evaluar el daño estructural y por otro medir el avance de corrosión en las varillas que se encontraban activas para este fenómeno. Adicionalmente, se propone las actuaciones correctivas pertinentes.

Como antecedentes, el documento cita:

- Hay daño patente, en forma de fisuras estructurales en arcos y cabezales y fisuras longitudinales debidas a corrosión. Existe incertidumbre y preocupación en API.

Se indica además el objetivo que se desea lograr:

- Plantear acciones para alargar la vida útil del viaducto mediante rehabilitación estructural y monitoreo del estado de corrosión de los cabezales afectados.

Las actividades realizadas son las siguientes:

- Se realizó un levantamiento de daños, pruebas electroquímicas, medición de deterioro del sistema de protección catódica, redacción del proyecto de rehabilitación e inspección del muelle de cruceros.

Los resultados de las acciones realizados son los que se indican:

- Existen numerosos cabezales donde se detectan grietas. En la mayor parte de los arcos y cabezales hay contaminación por hongos. Se detectan algunas pérdidas de material y, puntualmente, filtraciones. En general, los daños reportados en 2007 son mayores que los

de los levantamientos anteriores. Se plantea la necesidad de llevar a cabo actuaciones de reparación en cuarenta y seis arcos.

- Es de reseñar que, aunque en 2003 se realizaron algunas reparaciones, existen grietas que son **repetición** de grietas ya reparadas anteriormente. En otros casos son nuevas o incipientes y, en algunos más, son continuación de grietas que hay en los arcos adyacentes.
- La medición de potenciales de corrosión revela que el acero está activo para este fenómeno en los tres casos estudiados. El valor obtenido es preocupante y es muy probable que comience a suceder también en otros cabezales. Se habla de un periodo de aparición de fisuras por corrosión que podría llegar a ser de cinco años, (esta afirmación se hace en el año 2007), aunque podría llegar a veinte. Además, se reportan daños considerables y deterioro extensivo de los sistemas de protección catódica que se implementaron en su momento. En general, se reporta lo poco adecuado del sistema empleado, que no aporta prácticamente protección alguna después de tan solo un año de haberse instalado.
- Por último, en cuanto al proyecto de rehabilitación propuesto, se constata, en primer lugar, el adecuado funcionamiento de la resina empleada y sus altos valores de resistencia al arranque. Se propone en el documento seguir empleando este sistema para reparar las grietas y establecer tres niveles de prioridad, en función de la severidad de las fallas y también de las disponibilidades económicas de API.
 - **Prioridad urgente.** Reparar mediante el sistema empleado en 2003, (resinas), los 46 arcos que presentan fisuras, con un costo de aproximadamente cinco millones de pesos, un plazo de ejecución de tres meses y medio y un alargamiento estimado de vida útil de unos cinco años.
 - **Prioridad alta.** Reparar mediante el sistema ya comentado, (resinas), el total de los 145 arcos que forman el viaducto en toda su anchura. El costo es, en este caso, de aproximadamente treinta y cinco millones y medio de pesos, el plazo de ejecución es de cinco meses y medio y el alargamiento estimado de vida útil es de entre diez y veinte años, (lo que representa una gran incertidumbre), además de condicionar la validez de la solución a limitar el aumento de las cargas que transitan por el viaducto a tan solo un 30%.

- **Prioridad media.** Se propone construir un viaducto alternativo y pasar a transitar por el mismo todas las cargas pesadas, dejando el actual para tráfico ligero. (Esta es la propuesta que se evaluará como parte del presente estudio costo-eficiencia).

Al respecto cabe mencionar que las recomendaciones expuestas se hicieron en 2007, por lo que, si se llevaron a cabo como estaba previsto, está cerca de terminar el plazo estimado de aumento de vida útil que se preveía para el caso de ejecutar solamente las reparaciones urgentes.

La reparación más extensiva de las expuestas con anterioridad, aporta, es cierto, un periodo superior de vida útil, pero existe mucha incertidumbre al respecto y plantea limitaciones a las cargas que pueden transitar por el viaducto, lo cual no es recomendable, a medio y quizá a corto plazo, para el desarrollo del puerto como parte de una cadena de transporte decisiva en la actividad económica del estado y de la región.

Debe comprobarse, además, en qué medida se han llevado a cabo las reparaciones recomendadas, lo cual se estudia en el apartado que sigue.

2.1.2.3 Memoria de obras de reparación a los arcos del viaducto

Se ha analizado, por último, la memoria de obras de reparación y rehabilitación realizadas por la API en 2008 y 2009.

Se indica que se han llevado a cabo las reparaciones incluidas en las dos propuestas, denominadas de prioridad urgente y alta, expuestas en el documento elaborado por el IMT.

La reparación urgente se finalizó en diciembre de 2008 y la de prioridad alta en diciembre de 2009.

2.1.2.4 Conclusiones del análisis de la documentación disponible

Las conclusiones que pueden obtenerse del análisis realizado son:

- El viaducto sufre daños y envejecimiento patente.
- A pesar de haber ejecutado reparaciones, algunas de las patologías se han reproducido o extendido desde los cabezales a los arcos adyacentes.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ACTUAL OPTIMIZADA

El objeto del presente apartado es describir las acciones que puede tomar API Progreso para minimizar el impacto de la problemática comentada en el apartado anterior.

La problemática está ligada al estado de deterioro del viaducto actual y las posibilidades de minimizar el impacto de esta cuestión son similares a las que ya se han venido realizando, es decir, monitoreo de la patología del viaducto, grietas, manchas, hongos, etc., así como reparación de las fallas que aparezcan de nuevo. Existe, además, una limitación de carga que se ha establecido en las recomendaciones del IMT, con objeto de garantizar la vida útil del mismo por algunos años más.

Se analiza a continuación, en función de lo recogido en el dictamen y de los resultados de la auscultación, la vida útil actual y la probabilidad de fallo estimada de la estructura.

2.2.1 Vida útil del viaducto en el momento actual

Teniendo en cuenta que se realizaron todas las reparaciones propuestas, ya comentadas en la descripción de la situación actual, la consideración de aumento de vida útil debe estar basada en la que le proporciona al viaducto la más extensa de dichas actuaciones, considerada como de prioridad alta.

Suponiendo que la reparación se ha hecho conforme se indicaba en el documento y que la consideración allí expuesta en cuanto a la vida útil adicional que dicha actuación supone, esta se habría alargado entre diez y veinte años. Sin embargo, se desconoce si la carga de los camiones que pasan por el viaducto ha estado limitada, en el año y medio transcurrido desde la finalización de la reparación según lo indicaba el documento. De hecho, hay un acuerdo para transportar grava por el puerto, con camiones de carga muy elevada, que no puede revocarse y que, aunque está ahora mismo en suspenso, puede reactivarse en cualquier momento. Si las cargas no se limitan tal como el documento expone, la vida útil sería de la mitad, (o sea, entre cinco y diez años).

Se desconoce también, si el hecho de haber pospuesto, durante casi un año y medio, la ejecución de la reparación habrá incidido negativamente en el plazo acordado.

Por todo lo anterior, parece prudente considerar que la vida útil real, (y con ella una probabilidad de fallo que no será excesiva), será de cinco años a partir de la fecha de la reparación, o bien, tres y medio desde el momento actual, lo que nos llevaría a considerar que la nueva infraestructura, del tipo que sea, debería estar lista para su entrada en servicio antes de diciembre del año 2015. (A este respecto, es adecuado considerar que, como estimación, el desarrollo de un proyecto ejecutivo para el viaducto podría tomar, incluyendo el proceso de licitación, estudios previos y demás labores, aproximadamente un año, y la obra, con los mismos condicionantes, un plazo aproximado de dos años, lo que lleva a concluir la necesidad de comenzar las labores de diseño del nuevo viaducto a la brevedad posible).

Vale la pena señalar que son las cargas pesadas las que provocan el envejecimiento de la estructura, combinadas con el ambiente agresivo, propenso a la corrosión, en que se sitúa. Aunque no hay dictamen específico al respecto, parecería razonable esperar que, si el viaducto actual se dedicara simplemente a tráfico de vehículos ligeros, (no más de 3,500 kg en total), su vida útil sería muy superior a la expuesta. Ello, unido a un adecuado monitoreo periódico de las fisuras y demás patología existente, permitiría entregarlo a otros usos, que deberían determinarse en su momento pero que podrían encontrarse en la línea de actividades de ocio y turísticas relacionadas con las actividades portuarias.

También se realiza la consideración de que no se puede alargar indefinidamente la vida útil del viaducto. Las reparaciones han conseguido prolongarla hasta un periodo de entre cinco y diez años más pero eso no va a detener el proceso de corrosión ni va a evitar que la estructura se sitúe finalmente en un estado de "no uso posible", si se la sigue sometiendo a las solicitaciones que ha experimentado hasta el momento.

Es necesario recalcar que las actuaciones indicadas en el dictamen permiten alargar la vida útil para facilitar la construcción de una infraestructura alterna, no para mantener el viaducto actual funcionando en las mismas condiciones indefinidamente.

2.2.2 Riesgo de fallo

Para evaluar el riesgo de fallo consideramos la vida útil comentada anteriormente. Entendemos la vida útil como aquel periodo de tiempo a lo largo del cual la "probabilidad de fallo" (P_f) es menor que la "probabilidad de fallo admisible" (P_a). A partir de ahí la probabilidad de fallo crece

hasta que la infraestructura queda "fuera de uso". Eso implica que seguir utilizándola conlleva un riesgo no admisible y ha de desecharse.

Generalmente se habla de índice de fiabilidad, que es un parámetro relacionado con la probabilidad de fallo a través de una función de densidad de probabilidad de expresión compleja. La mayor parte de las normativas fijan unos niveles de fiabilidad muy similares para las estructuras más comprometidas, como, en este caso, los puentes.

Por ejemplo, en el caso de los Eurocódigos, (normativa de cálculo estructural europea), se fijan índices de fiabilidad que corresponden a probabilidades de fallo comprendidas entre 10^{-4} y 10^{-6} , (de modo general, ya que la formulación posee, después, numerosas ramificaciones). Estamos, en este caso, hablando de probabilidad de fallo en un año y también estamos considerando, como es el caso, un rango asociado a fallas relacionadas con la fatiga, y no con un colapso brusco y repentino de la estructura por haberse sobrepasado su capacidad estructural última.

Considerando que el dictamen de la IMT habla de una vida útil de entre cinco y diez años, (de los que ha pasado ya uno y medio), y que hablaba también de un desarrollo de fisuras de entre cinco y veinte, vamos a considerar una probabilidad de fallo intermedia entre las anteriores, ($P_f=10^{-5}$), durante los próximos años (hasta tres años y medio), y un aumento de la misma, (disminución del índice de fiabilidad correspondiente), hasta que valga uno al cabo de otros diez.

Resta, por último, realizar otra consideración sobre el modo de valorar la incidencia de un fallo. Cuando se habla de riesgos, generalmente se distingue, por un lado, entre riesgos que afectan a la vida de las personas y, por otro, de optimización económica del riesgo. En nuestro caso, el tipo de fallo y la patología que sufre el puente hacen que sea principalmente este segundo aspecto el que conviene tener en cuenta.

En esos casos el parámetro que determina la optimización es el producto $P_f \cdot C_f$, donde el segundo factor representa el coste de un determinado fallo. Se trata, entonces, de equilibrar el coste de las acciones encaminadas a disminuir la probabilidad de fallo con lo que representa en términos económicos el producto anterior, con objeto de alcanzar un mínimo razonable manteniendo los niveles de fiabilidad requeridos.

2.2.3 Conclusiones

Las conclusiones que pueden obtenerse del análisis son:

- Se han realizado las obras de mitigación necesarias, o al menos las que se han estimado recomendables, pero la repetición de estas actuaciones no alargará la vida útil del viaducto indefinidamente.
- El viaducto tendrá una probabilidad de fallo aceptable durante tres años y medio más.
- No se estima que pueda alargarse la vida útil de la estructura más allá de ese periodo sometida a los mismos esfuerzos que hasta ahora.
- El costo económico de una posible falla se evalúa según el producto $P_r C_f$.

2.3 ANÁLISIS DE LA OFERTA Y DEMANDA DE LA SITUACIÓN SIN PROYECTO.

Con objeto de analizar este punto del estudio se ha procedido, en primer lugar, a valorar la oferta de conectividad del Puerto de Progreso y, a continuación, a evaluar la demanda actual y previsible durante el horizonte considerado para la infraestructura.

