

Auspiciadores:

- Recinto Universitario de Mayagüez
- Essroc San Juan (*San Juan Cement*)
- Centro de Transferencia de Tecnología en Transportación (T²)
- Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico
- Instituto de Ingenieros Civiles
- Capítulo de San Juan del CIAPR
- Capítulo de Mayagüez del CIAPR
- *Construction Engineering and Management Association (CEMA)*

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
CIVIL Y AGRIMENSURA

•
COLEGIO DE INGENIERÍA •

•
RECINTO UNIVERSITARIO DE
MAYAGÜEZ

Jornadas Bi-anales • Perspectivas globales sobre el
desempeño del hormigón

28 de enero de 2010

Sesión 1: Mayagüez

Auditorio Dept. de Ing. Civil, UPRM

Contacto: Grisel Villarubia

Tel: 787.834.6385

Fax: 787.265.5695

grisel.villarubia1@upr.edu

29 de enero de 2010

Sesión 2: San Juan

sede CIAPR, Hato Rey (teatro)

Contacto: Adagilisa Gaud

Tel: 787.708.6464 ó 787.962.8788

Fax: 787.708.6565

ventas.ootbs@gmail.com

Recursos:

- Ing. Manuel Fernández Cánovas, Ph.D.
Profesor Emérito de la Universidad Politécnica de Madrid
- Ing. Jaime C. Gálvez Ruiz, Ph.D.
Catedrático de E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid
- Prof. Amparo Moragues Terrades, Ph.D.
Catedrática de la Universidad Politécnica de Madrid
- Ing. Omar I. Molina Bas, Ph.D.
Catedrático Auxiliar de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez

Temas:

- Procesos de hidratación de los cementos
- Micro-estructuras de los hormigones
- Permeabilidad y mecanismos de transporte
- Durabilidad y vida útil
- Deterioro en ambiente marino
- Tecnología y sistemas de reparación del hormigón

Seis (6) horas de educación continuada
aprobadas por el Departamento de
Desarrollo Profesional y Educación
Continuada del CIAPR

Diseño por: María Nené Colón Mulero



Introducción

Jornadas Bi anuales: Perspectivas globales sobre el desempeño del hormigón

Ing. Omar I. Molina Bas, Ph.D.

Catedrático Auxiliar

Unidad Docente de Ingeniería y Gerencia de la Construcción

Universidad de Puerto Rico • Recinto Universitario de Mayagüez



Agenda

- Antecedentes históricos
- Ambiente donde habitamos
- Infraestructura
- Caso del puente *Dos Hermanos*

UPR-M



Historia de Hormigón

En su sentido más amplio, es decir como un material hecho por el hombre mezclando materiales naturales para formar un nuevo material sólido (piedra artificial):

- Año 7,000 antes de J.C. - Yiftah El, Sur de Galilea, Israel (1)
- Año 5,600 antes de J.C. - Lepenski Vir, Serbia (2) junto al Danubio
- Año 3,000 antes de J.C. - Norte de Chile
 - Empleaba como conglomerante algas calcinadas (huairo) mezcladas con agua de mar.

Hormigón o mortero en civilizaciones de la antigüedad

- Egipcios (2,500 años antes de J.C. en Giza)
- Griegos (500 años antes de J.C. en los palacios de Krissos y Attalos).
- Romanos (cemento que mezclaba cenizas volcánicas con cal viva)
 - La obra más emblemática construida con hormigón romano es el Panteón en Roma en el año 27 años antes de J.C., reconstruido en el 120 de nuestra era después de un incendio(3).

