



# BOLETIN DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

PRIMAVERA 2006



## EN ESTA EDICION:

LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUERTO RICO EN COMPETENCIA INTERNACIONAL DE HORMIGÓN	1
PROGRAMA DE MAESTRIA DEL DEPARTAMENTO: SE PLANIFICA NUEVA AREA DE INTERES	3
ESTUDIANTES DEL DEPARTAMENTO REPRESENTAN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA EN CONGRESO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE	4
POLYWEATHER INFORMA : EL CLIMA EN LA POLI EN LOS PRIMEROS CUATRO MESES DE 2006	5
TRIMESTRE FA-06: CURSOS ELECTIVOS Y GRADUADOS	6
¿QUE SE ESTA HACIENDO EN CAPSTONE DE INGENIERIA CIVIL?	7
¿QUE SE ESTA HACIENDO EN CAPSTONE DE INGENIERIA AMBIENTAL?	8
LOS CAPITULOS ESTUDIANTILES INFORMAN	9
NUEVA PROFESORA EN EL DEPARTAMENTO	10
UTILIZACION DE CARBON ACTIVADO EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA	11
CRUCIGRAMA DE INGENIERIA DE TRANSPORTACION	12
ESTUDIANTES DE INGENIERIA ELECTRICA DESARROLLAN REGISTRADOR DE TRAFICO VEHICULAR PARA EL LABORATORIO DE INGENIERIA DE CARRETERAS Y TRANSPORTACION	13
DIRECTIVA CLASE GRADUANDA 2007	14
¿SABIAS QUE ...?	15
PRIMERO DE JULIO DE 2006: XXVII COLACION DE GRADOS	15
COMPARACION DEL DISEÑO DE PUENTES	16
SOLUCION AL CRUCIGRAMA GEOTECNICO DEL BOLETIN DEL PASADO TRIMESTRE	28

## LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUERTO RICO EN COMPETENCIA INTERNACIONAL DE HORMIGÓN

Participar en una competencia es una tarea ardua y a la vez enriquecedora en la cual los logros no siempre se miden en los premios obtenidos sino en las experiencias ganadas. Este es el caso del grupo de estudiantes que participó en la competencia “Egg Protection Device”, auspiciada por el American Concrete Institute (ACI) y que se celebró a fines de marzo de 2006 durante la Convención de Primavera del ACI en Charlotte, Carolina del Norte. El grupo que representó por vez primera a la Universidad Politécnica de Puerto Rico, compuesto por los estudiantes de Ingeniería Civil Francheska Seijo y Yancarlo Mondríguez y por el estudiante de Ingeniería Ambiental Ennio Pesquera, trabajó arduamente desde octubre de 2005 para lograr construir una estructura que cumpliera con todos los requisitos que impone la competencia

Una vez se logró tener un modelo aceptable, el siguiente paso fue transportarlo. La muestra de la Universidad Politécnica, llamada POLY, fue envuelta en “bubble wrap”, rodeada por “foam peanuts” y acostada es una caja plástica debidamente identificada como frágil. Los encargados de la línea aérea US Airways permitieron transportarla como equipaje de mano, por lo que la misma sufrió daños mínimos, tales como grietas en las esquinas. Este no fue el caso de otros equipos de estudiantes, como el de la Universidad de Missouri-Rolla cuya muestra sufrió daños severos al ser transportada en avión junto al resto del equipaje. Los estudiantes de la Universidad Autónoma de Nuevo León en México, quienes obtuvieron el primer lugar en la competencia, transportaron su muestra en autobús, travesía que les tomó cerca de 36 horas.



POLY, el modelo desarrollado por los estudiantes de la Universidad Politécnica de Puerto Rico antes y después de la prueba

CIVILizate y AMBIENTALizate leyendo todos los trimestres el Boletín del Departamento

## LA UNIVERSIDAD POLITECNICA DE PUERTO RICO EN COMPETENCIA INTERNACIONAL DE HORMIGÓN

El siguiente paso fue registrarse en la Convención y en la competencia. Resulta difícil elegir a cuales actividades asistir debido a que se presentan sobre 300 actividades en un período de cinco días. Pero la prioridad del equipo de la Universidad Politécnica era clara: asistir a los eventos relacionados a la competencia. La agenda del domingo 26 de marzo fue la siguiente: en la mañana se llevó a cabo el registro en la Convención, la entrega de la muestra y la verificación de su elegibilidad, y en la tarde se realizó la competencia. El aparato usado para probar las muestras es uno sofisticado. La muestra es colocada en una base de madera y bajo ésta hay una copa donde se acomoda un huevo. Luego, una pesa de 8.3 kilogramos es levantada por un magneto a una elevación de 0.5 metros y es dejada caer libremente sobre las muestras. El procedimiento se repite levantando la pesa en incrementos de 0.5 metros hasta una elevación máxima de 3.0 metros, desde la cual se repite la caída hasta cuatro veces. La estructura puede fallar, pero mientras el huevo colocado bajo ella no sufra daño, la competencia continúa.



Base donde se colocan las muestras y aparato usado para levantar la pesa

En la siguiente tabla se presenta la lista oficial de las universidades participantes según presentada durante la competencia con el nombre y masa de las muestras y la altura desde la cual se dejó caer la pesa al momento de fallar la muestra y romperse el huevo.

Universidad	Nombre de la muestra	Masa de la muestra (gramos)	Elevación de la pesa (metros)
University of Missouri - Rolla	UMR-1	3,448.1	1.5
University of Missouri - Rolla	UMR-2	3,273.8	0.5
Universidad de Puerto Rico - Mayagüez	UPRM-1	3,046.7	1.5
Universidad de Puerto Rico - Mayagüez	UPRM-2	2,933.8	1.5
Universidad Politécnica de Puerto Rico	POLY	3,444.2	1.0
University of North Carolina - Charlotte	JAAD	3,140.9	1.5
University of North Carolina - Charlotte	SX35	3,421.0	1.5
Purdue University (Indiana)	PBJ	3,395.3	2.5
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL-1	3,468.1	3.0
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL-2	3,367.4	3.0
University of Illinois - Urbana Champaign	UIUC	3,415.1	3.0
Widener University (Pennsylvania)	WU	3,487.0	1.0
Universidad Federal de Bahía, Brasil	UFBA-1	3,016.3	3.0

## LA UNIVERSIDAD POLITECNICA DE PUERTO RICO EN COMPETENCIA INTERNACIONAL DE HORMIGÓN



Luego de la competencia los estudiantes tuvieron la oportunidad de compartir entre sí, así como con miembros de los capítulos profesionales del ACI. Las premiaciones se realizaron durante el almuerzo de estudiantes el lunes 27 de marzo. Los primeros tres lugares fueron para la Universidad Autónoma de Nuevo León en México, la Universidad Federal de Bahía en Brasil, y la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign.

El Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental desea reconocer también a los miembros de los grupos que no pudieron competir en esta ocasión, ya que su esfuerzo sirve de motivación para competencias futuras. Fueron ellos: Adriana López, Carla Bermúdez, Félix Arroyo, Colin Chan Ho, Gilberto López, Carlos Solís, Noelia Nieves, Lemuel Beauchamp y los estudiantes de la sección 08 del curso CE 3503 (Laboratorio de Materiales de Construcción). Además, se agradece el apoyo del Decano de la Escuela de Ingeniería y Ciencias Geomáticas, Dr. Carlos González, y del personal del Departamento que puso su esfuerzo para que este evento pudiese realizarse.

La profesora Ginger M. Rossy y la estudiante Francheska Seijo (al centro) comparten con estudiantes de la Universidad de Puerto Rico-Mayagüez y de la Universidad Autónoma de Nuevo León-México, con el ingeniero Carlos Lázaro (quinto desde la izquierda), presidente del Capítulo Profesional del ACI en Puerto Rico y con el ingeniero José Izquierdo (tercero desde la izquierda), miembro de la directiva de dicho Capítulo Profesional

## PROGRAMA DE MAESTRIA DEL DEPARTAMENTO: SE PLANIFICA NUEVA AREA DE INTERES

El programa de Maestría en Ingeniería Civil del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental está planificando una nueva área de interés para ofrecerse a partir del trimestre FA-06: **Ingeniería de Construcción**. Esta área está orientada a la planificación técnica de las obras de construcción en ingeniería civil. El estudiante tendrá la oportunidad de exponerse a estudios avanzados en métodos de construcción, inspección de obras, análisis de productividad a nivel de desempeño, manejo de equipos de construcción, análisis de impacto de costos, seguridad, manejo de materiales peligrosos en construcción, análisis y diseño de estructuras temporeras, entre otros temas.

Cabe señalar que este programa del Departamento permitirá al estudiante elegir su área de concentración en Ingeniería de Construcción, combinando sus cursos electivos en el área de Gerencia de Construcción que pertenece al Decanato de Gerencia de la Universidad Politécnica. De esta forma el estudiante podrá combinar la parte técnica para el buen desarrollo y planificación de la construcción, con la parte gerencial para una mejor coordinación y administración del proyecto. Cada estudiante preparará un Programa de Estudios en conjunto con su mentor de acuerdo a sus necesidades, interés, formación y objetivos académicos, para obtener un grado de Maestría en Ingeniería.

El Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental agradece a los profesores Leonel Almánzar y Juan C. Piñero, quienes están haciendo que este proyecto sea posible, así como a todas aquellas personas que de una forma u otra están contribuyendo al desarrollo de esta nueva área de interés. Todo estudiante interesado en hacer estudios postgraduados en esta área puede comunicarse con el Director del Programa de Maestría del Departamento, Dr. Leonel Almánzar, llamando por teléfono al (787) 622-8000, extensión 341, o a la Oficina de Asuntos Graduados con la Sra. Rosa Belvis, llamando al (787) 622-8000, extensión 467.