2.3.1 Análisis de la oferta de conectividad del Puerto

Habitualmente, los puertos disponen de una oferta de conectividad que puede ser o bien exclusivamente carretera o bien mixta, cuando se dispone también de conectividad ferroviaria. En el caso del Puerto de Progreso la conectividad ferroviaria es inexistente, (el punto de conexión a vía férrea más cercano se encuentra en Mérida).

Se estudiaremos, pues, únicamente la oferta de conectividad carretera, en el caso del lado tierra.

2.3.1.1 Conectividad carretera del Puerto de Progreso

El Puerto dispone de un único acceso carretero, precisamente sobre el denominado "Puente de los Daneses". Esta vía, (como ya se ha descrito al principio del documento), dispone de un carril por sentido, de ancho aproximado 3.5 metros, separados por doble raya amarilla, según se observa en la fotografía. Además, hay una banqueta en uno los laterales, de ancho aproximado 0.7 metros y parapetos de altura variable a ambos lados.

Una vez sobrepasadas las oficinas de API, situadas en el muelle fiscal, el acceso a las superficies de las terminales portuarias se produce sobre la superficie de relleno protegido por



bloques de escollera de concreto. Se trata de una vía de calzadas separadas, con dos carriles por sentido y conexiones de retorno a intervalos regulares. Dichas calzadas se encuentran separadas una longitud aproximada de 100 metros durante un tramo de unos 700 metros, acercándose más tarde.

En dicho espacio se localizan ductos y conducciones de PEMEX. Más adelante se dispone de una zona verde entre ambas calzadas, ya mucho más estrecha. La longitud total entre el muelle fiscal y el muelle de servicios es de unos cuatro kilómetros. En la imagen se observa la zona de ductos con las oficinas de API al fondo.

La salida hacia la red carretera del estado se produce a través de las calles 82 y 84, las cuales atraviesan el núcleo urbano de Progreso durante aproximadamente un kilómetro hasta llegar a la autopista a Mérida.

En la fotografía del satélite se pueden observar los diversos tramos que caracterizan la oferta de conectividad carretera del Puerto de Progreso.

La principal característica de la conectividad carretera del puerto es que el eslabón más vulnerable de la cadena es, precisamente, el que corresponde al viaducto. Prácticamente

en la totalidad del resto de vías existe una alternativa que permitiría seguir disponiendo de conectividad aun cuando sucediera algún problema.

Por ejemplo, dentro del núcleo de Progreso existen varias calles que permiten conectar con la autopista y dentro del recinto del puerto, una vez superadas las oficinas de API, existen dos calzadas de dos carriles cada una, que ofrecen alternativas en caso de fallo. El viaducto es la única que vía que no dispone de esa facilidad alternativa.

2.3.1.2 Conectividad marítima del Puerto de Progreso

Aunque no es el objeto principal del estudio, se analiza en este apartado el aspecto de conectividad marítima del puerto.

Las principales características son el canal de acceso al puerto, obtenido mediante dragado, que permite acceder a la zona de puerto de altura, y el calado de éste, igual a 9.75 metros en buena parte de sus instalaciones.

2.3.1.3 Conclusiones

La principal conclusión que puede extraerse de la caracterización realizada es la vulnerabilidad del sistema de conectividad carretera del puerto, que depende de un elemento, el viaducto que nos ocupa, de 1.8 km de longitud, el cual no tiene alternativa en caso de fallo.

2.3.2 Análisis de la demanda del viaducto

Con objeto de evaluar la demanda de tránsito en el viaducto en los años anteriores al actual se ha acudido a estadísticas de carga contenidas tanto en el Programa Maestro de Desarrollo Portuario como en los sucesivos Programas Operativos Anuales. De este modo se podrá evaluar la tendencia observada del tránsito en el puerto y, mediante la adecuada correlación, transformar los datos en valores de tránsito de camiones por el puerto.

Además, estos datos serán la base para establecer las proyecciones futuras, las cuales han sido ya desarrolladas en el PMDP y bastará con actualizarlas con los datos de los dos últimos años, como se observará más adelante.

2.3.2.1 Estadísticas de tránsito de carga en el puerto de progreso

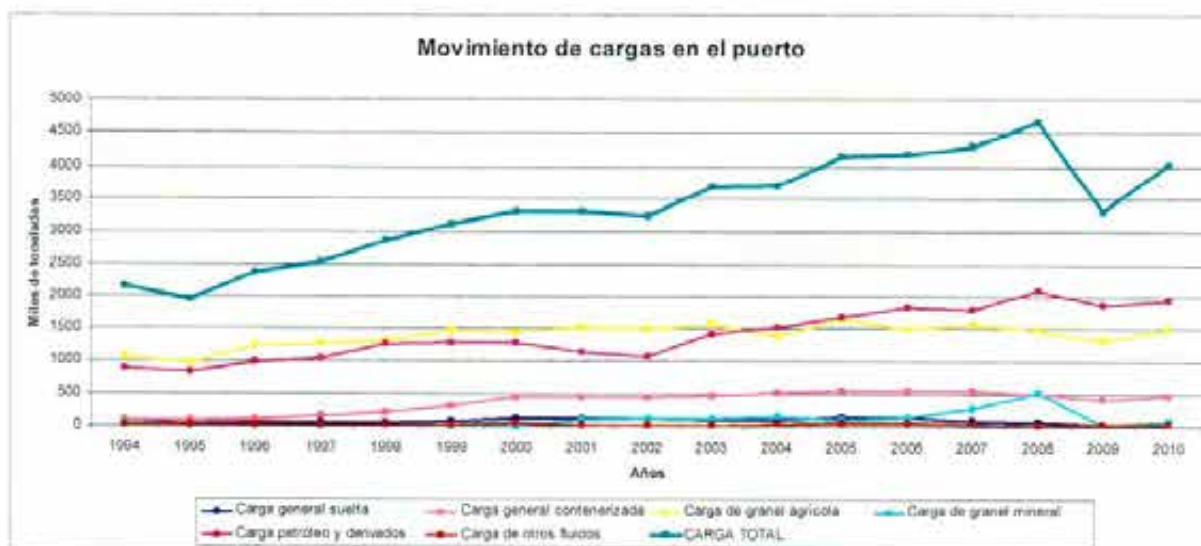
El primer paso para evaluar la demanda ha sido examinar las series históricas de movimiento de carga por el puerto. Se han tomado directamente del PMDP vigente y se han completado con la información que facilita el POA de 2010, donde se debe observar el efecto de la crisis mundial. Las tablas se muestran a continuación y la gráfica que se acompaña refleja la variación para todos los tipos de carga y también para la carga total.

Movimiento de cargas en el puerto (1994 – 2001 en miles de toneladas)

| Tipo de carga/año | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| General suelta | 53.5 | 38.1 | 46.7 | 48.4 | 43.5 | 68.6 | 119.9 | 112.0 |
| General contenerizada | 80.6 | 82.8 | 100.4 | 145.2 | 207.7 | 301.2 | 441.3 | 441.1 |
| Granel agrícola | 1,057.1 | 974.1 | 1,221.3 | 1,271.2 | 1,314.5 | 1,451.5 | 1,435.6 | 1,512.6 |
| Granel mineral | 49.2 | 6.8 | 2.0 | 0 | 12.7 | 0 | 0 | 94.0 |
| Petróleo y derivados | 889.4 | 836.2 | 984.4 | 1,036.9 | 1,267.5 | 1,276.2 | 1,273.0 | 1,143.2 |
| Otros fluidos | 16.1 | 8.7 | 18.1 | 19.6 | 16.0 | 18.2 | 45.3 | 13.6 |
| CARGA TOTAL | 2,145.9 | 1,946.7 | 2,372.9 | 2,521.3 | 2,861.9 | 3,115.7 | 3,315.1 | 3,316.5 |

Movimiento de cargas en el puerto (2002 – 2010 en miles de toneladas)

| Tipo de carga/año | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| General suelta | 111.9 | 98.1 | 108.7 | 138.8 | 135.2 | 76.9 | 71.0 | 35.3 | 34.6 |
| General contenerizada | 442.5 | 459.7 | 505.4 | 547.0 | 554.5 | 551.4 | 498.6 | 412.9 | 464.4 |
| Granel agrícola | 1,478.7 | 1,578.1 | 1,380.0 | 1,635.1 | 1,485.0 | 1,562.6 | 1,471.6 | 1,312.5 | 1,481.8 |
| Granel mineral | 116.2 | 115.8 | 161.1 | 94.8 | 138.5 | 273.7 | 515.9 | 34.9 | 93.1 |
| Petróleo y derivados | 1,069.7 | 1,417.1 | 1,510.7 | 1,679.1 | 1,826.0 | 1,797.7 | 2,079.6 | 1,856.9 | 1,921.5 |
| Otros fluidos | 24.4 | 17.8 | 30.0 | 47.7 | 43.9 | 41.1 | 22.5 | 30.0 | 25.9 |
| CARGA TOTAL | 3,243.4 | 3,686.6 | 3,695.9 | 4,142.5 | 4,183.1 | 4,303.4 | 4,659.2 | 3,316.5 | 4,021.1 |



El comentario que puede hacerse es que la tendencia, en valores de carga total, que son los que nos interesan para el estudio, es de crecimiento sostenido hasta 2009, donde se observa un marcado descenso. En 2010 se muestra cierta recuperación. Este último valor puede servir para modificar las previsiones del PMDP, manteniendo su tendencia pero haciendo que tengan en cuenta ese nuevo valor observado en 2010.

2.3.2.2 Estadísticas de tránsito de vehículos en el viaducto

El presente apartado está dedicado a estudiar el número y tipo de camiones que transportan la carga que es operada en el puerto, los cuales serán los mismos que utilicen el viaducto y determinarán, por tanto, la demanda de tránsito en el mismo así como las cargas que sufrirá la estructura.

Se dispone de las estadísticas de tránsito de camiones por el viaducto a lo largo del año 2010, distribuidas por meses, separadas en entrada, salida, vacíos y llenos, desglosando los contenedores del resto de camiones. Las tablas se muestran a continuación.

Movimiento de camiones en el puerto por meses, entrada, año 2010

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Camiones con carga | 710 | 298 | 151 | 160 | 127 | 228 | 247 | 237 | 467 | 936 | 544 | 85 |
| Camiones vacíos | 3982 | 3586 | 4017 | 3728 | 4278 | 3882 | 4632 | 4678 | 4315 | 4233 | 3815 | 4153 |
| Contenedores con carga | 864 | 1123 | 1228 | 1043 | 909 | 985 | 1047 | 961 | 1029 | 1127 | 1058 | 1100 |

Estudio Costo Beneficio del Nuevo Viaducto alternativo del Puerto de Progreso, Yucatán

Movimiento de camiones en el puerto por meses, entrada, año 2010

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| Contenedores vacíos | 412 | 360 | 356 | 365 | 341 | 387 | 355 | 344 | 414 | 488 | 468 | 535 |
| Vehículos particulares | 9677 | 9789 | 11075 | 11804 | 11455 | 12068 | 11641 | 10556 | 9783 | 8623 | 9217 | 10908 |

Movimiento de camiones en el puerto por meses, salida, año 2010

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| Camiones con carga | 3620 | 2825 | 3191 | 3002 | 3541 | 3085 | 3795 | 3997 | 3599 | 3752 | 3324 | 3260 |
| Camiones vacíos | 1480 | 1440 | 1273 | 1043 | 964 | 1167 | 1421 | 1197 | 1347 | 1737 | 1080 | 1054 |
| Contenedores con carga | 361 | 445 | 514 | 542 | 605 | 646 | 588 | 570 | 654 | 574 | 700 | 831 |
| Contenedores vacíos | 555 | 668 | 783 | 729 | 544 | 582 | 504 | 460 | 625 | 604 | 749 | 641 |
| Vehículos particulares | 9594 | 9670 | 10944 | 11697 | 11329 | 11676 | 11443 | 10355 | 9591 | 8434 | 9086 | 10484 |

Se pueden realizar diversos análisis con estos datos pero se considerarán, específicamente, tres. Se resumen el total de camiones cargados, (incluyendo contenedores), el total de camiones y el total de vehículos. La segunda de estas cantidades, total de camiones, se calculará sumando contenedores y camiones normales entre sí. La razón para ello es que deben entrar los mismos camiones que salen. Sin embargo, si se realiza esa comprobación separando camiones normales y contenedores, se detectan fuertes diferencias. Si se suman ambas cifras los resultados son mucho más lógicos, (apenas una diferencia de 131 vehículos al año). Hay diversas posibles explicaciones para ello pero no son relevantes para los resultados de este estudio.