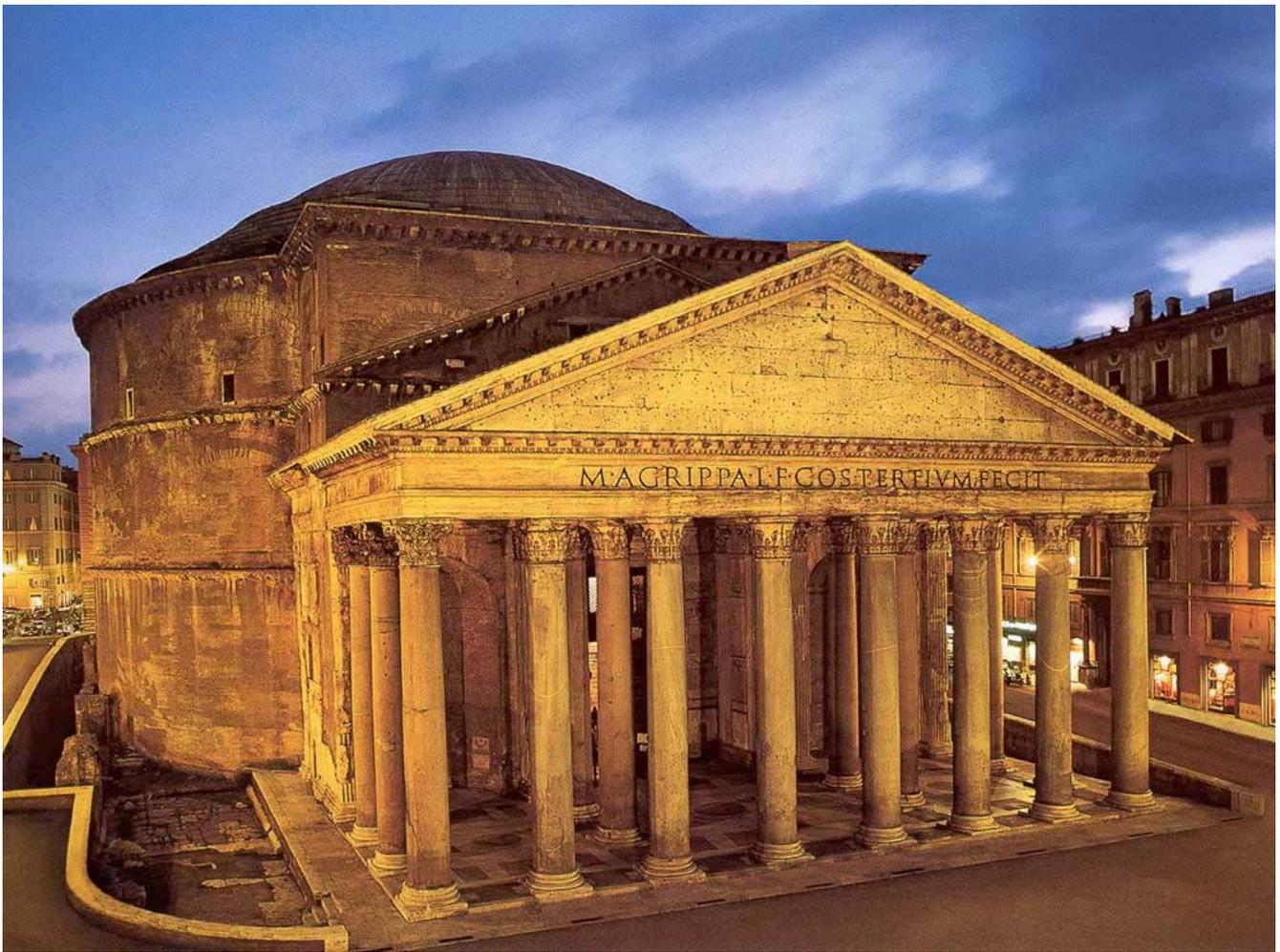
(1) Biasioli, F. (1999): "Ready-mix concrete: An old-new material for the 21th century". En Dhir, R.K., y Limbachiya, M.C. (eds.) (1999) *Utilizing ready-mixed concrete an mortars*. (1 - 3) Virginia American Society of Civil Engineers (Thomas Telford Ltd.).