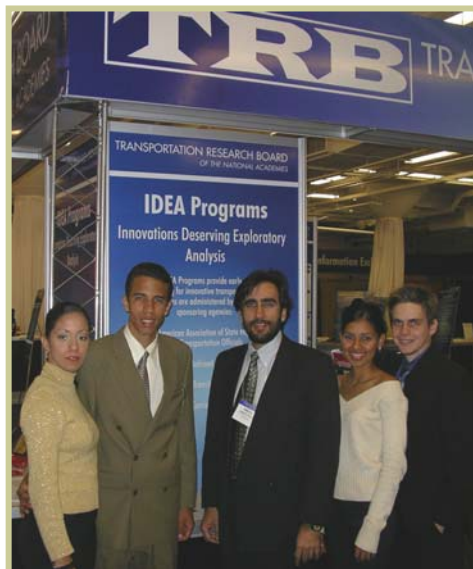
## ESTUDIANTES DEL DEPARTAMENTO REPRESENTAN A LA UNIVERSIDAD POLITECNICA EN CONGRESO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE

Tres estudiantes del programa de Ingeniería Civil (Gisselle Márquez, Francisco Serrano y Frances Tatis) junto a un estudiante de Arquitectura (Gilberto Vigo) y el profesor Amado Vélez, Director Asociado del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, representaron a la Universidad Politécnica de Puerto Rico en el 85º Congreso Anual del "Transportation Research Board" en Washington, DC del 20 al 26 de enero de 2006. Los estudiantes asistieron a varias presentaciones técnicas y de afiches y al "Dwight Eisenhower Transportation Fellowship Showcase". Además estudiaron el sistema de transporte intermodal de la ciudad de Washington como parte de la investigación que los mismos conducen en el Proyecto de Desarrollo Profesional en el Campo de la Transportación UPR/PUPR/ATI que nuestro Departamento conduce dirigido por los profesores Gustavo Pacheco y Amado Vélez, en conjunto con los Recintos Universitarios de Mayagüez y Río Piedras de la Universidad de Puerto Rico y la Oficina de Alternativa de Transporte Integrado de la Autoridad de Carreteras y Transportación de Puerto Rico.

El Transportation Research Board (TRB) es una división de las academias nacionales que asesoran al gobierno de los Estados Unidos de América en ciencias, ingeniería y medicina. Las academias incluyen a la Academia Nacional de las Ciencias, la Academia Nacional de Ingeniería, el Instituto de Medicina y el Consejo Nacional de Investigación. La misión de TRB es promover innovación y progreso tecnológico en transportación a través de investigación de alto nivel. Como parte de sus funciones TRB facilita en un ambiente interdisciplinario la transferencia de tecnología e información en la práctica y la política pública de transporte entre investigadores y practicantes de la profesión. En su esfuerzo por estimular investigación de excelencia, TRB disemina abiertamente los resultados de investigaciones y gestiona la implementación de los mismos cuando es meritorio. A manera de ejemplo, el código que se utiliza en los Estados Unidos y Puerto Rico para el análisis operacional de vías, "Highway Capacity Manual", es una publicación oficial de TRB como resultado de investigaciones conducidas por este organismo.

El 85º Congreso Anual de TRB tuvo una asistencia récord de 10,253 personas entre las cuales más de 5,000 fueron ingenieros y profesionales en el campo de la transportación en los Estados Unidos y de distintas partes del mundo. El Congreso, catalogado como el más grande en el ámbito internacional en su categoría, incluyó más de 2,600 presentaciones técnicas en 500 sesiones, 71 talleres especializados, 424 reuniones oficiales de comités técnicos, subcomités y equipos de trabajo y 91 sesiones de presentaciones personalizadas de afiches por sus autores. El 86º Congreso se celebrará nuevamente en Washington, DC del 21 al 25 de enero de 2007. El Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental espera enviar nuevamente una delegación de estudiantes y profesores para representar a la Institución y exponer los resultados de los proyectos de investigación realizados por nuestros estudiantes en los programas de investigación subgraduada y graduada que conduce el Departamento como lo son, entre otros, el Proyecto de Desarrollo Profesional en Transporte UPR/PUPR/ATI y el Programa de Investigación en Transportación Dwight Eisenhower apoyado por la Federal Highway Administration del cual la Institución es participe este año por vez primera gracias a la intervención del profesor Amado Vélez como parte de sus gestiones en el Congreso Anual de TRB y a la colaboración

de Gwen Sutton, Gerente del Programa.



**Grupo de la Universidad Politécnica en el Congreso Anual del Transportation Research Board. De izquierda a derecha: Frances Tatis, Gilberto Vigo, el profesor Amado Vélez, Gisselle Márquez y Francisco Serrano**

## POLYWEATHER INFORMA: EL CLIMA EN LA POLI EN LOS PRIMEROS CUATRO MESES DE 2006

De acuerdo a los datos recopilados por la Estación Meteorológica del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, localizada en el techo del Edificio de Laboratorios, el clima en la Universidad Politécnica durante los cuatro primeros meses de 2006 fue uno típico para la temporada de invierno/primavera en el Area Metropolitana de San Juan: mayormente seco de enero a marzo y húmedo en abril. La temperatura máxima durante este período fue de 88.0 °F (registrada los días 26 de marzo, 28 de abril y 30 de abril de 2006) y la temperatura mínima fue de 68.6 °F (registrada el 6 de enero de 2006). Las temperaturas máximas, mínimas y promedio en cada uno de los cuatro meses fueron las siguientes:

Mes	T (máxima)	T (mínima)	T (promedio)
Enero 2006	85.7° F	68.6° F	76.4° F
Febrero 2006	85.3° F	69.6° F	76.7° F
Marzo 2006	88.0° F	70.3° F	77.2° F
Abril 2006	88.0° F	70.4° F	79.4° F

Durante el período hubo siete días en que se midieron temperaturas por debajo de los 70 °F (cinco días en enero 2006 y dos días en febrero 2006), pero ningún día se midió una temperatura sobre los 90 °F.

Por otro lado, durante el período se registró lluvia (0.01 pulgadas o más) durante 61 días (19 días en enero 2006, 10 días en febrero 2006, 14 días en marzo 2006 y 18 días en abril 2006). El día de mayor precipitación pluvial lo fue el 23 de abril de 2006 con 2.49 pulgadas de lluvia, mientras que el período más seco fue de ocho días (entre el 2 y el 9 de marzo de 2006) cuando no se registró lluvia. Las cantidades de lluvia registradas en cada uno de los cuatro meses fueron las siguientes:

Mes	Lluvia registrada
Enero 2006	4.69"
Febrero 2006	1.31"
Marzo 2006	2.77"
Abril 2006	11.19"

La velocidad del viento más fuerte registrada durante los cuatro meses fue una ráfaga de 33 millas por hora, medida el 20 de enero de 2006, a la que siguieron ráfagas de 32 millas por hora el 21 de enero de 2006 y de 30 millas por hora los días 9 y 21 de enero de 2006.

Si necesitan tener información al instante de los datos que genera continuamente la Estación Meteorológica del Departamento pueden obtenerlos accediendo la página de Internet de la Universidad Politécnica <http://www.pupr.edu> y marcando el icono titulado PolyWeather o yendo directamente a la página <http://www.pupr.edu/offices.asp?ID=111>. Además, gracias al trabajo realizado por el Sr. Salvador A. Montilla del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental y el Sr. Eduardo Tirado de la Oficina de Puerto Rico del National Weather Service desde febrero de 2006 los datos recopilados por nuestra estación aparecen en los archivos de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Los datos pueden ser obtenidos conectándose a las página <http://www.findu.com/cgi-bin/wxpage.cgi?CW5312> y <http://www-frd.fsl.noaa.gov/mesonet>. El código asignado por la NOAA a nuestra estación es **CW5312 HATO REY PR US**.

## TRIMESTRE FA-06: CURSOS ELECTIVOS Y GRADUADOS

Los siguientes cursos subgraduados han sido programados para ser ofrecidos como Cursos Electivos en el Trimestre de Otoño (agosto a octubre de 2006):

CODIGO	TITULO	SECCION	PROFESOR
CE 5002	Civil Engineering Practice	30	José Borrageros
CE 5004	Advanced AutoCAD for Civil Engineering	20	Reinaldo Torres
CE 5050	Civil Engineering Undergraduate Research I	30	Gustavo Pacheco
CE 5106	Matrix Computer Analysis of Structures	26	Gustavo Pacheco
CE 5412	Applied Surface Water Hydrology	22	Brenda Martínez
ENVE 5620	Environmental Audits	23	Andrew Bonilla

Los siguientes cursos graduados han sido programados para ser ofrecidos en el Trimestre de Otoño (agosto a octubre de 2006):

CODIGO	TITULO	SECCION	PROFESOR
CE 6110	Earth Retaining Structures	31	Ricardo Romero
CE 6130	Geotechnical Earthquake Engineering	21	Carlos Piñero
CE 6150	Seepage and Drainage	20	Omaira Collazos
CE 6260	Analysis and Restoration of Fluvial Systems	21	Gregory Morris
CE 6300	Structural Engineering Laboratory	25	Leonel Almanzar
CE 6355	Advanced Earthquake Engineering	21	Balhan Alsaadi
CE 6325	Principles of Structural Stability	31	Bernardo Deschappelles
CE 6440	Physical and Chemical Treatment Processes of Water and Wastewater	25	Aluisio Pimenta
CE 6542	Construction Materials Management	25	Juan C. Piñero

Se exhorta a los estudiantes del Departamento que al hacer la Matrícula Adelantada (Pre-matrícula) o la Matrícula cotejen con sus mentores si cumplen con los requisitos para tomar alguno de estos cursos.

## ¿QUE SE ESTA HACIENDO EN CAPSTONE DE INGENIERIA CIVIL?

El curso Civil Engineering Capstone Design está siendo ofrecido por tres profesores: Raúl Martín, Dharma Delgado y Jorge Hidalgo. Uno de los grupos de estudiantes del profesor Martín trabaja en el desarrollo de la urbanización Spring Valley Courts en un predio de 11.35 cuerdas en el sector Peñoncillo del Barrio Sabana Llana de Juana Díaz. En el proyecto los estudiantes están diseñando 40 unidades de vivienda unifamiliares y 88 unidades en hilera de interés social, además de facilidades vecinales y áreas de recreación pasiva. Un segundo grupo trabaja en el diseño de una estructura multiuso de dos niveles para proveer espacios de oficina, comercios livianos, vivienda y estacionamiento a ser ubicados en el predio de aproximadamente seis cuerdas que actualmente ocupa el Estacionamiento Municipal de La Puntilla en el Viejo San Juan. La estructura tendrá un área de ocupación de 3,066 metros cuadrados por nivel y un área de estacionamiento de 13,255 metros cuadrados por nivel. Mientras tanto, un tercer grupo del profesor Martín trabaja en el desarrollo de un predio de terreno ubicado en la carretera PR-14, Km. 17.8, entre los Barrios Tijeras y Río Cañas de Juana Díaz. El proyecto incluye el diseño de 142 unidades de vivienda con una cabida mínima de 650 metros cuadrados cada una, la segregación de 56 solares adicionales con una cabida mínima de 1,500 metros cuadrados cada uno, así como la ubicación de un área recreativa de 13,158 metros cuadrados. Por último, un cuarto grupo de estudiantes de la sección del profesor Martín trabaja en el desarrollo de un proyecto de oficinas y área comercial en un solar de 4,880 metros cuadrados ubicado en la carretera PR-181 del Barrio Las Cuevas de Trujillo Alto. El edificio consistirá de tres niveles: un primer nivel con 8,562 pies cuadrados de área de construcción para el área comercial, y dos niveles con 23,070 pies cuadrados cada uno para oficinas. Además, el proyecto diseñado por los estudiantes tendrá un total de 214 espacios de estacionamiento en el primer nivel del edificio y en dos niveles soterrados.