Resumen de datos de movimiento de camiones en el puerto por meses, año 2010

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Total camiones cargados | 5555 | 4691 | 5084 | 4758 | 5182 | 4944 | 5677 | 5765 | 5749 | 6391 | 5826 | 5276 |
| Total camiones | 11984 | 10745 | 11513 | 10621 | 11309 | 10962 | 12589 | 12444 | 12450 | 13453 | 11738 | 11659 |
| Total vehículos | 31255 | 30204 | 33532 | 34122 | 34093 | 34706 | 35673 | 33365 | 31824 | 30510 | 30041 | 33051 |

La suma de los valores de la última de las filas permite calcular el número medio diario de vehículos que atraviesan el viaducto, como suma de las dos direcciones. El valor obtenido es de 1,075 vehículos diarios.

El valor anterior permite extraer una conclusión muy importante. Si se supone, de manera muy conservadora, un coeficiente de hora punta de un 15%, (valor con mucho superior a los habitualmente observados, pero adecuado para un puerto), se obtiene un volumen de unos 160 vehículos en la hora más cargada, de los cuales un 60% serían vehículos pesados.

Si se tiene en cuenta que el valor estándar, (HCM del Transportation Research Board de los EUA), departamento de la capacidad máxima de una carretera de dos carriles es de 2.800 vehículos/hora, incluso aunque consideremos el hecho de que el adelantamiento está prohibido en toda la extensión del viaducto y la velocidad limitada a un valor de 40 km/h, y que, además, todos los vehículos deben detenerse para pasar el control, deberemos aceptar que el tránsito está, con mucho, por debajo de la capacidad de la vía, lo cual nos llevaría a considerar que el viaducto nuevo debería tener, inicialmente, tan solo dos carriles, aunque podría ser interesante plantear una posible ampliación al cabo de algunos años.

2.3.2.3 Listado de permisos vigentes a transportistas

Se dispone, adicionalmente, del listado y características de los medios de transporte que están autorizados a ingresar y salir del puerto. Su análisis permitirá evaluar características promedio o máximas de los camiones que entran y salen del puerto, y por tanto, de los que emplean el viaducto.

También se podría, con dicha información y con la estimación de la carga que transita por el puerto, hacer una aproximación a los volúmenes de tránsito, estimando el número de vehículos que será necesario emplear para despachar dicha carga.

A la hora de hacer el análisis se ha prescindido de aquellos vehículos cuya capacidad de carga no estaba declarada o bien no era directamente transformable a toneladas, como es el caso de los tractores, cuya capacidad viene expresada en metros cúbicos y resulta difícil transformar en toneladas sin evaluar cuidadosamente la densidad del material transportado en estado suelto.

Los resultados del análisis se resumen a continuación

- Carga media por eje: 9.24 toneladas. Capacidad de carga media por camión: 22.38 toneladas.
- Carga máxima por eje: 21 toneladas. Capacidad de carga máxima por camión: 63 toneladas, (ambos valores corresponden a graneleras).

- Carga por eje más frecuente: 15 toneladas. Carga por camión más frecuente: 30 toneladas.

Cabe comentar que tanto la carga por eje más frecuente como, por supuesto, la máxima, resultan considerablemente altas. Como ejemplo, baste decir que el eje estándar con el que se calcula un pavimento es de 13 toneladas. También la capacidad de carga de las graneleras está cercana, si no la sobrepasa, a lo que se considera vehículo excepcional en el cálculo de estructuras.

2.3.2.4 Relación entre carga y número de camiones

Para calcular la relación entre carga y número de vehículos se acude a los datos de 2010.

Se observa que, a lo largo de todo el año, han entrado o salido unos 45.200 camiones cargados. En el caso de contenedores ese número alcanza los 19.500. La carga total que transitó por el puerto, (sin contar petróleo ni contenedores), fue de 1,635.2 miles de toneladas. En cuanto a la carga puramente contenerizada, fue de 464.4 miles de toneladas. Estos valores nos indican que la carga media por camión, (en carga general), es de 36.18 toneladas. En el caso de contenedores es de 23.82. Con estos valores transformaremos las previsiones de carga en previsiones de volumen de vehículos en el futuro.

2.3.2.5 Demanda de tránsito futura en el viaducto

Finalmente, es necesario caracterizar la demanda futura del viaducto, ya que la misma servirá para prever cuando debería plantearse la ampliación del viaducto en su caso.

Para evaluar la demanda de tránsito de futura se acudirá a las previsiones de tránsito de carga contenidas en el PMDP vigente, corregidas según lo observado en el año 2010, año de la crisis, cuyo efecto muy posiblemente no estaba previsto en dicho documento. Debido a esto el procedimiento que se ha empleado es el siguiente.

- Se toma la serie prevista en el PMDP para cada tipo de carga. La serie a emplear será la correspondiente al escenario conservador, puesto que solamente se trata de evaluar el crecimiento.
- Se ajusta una función exponencial a dicha serie para evaluar la tasa de crecimiento prevista.
- Se aplica dicha tasa de crecimiento a los valores reales de carga obtenidos para el año 2009 y se extrapola a todo el periodo de cálculo, (igual a 30 años).

A continuación se presentan las tablas de pronóstico de cargas incluidas en el PMDP.

Pronóstico por tipo de carga. (2009-2016) (miles de toneladas)

| Tipo/año | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Contenerizada | 371.7 | 449.8 | 493.9 | 537.3 | 568.0 | 565.0 | 549.9 | 566.1 |
| Fluidos | 36.5 | 19.4 | 24.5 | 26.9 | 30.4 | 33.8 | 33.9 | 40.6 |
| Agrícola | 1,330.0 | 1,335.5 | 1,537.7 | 1,511.6 | 1,583.9 | 1,569.6 | 1,627.4 | 1,619.8 |
| Mineral | 450.0 | 449.2 | 398.7 | 369.7 | 399.8 | 555.1 | 712.2 | 755.3 |
| Petróleo | 2,150.4 | 1,728.5 | 1,798.7 | 1,825.5 | 2,059.9 | 1,955.4 | 1,776.9 | 1,781.4 |
| Suelta | 73.0 | 74.4 | 91.3 | 90.8 | 94.7 | 94.9 | 102.5 | 111.0 |
| TOTAL | 4,411.6 | 4,056.8 | 4,344.7 | 4,361.8 | 4,736.7 | 4,773.9 | 4,802.8 | 4,874.2 |

Pronóstico por tipo de carga. (2017-2024) (miles de toneladas)

| Tipo/año | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Contenerizada | 601.5 | 627.2 | 626.9 | 612.1 | 609.1 | 632.6 | 671.8 | 702.5 |
| Fluidos | 48.2 | 51.1 | 49.0 | 45.7 | 45.2 | 48.7 | 53.7 | 57.1 |
| Agrícola | 1,669.9 | 1,671.9 | 1,712.4 | 1,719.6 | 1,755.0 | 1,766.2 | 1,798.0 | 1,812.1 |
| Mineral | 764.1 | 769.6 | 789.2 | 827.0 | 872.2 | 911.8 | 940.8 | 963.6 |
| Petróleo | 2,002.3 | 1,919.1 | 1,876.5 | 2,120.5 | 2,142.2 | 2,063.6 | 1,999.4 | 2,076.1 |
| Suelta | 118.1 | 122.3 | 124.7 | 127.3 | 131.0 | 135.5 | 140.2 | 144.4 |
| TOTAL | 5,204.1 | 5,161.1 | 5,178.8 | 5,452.2 | 5,554.8 | 5,558.5 | 5,603.9 | 5,755.9 |

Pronóstico por tipo de carga. (2025-2030) (miles de toneladas)

| Tipo/año | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Contenerizada | 711.8 | 709.6 | 718.0 | 748.8 | 792.5 | 828.9 |
| Fluidos | 57.8 | 57.1 | 57.4 | 59.5 | 62.8 | 65.7 |
| Agrícola | 1,841.2 | 1,857.5 | 1,884.7 | 1,902.6 | 1,928.4 | 1,947.4 |
| Mineral | 987.7 | 1,017.6 | 1,052.0 | 1,086.8 | 1,118.8 | 1,147.7 |
| Petróleo | 2,008.5 | 2,077.1 | 2,147.7 | 2,138.5 | 2,280.2 | 2,312.7 |
| Suelta | 148.3 | 152.1 | 156.0 | 160.0 | 164.1 | 168.2 |
| TOTAL | 5,755.2 | 5,870.9 | 6,015.8 | 6,096.3 | 6,346.9 | 6,470.7 |

Una vez realizados los ajustes estadísticos pertinentes se obtienen las siguientes tasas de crecimiento para cada tipo de carga.

| Tipo de carga | Tasa de crecimiento (%) |
|---------------|-------------------------|
| Contenerizada | 2.75% |

| Tipo de carga | Tasa de crecimiento (%) |
|---------------|-------------------------|
| Fluidos | 4.71% |
| Agrícola | 1.59% |
| Mineral | 5.44% |
| Petróleo | 0.87% |
| Suelta | 3.85% |

2.3.2.6 Proyecciones de tránsito

Para evaluar las proyecciones de tránsito de parte de los datos de carga correspondientes al año 2010, último del que se dispone de datos. Se aplica la tasa correspondiente al tipo de carga considerado.

Finalmente la relación entre carga y número de camiones es la correspondiente a los valores valor medios observados en el año 2010, iguales a 36.18 para camiones y 23.82 para contenedores, los cuales se suponen constante a lo largo del periodo de estudio. Se ha supuesto que cada camión que entra, (o sale), cargado, sale, (o entra), vacío.

La columna relativa a carga de petróleo y derivados se incluye para referencia pero no se suma al total ni entra en el cálculo del número de camiones, ya que API informó que se saca del puerto por tubería. Los datos se evalúan para los años 2011 al 2040, considerando un periodo de estudio de treinta años. Los resultados se muestran en la tabla siguiente.

Proyecciones de carga y volumen de vehículos (2011-2040) (miles de toneladas)

| Año | Conten. | Fluidos | Agrícola | Mineral | Petróleo | Suelta | TOTAL | Camiones |
|------|---------|---------|----------|---------|----------|--------|----------|----------|
| 2011 | 477.20 | 27.10 | 1,505.10 | 98.20 | 1,938.30 | 35.90 | 1,666.30 | 132,180 |
| 2012 | 490.30 | 28.40 | 1,529.00 | 103.50 | 1,955.20 | 37.30 | 1,698.20 | 135,044 |
| 2013 | 503.70 | 29.70 | 1,553.20 | 109.10 | 1,972.20 | 38.80 | 1,730.80 | 137,970 |
| 2014 | 517.60 | 31.10 | 1,577.90 | 115.10 | 1,989.40 | 40.20 | 1,764.30 | 140,990 |
| 2015 | 531.80 | 32.60 | 1,602.90 | 121.30 | 2,006.80 | 41.80 | 1,798.60 | 144,078 |
| 2016 | 546.40 | 34.10 | 1,628.30 | 127.90 | 2,024.30 | 43.40 | 1,833.70 | 147,244 |
| 2017 | 561.40 | 35.70 | 1,654.20 | 134.90 | 2,042.00 | 45.10 | 1,869.90 | 150,502 |
| 2018 | 576.90 | 37.40 | 1,680.40 | 142.20 | 2,059.80 | 46.80 | 1,906.80 | 153,844 |
| 2019 | 592.70 | 39.20 | 1,707.00 | 149.90 | 2,077.80 | 48.60 | 1,944.70 | 157,266 |
| 2020 | 609.00 | 41.00 | 1,734.10 | 158.10 | 2,095.90 | 50.50 | 1,983.70 | 160,792 |
| 2021 | 625.70 | 43.00 | 1,761.80 | 166.70 | 2,114.20 | 52.40 | 2,023.70 | 164,404 |
| 2022 | 642.90 | 45.00 | 1,789.60 | 175.80 | 2,132.60 | 54.40 | 2,064.80 | 168,120 |