(2) *History of Cement and Concrete*. [Fecha de acceso: 04/05/2008]; Disponible en: <http://www.hcia.gr>

(3) Fernández Cánovas, M. (2007): *Hormigón*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

UPR-M





Vista interior del Panteón, Roma, Italia (Siglo I)



Vista interior del Panteón, Roma, Italia (Siglo I)



UPR-M

El diámetro de la cúpula es de 43,44 m (150 pies),

Cemento Pórtland

- El **cemento Pórtland** es el conglomerante hidráulico **más utilizado** en la fabricación de hormigón.
- **Patentado en el Reino Unido** por Joseph Aspdin el 21 de octubre de **1824** bajo el título de *Una Inovación en el Modo de Producir una Piedra Artificial*, BP 5022.
- **Los cementos** empleados en la actualidad **han evolucionado mucho** respecto del cemento patentado por Aspdin.



UPR-M

Hormigón Armado

- Es bien conocido que el hormigón tiene buena resistencia a compresión y **baja resistencia a tracción**.
- Esta desventaja motivó la **técnica constructiva del hormigón armado**.
 - Ésta consiste en la utilización de hormigón reforzado con barras o mallas de acero, a las que se les llama armaduras.
 - La utilización de acero cumple la misión de resistir los esfuerzos en tracción y cortante a los que está sometida la pieza del material compuesto.
 - Su invento se atribuye a Joseph-Louis Lambot en **1848**
 - La primera patente data del 16 de julio de **1867**, bajo la autoría de Joseph Monier.

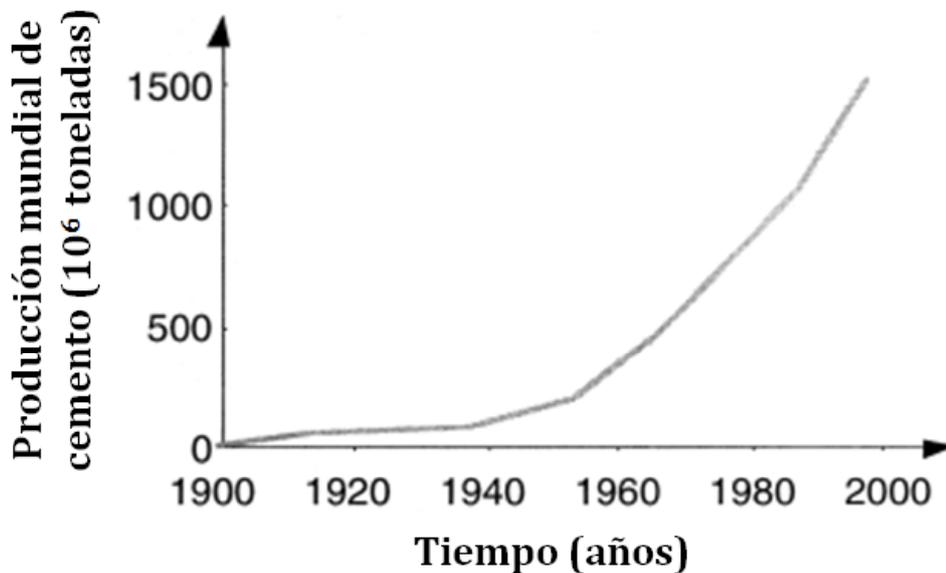


Empleo del cemento tipo Pórtland

- Actualmente, el uso del hormigón armado de cemento Pórtland está **generalizado por todo el planeta**.
- En **1998** la organización que representa la industria cementera en Europa, **CEMBUREAU**, estimó la **producción de cemento en 1.6 billones** de toneladas al año.
 - Convirtiéndolo en uno de los materiales más utilizados en las obras civiles y de edificación.
 - Este material se presenta en una gran variedad, dependiendo de los requerimientos de la estructura en proyección



Producción mundial de cemento en el siglo XX



Fuente: Aitcin, P.-C.; (2000) "Cements of yesterday and today Concrete of tomorrow". *Cement and Concrete Research*, 30, 1349 - 1359.