Por otro lado, cada uno de los tres grupos de estudiantes de la sección de la profesora Delgado trabaja en el diseño de un edificio multipisos de oficinas y de un edificio de estacionamiento en Hato Rey, cercano a la Universidad Politécnica. Debido a que el lote asignado se encuentra dentro de un radio de 500 metros desde una de las estaciones del Tren Urbano, los estudiantes han utilizado para su desarrollo el Reglamento de Ordenación del Municipio de San Juan y el Reglamento de Ordenación de Distrito Sobrepuesto del Tren Urbano. El número de niveles propuestos en el edificio de oficinas y de espacios de estacionamiento varía por grupo.

Durante el trimestre WT-05, durante el curso Civil Engineering Capstone Design I los estudiantes visitaron las áreas a ser desarrolladas, analizaron los reglamentos para preparar el programa de diseño y capacidades permitidas, prepararon los diseños preliminares para la aprobación de los anteproyectos, así como las consultas de ubicación, evaluaciones ambientales, estudios hidrológicos, determinación de la infraestructura existente en los alrededores y obtención de los permisos y endosos necesarios de las agencias gubernamentales. Durante este trimestre SP-06, en el curso Civil Engineering Capstone Design II, trabajan en el diseño detallado de los proyectos con la preparación de planos finales y especificaciones que incluyen entre otros, el plan maestro con los movimientos de tierra a realizarse en base a las elevaciones propuestas, el diseño estructural, los detalles interiores, los sistemas de alcantarillados pluvial y sanitario y de distribución de agua potable, las calles y accesos, así como los estimados de costos y los diagramas de secuencia para el desarrollo de los proyectos.

Mientras tanto, los grupos de estudiantes que son dirigidos por el profesor Hidalgo están preparando un diseño preliminar de una propuesta extensión del Tren Urbano desde la Estación de Bayamón Centro, actual fin de la ruta, hasta Levittown. El propósito de este proyecto es el de estudiar y sustentar la tesis de que la próxima inversión más costo efectiva en el Tren Urbano consiste en proveer facilidades necesarias para brindarle acceso a este sistema de transportación masiva a todos los posibles usuarios que discurren hacia el centro de la ciudad desde la zona oeste del Área Metropolitana. Los cálculos preliminares, determinados durante el estudio que realizaron los estudiantes durante el trimestre WT-05, indican que una inversión de alrededor de \$150 millones de dólares permite construir la extensión con un viaducto de cinco kilómetros y tres estaciones, sin necesidad de adquirir más vagones ni ampliar el centro de mantenimiento del proyecto y con un impacto mínimo en el tiempo de espera del tren. Los beneficios para la comunidad y el sistema del Tren Urbano son múltiples ya que al presentarles tres nuevas estaciones con facilidades de estacionamiento a todos los viajeros que discurren hacia el Área Metropolitana de San Juan desde Dorado, Toa Baja, Toa Alta, Vega Alta, Vega Baja y otros municipios cercanos, el incremento en usuarios del tren se proyecta en casi un 30 por ciento, representando de esta manera la inversión con una razón de costo a usuario más efectiva y, por lo tanto, la mejor opción para el país. Durante este trimestre los estudiantes trabajan en la preparación de los planos preliminares de las tres estaciones, del viaducto y de los estacionamientos para automóviles.

## ¿QUE SE ESTA HACIENDO EN CAPSTONE DE INGENIERIA AMBIENTAL?

### CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA DE PUERTO RICO PARA CONTROL DE INUNDACIONES Y PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE

El agua es un recurso natural esencial a la sobrevivencia de los seres humanos, que la necesitamos para usos diversos. Basta decir que el agua compone aproximadamente 75% del cuerpo humano. El agua ha sido considerada históricamente como un recurso infinito y de bajo costo, ya que los recursos hídricos son públicos y nos queda la percepción de que son constantemente renovados por el ciclo hidrológico. Sin embargo, durante el último siglo, se ha creado la conciencia de que el aspecto cualitativo del agua potable es más importante que el aspecto meramente cuantitativo, y que necesitamos fuentes de abasto que nos permitan distribuir a las poblaciones un producto que de ninguna manera afecte la salud humana. El riesgo de propagación de enfermedades a través del consumo de agua es hoy bastante conocido. El caso de las epidemias de cólera en Europa en el siglo XIX es clásico, y fueron relacionadas a la contaminación de fuentes de abasto de agua por las observaciones del Dr. John Snow en Inglaterra.

La contaminación de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, han aumentado exponencialmente en función de las actividades antropogénicas, que descargan contaminantes y interfieren con la corteza terrestre. Actualmente, la preocupación con la preservación de los recursos hídricos y con la calidad del agua distribuida al público es muy grande. Esto ha generado un complejo de leyes bastante sofisticado, representado en los Estados Unidos por la Ley de Agua Limpia (Clean Water Act) y la Ley de Agua Potable (Safe Drinking Water Act). La Ley de Agua Limpia impone estándares de calidad a todos los sistemas públicos de agua potable en los Estados Unidos, lo que impone entre la fuente de abasto y el sistema de distribución una planta de tratamiento que garantice la calidad del agua distribuida. La ley creó un sistema de permisos (NPDES) que controla fuentes de contaminación que descargan a aguas superficiales en territorio americano. Esas fuentes pueden ser puntuales, cuando provienen de un punto determinado, como una planta de tratamiento de aguas usadas municipal o industrial, o no puntuales, que se caracterizan por una generación difusa, distribuida por un espacio lineal o por un área. Estas últimas fuentes son actualmente la gran preocupación con relación a la contaminación de los recursos hídricos, pues son más difíciles de controlar. Ejemplos son las escorrentías de campos de agricultura, las áreas en construcción, los parques industriales y las áreas urbanas.

La Agencia de Protección Ambiental federal (EPA) ha empezado a imponer reglas a los generadores de escorrentía pluvial contaminada y actualmente exige permisos de descarga a algunas áreas industriales y áreas en construcción. Además, ha comenzado a exigir de los municipios planes de acción que describan las medidas mitigadoras que serán implementadas en el futuro para minimizar el impacto de sus escorrentías pluviales a los cuerpos de agua donde descarguen. Esto significa que los municipios deberán en un futuro próximo exigir de sus constituyentes el control de sus escorrentías, principalmente aquellos que ocupen áreas significativas como centros comerciales, escuelas, hospitales, y otros.

Otra cuestión relacionada a las escorrentías urbanas es la relacionada con las inundaciones. El hecho que la urbanización en las ciudades ha eliminado los espacios para filtración de agua de lluvia contribuyó al aumento de los caudales de escorrentía urbana. Esto acoplado al pobre manejo de desperdicios sólidos por parte de la población, que tira basura por las vías públicas que obstruye las alcantarillas, ha desarrollado problemas serios de inundación.

Dentro de este contexto se desarrolló la idea del proyecto del curso Environmental Engineering Capstone Design que dirige el profesor Aluisio Pimenta. El proyecto se enfoca en la minimización de escorrentía pluvial a través de la utilización de ese recurso como fuente de abasto para agua potable. El área seleccionada para el estudio fue el campus de la Universidad Politécnica, que padece desde hace años con inundaciones cuando eventos extremos de lluvia ocurren. El problema se agrava dada la existencia de un sistema combinado de escorrentías pluviales y sanitarias en el área de Hato Rey, aumentando el riesgo de propagación de enfermedades entre los seres que tengan contacto con las aguas desbordadas durante la inundación. Los beneficios que se han identificado en dicho proyecto, además del control de inundaciones que han causado pérdidas materiales e inconvenientes de movilización a los estudiantes y empleados de la Universidad y la minimización del riesgo de contacto con escorrentías contaminadas, lo son la eliminación del consumo de agua del sistema de abasto público de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico con la disminución de la demanda y el alivio a ese sistema y los beneficios académicos a la Institución, tales como el pionerismo en dicha iniciativa, la cual puede ser utilizada por otras instituciones que padezcan de la misma situación, y el uso educacional de las instalaciones diseñadas por los estudiantes.

El proyecto comenzó en el trimestre WT-05 cuando se desarrolló el diseño conceptual. Este consistió en el desarrollo de la idea básica, desde la identificación del problema, estudio de trasfondos físicos, legales y técnicos, la propuesta y el dimensionamiento básico. El concepto es el de separar el agua recolectada en los techos de los edificios para tratamiento de agua potable y la de los pisos y pavimentos, que sería igualada en una laguna a ser situada en el área verde colindando con la Avenida Ponce de León, antes de descarga a la tubería de alcantarillado ubicada en la misma. El diseño de dicha laguna respetaría todos los aspectos relacionados a posibles impactos ambientales, generando un aporte visual y estético positivo a esa área, sin la destrucción de alguno de los árboles existentes. El agua de los techos sería recolectada y almacenada en la cisterna que se ubica bajo el estacionamiento de estudiantes y después tratada con ultrafiltración y desinfectada por radiación ultravioleta para su distribución a los distintos edificios.

En este trimestre SP-06 los estudiantes están dimensionando el sistema, con el desarrollo de diagramas de proceso, balances de masa y energía, lay-outs, selección de equipos, instrumentos, y líneas, estudios de impacto ambiental y un estudio de viabilidad económica, además de especificaciones técnicas para la adquisición de todos los equipos principales y la construcción de los tanques necesarios.