Proyecciones de carga y volumen de vehículos (2011-2040) (miles de toneladas)

| Año | Conten. | Fluidos | Agrícola | Mineral | Petróleo | Suelta | TOTAL | Camiones |
|------|----------|---------|----------|---------|----------|--------|----------|----------|
| 2023 | 660.60 | 47.10 | 1,818.00 | 185.30 | 2,151.20 | 56.50 | 2,106.90 | 171,934 |
| 2024 | 678.70 | 49.30 | 1,846.80 | 195.40 | 2,170.00 | 58.70 | 2,150.20 | 175,848 |
| 2025 | 697.40 | 51.60 | 1,876.10 | 206.00 | 2,188.90 | 61.00 | 2,194.70 | 179,878 |
| 2026 | 716.50 | 54.10 | 1,905.90 | 217.20 | 2,208.00 | 63.30 | 2,240.50 | 184,012 |
| 2027 | 736.20 | 56.60 | 1,936.10 | 229.00 | 2,227.30 | 65.80 | 2,287.50 | 188,266 |
| 2028 | 756.50 | 59.30 | 1,966.80 | 241.50 | 2,246.70 | 68.30 | 2,335.90 | 192,644 |
| 2029 | 777.20 | 62.10 | 1,998.00 | 254.60 | 2,266.30 | 70.90 | 2,385.60 | 197,130 |
| 2030 | 798.60 | 65.00 | 2,029.70 | 268.50 | 2,286.10 | 73.70 | 2,436.90 | 201,762 |
| 2031 | 820.50 | 68.10 | 2,061.90 | 283.10 | 2,306.10 | 76.50 | 2,489.60 | 206,514 |
| 2032 | 843.10 | 71.30 | 2,094.60 | 298.50 | 2,326.20 | 79.40 | 2,543.80 | 211,410 |
| 2033 | 866.20 | 74.60 | 2,127.80 | 314.70 | 2,346.50 | 82.50 | 2,599.60 | 216,432 |
| 2034 | 890.00 | 78.10 | 2,161.60 | 331.80 | 2,367.00 | 85.70 | 2,657.20 | 221,616 |
| 2035 | 914.50 | 81.80 | 2,195.90 | 349.90 | 2,387.60 | 89.00 | 2,716.60 | 226,956 |
| 2036 | 939.60 | 85.70 | 2,230.70 | 368.90 | 2,408.40 | 92.40 | 2,777.70 | 232,440 |
| 2037 | 965.40 | 89.70 | 2,266.10 | 388.90 | 2,429.50 | 96.00 | 2,840.70 | 238,090 |
| 2038 | 992.00 | 93.90 | 2,302.00 | 410.10 | 2,450.70 | 99.70 | 2,905.70 | 243,916 |
| 2039 | 1,019.20 | 98.30 | 2,338.50 | 432.40 | 2,472.00 | 103.50 | 2,972.70 | 249,904 |
| 2040 | 1,047.20 | 103.00 | 2,375.60 | 455.90 | 2,493.60 | 107.50 | 3,042.00 | 256,086 |

Una última consideración que puede realizarse sobre el volumen de la hora más cargada en el último año de los considerados en el estudio es la siguiente. El volumen medio diario resulta ser de 701, (inferior, incluso, al total de los que usan hoy en día el viaducto existente, pues por el nuevo solo circularán camiones), con lo cual la capacidad del mismo está garantizada durante todo el periodo de estudio cuando menos.

2.3.2.7 Conclusiones

Las conclusiones que pueden obtenerse del análisis son:

- Se ha obtenido, a partir del PMDP y la tipología de camiones observada, actual, el pronóstico de camiones.
- La capacidad del viaducto nuevo está garantizada con un solo carril por sentido.

2.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Con objeto de evaluar las posibles alternativas planteadas para la solución de la problemática expuesta con anterioridad, se han examinado, en primer lugar, los condicionantes de la solución, los cuales se indican y comentan a continuación. Más adelante se define cada alternativa y se exponen los aspectos técnicos que han llevado a seleccionarla o desecharla.

2.4.1 Condicionantes de diseño

La estructura objeto de estudio tiene que conectar la ciudad de Progreso con la terminal remota del Puerto, siendo totalmente independiente del viaducto actual.

Los condicionantes que restringen el encaje de la solución se pueden enumerar a continuación:

- Geométricos
- Geotécnicos
- De seguridad
- Constructivos
- Estéticos
- Funcionales

2.4.1.1 Condicionantes geométricos

La sección tipo viene dada por las necesidades mínimas de conexión para el tráfico que va a soportar la estructura. Se configura mediante una calzada de doble sentido con ancho total de 10.8 metros que se distribuyen como sigue:

- Acotamiento exterior: 1.0 m
- Carriles: 2 x 3.50 m
- Acotamiento interior: 1.0 m
- Galería de servicios: 1.0 m
- Parapetos: 2 x 0.4 m

2.4.1.2 Condicionantes geotécnicos

Los trabajos de identificación y caracterización del terreno que se han realizado por parte INGENIERIA EXPERIMENTAL S.A. de C.V. para API Progreso no hacen prever la existencia de problemas específicos en la cimentación de las pilas. El estudio de mecánica de suelos realizado en la terminal portuaria para aumentar el calado de los barcos que pueden recibir se aprovechó para hacer una campaña en la zona estimada para el viaducto alterno.

En el informe, se comenta que apareció roca caliza fosilífera de textura terrosa y caliza bien cementada, con grados de alteración de bajo a moderado. Se consideraron cimentaciones a través de pilotes a realizar desde barcazas. Además, se recomendaba una profundidad de desplante mínima de dos veces el diámetro del pilote. De esta forma, se aseguraba que la cimentación llega a empotrarse en la roca caliza. De esta forma, se calculaban cargas admisibles por pila de hasta 942 t para pilas de 140 cm de diámetro.

2.4.1.3 Condicionantes de seguridad

Desde el punto de vista de la seguridad para el tráfico, se hace necesaria la disposición de parapetos de seguridad en los laterales de los tableros para impedir la caída de los vehículos al mar.

Se dispondrá un sistema de contención debidamente homologado. A este respecto debe comentarse que, si se dispone una limitación de velocidad coherente, (que, en este caso debe ser de 60 km/h como máximo, para ser acorde con la limitación en el resto de los viales del puerto), descienden mucho los requerimientos que se deben imponer a los parapetos. Este será un punto importante a imponer una vez esté en servicio el proyecto.

2.4.1.4 Condicionantes constructivos

En este viaducto el proceso constructivo va a venir fuertemente determinado por tener que hacerse todo él sobre el mar, respetando al máximo la dinámica costera. El proceso constructivo será tal que no se afecte a la zona ni con la excavación de cimentaciones ni con la construcción de pilas y/o tablero.

A fin de evitar el badén que frecuentemente se marca en la calzada al pasar por las estructuras y que supone una incomodidad para el usuario de esta, se debe realizar un diseño adecuado de la transición estructura-rellenos de acceso y cuidar de manera especial su construcción.

2.4.1.5 Condicionantes estéticos

El viaducto alternativo se dispondrá paralelo al viaducto actual y muy cercano a éste. Como se ha indicado, la infraestructura del viaducto actual está compuesta de una sucesión de arcos triarticulados apoyados en cabezales que, a su vez, descansan en pilares que se apoyan en el lecho marino. El entre-eje es de 12 m, conformando 146 claros con unos 9,5 m de anchura cada uno. Los pilares y los arcos son de concreto simple, mientras que los dinteles o cabezales son de concreto reforzado.

Para guardar la estética, además de permitir las corrientes paralelas a la playa, se han considerado claros que fueran múltiplos de 12 m, haciendo coincidir las pilas en el sentido paralelo a la línea de costa.

2.4.1.6 Condicionantes funcionales

Dado que el "viaducto de los daneses" constituye la única vía de conexión de la terminal remota con tierra, es imprescindible que la solución que se considere, mantenga esta en todo momento, para no ver interrumpida la actividad del puerto en ningún momento.

Por otra parte, como se deduce de los análisis anteriores, no parece razonable plantear un viaducto de cuatro carriles ni tampoco con línea férrea incorporada. Por tanto, se ha diseñado una sección tipo de dos carriles de 3,5 metros, con acotamientos de un metro y banquetas, también de un metro, a un solo lado, con galería de servicios incorporada. Se disponen, adicionalmente, parapetos de protección.

2.4.2 Soluciones planteadas

2.4.2.1 Solución n° 1: Trabes de concreto precolado de 130 cm de altura y claros de 24 m

Se trata de una estructura que tiene 2.184,00 m de longitud medidos entre ejes de apoyos extremos, con 91 claros de 24 m de entre-eje.

El ancho del tablero es de 10.80 m correspondientes a: 0.40 m (parapeto) + 1.0 m (galería de servicios) + 1.0 m (acotamiento) + 2 x 3.5 m (carriles) + 1.0 m (acotamiento) + 0.40 m (parapeto).

Se trata de un tablero isostático formado por traveses de concreto precolado y losa de compresión de concreto reforzado. Se disponen tres traveses en cada claro, de peralte constante e igual a 130 cm. Sobre dichas traveses se dispone una losa de compresión de 0,30 m de espesor.

Se disponen pilas de concreto precolado de doble fuste con un cabezal en su parte superior para permitir el apoyo de las vigas. Los estribos se ejecutan mediante cargaderos que apoyan directamente sobre el terreno natural.

Cumplimiento de los condicionantes.

En situación de servicio, la solución cumple con todos los condicionantes expuestos en el apartado anterior puesto que se salva completamente la zona de mar considerada, manteniendo las anchuras mínimas de paso del agua bajo la misma (consideradas ya en el "viaducto de los daneses"). Además, al emplearse elementos de concreto precolado, se reducen las necesidades de apoyos provisionales en el fondo marino.

Esta solución, al ser independiente del viaducto existente, garantiza la continuidad de la operación habitual del puerto.

2.4.2.2 Solución n° 2: Sección cajón metálica de 80 cm de altura en centro de claro y 130 cm sobre apoyos, con claros igualmente de 24 m

Se trata de una estructura que tiene 2,184.00 m de longitud medidos entre ejes de apoyos extremos, con 91 claros de 24 m de entre-eje.

El ancho del tablero es de 10.80 m correspondientes a: 0.40 m (parapeto) + 1.0 m (galería de servicios) + 1.0 m (acotamiento) + 2 x 3.5 m (viales) + 1.0 m (acotamiento) + 0.40 m (parapeto).

Se trata de un tablero metálico formado por un cajón de acero estructural y losa de compresión de concreto reforzado. Se dispone un único cajón, de canto variable entre 80 cm en centro de claro y 130 cm en arranques. Sobre dicho cajón se dispone una losa de compresión de 0.30 m de espesor.

Se considera una cuantía de acero estructural, incluyendo conectadores, de 200 kg/m^2 .

Se disponen pilas de concreto precolado de doble fuste con un cabezal en su parte superior para permitir el apoyo de las vigas. Los estribos cargaderos que apoyan directamente sobre el terreno natural.

Cumplimiento de los condicionantes.

En situación de servicio, la solución cumple con todos los condicionantes expuestos en el apartado anterior, puesto que se salva completamente la zona de mar considerada, manteniendo las anchuras mínimas de paso del agua bajo la misma (consideradas ya en el "viaducto de los daneses"). Además, al igual que en el caso anterior, los elementos metálicos pueden ser izados mediante grúa y colocados en su lugar evitando la necesidad de apoyos provisionales en el fondo marino.

Esta solución, al ser independiente del viaducto existente, garantiza la continuidad de la operación habitual del puerto.

Tiene la desventaja de que al ser metálica, aumenta las necesidades de mantenimiento, pues requiere de un cuidado especial anticorrosión por encontrarse en ambiente marino.