Evolución del pensamiento

Revista de Obras Públicas (1909):

*“Se calcula en veinticinco o treinta años sin reparaciones la duración de un puente de acero, duración pequeña que no deja de producir alguna inquietud; pero cuando el acero está empotrado en el hormigón la obra es más duradera que la misma piedra (...) Un puente en hormigón cuesta de un 10 a un 20 por 100 más caro que un puente de acero, pero **no exige apenas conservación.**” (1)*

(1) *El Hormigón Armado. Revista de Obras Publicas (1909), 57, Tomo I (1785): 591*



Evolución del pensamiento (2/3)

En 1925 la **Revista de Obras Públicas** transcribe algunas conclusiones de un estudio realizado por la Universidad de Purdue y presentado a la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles en el que se destacan los siguientes puntos:

“Para que sean duraderas deben proyectarse las obras de hormigón en las condiciones más desfavorables; deben, por tanto, tenerse en cuenta los esfuerzos producidos por los cambios de temperatura y variaciones en humedad...”

...El curado del hormigón debe hacerse cuidadosamente para evitar excesivos esfuerzos de contracción en la superficie y las consiguientes grietas. Las armaduras deben colocarse bastante superficiales para contrarrestar las contracciones, pero no excesivamente, para evitar su corrosión.” (2)

(2) *Influencia de la Humedad en las Estructuras de Hormigón. Revista de Obras Publicas (1925), 73, Tomo I (2430): 247*



Evolución del pensamiento(3/3)

En 1924 un artículo publicado en Londres *The Permeability of Concrete* recopila las investigaciones dirigidas a establecer la permeabilidad del hormigón:

“Los resultados señalan que la **disminución porcentual de la permeabilidad en el tiempo es proporcional al contenido de cemento**; una mezcla rica no sólo tiene un flujo más pequeño de agua al principio, sino también causa que el flujo disminuya más rápidamente en comparación a una mezcla más pobre. (...) es obvio que la adición de **más cemento que la proporción crítica no resulta ni cercano a una gran mejora en la impermeabilidad al agua**” (3)

(3) TOY, H.C. (1924) *The Permeability of Concrete. The Institution of Civil Engineers, Núm. 20, p. 1 – 15.*



Las principales causas que producen el deterioro del hormigón

- En la actualidad se conoce que **los procesos de deterioro del hormigón son amplios y complejos.**
- Los **procesos han sido detallados** en un informe publicado en el año 2001 y titulado ***Guía para un Hormigón Duradero*** del Comité 201 del Instituto Americano del Hormigón (ACI por sus siglas en inglés)



Guía para un Hormigón Duradero del Comité 201 (ACI)

- Ciclos de hielo y deshielo
- Exposición a agente químicos agresivos
- Abrasión, erosión y cavitación
- Corrosión de los metales embebidos en el hormigón
- Reacciones químicas de los áridos (agregados)



Agenda

- Antecedentes históricos
- Ambiente donde habitamos
- Infraestructura
- Caso del puente *Dos Hermanos*

UPR-M



Europa, Medio Oriente y África



<http://www.masterresource.org>

UPR-M



Sureste Asiático y Australia



<http://www.masterresource.org>



UPR-M

América



<http://www.masterresource.org>



UPR-M

Golfo de Méjico y el Mar Caribe



UPR-M

<http://www.masterresource.org>



Ciudad y puerto de *Marseille*, Francia



UPR-M

<http://vincentvanderveken.com>



Cartagena de Indias, Colombia



<http://www.viajesmag.com>



UPR-M

Exposición ambiental

El hormigón en contacto con agua de mar sufre un deterioro complejo que combina efectos químicos y físicos.



UPR-M

Agenda

- Antecedentes históricos
- Ambiente donde habitamos
- **Infraestructura**
- Caso del puente *Dos Hermanos*



Infraestructuras

- **La mayoría** de nuestras carreteras, ferrocarriles, acueductos, alcantarillados, sistemas de energía eléctrica, telefonía fija y otros **sistemas de infraestructura** de distribución son viejos y **necesitan reparaciones**. Nuestros puertos, aeropuertos y terminales ferroviarias **son arcaicas, mal diseñadas, mal gestionados y están mal mantenidos**.
- A menos que capacitemos a un grupo grande de nuevos ingenieros, bien preparados y comprometidos a desarrollar una nueva generación de infraestructuras esenciales, **el futuro económico de Estados Unidos podría estar en peligro**.