## LOS CAPITULOS ESTUDIANTILES INFORMAN:



### AMERICAN CONCRETE INSTITUTE

La Directiva del Capítulo Estudiantil de la Universidad Politécnica del American Concrete Institute (ACI) informa que logró participar en la competencia del “Egg Protection Device”. La misma se llevó a cabo el 26 de marzo de 2006 durante la Convención de Primavera del ACI en Charlotte, Carolina del Norte. Esta competencia consistía en diseñar y construir un aparato de hormigón u hormigón reforzado que soportara grandes cargas de impacto y que protegiera un huevo colocado bajo el mismo. Dos grupos de la Universidad Politécnica pusieron empeño en este proyecto y diseñaron modelos para cumplir con este propósito. Después de varias pruebas, sólo un grupo logró cumplir su meta de hacer el modelo y que alcanzara el peso ideal requerido. Los integrantes de este grupo fueron Francheska Seijo, Yancarlo Mondríguez y Ennio Pesquera. Después de varios intentos y vencer varios obstáculos, el modelo que participó en la competencia fue fundido en el Laboratorio de Materiales de Construcción del Departamento el 20 de marzo de 2006. Por esta razón, el modelo no tuvo el tiempo de curado óptimo de 28 días y no pudo alcanzar su resistencia ideal a la fecha de la competencia. La meta era que resistiera impacto desde tres metros de altura, pero el modelo resistió un impacto máximo desde solamente un metro de altura.

En la competencia participaron estudiantes de universidades de México, Brasil, Estados Unidos y Puerto Rico divididos en trece equipos. El equipo de la Universidad Politécnica alcanzó el undécimo lugar. Fue la primera vez que nuestra Universidad tuvo la oportunidad de participar en esta competencia. Esto fue un logro ya que anteriormente la única institución que representaba a la Isla lo era el Recinto de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico. El Comité del ACI encargado de organizar las competencias de estudiantes quedó muy satisfecho con la participación de la Universidad Politécnica.

Esta competencia y la participación en la Convención del ACI abrieron nuevas puertas a nuestros estudiantes ya que dio a conocer la Universidad Politécnica y la calidad de los estudiantes del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Algunos representantes de instituciones como la Universidad de Nueva York en Buffalo y la Universidad de Carolina del Sur indicaron sus intenciones de ofrecer ayudas económicas y proyectos de investigación a estudiantes de la Universidad Politécnica de Puerto Rico que deseen seguir estudios graduados en esas universidades. El Capítulo Estudiantil del ACI está muy satisfecho de haber servido como mediador para que los estudiantes del Departamento puedan alcanzar sus metas futuras y seguir estudios graduados. Se exhorta a los estudiantes a ser parte de este Capítulo para que aprovechen las grandes oportunidades que el mismo ofrece.

La meta actual del Capítulo es participar en la competencia que se llevará a cabo el 5 de noviembre de 2006 durante la Convención de Otoño de la ACI en Denver, Colorado. El tema de la competencia es la fabricación de una bola de boliche hecha en hormigón monolítico y cuyo único refuerzo sean fibras. Las especificaciones de la competencia se encuentran en la página de Internet [www.concrete.org](http://www.concrete.org). También pueden comunicarse con la profesora Ginger M. Rossy a la dirección [gmrossy@hotmail.com](mailto:gmrossy@hotmail.com) para más información. Próximamente, el Capítulo Estudiantil, en coordinación con el Capítulo Profesional del ACI, estará organizando presentaciones y seminarios sobre el uso de fibras y aditivos en el hormigón para dar así apoyo a los interesados en participar en la competencia. Se espera que los estudiantes del Departamento se motiven a participar y representar a la Universidad Politécnica. También durante este trimestre SP-06 se llevarán a cabo las elecciones para escoger la próxima directiva del Capítulo. La fecha para las mismas se anunciará en los tabloncillos de edictos del Departamento.



Miembros del equipo que representó a la Universidad Politécnica de Puerto Rico en la competencia “Egg Protection Device” en la Convención del American Concrete Institute con su modelo POLY. De izquierda a derecha, Ennio Pesquera, Francheska Seijo y Yancarlo Mondríguez.

## LOS CAPITULOS ESTUDIANTILES INFORMAN:



### COLEGIO DE INGENIEROS Y AGRIMENSORES DE PUERTO RICO

La Directiva del Capítulo Estudiantil de la Universidad Politécnica del Instituto de Ingenieros Civiles del Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico (CIAPR) desea felicitar a todos los graduandos del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, especialmente a los miembros del Capítulo, y muy en especial a la Presidenta de la Clase Graduanda, Yvette M. Martínez Gallo. Yvette ha sido una fiel colaboradora del Capítulo Estudiantil, de la Clase Graduanda 2006 y ha sido una estudiante ejemplar de nuestro Departamento. A ella y a todos los graduandos les desean mucho éxito en la nueva etapa de sus vidas que ahora comenzarán y les recuerdan que tanto en nuestra profesión como en las demás surgen nuevas tecnologías a diario, por lo que no deben olvidar que la Educación Continua les hace mejores profesionales para que así puedan poner en alto y con mucho orgullo el nombre de la Universidad Politécnica y las profesiones de Ingeniería Civil e Ingeniería Ambiental. **¡FELICIDADES GRADUANDOS!**

El 27 de marzo de 2006 la Directiva del Capítulo, en colaboración con la profesora Ginger Rossy, auspició el seminario "Diseño de Muros de Retención y Pavimentos Flexibles: Aplicaciones de las Geomallas como Refuerzos Estructurales". El mismo fue ofrecido por la compañía R&R Engineering Products. Los conferenciantes, el Ing. Reinaldo Vega y el Ing. Scout Hughey, ambos de la compañía Tensar Herat Technologies, les presentaron a los estudiantes como los geosintéticos, que son una nueva tecnología, están comenzando a tener auge en Puerto Rico. Esta tecnología combina mallas geosintéticas para reforzar los muros de contención y así éstos pueden ser más estables. La conferencia tuvo una asistencia de sobre veinte estudiantes.

El Capítulo también informa que durante el trimestre de Otoño 2006 se estarán llevando a cabo las elecciones para escoger una nueva directiva y se estarán realizando las inscripciones oficiales para el año académico 2006-2007.



### AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

El Capítulo Estudiantil de la Universidad Politécnica de la American Society of Civil Engineers (ASCE) anuncia que está en la búsqueda de estudiantes interesados en ser parte de la directiva del Capítulo ya que la mayoría de los miembros de la actual directiva terminan sus estudios en este trimestre SP-06. Para estos efectos se estará realizando una reunión el lunes 8 de mayo de 2006 al mediodía en la Sala B de la Biblioteca para escoger una nueva directiva. Aquellos interesados en formar parte de la misma deberán asistir a dicha reunión al igual que los actuales miembros del Capítulo para que voten por los candidatos. Aquellos interesados en más información pueden enviar un correo electrónico a la dirección [asce\\_poli@yahoo.com](mailto:asce_poli@yahoo.com).

La actividad pautada para este trimestre académico, una visita a la construcción de los puentes de la carretera PR-10 en Utuado, donde se estarán construyendo in-situ vigas estilo "pre-cast", no se ha podido realizar ya que el proyecto se encuentra detenido por la falta de permisos que no han sido otorgados por la Autoridad de Carreteras y Transportación. Si esta situación no se resolviese antes de que finalicen las clases de este trimestre, la visita será pospuesta para el trimestre de Otoño 2006.

## NUEVA PROFESORA EN EL DEPARTAMENTO

Una profesora se ha incorporado a tarea parcial a la Facultad de nuestro Departamento durante este trimestre SP-06. La profesora Deborah Santos Román, quien tiene un doctorado en Ingeniería de Recursos de Agua, está ofreciendo el curso CE 6210 "Probability and Statistics in Water Resources Engineering". Actualmente, la Facultad del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental la componen 27 profesores a tarea completa, dos de los cuales están haciendo sus estudios doctorales fuera de Puerto Rico, y 25 profesores a tarea parcial.

## UTILIZACION DE CARBON ACTIVADO EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA

El carbón activado es el carbón que tiene una ligera carga electro-positiva que le permite que químicos e impurezas sean atraídos hacia él. Los filtros de carbón activado son implementados tanto como para el tratamiento de agua potable como para el tratamiento de aguas usadas. Los filtros de carbón activado son utilizados para reducir o eliminar los malos olores, malos sabores y otros contaminantes en los sistemas de abasto de agua. El carbón activado se utiliza, además, para la depuración de aguas subterráneas, la remoción del cloro residual en el agua, la depuración de aguas para piscinas y el refinamiento de las aguas residuales tratadas. El carbón activado tiene dos variaciones: carbón activado en polvo y carbón granular activado. Los filtros de carbón granular activado pueden remover o reducir compuestos orgánicos e inorgánicos, metales pesados, ozono, percloratos, materia orgánica disuelta, pesticidas, herbicidas, solventes, sustancias no polares (aceite mineral y poli-hidrocarburos aromáticos), sustancias halogenadas, olor, sabor, levaduras, varios productos de fermentación y sustancias no solubles en agua. En estos filtros el agua pasa sobre la superficie del carbón cargado positivamente y los iones negativos de los contaminantes son atraídos hacia la superficie de los gránulos de carbón. Este proceso se conoce como adsorción.