2.4.3 Presupuesto de la alternativa 1

| Concepto | Medición | Ud. | Precio unitario | Precio total |
|--|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|
| Pilote de ø150 cm ejecutado desde barcaza | 720.00.- | M | 39,396.57.- | 28,365,533.79.- |
| Pilar circular precolado de 150 cm de diámetro | 1,260.00.- | M | 29,339.04.- | 36,967,191.45.- |
| Concreto reforzado f'c 300 kg/cm ² (acero aparte) | 8,301.60.- | M ³ | 3,809.93.- | 31,628,473.38.- |
| Cimbra aparente de contacto losas | 3,297.60.- | M ² | 299.19.- | 986,621.21.- |
| Cimbra autoportante | 15,506.40.- | M ² | 832.61.- | 12,910,752.69.- |
| Cimbra muerta o común, perdida | 11,356.80.- | M ² | 540.96.- | 6,143,574.53.- |
| Aparato de apoyo de neopreno | 4,542.72.- | DM ³ | 278.78.- | 1,266,396.77.- |
| Pavimento asfáltico 5 cm de espesor | 19,656.00.- | M ² | 294.70.- | 5,792,547.52.- |
| Obra falsa para cimbra, de hasta 10.00 metros de altura | 5,382.00.- | M ³ | 571.90.- | 3,335,306.92.- |
| Coladera rectangular | 180.00.- | PZA | 2,673.76.- | 481,277.16.- |
| Parapeto o barrera Galg | 4,368.00.- | M | 1,076.69.- | 4,702,986.29.- |
| Acero de refuerzo f'y 4,200 kg/cm ² | 2,972,508.00.- | KG | 23.54.- | 69,975,810.83.- |
| Impermeabilizante a base de emulsión asfáltica en dos capas | 23,587.20.- | M ² | 336.00.- | 7,925,299.20.- |
| Concreto simple f'c 150 kg/cm ² | 9.72.- | M ³ | 2,651.46.- | 25,772.19.- |
| Trabe de concreto precolado, sección cajón con alas, de 130 cm de peralte | 6,552.00.- | M | 10,371.36.- | 67,953,159.52.- |
| Trinchera de 30 x 70 cm para servicios | 2,184.00.- | M | 2,292.15.- | 5,006,055.60.- |
| Junta de dilatación en tablero de puente | 259.20.- | M | 4,522.35.- | 1,172,193.12.- |
| Rellenos con material procedente de préstamos | 13,600.00.- | M ³ | 737.21.- | 10,025,988.00.- |
| Luminaria de 250 W sobre poste de 9.00 m | 55.00.- | PZA | 21,118.72.- | 1,161,529.60 |
| Banco ductos de PEAD de una vía para iluminación | 2,184.00.- | M | 125.81.- | 274,769.04.- |
| Cableado de iluminación en viaducto, (varios calibres) | 2,184.00.- | M | 305.40.- | 666,993.60.- |
| Instalación de instrumentación y monitoreo del nuevo viaducto, incluyendo integración, software, sensorización y equipo de transmisión | 1.00.- | PZA | 20,000,000.00.- | 20,000,000.00.- |
| Partida para desvío provisionales | 1.00.- | PZA | 8,839,948.20.- | 8,839,948.20.- |
| TOTAL | | | | 325,608,180.61.- |

NOTA: Los precios anteriores no incluyen el IVA.

2.4.4 Presupuesto de la alternativa 2

| Concepto | Medición | Ud. | Precio unitario | Precio total |
|--|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|
| Pilote de $\phi 150$ cm ejecutado desde barcaza | 720.00.- | M | 39,396.57.- | 28,365,533.79.- |
| Pilar circular precolado de 150 cm de diámetro | 1,260.00.- | M | 29,339.04.- | 36,967,191.45.- |
| Concreto reforzado $f_c 300$ kg/cm ² (acero aparte) | 8,301.60.- | M ³ | 3,809.93.- | 31,628,473.38.- |
| Cimbra aparente de contacto losas | 3,297.60.- | M ² | 299.19.- | 986,621.21.- |
| Cimbra autoportante | 15,506.40.- | M ² | 832.61.- | 12,910,752.69.- |
| Cimbra muerta o común, perdida | 11,356.80.- | M ² | 540.96.- | 6,143,574.53.- |
| Aparato de apoyo de neopreno | 4,542.72.- | DM ³ | 278.78.- | 1,266,396.77.- |
| Pavimento asfáltico 5 cm de espesor | 19,656.00.- | M ² | 294.70.- | 5,792,547.52.- |
| Obra falsa para cimbra, de hasta 10.00 metros de altura | 6,382.00.- | M ³ | 571.90.- | 3,335,306.92.- |
| Coladera rectangular | 180.00.- | PZA | 2,673.76.- | 481,277.16.- |
| Parapeto o barrera Galg | 4,368.00.- | M | 1,076.69.- | 4,702,986.29.- |
| Acero de refuerzo $f_y 4,200$ kg/cm ² | 2,972,508.00.- | KG | 23.54.- | 69,975,810.83.- |
| Impermeabilizante a base de emulsión asfáltica en dos capas | 23,587.20.- | M ² | 336.00.- | 7,925,299.20.- |
| Concreto simple $f_c 150$ kg/cm ² | 9.72.- | M ³ | 2,651.46.- | 25,772.19.- |
| Estructura metálica en acero ASTM-36, incluyendo tratamientos primario RP-4 y secundario RA-26 de protección | 3,538,080.00.- | KG | 60.67.- | 214,655,313.60.- |
| Trinchera de 30 x 70 cm para servicios | 2,184.00.- | M | 2,292.15.- | 5,006,055.60.- |
| Junta de dilatación en tablero de puente | 259.20.- | M | 4,522.35.- | 1,172,193.12.- |
| Rellenos con material procedente de préstamos | 13,600.00.- | M ³ | 737.21.- | 10,025,988.00.- |
| Luminaria de 250 W sobre poste de 9.00 m | 55.00.- | PZA | 21,118.72.- | 1,161,529.60 |
| Banco ductos de PEAD de una vía para iluminación | 2,184.00.- | M | 125.81.- | 274,769.04.- |
| Cableado de iluminación en viaducto, (varios calibres) | 2,184.00.- | M | 305.40.- | 666,993.60.- |
| Instalación de instrumentación y monitoreo del nuevo viaducto, incluyendo integración, software, sensorización y equipo de transmisión | 1.00.- | PZA | 20,000,000.00.- | 20,000,000.00.- |
| Partida para desvío provisionales | 1.00.- | PZA | 8,839,948.20.- | 8,839,948.20.- |
| TOTAL | | | | 472,320,334.69.- |

NOTA: Los precios anteriores no incluyen el IVA.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El objeto del presente apartado es describir el proyecto de inversión que se desea implementar:

- **Objetivo.**

Describir como el proyecto contribuye a los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo y otros programas tanto sectoriales como regionales o especiales.

- **Propósito.**

Resultado inmediato que se espera lograr con la ejecución.

- **Componentes.**

Número, tipo y principales características de los activos resultantes.

- **Calendario de actividades.**

Programación de acciones para generar los componentes del proyecto.

- **Tipo de proyecto.**

- **Localización geográfica y zona de influencia.**

- **Vida útil del proyecto y horizonte de evaluación.**

- **Capacidad instalada y evolución en el horizonte de evaluación.**

- **Metas anuales y totales de producción de bienes y servicios.**

- **Aspectos más relevantes de las evaluaciones técnica, legal y ambiental del proyecto.**

- **Avance en el desarrollo de trámites o permisos.**

Se describe el estado de avance de trámites tales como la obtención de la manifestación de impacto ambiental, el cambio de uso de suelo o cualquier otro necesario.

- **Costo total del proyecto**, considerando tanto la ejecución como la operación:

- **Para la etapa de ejecución**, el calendario de inversiones por año y la distribución del monto total de inversión en los componentes del proyecto o en sus principales rubros, y

- Para la etapa de operación, la distribución de las erogaciones a realizar en sus principales rubros;
- **Las fuentes de recursos para financiamiento** y su calendarización estimada;
- **Supuestos técnicos y socio-económicos**, señalando los más importantes para efectos de la evaluación;
- **Infraestructura existente y proyectos en desarrollo** que podrían verse afectados por la realización del proyecto.

3.1 OBJETIVO

El proyecto bajo estudio contribuye directamente a que la actividad del puerto continúe, eliminando un riesgo claro de fallo en su acceso y por tanto, garantizando su continuidad y favoreciendo sus posibilidades de crecimiento y, finalmente, su competitividad.

Según ello, es claro que contribuye al objetivo nacional n°. 3, de los recogidos en el Plan Nacional de Desarrollo, 2007-2012, que dice:

“Alcanzar un crecimiento económico sostenido más acelerado y generar los empleos formales que permitan a todos los mexicanos, especialmente a aquellos que viven en pobreza, tener un ingreso digno y mejorar su calidad de vida.”

Incide directamente en el **“Eje 2. Economía competitiva y generadora de empleos”**, también incluido en dicho documento y, dentro de él, contribuye directamente al **“Objetivo 5. Potenciar la productividad y competitividad de la economía mexicana para lograr un crecimiento económico sostenido y acelerar la creación de empleos”**.

También incide en el **“Objetivo 14. Garantizar el acceso y ampliar la cobertura de infraestructura y servicios de transporte y comunicaciones, tanto a nivel nacional como regional, a fin de que los mexicanos puedan comunicarse y trasladarse de manera ágil y oportuna en todo el país y con el mundo, así como hacer más eficiente el transporte de mercancías y las telecomunicaciones hacia el interior y el exterior del país, de manera que estos sectores contribuyan a aprovechar las ventajas comparativas con las que cuenta México”**. Dentro de él, se enmarca en la **“Estrategia 14.7, Ampliar la cobertura de los transportes en todas sus modalidades, modernizar la infraestructura y proporcionar servicios confiables y de calidad para toda la población”**.

3.2 PROPÓSITO

El propósito inmediato del proyecto es disponer de una infraestructura de acceso nueva, alternativa al viaducto existente, que elimine el riesgo de falla de ésta, por haber llegado ya al límite de su vida útil, fortaleciendo la conectividad carretera del puerto al no hacerlo depender de una única estructura, deteriorada y sujeta a altas probabilidades de fallo.

3.3 COMPONENTES

El proyecto posee un único componente, que corresponde al viaducto alternativo que nos ocupa. Se trata de una estructura para dar servicio de conectividad carretera alterna al viaducto existente para el Puerto de Progreso, Yucatán.

La longitud del nuevo viaducto es de 2.184 metros. Posee una calzada única, con un carril por sentido. Los carriles son de 3.5 metros de ancho y se disponen, además, acotamientos de un metro de ancho y una banqueta de un metro de ancho en uno de sus lados, que alojará una trinchera de servicios.

Es de planta rectilínea, en su mayor parte y su alzado coincide con el del viaducto existente, (en tanto en cuanto discurren paralelos).

Una de las alternativas consideradas se configura mediante una serie de claros de 24 metros de longitud cada uno, resueltos mediante una estructura isostática, compuesta por tres travesaños cajón y losa superior. Las travesaños se apoyan en cabezales transversales los cuales, a su vez, se apoyan en tres pilas de 1,50 metros de diámetro, empotradas en el lecho rocoso marino, a aproximadamente siete metros de profundidad.

La segunda de las alternativas se configura mediante una serie de claros, igualmente de 24 metros de longitud cada uno, resueltos mediante una estructura metálica con sección cajón, de canto variable. Las travesaños se apoyan en cabezales transversales los cuales, a su vez, se apoyan en tres pilas de 1,50 metros de diámetro, empotradas en el lecho rocoso marino, a aproximadamente siete metros de profundidad.

El viaducto estará iluminado en toda su extensión y se dispondrá un sistema de instrumentación para poder monitorear y conocer en todo momento sus movimientos de desplazamientos al paso de la carga.

3.4 CALENDARIO DE ACTIVIDADES

Se estima que las actividades necesarias para poner en marcha el proyecto se dividen en dos grupos. El primero de ellos corresponde a la redacción del proyecto ejecutivo, incluyendo estudios preliminares y adicionales necesarios y el segundo a la propia obra. El conjunto de actividades se desglosa como sigue.

- Redacción de proyecto ejecutivo
 - Licitación pública de la redacción del proyecto (incluye estudios preliminares)
 - Desarrollo del estudio de impacto ambiental
 - Estudio geológico, geotécnico y de mecánica de suelos
 - Redacción del proyecto ejecutivo
 - Aprobación del proyecto y obtención de permisos
- Ejecución de las obras
 - Licitación pública para la construcción de la obra
 - Licitación pública para la supervisión de la obra
 - Construcción de la obra
 - Supervisión de la obra
 - Recepción, inauguración y puesta en servicio

Para cada una de las actividades anteriores se ha estimado un plazo aproximado de realización, resultando la fecha final aproximada de puesta en servicio del viaducto el 31 de diciembre de 2015. Los cronogramas resultantes se incluyen a continuación

| ACTIVIDADES PROYECTO EJECUTIVO | Meses | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|---|---|---|---|---|----|----|----|---|------|---|---|---|---|
| | 2012 | | | | | | | | | | 2013 | | | | |
| | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Licitación pública de la redacción del proyecto | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estudio de impacto ambiental y trámites ambientales | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estudio geológico, geotécnico y de mecánica de suelos | | | | | | | | | | | | | | | |

| ACTIVIDADES PROYECTO EJECUTIVO | Meses | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|---|---|---|---|---|------|----|----|---|---|---|---|---|---|
| | 2012 | | | | | | 2013 | | | | | | | | |
| | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Redacción del proyecto ejecutivo | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aprobación del proyecto y obtención de permisos | | | | | | | | | | | | | | | |

| ACTIVIDADES OBRA | Trimestres | | | | | | | | | | | |
|--|------------|----|-----|----|------|----|-----|----|------|----|-----|----|
| | 2013 | | | | 2014 | | | | 2015 | | | |
| | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV |
| Licitación pública para la construcción de la obra | | | | | | | | | | | | |
| Licitación pública para la supervisión de la obra | | | | | | | | | | | | |
| Construcción de la obra | | | | | | | | | | | | |
| Supervisión de la obra | | | | | | | | | | | | |
| Recepción, inauguración y puesta en servicio | | | | | | | | | | | | |

3.5 TIPO DE PROYECTO

Conforme a los lineamientos emitidos por la Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, el proyecto se clasifica como de infraestructura gubernamental, ya que se trata de una ampliación de activos fijos para llevar a cabo funciones de desarrollo económico, tales como las que corresponden a una infraestructura portuaria.