Infraestructuras (2/3)

- Muchos de nuestros **competidores**, construyen grandes infraestructuras en **menos de la mitad del tiempo** y por **menos de la mitad del costo** que nosotros.
- En muchos **países asiáticos** hasta un **30% de los fondos de investigación** son para **diseño de infraestructuras**, tecnología, **materiales**, ensayos y fabricación y ese porcentaje está creciendo.



Infraestructuras (3/3)

Existen estimaciones de que los EE.UU. tendrán que invertir hasta en un **5% de su PIB** (o más de \$ 600 B/año) para reparación, reposición y expansión de las infraestructuras en los próximos años **si quiere seguir siendo competitivo** en la economía internacional.



Agenda

- Antecedentes históricos
- Ambiente donde habitamos
- Infraestructura
- Caso del puente *Dos Hermanos*



• Caso del puente *Dos Hermanos*



Localización del puente *Dos Hermanos*



UPR-M

Antecedentes (1/2)

- Hernand y Sosthenes **Behn nacieron en la Isla de Saint Thomas** en el 1880 y 1882 respectivamente.
- Sosthenes comenzó su carrera en el 1901 en un banco de Nueva York, años más tarde se hizo cargo de la explotación del negocio de caña de azúcar de **su padrastro, un acaudalado puertorriqueño de apellido Luchetti.**
- Ellos **heredaron** de su padrastro, entre otros bienes, unos **terrenos en El Condado**, un erial (tierra sin cultivar) casi despoblado, lleno de uveros de playa.



UPR-M

Antecedentes (2/2)

- Para adaptarlo a sus propósitos, varió el trazado del **antiguo terraplén del siglo XVI**.
- Los Behn **construyeron el puente que el pueblo inmediatamente llamó puente de Dos Hermanos**.
 - Sosthenes dio el primer paso en la organización del primer plan privado para construir una urbanización privilegiada en Puerto Rico.
 - En **1910** Sosthenes **vendió dicho puente en 25,000 dólares** al Ayuntamiento de la Capital
- Cuatro años más tarde fundaba la *Puerto Rico Telephone Company*

2007 AHCET - Asociación Iberoamericana de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones Emilio Vargas, 6, 1ª planta 28043 Madrid



UPR-M

Puente dos hermanos (Núm. 1755)



<http://www.solboricua.com>



UPR-M

Proyecto de construcción

*El proyecto de la Autoridad de Carrteras y Transportacion (ACT) AC-000033, conocido como **Reemplazo del Puente Dos Hermanos** (Puente Núm. 1755) en a Avenida Ashford del Municipio de San Juan. Los trabajos propuestos en éste consisten de la demolición del puente existente y la construcción de un nuevo puente, alumbrado, relocalización de utilidades, instalación de señales de tránsito, "concrete pavers", "stone revetment", marcado de pavimento y otros trabajos misceláneos.*

Fuente: Informe Parcial de la Resolución de la Cámara de Representantes 190



UPR-M

Bids Procurement Report • 08-26-02

CONTRACT AWARDS

Caribe Tecno, S.E., PO Box 360099, San Juan, PR 00936-0099. Tel: 781-4744/ Fax: 782-8077. Renovation and expansion Hiram Bithorn Stadium, San Juan, Bid No. 2002-140. Bids opened: June 25, 2002. Bid Bond: US Fidelity & Guaranty Co. Awarded by City Hall, San Juan. **\$27,377,000**

LPC & D, Inc., PO Box 2025, Las Piedras, PR 00771. Tel: 733-6121/Fax: 733-4808. Replacement Dos Hermanos Bridge, from Sta. 1+18.68 to Sta. 5+57.50, San Juan AC-000033, Bid No. 03-31. Bids opened: July 24, 2002. Awarded by the Highway & Transportation Authority, Santurce. **\$21,492,957.20**

Aranda Rodriguez Ginorio - ARGA, Ave. Barbosa 1008, San Juan, PR 00925. Tel: 765-2025/Fax: 765-4267. Replacement closet doors, Residencial Villas de Mabo, Guaynabo Bid No. HP 2002-02. Bids opened: June 18, 2002. Awarded by Housing Promoters, Inc. **\$359,499**