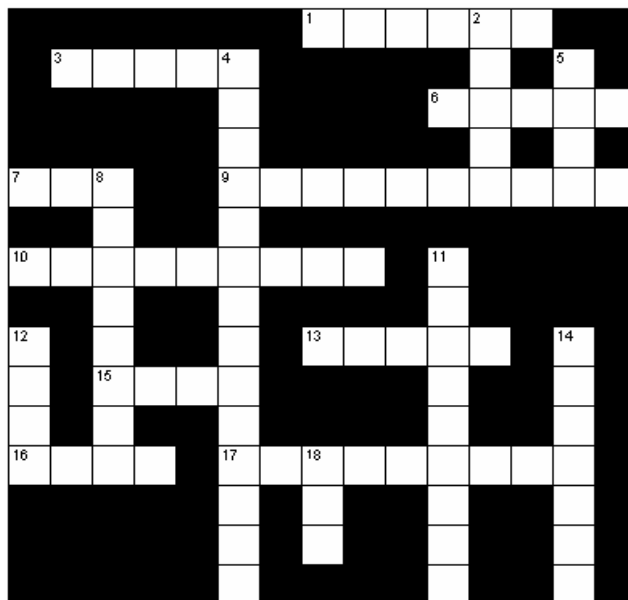
Debido a los problemas de contaminación de las aguas se han diseñado métodos o procesos para garantizar sistemas de tratamientos que provean agua segura y libre de contaminantes para los ciudadanos. Uno de estos procesos diseñados ha sido la utilización de carbón granular activado para poder remover los malos olores, malos sabores en las aguas para potabilizar y en las aguas usadas. Y, debido a los problemas de contaminación en los cuerpos de agua y para establecer mejores sistemas de tratamientos la Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA) ha establecido estándares de seguridad para más de 90 contaminantes que puedan encontrarse en el agua potable y que puedan representar un riesgo para la salud. La Ley de Agua Potable Segura ("Safe Drinking Water Act") le da a la EPA la responsabilidad de establecer estándares nacionales sobre el agua potable para proteger la salud de las personas que obtienen el agua de los sistemas de agua públicos. La EPA y los gobiernos estatales establecen y hacen cumplir los estándares. Los gobiernos locales y los proveedores de agua privados tienen la responsabilidad directa de la calidad del agua que fluye a través del sistema y llega hasta los hogares.

Los filtros de carbón granular activado tienen dos propósitos: filtración y adsorción. Filtración es el proceso mediante el cual se separan de un líquido las partículas sólidas que pueda tener en suspensión y la adsorción es el proceso donde un sólido se utiliza para remover una sustancia soluble del agua. El proceso de filtración se da cuando el agua es bombeada dentro de una columna que contiene el carbón activado y sale de la misma a través de un sistema de drenaje. El agua pasa a través de la columna constantemente, lo que produce una acumulación de sustancias en el filtro. Mientras tanto, el proceso de adsorción ocurre en tres pasos:

- Macro-transporte: El movimiento del material orgánico a través del sistema de los macroporos del carbón activado (tamaño de los macroporos es mayor de 50 nm).
- Micro-transporte: El movimiento del material orgánico a través del sistema de los microporos del carbón activado (tamaño de los microporos es menor de 2 nm).
- Adsorción: La adhesión física del material orgánico en la superficie del carbón activado en los mesoporos y microporos del carbón activado (tamaño de los mesoporos oscila entre 2 nm y 50 nm)

El nivel de actividad de la adsorción se basa en la concentración de las sustancias en el agua, la temperatura y la polaridad de las sustancias. Una sustancia polar (sustancia soluble en agua) no puede ser eliminada o es difícilmente eliminada por el carbón activado, una sustancia no polar puede ser totalmente eliminada por el carbón activado. Dos factores que afectan el funcionamiento de los filtros de carbón activado son: la cantidad de carbón en el filtro y el tiempo que el contaminante está en contacto con el filtro de carbón. Es por esto que a mayor cantidad de carbón y menor flujo de agua, mejor es la remoción de contaminantes. Un flujo lento de agua a través del filtro provee mayor tiempo de contacto entre el contaminante y el carbón activado. Los filtros deben cambiarse frecuentemente dependiendo de su razón de uso, volumen de agua y cantidad de filtros utilizados. Esto para prevenir que la acumulación de contaminantes y bacterias puedan reducir su eficiencia. La acumulación de contaminantes y bacterias reducen el área de contacto del carbón y reduce el flujo de agua a través del filtro.

## CRUCIGRAMA DE INGENIERIA DE TRANSPORTACION



1. Cantidad de dinero que es cobrado por el uso de un modo de transporte público
2. Número de vehículos que pasa un punto dado en un segmento de carretera en una hora
3. Regiones dentro de un área de estudio que contienen usos homogéneos de terrenos
4. Exceso de elevación del borde de una carretera con respecto a la línea de centro que se añade para crear un plano inclinado transversal que impida que un vehículo sea desplazado por la fuerza centrífuga generada a causa del movimiento curvilíneo y el radio de curvatura asociado al mismo
5. Tiempo de verde y amarilla asignado a un grupo de movimientos en común en una intersección semaforizada
6. Conjunto de vías entre origen y destino
7. Sistema de rutas
8. Número de vehículos por milla o kilómetro lineal en un carril de un segmento de carretera
9. Puntos equidistantes a lo largo de la alineación de una vía usados para la localización y replanteo de la misma
10. Razón de cambio en elevación de la superficie de una carretera por cada 100 unidades de recorrido longitudinal
11. Razón de cambio en distancia por unidad de tiempo
12. Colección de vehículos sumamente juntos a lo largo de un carril
13. Tiempo que toma una secuencia completa de señales en una intersección semaforizada
14. Término en inglés que describe el tiempo de llegada a una parada, estación o terminal entre autobuses consecutivos
15. Siglas en inglés del volumen direccional horario de diseño
16. Se determina dividiendo el tráfico total anual en un segmento de carretera entre 365
17. Número máximo de vehículos que puede pasar en un espacio de tiempo dado por un segmento de vía
18. Medida de uniformidad de la razón de llegada del flujo vehicular en la hora pico

(La solución al Crucigrama de Ingeniería de Transportación aparecerá en el próximo Boletín)

## ESTUDIANTES DE INGENIERIA ELECTRICA DESARROLLAN REGISTRADOR DE TRAFICO VEHICULAR PARA EL LABORATORIO DE INGENIERIA DE CARRETERAS Y TRANSPORTACION

Una de las tecnologías usadas para recolectar los datos necesarios para hacer un estudio de accesos o de tránsito son los recolectores o registradores de tráfico vehicular (“tally counters”). Estos instrumentos son máquinas portátiles y livianas que recopilan, almacenan y organizan los datos de diferentes movimientos vehiculares en un acceso o intersección en intervalos de tiempo predeterminados. Los datos almacenados son transferidos mediante el uso de “software” a una computadora para entonces analizar los mismos teniendo, entre otras herramientas computacionales, representaciones tabuladas y gráficas de los datos que permiten estudiar los movimientos vehiculares en horas y direcciones específicas y realizar análisis estadísticos y de proyección probabilística de los mismos.

El Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Politécnica de Puerto Rico sugirió como un proyecto potencial de un curso de Capstone el diseñar un registrador de tráfico vehicular ya que los estudiantes tienen la necesidad de estos instrumentos para recolectar los datos necesarios para poder realizar estudios de tránsito como parte de los proyectos asignados en los cursos CE 4306 y CE 4307. Un grupo de estudiantes del Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras y Ciencias de Computadoras (Noemí Escalera Renta, Damaris Rodríguez Rosario y Alex Mújica Ortiz) que tomaron el curso Electrical Engineering Capstone Design, dirigido por el Dr. Román López Bonilla, se dio a la tarea de crear un prototipo funcional y liviano que llenara las necesidades de nuestro Departamento y añadió un formato de memoria removible no existente en las máquinas en el mercado.

El grupo comenzó durante el trimestre WT-05 con la recopilación de datos e investigación de las partes electrónicas requeridas para la construcción del mismo, durante las cuales encontraron que el microprocesador OOPIC-C de Savage Innovations (Figura 1) es liviano, pequeño y fácil de programar, pero que tiene la desventaja de la cantidad de puertos de entrada y salida. Este primer problema fue resuelto utilizando dos codificadores de 8 a 3 y una compuerta lógica AND, creando así, un codificador de 16 a 4 (Figura 2), que reduce las compuertas requeridas de 12 a 4. Después continuaron con la programación del microprocesador, el cual utiliza la programación de objetos predefinidos, lo que facilita el resultado final. El problema estriba en aprender a trabajar con los objetos y el comportamiento de los mismos. Para ello los estudiantes adquirieron el libro “How To Program the Oopic Microcontroller” de Savage Innovations, en el cual se muestra el funcionamiento de los objetos del microprocesador y que utilidad darle a los diferentes puertos de entrada y salida, además del funcionamiento de los convertidores de análogo a digital.

Después de aprender a programar el microprocesador, los estudiantes trabajaron con la interfase entre el microprocesador y el módulo de memoria, UMMC de Rouge Robotics (Figuras 3 y 4) utilizando comandos ASCII, de manera que los datos recolectados se almacenaran en el formato deseado. Le siguió el trabajo con el LCD (Figura 5), pantalla donde se refleja el estatus interno de la máquina y la vida útil que le queda a la batería en uso. Una de las partes más importantes del trabajo, era saber el estatus de la batería y cómo lograr que los datos no se perdieran antes de apagar la máquina. Para ello los estudiantes construyeron un divisor de voltaje ya que los puertos de entrada del microprocesador sólo resisten 5 voltios de entrada y la batería usada es de 9 voltios. Después conectaron el divisor a una de las compuertas de análogo a digital ya integradas en el mismo, adquirieron el valor numérico para cada voltaje y el de voltaje crítico y diseñaron una rutina para verificar estos valores y tomar las medidas de precaución para no perder los datos recopilados.



Figura 1

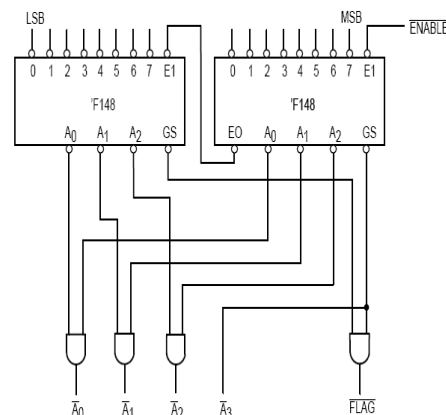


Figura 2

## ESTUDIANTES DE INGENIERIA ELECTRICA DESARROLLAN REGISTRADOR DE TRAFICO VEHICULAR PARA EL LABORATORIO DE INGENIERIA DE CARRETERAS Y TRANSPORTACION

Una vez tuvieron los componentes funcionando y comunicándose entre sí, modificaron una caja para que fuera lo que los uniera y lograr así la meta de construir una máquina portátil, funcional y liviana. La misma, llamada MTC prototipo I (Figura 6), pesa 13.5 onzas y mide 4" x 6", teniendo la capacidad de almacenar los datos en una memoria removible y la habilidad de indicar la vida útil de la batería. La misma comenzará a ser utilizada próximamente en el Laboratorio de Ingeniería de Carreteras y Transportación del Departamento. Los estudiantes que laboraron en el desarrollo del registrador de tráfico vehicular recomiendan que en próximas versiones de la máquina, la misma pueda tener una batería con capacidad de ser recargada con una conexión para recargarla, un reloj interno para que los datos sean recopilados en un tiempo exacto y preciso, y con mejoras al código del microprocesador.