3.6 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ZONA DE INFLUENCIA

El proyecto se localiza dentro de la zona federal del Puerto de Progreso, Yucatán, con las coordenadas aproximadas, (punto medio de la estructura), 21° 17' 50" N y 89° 39' 59" O. En la imagen satelital que se acompaña se observa detalladamente tanto la ubicación dentro de la república mexicana como dentro del estado y, por último, detalladamente en relación a la propia de ciudad de Progreso y su borde costero.



Localización del proyecto. México



Localización del proyecto. Estado de Yucatán



Localización del proyecto. Ciudad de Progreso

En cuanto a la zona de influencia del proyecto, el PMDP vigente indica lo siguiente:

"La zona de influencia de Puerto Progreso la constituye la península de Yucatán, siendo el propio estado, con mucho, el principal receptor o emisor de las cargas que pasan por el puerto, ya que los posibles servicios de carga general para el abasto del estado de Quintana Roo, sigue resolviéndose principalmente por vía terrestre, a partir de los centros de acopio de México, D.F., Villahermosa, Tab. y Mérida, y en menor grado por Puerto Morelos.

El transporte de carga por cabotaje se realiza principalmente enlazando con los puertos de Tampico, Coatzacoalcos y Veracruz.

En cuanto al Foreland, Progreso cuenta con rutas comerciales que lo comunican de manera directa a los Estados Unidos con los puertos de Galveston, Panamá City, Nueva Orleans, Port Manatee y Houston; en el Caribe con La Habana y Kingston; en Centro América con Santo Tomás de Castilla, Puerto Cortés, Puerto Limón, Manzanillo, Cartagena y Santa María. Adicionalmente el puerto cuenta con vías de comunicación terrestre y aérea, que lo enlaza a nivel nacional e internacional."

3.7 VIDA ÚTIL DEL PROYECTO Y HORIZONTE DE EVALUACIÓN

Se estima que, por tratarse de una estructura de la importancia y con el costo de la que nos ocupa, es adecuado proyectarla para una vida útil de cincuenta años, valor, por otra parte, habitual en la construcción de estas infraestructuras. Por otro lado, el horizonte de evaluación se ha cifrado en treinta años, valor también habitual en estudios costo-eficiencia.

3.8 CAPACIDAD INSTALADA Y EVOLUCIÓN EN EL HORIZONTE DE EVALUACIÓN

La capacidad instalada del viaducto objeto del proyecto es de un carril por sentido, como ya se ha comentado anteriormente. Tal y como se ha mostrado anteriormente en el estudio de demanda actual y futura realizado, no se considera que sea necesario aumentar la misma a lo largo del periodo de evaluación, pues el viaducto es capaz de dar el servicio de conectividad sin problemas tal como está proyectado. Debe mencionarse que la necesidad de detenerse a la entrada del puerto, (incluso si posteriormente se habilitara más de un punto de control o carril de entrada), representa una limitación de capacidad mucho mayor que la que pueda imponer el viaducto.

3.9 METAS ANUALES Y TOTALES DE PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS.

La meta del viaducto es dar servicio de acceso al puerto de Progreso a 132,000 camiones, (suma total de los que entran o salen, llenos o vacíos), cifra que irá creciendo a lo largo del horizonte de evaluación hasta alcanzar los 256,000 en 2040.

La meta total de servicio a lo largo de todo el horizonte de evaluación considerado es de 5,587,000 camiones, entrando o saliendo, llenos o vacíos, en el Puerto de Progreso, Yucatán.

3.10 ASPECTOS MÁS RELEVANTES DE LAS EVALUACIONES TÉCNICA, LEGAL Y AMBIENTAL DEL PROYECTO.

La factibilidad técnica del proyecto está garantizada según se desprende del dictamen que sobre el viaducto actual realizó el Instituto Mexicano del Transporte y que propone la ejecución de ciertas reparaciones al viaducto actual para permitir la construcción de uno alternativo. No se observa ningún condicionante, ni geotécnico, ni geométrico ni funcional, que comprometa la viabilidad técnica del proyecto.

El Puerto de Progreso está legalmente facultado para ejecutar obras dentro del recinto portuario, por lo que no se observa ningún condicionante legal que pueda comprometer la viabilidad del proyecto

En el aspecto medioambiental se debe, por una parte, tramitar una modificación de la manifestación de impacto ambiental de que ya dispone el puerto. Este trámite ya se ha iniciado. Por otra, es necesario obtener autorización de la Secretaría de Marina, pues toda actividad que implique colocar elementos sobre el fondo del mar tiene el carácter de "vertimiento" y requiere de autorización. Para obtenerla se requiere, a su vez, un dictamen de Semarnat, que API ha solicitado pero que aún no ha recibido. En todo caso, no se considera que el aspecto medioambiental pueda afectar la viabilidad del proyecto, por lo que el mismo debería considerarse, en este momento y con la información de que se dispone, viable.

3.11 AVANCE EN EL DESARROLLO DE TRÁMITES

Puesto que el proyecto se sitúa por completo dentro del recinto portuario, en zona federal, amparada por la concesión otorgada a API Progreso, no será necesario realizar trámite alguno de cambio de uso del suelo.

Tampoco serán necesarios los estudios de impacto vial o de impacto urbano.

Sí se requiere llevar a cabo una modificación de la manifestación de impacto ambiental de que ya dispone API.

Adicionalmente, como se ha comentado, se requiere autorización de la Secretaría de Marina, y para ello se requiere, previamente, un dictamen de Semarnat que se ha solicitado pero que aún no se ha obtenido.

3.12 COSTOS DEL PROYECTO

Se describen en este apartado los costos necesarios para la generación de los componentes del proyecto, tanto en su fase de ejecución como en su fase de operación a lo largo del horizonte de evaluación.

Los costos están calculados por alternativa

3.12.1 Costos de la alternativa 1

Costos durante la ejecución

Se considera un costo de ejecución de la obra del viaducto de 325,608,180.61.- MXN. Se estima un costo para desarrollo de proyecto ejecutivo y estudios preliminares, (estudio de impacto ambiental, estudio de mecánica de suelos, etc.), de un 3% del monto anterior, igual a 9,768,245.42.- MXN. La supervisión de la obra del viaducto se estima también en un 3% del monto de inversión, por una cantidad, igualmente, de 9,768,245.42.- MXN. Estos montos no incluyen el IVA aplicable.

El calendario previsto de inversiones por año, (igualmente sin incluir el IVA), es el siguiente.

- Año 2012, estudios y proyectos, 3,256,081.81.- MXN
- Año 2013, estudios y proyectos, 6,512,163.61.- MXN
- Año 2014, ejecución de la obra y supervisión, 167,688,213.01.- MXN
- Año 2015, ejecución de la obra y supervisión, 167,688,213.02.- MXN

Puesto que el proyecto solamente posee un componente, todos los recursos se emplearán en él.

Costos durante la operación

Durante el periodo de operación se consideran dos tipos de costos: los de operación, propiamente dichos, y los de mantenimiento. Se ha optado por evaluar ambos rubros mediante porcentajes del presupuesto de inversión para la obra, basándose en experiencias similares de infraestructuras como la que es objeto del presente estudio.

- El presupuesto de operación es de un 0.5% anual, lo que equivale a 1,628,040.90.- MXN
- El presupuesto de mantenimiento es, igualmente, de un 0.5% anual, lo que equivale a 1,628,040.90MXN

3.12.2 Costos de la alternativa 2

Costos durante la ejecución

Se considera un costo de ejecución de la obra del viaducto de 472,320,334.69.- MXN. Se estima un costo para desarrollo de proyecto ejecutivo y estudios preliminares, (estudio de impacto ambiental, estudio de mecánica de suelos, etc.), de un 3% del monto anterior, igual a 14,169,610.04.- MXN. La supervisión de la obra del viaducto se estima también en un 3% del monto de inversión, por una cantidad, igualmente, de 14,169,610.04.- MXN. Estos montos no incluyen el IVA aplicable.

El calendario previsto de inversiones por año, (igualmente sin incluir el IVA), es el siguiente.

- Año 2012, estudios y proyectos, 4,723,203.35.- MXN
- Año 2013, estudios y proyectos, 9,446,406.69.- MXN
- Año 2014, ejecución de la obra y supervisión, 243,244,972.36.- MXN
- Año 2015, ejecución de la obra y supervisión, 243,244,972.37.- MXN

Puesto que el proyecto solamente posee un componente, todos los recursos se emplearán en él.

Costos durante la operación

Durante el periodo de operación se consideran dos tipos de costos: los de operación, propiamente dichos, y los de mantenimiento. Se ha optado por evaluar ambos rubros mediante porcentajes del presupuesto de inversión para la obra, basándose en experiencias similares de infraestructuras como la que es objeto del presente estudio.

- El presupuesto de operación es de un 0.5% anual, lo que equivale a 2,361,601.67.- MXN
- El presupuesto de mantenimiento es, igualmente, de un 0.75% anual, (superior al anterior por tratarse de estructura mixta), lo que equivale a 3,542,402.51.-MXN.

3.13 FUENTES DE RECURSOS PARA FINANCIAMIENTO Y CALENDARIZACIÓN ESTIMADA

El financiamiento para la ejecución de la obra se obtendrá por completo de fuentes federales.

La calendarización estimada es idéntica a la presentada anteriormente en cada una de las alternativas

Alternativa 1.

- Año 2012, estudios y proyectos, 3,256,081,81.- MXN
- Año 2013, estudios y proyectos, 6,512,163,61.- MXN
- Año 2014, ejecución de la obra y supervisión, 167,688,213.01.- MXN
- Año 2015, ejecución de la obra y supervisión, 167,688,213.02.- MXN

Alternativa 2.

- Año 2012, estudios y proyectos, 4,723,203,35.- MXN
- Año 2013, estudios y proyectos, 9,446,406,69.- MXN
- Año 2014, ejecución de la obra y supervisión, 243,244,972.36.- MXN
- Año 2015, ejecución de la obra y supervisión, 243,244,972.37.- MXN

La operación y mantenimiento se acometerán con recursos propios de API, con el costo anual que se indicó anteriormente.

Como ya se ha indicado, ninguno de los montos anteriores incluye el IVA.

3.14 SUPUESTOS TÉCNICOS Y SOCIO-ECONÓMICOS

Los supuestos técnicos y socio-económicos que se han empleado en el desarrollo del estudio se indican a continuación.

- El viaducto actual posee una vida útil remanente reducida, a partir de la cual la probabilidad de que sufra fallos de consideración aumentará rápidamente.
- La solución que se estima óptima para resolver este problema es la construcción de un viaducto paralelo mientras el actual aún puede funcionar correctamente.
- La construcción de un nuevo viaducto no incrementará la carga que transite por el puerto.
- El ahorro en tiempo de recorrido por el hecho de construir el viaducto nuevo es prácticamente nulo.

- El efecto más importante de la construcción del viaducto es la eliminación del riesgo de falla, que conllevaría la paralización de la actividad del puerto, produciendo un perjuicio económico muy importante.