Gran Airport Services, Inc., PO Box 3338, Carolina, PR 00984. Tel: 791-5838/ Fax: 791-1040. Repair of Building #361, Fort Allen, Juana Diaz, Bid No. TS-02-S-0001. Bids opened: Jan. 30, 2002 Bid Bond: Cia. de Fianzas de Puerto Rico. Awarded by P.R. National Guard, Salinas. **\$116,000**

Constructora CDT, HC-01 Box 6120, Juana Diaz, PR 00795-9723. Tel: 837-5373/ Fax: 260-0437. Repair Bldg. #25, Campo Santiago TNG Site, Salinas and Fort Allen TNG Annex, Juana Diaz, Bid No. TS-02-S-0004. Bids opened: May 31, 2002. Bid Bond: Seguros Triple S, Inc. Awarded by P.R. National Guard., Salinas. **\$72,000**

Aico Corporation, PO Box 1623, Canóvanas, PR 00729. Tel: 793-3510/Fax: 793-

LPC & D, Inc., PO Box 2025, Las Piedras, PR 00771. Tel: 733-6121/Fax: 733-4808. Replacement Dos Hermanos Bridge, from Sta. 1+18.68 to Sta. 5+57.50, San Juan AC-000033, Bid No. 03-31. Bids opened: July 24, 2002. Awarded by the Highway & Transportation Authority, Santurce. **\$21,492,957.20**

Tel: 750-3325/Fax: 762-9533. Repair of various sites at Fort Allen TNG Annex, Juana Diaz, Bid No. TS-02-S-0006. Bids opened: Jun. 27, 2002. Bid Bond: United Surety & Indemnity Co. Awarded by P.R. National Guard, Salinas. **\$58,532**

Tallaboa Tanks & Fabricators, Inc., Firm Delivery, Peñuelas, PR 00624. Tel: 836-0011/Fax: 836-3793. Reconstr. and expansion Luis "Tito" Arroyo Park, Peñuelas, Item 2, Bid No. 010-2001-2002. Bids opened: Jun. 4, 2002. Bid bond: US Fidelity & Guaranty Co. Awarded by City Hall, Peñuelas. **\$932,526.88**

Tallaboa Tanks & Fabricators, Inc., Firm Delivery, Peñuelas, PR 00624. Tel: 836-0011/Fax: 836-3793. Constr. New Municipal Gymnasium Annex in Covered Court and Improvements to existing court, Peñuelas, Item 3, Bid No. 010-2001-2002. Bids opened: June 4, 2002 Bid bond: US Fidelity & Guaranty Co. Awarded by City Hall, Peñuelas. **\$774,280**

ATSAC Corporation, Coco Nuevo, 21 José De Diego St., Salinas, PR 00751. Tel: 824-7709/Fax: 824-7726. Roofing and Improvements to courts: a) Macaná; b) Peñuelas Valley; and c) Soto Quebradas, Peñuelas, Item 4, Bid No. 010-2001-2002. Bids opened: Jun. 4, 2002. Bid Bond: United Surety & Indemnity Co. Awarded by City Hall, Peñuelas. **\$87,172.87; \$73,459.12; \$74,545.87**

Construcciones Nativas, PO Box 5395, Yauco, PR 00698. Tel: 787 267-3862/ Fax: 787 267-3862. Constr. storm system, Goes and Jayuya Streets, Parcelas Cerrillos Hoyos, Ponce, Item a, Bid No. 40-AE-2001-2002. Bids opened: July 23,

UPR-M

Trasfondo histórico sobre el proyecto y el permiso USACE I 99805848

- **8 de marzo de 2000** – El Cuerpo de Ingenieros (USACE) aprobó el permiso solicitado por la Autoridad de Carreteras y Transportación el 3 septiembre de 1998, para el reemplazo del Puente Dos Hermanos; los permisos fueron otorgados por dos años.
- **17 de marzo de 2002** – USACE renovó los permisos.
- **Septiembre de 2004** – el USACE emitió unas condiciones especiales y regionales, las cuales enmendaron sustancialmente las restricciones que existían.