Figura 3



Figura 4



Figura 5



Figura 6

## DIRECTIVA CLASE GRADUANDA 2007

La Directiva de la Clase Graduanda 2007 de la Universidad Politécnica de Puerto Rico fue elegida en Asamblea celebrada el 19 de abril de 2006. Las principales posiciones de la nueva Directiva, incluyendo la Presidencia, recayeron en estudiantes de nuestro Departamento al igual que en las Directivas de las Clases Graduandas 2005 y 2006. La Directiva quedó constituida de la siguiente manera:

Estudiante	Posición	Programa de Estudio
Deborah Hernández Cedeño	Presidenta	Ingeniería Civil
José M. Rodríguez Polanco	Vicepresidente	Ingeniería Eléctrica
Marta Pérez Figueroa	Tesorera	Ingeniería Civil
Javier E. Santana Lamouth	Sub-tesorero	Ingeniería Civil
Raul Valles Laureano	Secretario	Ingeniería Eléctrica
Josué Rivera Reyes	Sub-secretario	Ingeniería Civil

A la fecha de edición de este Boletín las posiciones de los Vocales en la Directiva no habían sido elegidas. Se exhorta a todos los profesores y estudiantes del Departamento a que apoyen a este grupo de estudiantes en sus iniciativas y proyectos.



Directiva de la Clase Graduanda 2007

## ¿SABIAS QUE...?

El Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental y La Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Puerto Rico laboran junto al National Park Service y el Instituto de Cultura Puertorriqueña en la restauración de la Iglesia San José en el Viejo San Juan. Las pruebas de compresión y "splitting" a los morteros de cal y arena que se están utilizando en dicho proyecto se están realizando en el Laboratorio de Materiales de Construcción de nuestro Departamento.

## PRIMERO DE JULIO DE 2006: XXVII COLACION DE GRADOS

Muchas felicitaciones a la Clase Graduanda 2006 de la Universidad Politécnica de Puerto Rico a nombre de la Facultad del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

## COMPARACION DEL DISEÑO DE PUENTES SEGUN EL AASHTO LFD USANDO EL MODELO HS 30 DE CARGA VIVA Y EL AASHTO LRFD USANDO EL MODELO HL 93 DE CARGA VIVA

*El siguiente artículo fue preparado por Luis F. Suárez Alvarado, quien completó un grado de Maestría en Ingeniería Civil en la Universidad Politécnica de Puerto Rico en 2005, y el profesor Leonel Almanzar Micheli, Director del Programa Graduado del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Politécnica de Puerto Rico.*

El enfoque principal de este proyecto es establecer un diseño comparativo de un puente de tres luces y vigas pretensadas AASHTO tipo VI bajo las Especificaciones Estándares actuales para Puentes y Carreteras de AASHTO (también conocido como LFD) decimoséptima edición y bajo las nuevas Especificaciones de Diseño para Puentes AASHTO (LRFD). Este trabajo trata las diferencias en las metodologías de diseño, procedimiento de los cálculos y el diseño resultante. Una de las diferencias primarias entre las especificaciones de LFD y de LRFD es la carga viva y su aplicación. Por esa razón, la aplicación más distintiva en este trabajo comparativo es la investigación del comportamiento del actual camión de diseño de carga viva de Puerto Rico contra el nuevo modelo de camión de diseño bajo las nuevas especificaciones. Puesto que el nuevo modelo de carga viva combina los efectos del camión anterior de diseño en adición al carril de diseño y dado que el camión de Puerto Rico es una versión modificada del camión de diseño en LFD, por lo tanto se pueden esperar diferencias entre los efectos de la carga viva. Aunque el puente se evalúa incluyendo cargas de terremotos, ni el refuerzo transversal de las columnas ni la fundación de las pilastras se diseñaron para fuerzas de bisagra plástica. El diseño de LRFD resultó ser similar en algunos aspectos a las especificaciones de LFD, pero también con diferencias significativas en; como por ejemplo: el número de los cables para las vigas interiores, el refuerzo principal de las columnas y el refuerzo de cortante en las vigas. Las nuevas especificaciones de LRFD están más actualizadas con la investigación y los procedimientos de diseño más recientes mientras que para las especificaciones estándares no se ha hecho ninguna nueva investigación desde 1994 que se publicó el LRFD.

### Introduction

At present time industries like construction, pharmaceutical, commercial and many others, benefits from the advances in the transportation systems. Nevertheless, these progress could not been done if the regulations and standards for the design and construction of roads and bridges have not been developed.

The AASHTO Specifications for Highway Bridges establishes the live loads, dead loads and others that will be use for the design of bridges. The live load is represented by a design truck. This truck has a configuration of axles (weight and spacing) which objective is to represent the more critical load conditions that the bridge would be submitted during its useful life. The effect of the vehicular loads influences greatly in the reduction of the life utility of the bridges, this is equivalent to additional millionaire costs annually to maintain in satisfactory state the road network of Puerto Rico (Colucci et al., 2002). The particular conditions of the island require load limits over the ones stipulated by the federal legislation; because of this the legal loads in Puerto Rico were increased to a maximum of 110,000 pounds. To adjust the applicable loads on the bridges and in order not to exceed the allowable stresses permitted by the code there is a modification to the Standard Specifications in the Puerto Rico's Guidelines of Design by the "ACT" (1996), which adopted a design truck with a load equivalent to 150% of the weight of the axles of the HS 20 truck. This truck is designated as the HS 30, truck loading and lane loading (Fig. 1).

AASHTO adopted in 1999 the LRFD code as the primary design specification. This new code specifies a new live load model that produces greater force envelopes than the previous live load model in LFD. The Puerto Rico's Highway Authority will implement the new LRFD Specifications as the primary design code for Puerto Rico starting from January first of 2006.

The new AASHTO LRFD Bridge Design Specification is the result of continuous improvement since AASHTO adopted the first national bridge code in 1931. The code had changed from Working Stress Design (WSD) in 1931 to Load Factor Design in 1975 and now to the Load and Resistance Factor Design (LRFD) 3<sup>rd</sup> Ed. 2004 (Lwin, 1999). The *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) philosophy deals with the uncertainty of an event's occurrence in nature; in other words with the probability of the occurrence of an event. In terms of designs considerations the LRFD predicts how often the loads will be greater than the resistance of a structure. This design method involves factoring both loads and resistance. This mathematical model is not intended to result in designs radically different from those based on older methods since it was calibrated to representative design of the earlier methods.

## COMPARACION DEL DISEÑO DE PUENTES SEGUN EL AASHTO LFD USANDO EL MODELO HS 30 DE CARGA VIVA Y EL AASHTO LRFD USANDO EL MODELO HL 93 DE CARGA VIVA

### 1.1. The AASHTO's LRFD Method

The LRFD method constitutes an improved approach that uses various limits of structural usefulness called *limit states* as bases for design. The LRFD design criteria ensure that a limit state is violated only with an acceptably small probability by selecting load and resistance factors on a probability based approach. Therefore the AASHTO's LRFD design philosophy will lead to bridges exhibiting superior serviceability enhanced long-term maintainability and more uniform levels of safety (Taly, 1998).

The LRFD live load model, designated HL 93, was developed as a notional representation of shear and moment produced by a group of "above-legal-limit" vehicles routinely permitted on the highways in various states under the "grandfather" exclusion provisions to weight laws (Fig. 2). The Live load application in the LFD Specifications is the larger of HS 20 truck or HS 20 lane, in the LRFD Specifications the live load is apply using the design truck + design lane or design tandem + design lane. The design truck for LRFD is the familiar AASHTO's LFD HS 20 truck.

These new Specifications provided a new standard for bridge design that addressed several of the perceived problems in the LFD Specifications. Another concern was the desire to incorporate the most recent design philosophies and to take advantage of the properties of new construction materials or to expand the applicability of existing materials (Nielsen et al., 2002).

### 1.2 The AASHTO's LFD Method

The early AASHTO specifications were based on the working stress design philosophy, which considered all loads with the same level of uncertainty. Beginning in 1970, these specifications were gradually modified, by adjusting design factors to reflect the variability of certain load types, such as vehicular loads and wind forces. The *Load Factor Design* (LFD) was introduced in 1973 in the eleventh edition of the AASHTO specifications. Since then, the specifications have been revised every four years to incorporate the new knowledge found through research and development. After the LRFD Specifications had been adopted by the DOT the standard specifications can only be use for maintenance and rehabilitation of the bridges and structures designed before January 1, 2006.

## 2. Problem Statement

This project is oriented to provide analytical comparison between the AASHTO's LRFD and LFD design methods by studying a concrete bridge with pre-stressed beams.

The project will attain the following specific objectives:

1. Present and discuss some of the differences and similarities when designing a bridge by the AASHTO's LFD using the HS 30 (PR design truck) and when designing by the AASHTO's LRFD using the HL 93 design truck.
2. Compare the bridge member's dimensions and reinforcement obtained from the two design specifications.
3. Evaluate and discuss the member's stresses and forces obtained from the two design specifications.
4. Estimate material quantities and present and comment a cost study comparison between the two design specifications.

### 2.1 Relevance of the Project and Expected Contributions

In 1999 AASHTO adopted the LRFD Design Specifications as the primary design specifications for highway bridges in the United States also the Federal Highway Administration (FHWA) has establish October first of 2007 as the limit date for implementation of the LRFD code to be able to use federal funds for the design of bridges and structures.

This project emphasizes on the behavior and result of designing for the Puerto Rico's actual live load model of LFD versus the new specifications design live load model. Additionally it will investigate the required reinforcement quantities of the bridge members to study the variability of the methods. By studying a concrete bridge designed complying with the requirements for Puerto Rico using the LFD and LRFD specifications, this project will present a comparison in design for both specifications.