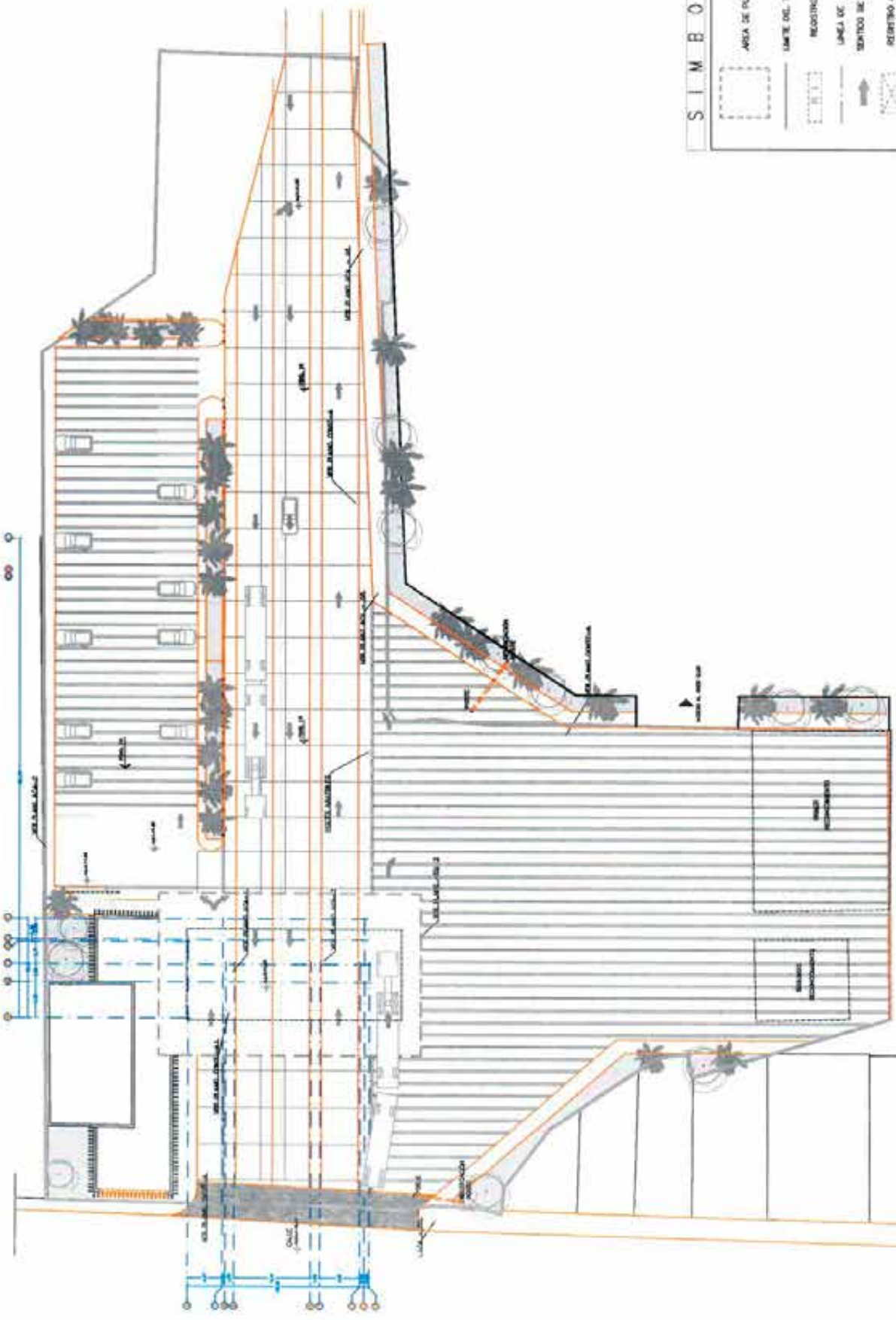
3.15 INFRAESTRUCTURA EXISTENTE Y PROYECTOS EN DESARROLLO QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO.

En cuanto a la infraestructura existente que puede verse afectada por la realización del proyecto se encuentra, en primer lugar, claramente, el viaducto actual, que dejará de recibir la carga del tránsito de camiones cargados que entran o salen del puerto. De este modo dejará de estar sometido a esfuerzos que amplifiquen o favorezcan la corrosión y podrá seguir utilizándose en el futuro aunque solamente para el tránsito ligero.

Otra infraestructura existente que se verá afectada por la construcción es la doble vía que da acceso a la posición remota del puerto una vez sobrepasado el denominado muelle fiscal. Puesto que el viaducto conecta con el sentido de salida, hay un tramo, de aproximadamente unos quinientos metros, que ha de transformarse en vía de doble sentido. Este doble sentido se prolongará hasta el punto en que hay conexión entre ambas calzadas, momento en el cual los camiones con destino la posición remota seguirán por su calzada exclusiva y los que procedan de dicho lugar verán reducido de dos carriles a uno solo su camino de salida del puerto a través del nuevo viaducto.

En cuanto a los proyectos en desarrollo, existe uno que está actualmente en redacción. Se trata de la nueva caseta de accesos, que involucra una remodelación completa del punto de acceso al viaducto existente. La nueva ordenación será tenida en cuenta para diseñar el tramo final del viaducto nuevo, su conexión con el existente y la continuación hacia la caseta de acceso.

Dicha nueva ordenación se muestra en el plano adjunto.



S I M B O L O

| | |
|--|--------------------------|
| | AREA DE PLANO A DISTELLI |
| | LIMITE DEL TERRENO |
| | MOBILIARIO |
| | LIMITE DE DIBUJO |
| | SENTIDO DE VALDIAE |
| | REVERTIDO AL SITE |

| | |
|---|--|
|  ATTIMO S. R. L. Calle 27 # 33-23 2da. Esquina Barrio, San Pedro, Bogotá | PLANO: 1 PLANTA ARQUITECTONICA DE CONJUNTO ARO-01 11/07/2018 14/08/2018 |
| | PROYECTADO POR: ADMINISTRACION MUNICIPAL PROYECTO: ATIMD ARO 106 |
| UBICACION: CONTROL DE ACCESOS ADMINISTRACION PORTUARIA PROYECTO: YUCATAN | DISEÑADO POR: ATIMD ARO 106 1:1:200 ATRIBO |
| ESCALA: 1:1:200 FECHA: 11/07/2018 AUTORIZADO POR: AUTORIZADO POR: AUTORIZADO POR: | AUTORIZADO POR: AUTORIZADO POR: AUTORIZADO POR: |

4. SITUACIÓN CON PROYECTO

La situación con proyecto permitirá a API Progreso duplicar el acceso al puerto, haciendo más robusto éste. Siempre teniendo en cuenta que, en caso de falla del viaducto actual, la actividad del puerto se detiene por completo.

4.1 EFECTOS ATRIBUIBLES AL PROYECTO

El presente apartado está dedicado a identificar los efectos atribuibles al proyecto, estableciendo las premisas para evaluar, posteriormente, los costos y beneficios asociados al proyecto.

Los sujetos que pueden beneficiarse de la nueva infraestructura, o asumir los costes que genera su construcción y operación, se pueden clasificar en tres grupos.

- En primer lugar está la propia API, a la cual podemos asociar las entidades estatales o federal, si participan en el financiamiento de la construcción.
- A continuación, podemos identificar a los transportistas que entran y salen del puerto a través del viaducto actual, (y que usarán el nuevo), que experimentarán el beneficio de la nueva infraestructura.
- Finalmente, podemos identificar a la colectividad completa, en su efecto socioeconómico, que puede asumir costos o experimentar beneficios adicionales a los que surjan en los dos casos anteriores.

Estudiamos a continuación los efectos del proyecto en cada caso.

4.1.1 Efectos del proyecto para API

En primer lugar, en cuanto a los costos asociados al proyecto, API deberá asumir, (ya sea con fondos propios o de otras fuentes, pero en todo caso que representan un flujo monetario que asume el Sistema Portuario Nacional), la construcción del nuevo viaducto, (incluyendo los servicios de realización de estudios preliminares, proyecto ejecutivo y supervisión de la obra), y la operación del mismo.

Existe un efecto que se elimina con la construcción del nuevo viaducto, que es el asociado al riesgo de falla del viaducto existente. Según los dictámenes ya comentados en apartados

anteriores, la vida útil del viaducto no puede alargarse indefinidamente y eso hará que aumente su probabilidad de fallo. El puerto dispone de un seguro para cubrir la reparación del viaducto, si es que falla pero no dispone de uno que cubra las indemnizaciones que se generarán si se para la actividad portuaria durante el proceso de reparación de dicha falla. Estas indemnizaciones deberían cubrir, no solo la merma económica por la reducción directa de negocio, sino la asociada a la recuperación de una posición de mercado que, una vez perdida, puede ser difícil o incluso imposible de recuperar.

Además, como resultado de la misma situación comentada en el párrafo anterior, está la propia merma de ingresos económicos para el puerto, en aquellos rubros que explota directamente, como puede ser el cobro por puerto fijo y variable, o el atraque y muellaje en los casos en que se trate de terminales cuyas facilidades portuarias, (muelle y medios de atraque), hayan sido construidos y sean explotados por API Progreso.

Por otra parte, en cuanto a los posibles beneficios, parece claro que el hecho de disponer de un nuevo viaducto no aumentará, por sí solo, la carga que el puerto opera. Aunque la conectividad es un elemento decisivo en la competitividad de un puerto, el proyecto no varía, específicamente la oferta de conectividad el puerto, (al menos en la percepción de los usuarios del puerto, que seguirán obteniendo un servicio idéntico a efectos de conectividad, solo que menos propenso a que suceda un fallo en el futuro).

En todo caso, podría suceder que si el estado del viaducto actual continuara deteriorándose, alguna naviera o transportista decidiera prescindir de los servicios del puerto, pero esto es de difícil cuantificación y se estima de reducida importancia, con lo que no será tenido en cuenta en el estudio.

Lo que sí parece claro es que no se producirá un aumento neto de carga debido a la ejecución del proyecto.

Y, por otra parte, tampoco parece que pueda aumentarse la tarifa portuaria a la carga, (considerada de modo general), con motivo de la construcción, ya que esto disminuiría la competitividad del puerto. Los usuarios pagarían más sin percibir una mejor a efectiva del servicio, (la conectividad seguiría siendo la misma).

Conclusión

En resumen, el beneficio directo que experimenta la API es el ahorro en indemnizaciones y/o primas de seguros y merma de ingresos al eliminar el riesgo de falla del único acceso de que dispone el puerto actualmente.

4.1.2 Efectos del proyecto para los usuarios

Habitualmente, el efecto de ejecutar una nueva infraestructura vial tiene impactos en el funcionamiento de los vehículos que la utilizan, por comparación con el funcionamiento que se producía en la infraestructura existente.

En el caso que nos ocupa, el viaducto actual tiene una restricción de velocidad, en todo su recorrido, a 40 km/h, además de tener que parar por completo a su entrada y al llegar al muelle fiscal, (aproximadamente, pues el trayecto en esta zona presenta curvas de pequeño radio). Por otra parte, está prohibido el rebase en toda su longitud.

En el nuevo viaducto no será necesario establecer restricciones tan fuertes pero tampoco será posible permitir circular a velocidades demasiado altas. La hipótesis es la siguiente. A la entrada al puerto sigue siendo necesario detener la marcha. El viaducto nuevo se recorre a 60 km/h, (ya que esa misma restricción existe en todo el puerto), y se reduce a 50 km/h en la entrada a la zona del relleno, que, aún así, contará con un mejor trazo que la actual.

El resto de los conceptos que habitualmente tienen impacto en los costos de funcionamiento de los vehículos, (depreciación, combustible, lubricantes y neumáticos), se consideran aproximadamente equivalentes, ya que la distancia es la misma y el consumo lo será prácticamente también. Solo se considerará, pues, el beneficio derivado de la disminución de tiempos de recorrido.

Conclusión

El único beneficio para los usuarios del puerto es el derivado de la disminución del tiempo de recorrido. No existe ningún otro coste o beneficio que debieran asumir o del que se vayan a favorecer. En todo caso, según las velocidades de recorrido que se han expuesto, este efecto resulta prácticamente nulo.

4.1.3 Efectos del proyecto para la colectividad en general

Los efectos del proyecto para la colectividad en general son, habitualmente, de difícil cuantificación y justificación. En este caso, podemos identificar los siguientes, comentando si se deben o no exclusivamente a la ejecución del proyecto.

En nuestro caso puede identificarse, entre otros, el impacto medioambiental que implica la construcción de un nuevo viaducto, al lado del existente, así como el que representaría que la estructura fallara y cayera material de su derrumbe al fondo marino. Ambos son complejos de evaluar. En el primero de los casos, debemos asumir que el proyecto incluirá las medidas de mitigación ambiental que hagan que los impactos alcancen la calificación de "compatibles". En el segundo, se trata de un riesgo asociado a la situación sin proyecto que podemos valorar solamente por el costo de las obras necesarias para restituir el fondo marino a su situación primitiva, retirando todo el material, costo que también podemos considerar incluido en las obras de reparación del viaducto y, por tanto, cubierto por el seguro de API para estos casos.