Fuente: Informe Parcial de la Resolución de la Cámara de Representantes 190



UPR-M

Trasfondo histórico sobre el proyecto y el permiso USACE I 99805848 (2/6)

- **14 de enero de 2005** – El permiso para el proyecto de Dos Hermanos había expirado y *“no se podía realizar trabajo alguno dentro de las aguas bajo su jurisdicción hasta que un nuevo permiso fuese expedido”*.
- Funcionarios del “National Marine Fisheries Service” (NMFS) trajeron a colación que en el área podían existir yerbas marinas y corales que ameritaban protección.

Fuente: Informe Parcial de la Resolución de la Cámara de Representantes 190



UPR-M

Trasfondo histórico sobre el proyecto y el permiso USACE I99805848 (3/6)

- **15 de abril de 2005** – La ACT radicó una solicitud para un nuevo permiso para la construcción.
- **28 de abril de 2005** – El USACE requirió información adicional para completar el análisis
- **3 de agosto de 2005** – El NMFS, señaló que las actividades del proyecto yacían dentro de un hábitat esencial para los peces, dejando establecido que la obra propuesta impactaría dicho hábitat.

Fuente: Informe Parcial de la Resolución de la Cámara de Representantes 190



UPR-M

Trasfondo histórico sobre el proyecto y el permiso USACE I99805848 (5/6)

El contrato se dio por terminado efectivo el 20 de enero de 2006, conforme las Provisiones Generales de Contratación y en beneficio de los mejores intereses del Pueblo de Puerto Rico

Fuente: Informe Parcial de la Resolución de la Cámara de Representantes 190



UPR-M

Trasfondo histórico sobre el proyecto y el permiso USACE I 99805848 (6/6)

5 de abril de 2006 –USACE informó mediante carta que estaban denegando la solicitud de permiso sometida el 15 de abril de 2005...

UPR-M

Fuente: Informe Parcial de la Resolución de la Cámara de Representantes 190



Puente dos hermanos (2007)



http://www.flickr.com/photos/fotografia_cole/490559770/

UPR-M



Subastarán proyecto del puente dos hermanos nuevamente

“San Juan, 22 febrero 2006 (EFE)- El secretario del Departamento de Transportación y Obras Públicas (DTOP), Gabriel Alcaraz, anunció hoy que el proyecto de infraestructura en el puente Dos Hermanos, en San Juan, será subastado nuevamente en alrededor de seis meses.”

UPR-M



Reinicio de la construcción

WAPA.tv (05/05/2008)

- En 2008 anuncian el reinicio de la reconstrucción del Puente Dos Hermanos (...), a un costo que sobrepasa de los \$39.8 M.

Por Zenaida Ramos EL VOCERO 17/12/2009

- El Departamento de Transportación y Obras Públicas (DTOP) vislumbra terminar a principios del 2011 la reconstrucción del Puente Dos Hermanos en San Juan...

UPR-M

WAPA.tv (05/05/2008)



Resumen

Demolición y reconstrucción de **punto de 308** metros de longitud

- Aumento en el presupuesto original de construcción: \$21.5 a **\$39.8 M**
- **\$129,000 metro/lineal** (aprox.)
- Duración aproximada **8 años**



Efectos indirectos

- Tráfico
 - Congestión vehicular: contaminación y calidad de vida
 - Reducción de capacidad de las vías (puente temporero)
- Ambientales: vida marina, calidad del agua
- Económicos
 - Industria del turismo: hoteles, comercios y otros
 - Pérdida de productividad
- Estéticos



Recomendaciones

- Existe la necesidad de construir más y mejores infraestructura
- Los efectos económicos y ambientales debidos a la demolición y reconstrucción de las infraestructuras pueden ser desproporcionados
- Las nuevas infraestructuras debe ser pensadas para una mayor duración y menos mantenimiento
- Desarrollar tecnología constructiva adecuada para exposiciones prolongadas en ambientes agresivos



UPR-M

Jornadas Bi anuales: Perspectivas globales sobre el desempeño del hormigón

Ing. Omar I. Molina Bas, Ph.D.
Catedrático Auxiliar
Unidad Docente de Ingeniería y Gerencia de la Construcción
Universidad de Puerto Rico • Recinto Universitario de Mayagüez



UPR-M