## COMPARACION DEL DISEÑO DE PUENTES SEGUN EL AASHTO LFD USANDO EL MODELO HS 30 DE CARGA VIVA Y EL AASHTO LRFD USANDO EL MODELO HL 93 DE CARGA VIVA

### 3. Data description

The design parameters to make the comparison for this study were taken from a proposed bridge to be constructed over the Canovanillas River in Puerto Rico. The bridge is made of normal concrete with a specific weight of 150 pcf. The bridge consists of three spans of 68 ft, 124.67 ft and 123.23 ft (Fig. 3). The total width of the bridge is 43.63 ft with 2 lanes of 7.30 meters and two shoulders; one of 1.2 meters and another of 3.0 meters. The skew angle of the bridge is approximately 66.609 deg and all the beams are pre-cast / pre-stressed AASHTO Type VI.

The Span No.1 consists of five beams, span No.2 and No.3 consists of six beams. The separation between the beams for span no. 1 is 9.35 feet and for spans 2 and 3 the separations is 7.48 feet. The span no. 1 has four intermediate concrete diaphragms and spans 2 and 3 have two rows of five concrete diaphragms each. The slab thickness for span no.1 is 9.0 inches and for spans 2 and 3 the thickness is equal to 8.0 inches (Fig.4). The deck has two continuous concrete parapets type F-shape.

The Piers components are: the pier cap with approximate dimensions of 68 inches in height, 78 inches in depth and 47 feet in length; two (2) 60 inches diameter columns and a 21 ft x 46 ft x 4.5 ft foundation (Figs. 5). The concrete bridge materials strengths are the following: deck is equal to 4,000 psi, prestressed beams are equal to 5,000 psi, piers, parapets and abutments are equal to 3,000 psi. All the reinforcement steel used in the design of the bridge had a specify yield strength of 60 ksi.

The two abutments in this bridge are of type tall seat. The west abutment and all the piers are founded on spread footings with a maximum allowable soil bearing pressure of 10,000 psf. The east abutment is supported on steel piles. The live load application for this investigation is using two design truck models: the HS 30 for the LFD (Fig. 1) and the HL 93 for the LRFD specifications (Fig. 2).

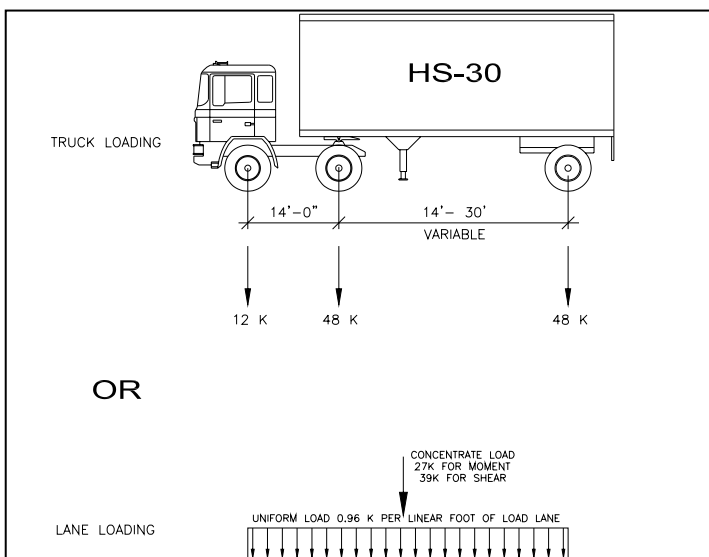


Figure 1: AASHTO LFD (Puerto Rico modified) Design Truck

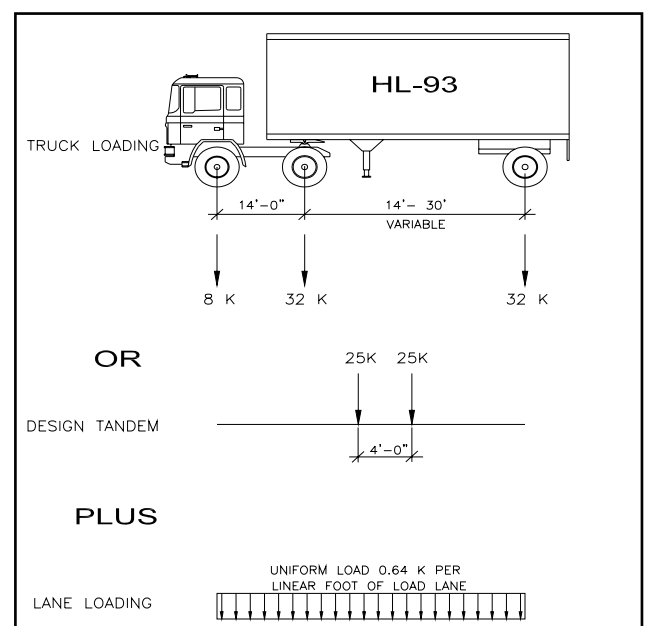


Figure 2: AASHTO LRFD Design Truck

COMPARACION DEL DISEÑO DE PUENTES SEGUN EL AASHTO LFD USANDO EL MODELO HS 30 DE CARGA VIVA Y EL AASHTO LRFD USANDO EL MODELO HL 93 DE CARGA VIVA

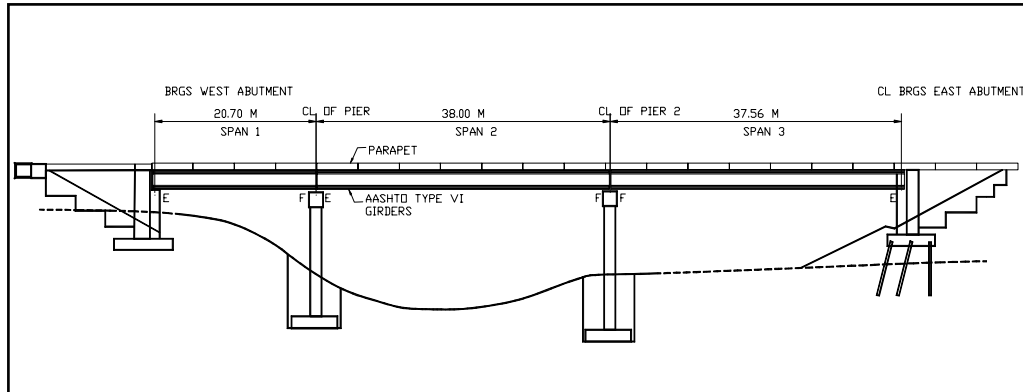


Figure 3: Bridge Elevation

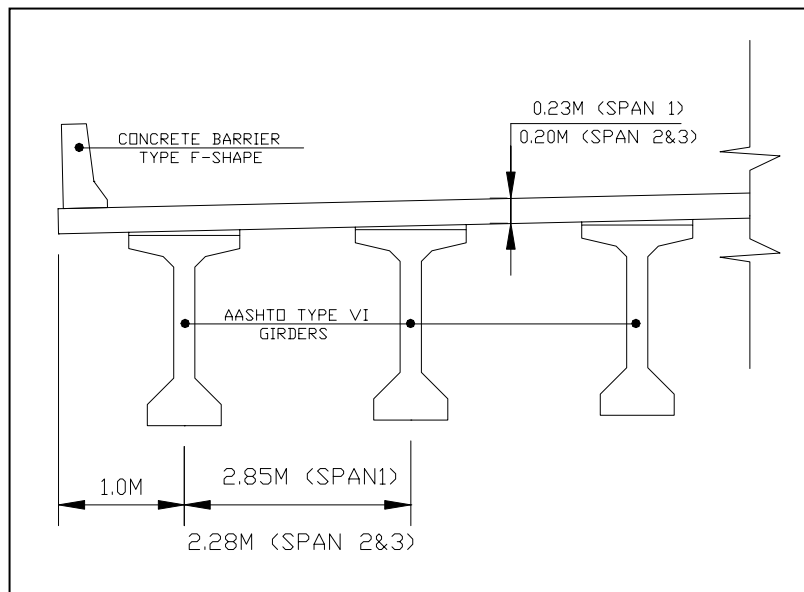


Figure 4: Typical section for the superstructure

COMPARACION DEL DISEÑO DE PUENTES SEGUN EL AASHTO LFD USANDO EL MODELO HS 30 DE CARGA VIVA Y EL AASHTO LRFD USANDO EL MODELO HL 93 DE CARGA VIVA

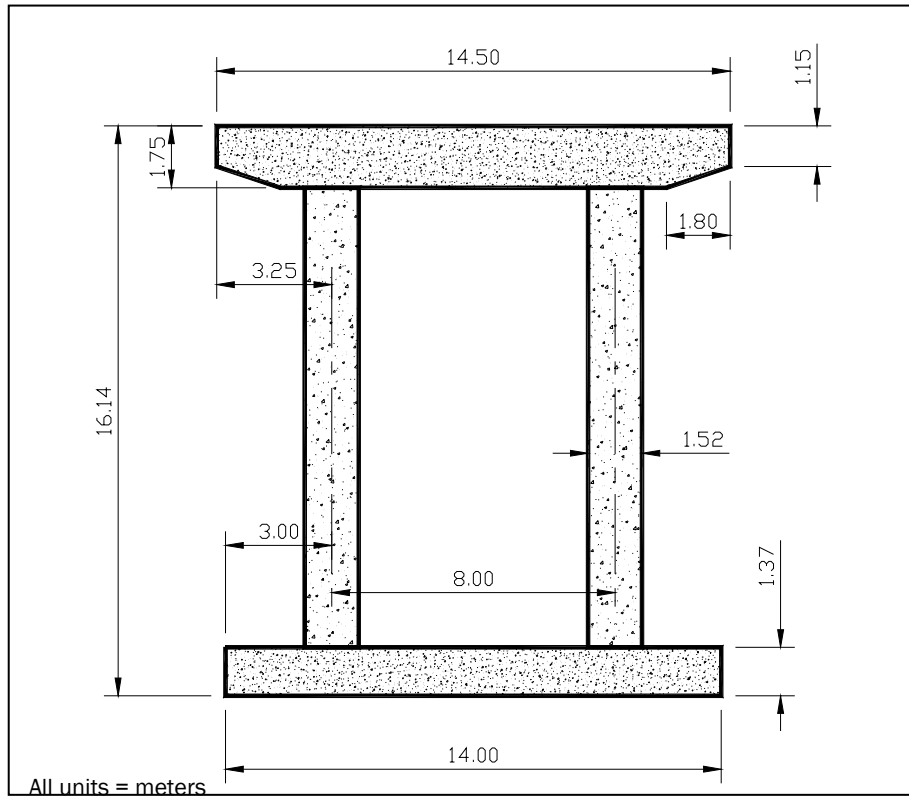


Figure 5: Elevation View of Pier No. 1

#### 4. Results

##### 4.1 Bridge deck

Table 1: Bridge Slab Main Reinforcement

Span	Location	CODE		Bars	Reinf. Area (in <sup>2</sup> /ft)	% of difference
		LFD	LRFD			
1	Top	# 5 @ 6 in o.c.	0.62	# 5 @ 9 in o.c. # 4 @ 9 in o.c.	0.41 0.27	33.87 (add. Bars in Overhang)
	Bottom	# 5 @ 6 in o.c.	0.62	# 5 @ 9 in o.c.	0.41	33.87
2 & 3	Top	# 6 @ 8 in o.c.	0.66	# 5 @ 10 in o.c. # 4 @ 5.0 in o.c.	0.372 0.48	43.64 (add. Bars in Overhang)
	Bottom	# 6 @ 8 in o.c.	0.66	# 5 @ 10 in o.c.	0.372	43.64