Un efecto adicional para la colectividad de Progreso es la puesta a disposición del público de la infraestructura para realizar actividades de ocio. Se considera liberar el viaducto existente para su uso por el público en general, (además de que circulen por el los vehículos ligeros que entren al puerto), en consonancia con la ejecución de un nuevo edificio corporativo para API y la transformación de la edificación actual en infraestructura museística o similar. Sin embargo, no se puede considerar este efecto asociado por completo a la ejecución del proyecto, pues depende de que se ejecuten obras de infraestructura adicionales, no ligadas al objetivo específico del proyecto, y por tanto solo se podrán contabilizar parcialmente sus efectos.

Muy difícil de evaluar, pero de indudable existencia, es el efecto negativo que podría producir en la economía de la región y del propio estado una eventual paralización de actividades del puerto. Esto podría producir pérdidas a las empresas que transportan sus productos a través del puerto, debido, por ejemplo, al mayor coste del transporte, a la pérdida de clientes o de posición de mercado, la pérdida de empleos asociada, etc., todos ellos, como se ha indicado, de difícil o imposible cuantificación pero de segura aparición si llega a darse una falla en el viaducto.

5. EVALUACIÓN DEL PROYECTO

El presente apartado está dedicado a evaluar y cuantificar en términos monetarios los costos de las dos alternativas planteadas para el proyecto, así como el flujo de los mismos a lo largo del horizonte de evaluación.

Posteriormente, se calculará el costo anual equivalente, lo que permitirá evaluar cual de las dos alternativas es preferible. Se procede de este modo porque se trata de un proyecto de sustitución de activos.

5.1 IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE COSTOS

Los costos que se asocian al desarrollo del proyecto son de dos tipos, como se ha especificado más arriba.

Para cada una de las alternativas se considera el costo de inversión del proyecto, calendarizado según se ha indicado anteriormente en este estudio, más los costos de redacción del proyecto, estudios preliminares y supervisión de la obra.

Para el conjunto de estudios preliminares y la redacción del proyecto se ha considerado un 3% de presupuesto de inversión y la misma cantidad para las labores de supervisión de la obra.

Adicionalmente, se identifican los costos de operación y mantenimiento de la infraestructura. Considerando que API dispone de medios para la operación y mantenimiento del viaducto actual y que estos podrán emplearse, con cierto aumento, para estas actividades en el nuevo, y teniendo en cuenta experiencias de operación y mantenimiento de estructuras similares en la república mexicana, se considera un porcentaje del costo de inversión del 0.5% anual dedicado a cada una de estas labores, que en el caso del mantenimiento de la estructura metálica sube hasta un 0.75%.

Los flujos de estos rubros a lo largo del periodo de evaluación se indican a continuación.

Análisis de costos alternativa 1

| Año | Estudios y proyectos | Supervisión | Construcción | Operación | Mantenimiento | Total |
|------|----------------------|--------------|----------------|-----------|---------------|----------------|
| 2012 | 3,256,081.81 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3,256,081.81 |
| 2013 | 6,512,163.61 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6,512,163.61 |
| 2014 | 0.00 | 4,884,122.71 | 162,804,090.30 | 0.00 | 0.00 | 167,688,213.01 |

Análisis de costos alternativa 1

| Año | Estudios y proyectos | Supervisión | Construcción | Operación | Mantenimiento | Total |
|------|----------------------|--------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| 2015 | 0.00 | 4,884,122.71 | 162,804,090.31 | 0.00 | 0.00 | 167,688,213.02 |
| 2016 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2017 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2018 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2019 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2020 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2021 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2022 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2023 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2024 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2025 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2026 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2027 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2028 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2029 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2030 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2031 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2032 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2033 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2034 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2035 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2036 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2037 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2038 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2039 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2040 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2041 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |
| 2042 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1,628,040.90 | 1,628,040.90 | 3,256,081.80 |

Análisis de costos alternativa 2

| Año | Estudios y proyectos | Supervisión | Construcción | Operación | Mantenimiento | Total |
|------|----------------------|--------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| 2012 | 4,723,203.35 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4,723,203.35 |
| 2013 | 9,446,406.69 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9,446,406.69 |
| 2014 | 0.00 | 7,084,805.02 | 236,160,167.34 | 0.00 | 0.00 | 243,244,972.36 |
| 2015 | 0.00 | 7,084,805.02 | 236,160,167.35 | 0.00 | 0.00 | 243,244,972.37 |
| 2016 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2017 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2018 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2019 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2020 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2021 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |

Estudio Costo Beneficio del Nuevo Viaducto Alterno del Puerto de Progreso, Yucatán.

Análisis de costos alternativa 2

| Año | Estudios y proyectos | Supervisión | Construcción | Operación | Mantenimiento | Total |
|------|----------------------|-------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| 2022 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2023 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2024 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2025 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2026 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2027 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2028 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2029 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2030 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2031 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2032 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2033 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2034 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2035 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2036 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2037 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2038 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2039 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2040 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2041 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |
| 2042 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2,361,601.67 | 3,542,402.51 | 5,904,004.18 |

5.2 CÁLCULO DEL COSTO ANUAL EQUIVALENTE.

El presente apartado se dedica a realizar el cálculo del denominado Costo Anual Equivalente, CAE, de cada alternativa. La tasa de descuento empleada para el cálculo es del 12%, como se indica en los "Lineamientos" de la Unidad de Inversiones.

Cálculo CAE Alternativa 1

| Perío. | Año | Costos de inversión | Costos de mantenimiento | Total de costos | Valor presente de costos |
|--------|------|---------------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|
| 0 | 2011 | 3,256,082 | 0 | 3,256,082 | \$3,256,082 |
| 1 | 2012 | 6,512,164 | 0 | 6,512,164 | \$5,814,432 |
| 2 | 2013 | 167,688,213 | 0 | 167,688,213 | \$133,680,017 |
| 3 | 2014 | 167,688,213 | 0 | 167,688,213 | \$119,357,158 |
| 4 | 2015 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | \$2,069,299 |
| 5 | 2016 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | \$1,847,588 |
| 6 | 2017 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | \$1,649,632 |
| 7 | 2018 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | \$1,472,886 |
| 8 | 2019 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | \$1,315,077 |
| 9 | 2020 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | \$1,174,176 |
| 10 | 2021 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | \$1,048,371 |

Estudio Costo Beneficio del Nuevo Viaducto alternativo del Puerto de Progreso, Yucatán

Cálculo CAE Alternativa 1

| Perio. | Año | Costos de inversión | Costos de mantenimiento | Total de costos | Valor presente de costos |
|--------|------|---------------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|
| 11 | 2022 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 936,046 |
| 12 | 2023 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 835,755 |
| 13 | 2024 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 746,210 |
| 14 | 2025 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 666,259 |
| 15 | 2026 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 594,874 |
| 16 | 2027 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 531,137 |
| 17 | 2028 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 474,230 |
| 18 | 2029 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 423,420 |
| 19 | 2030 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 378,053 |
| 20 | 2031 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 337,547 |
| 21 | 2032 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 301,382 |
| 22 | 2033 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 269,091 |
| 23 | 2034 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 240,260 |
| 24 | 2035 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 214,518 |
| 25 | 2036 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 191,533 |
| 26 | 2037 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 171,012 |
| 27 | 2038 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 152,689 |
| 28 | 2039 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 136,330 |
| 29 | 2040 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 121,723 |
| 30 | 2041 | 0 | 3,256,082 | 3,256,082 | 108,681 |
| | | | | | 280,515,467 |

Se ha optado por no incluir (con signo negativo) en el último año del periodo de evaluación, el valor residual del viaducto, teniendo en cuenta que este sería igual a la parte proporcional de vida útil restante, tomándola de 50 años, como ya se indicó. Se procede de esta manera porque no se trata, propiamente, de un costo que deba incurrir el proyecto.

Cálculo CAE Alternativa 2

| Perio. | Año | Costos de inversión | Costos de mantenimiento | Total de costos | Valor presente de costos |
|--------|------|---------------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|
| 0 | 2011 | 4,723,203 | 0 | 4,723,203 | 4,723,203 |
| 1 | 2012 | 9,446,407 | 0 | 9,446,407 | 8,434,292 |
| 2 | 2013 | 243,244,972 | 0 | 243,244,972 | 193,913,403 |
| 3 | 2014 | 243,244,972 | 0 | 243,244,972 | 173,136,967 |
| 4 | 2015 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 3,752,101 |
| 5 | 2016 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 3,350,091 |
| 6 | 2017 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 2,991,152 |
| 7 | 2018 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 2,670,672 |
| 8 | 2019 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 2,384,528 |
| 9 | 2020 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 2,129,043 |
| 10 | 2021 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 1,900,931 |

Cálculo CAE Alternativa 2

| Perio. | Año | Costos de inversión | Costos de mantenimiento | Total de costos | Valor presente de costos |
|--------|------|---------------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|
| 11 | 2022 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 1,697,260 |
| 12 | 2023 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 1,515,411 |
| 13 | 2024 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 1,353,045 |
| 14 | 2025 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 1,208,076 |
| 15 | 2026 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 1,078,639 |
| 16 | 2027 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 963,071 |
| 17 | 2028 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 859,885 |
| 18 | 2029 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 767,754 |
| 19 | 2030 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 685,495 |
| 20 | 2031 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 612,049 |
| 21 | 2032 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 546,472 |
| 22 | 2033 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 487,922 |
| 23 | 2034 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 435,644 |
| 24 | 2035 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 388,968 |
| 25 | 2036 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 347,293 |
| 26 | 2037 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 310,083 |
| 27 | 2038 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 276,860 |
| 28 | 2039 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 247,196 |
| 29 | 2040 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 220,711 |
| 30 | 2041 | 0 | 5,904,004 | 5,904,004 | 197,063 |
| | | | | TOTAL | 413,585,282 |

Para calcular el CAE se aplica al total del Valor Presente de los Costos, obtenido de las tablas anteriores, la expresión siguiente.

$$CAE = \left[\sum_{i=0}^m \frac{I_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=m+1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} \right] \cdot \frac{r \cdot (1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

Donde las variables utilizadas tienen los siguientes significados.

- CAE = Costo Anual Equivalente;
- m = año final de realización de la inversión, (la inversión va del año 0 al m);
- n = horizonte temporal del estudio (30 años);
- r = tasa de descuento empleada, (12%);
- I_i = valor de la inversión en el año i ;
- C_i = valor de los costes de operación y mantenimiento en el año i ;

Tras aplicar la expresión anterior se obtienen los siguientes valores para cada alternativa.

| Alternativa | CAE |
|-------------|------------|
| 1 | 34,824,216 |
| 2 | 51,343,990 |

Resultando que es preferible la alternativa 1.

6. CONCLUSIONES

De todos los análisis y evaluaciones anteriores podemos concluir lo siguiente:

- El riesgo de falla del viaducto actual, en las condiciones prevalentes de utilización actual, así como en las de evolución futura de su uso, crecerá en el futuro próximo hasta hacerse inaceptable.
- La mera aplicación de actuaciones de mitigación, tales como las reparaciones que se han llevado a cabo hasta ahora, no servirá para alargar la vida útil del viaducto y, por tanto, no contribuirá a disminuir su riesgo de fallo.
- El perjuicio económico que causaría una falla de la estructura, (lo que provocaría la interrupción del acceso al puerto y, por tanto, la paralización de la actividad comercial de éste), es muy elevado.
- El viaducto es un ícono de la ciudad y del estado y debe mantenerse en su estado estético actual, como componente del paisaje de la ciudad de Progreso. Su utilización para tráfico ligero sí está garantizada en condiciones de seguridad.
- La solución óptima para eliminar el riesgo de falla del acceso, conservar la infraestructura y permitir el funcionamiento normal del puerto sin interrupciones es construir un viaducto alternativo, paralelo al actual, que conecte con la zona del puerto ejecutada sobre relleno y protegida por bloques de concreto.
- En las condiciones anteriores la alternativa más eficiente desde el punto de vista del Costo Anual Equivalente es la número 1, con un CAE cercano a los **34.8 millones de pesos mexicanos/año**, mientras que la alternativa 2 presenta un CAE de unos **51,3 millones de pesos mexicanos/año**.