COMPARACION DEL DISEÑO DE PUENTES SEGUN EL AASHTO LFD USANDO EL MODELO HS 30 DE CARGA VIVA Y EL AASHTO LRFD USANDO EL MODELO HL 93 DE CARGA VIVA

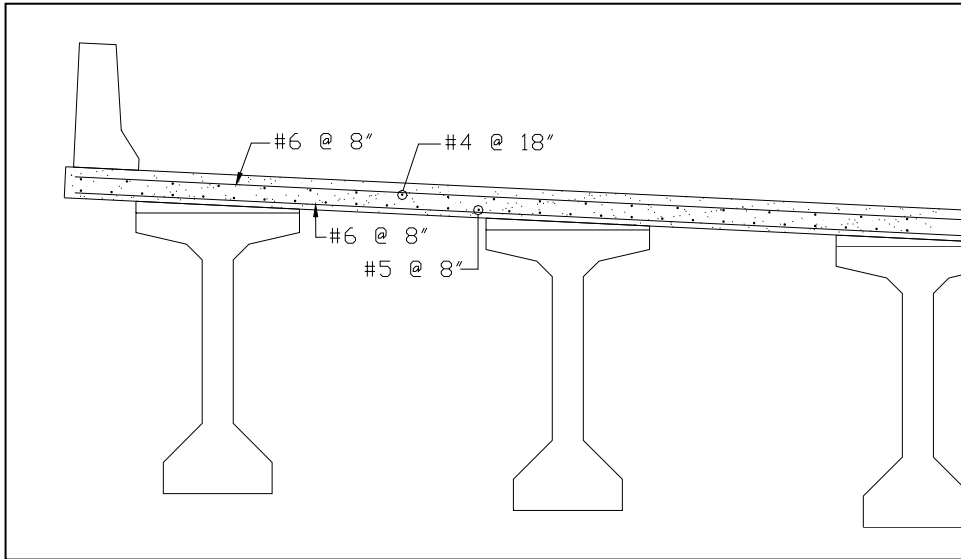


Figure 6: Required reinforcement for LFD in Spans no. 2 and no. 3

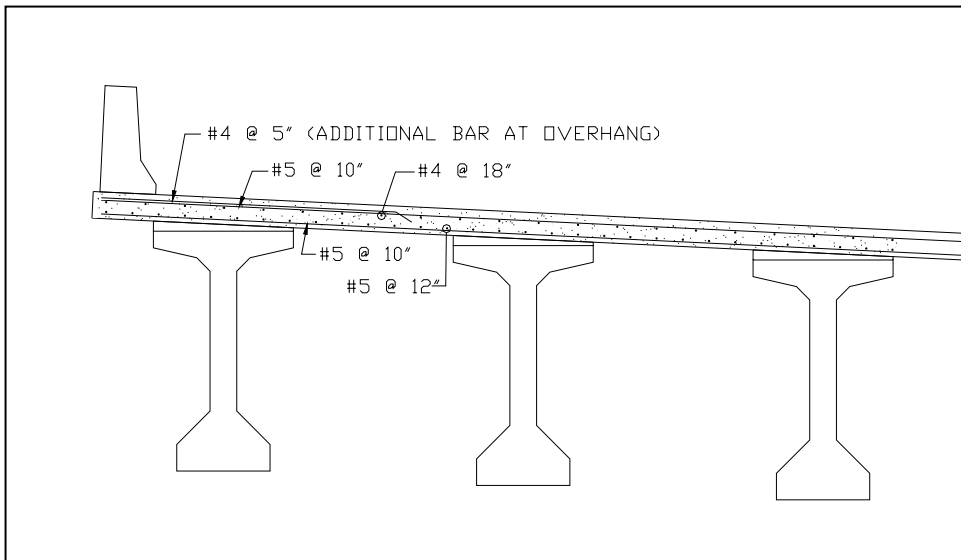


Figure 7: Required reinforcement for LRFD in Spans no. 2 and no. 3

## COMPARACION DEL DISEÑO DE PUENTES SEGUN EL AASHTO LFD USANDO EL MODELO HS 30 DE CARGA VIVA Y EL AASHTO LRFD USANDO EL MODELO HL 93 DE CARGA VIVA

### 4.2 Prestressed Beams

<b>Table 2: Beams reactions for LFD Specifications (live load is per Lane, no impact or distribution)</b>	
REACTIONS (kips), SERVICE 1	
-----	
Load Type	Left Support
Self Wt.	69.7
Deck+Haunch	45.5
Diaphragm	1.8
Prec. DL+ADL	0.0
Comp. DL+ADL	110.9
Supplemental	0.0
Supp. DI+ADL	0.0
Live	99.8
Pedestrian	0.0

<b>Table 3: Beams reaction for LRFD Specifications (live load is per Lane, no impact or distribution)</b>	
REACTIONS (kips), SERVICE I	
-----	
Load Type	Left Support
Self Wt.	69.7
Deck+Haunch	45.5
Diaphragm	1.08
DL-Prec. (DC)	0.0
DL-Prec. (DW)	0.0
DL-Comp. (DC)	48.4
DL-Comp. (DW)	62.4
Supplemental	0.0
DL. Supp. (DC)	0.0
DL-Supp. (DW)	0.0
Live	106.0
Pedestrian	0.0

<b>Table 4: Beams reactions for LFD Specifications (live load is per Lane, no impact or distribution)</b>	
REACTIONS (kips), FACTORED 1	
-----	
Load Type	Left Support
Self Wt.	90.6
Deck+Haunch	59.1
Diaphragm	2.3
Prec. DL+ADL	0.0
Comp. DL+ADL	144.1
Supplemental	0.0
Supp. DI+ADL	0.0
Live	216.7
Pedestrian	0.0

<b>Table 5: Beams reactions for LRFD Specifications (live load is per Lane, no impact or distribution)</b>	
REACTIONS (kips), STRENGTH I	
-----	
Load Type	Left Support
Self Wt.	87.1
Deck+Haunch	56.9
Diaphragm	2.2
DL-Prec. (DC)	0.0
DL-Prec. (DW)	0.0
DL-Comp. (DC)	60.5
DL-Comp. (DW)	93.7
Supplemental	0.0
DL. Supp. (DC)	0.0
DL-Supp. (DW)	0.0
Live	185.5
Pedestrian	0.0

**COMPARACION DEL DISEÑO DE PUENTES SEGUN EL AASHTO LFD USANDO EL MODELO HS 30 DE CARGA VIVA Y EL AASHTO LRFD USANDO EL MODELO HL 93 DE CARGA VIVA**

**Table 6: Girder Strands Design Summary**

Span	Beam location	No. of strands (0.5 in f 270 ksi), low-relaxation			% of difference
		Code	LFD	LRFD	
1	Exterior Beam		16	14	12.5
	Interior Beam		20	14	30.0
2	Exterior Beam		46	44	4.3
	Interior Beam		52	44	15.4
3	Exterior Beam		46	44	4.3
	Interior Beam		52	44	15.4

**Table 7: Beams Shear Reinforcement**

Code	Beam location	No. of Ties per beam		
		Span 1	Span 2	Span 3
LFD	Exterior Beam	67	99	94
	Interior Beam	105	143	134
LRFD	Exterior Beam	86	126	123
	Interior Beam	115	152	151
<hr/>				
% of difference				
	Exterior Beam	22.09	21.43	23.58
	Interior Beam	8.70	5.92	11.26

## COMPARACION DEL DISEÑO DE PUENTES SEGUN EL AASHTO LFD USANDO EL MODELO HS 30 DE CARGA VIVA Y EL AASHTO LRFD USANDO EL MODELO HL 93 DE CARGA VIVA

### 4.3 Piers

Table 8: Pier Cap Main Reinforcement

Pier	CODE		% of difference
	LFD	LRFD	
	Reinf. Area (in <sup>2</sup> )	Reinf. Area (in <sup>2</sup> )	
1	124.5	76.2	38.80
2	134.6	95.25	29.23

Table 9: Columns Main Reinforcement

Pier	CODE				% of difference
	LFD		LRFD		
	Bars	Reinf. Area (in <sup>2</sup> )	Bars	Reinf. Area (in <sup>2</sup> )	
1	32 # 10	40.64	42 # 10	53.34	23.81
2	29 # 10	36.83	45 # 10	57.15	35.56

Table 10: Foundation Reinforcement

PIER NO. 1 FOUNDATION				PIER NO. 2 FOUNDATION			
CODE				CODE			
	LFD	LRFD	% of diff.		LFD	LRFD	% of diff.
Bars in short dim (top & bot.)	74	62	16.22		80	64	20.00
Bars in long dim (top & bot.)	156	120	23.08		170	134	21.18

**COMPARACION DEL DISEÑO DE PUENTES SEGUN EL AASHTO LFD USANDO EL MODELO HS 30 DE CARGA VIVA Y EL AASHTO LRFD USANDO EL MODELO HL 93 DE CARGA VIVA**

4.4 Abutments

Table 11: Abutments Reinforcement

	CODE				CODE	
	LFD	LRFD			LFD	LRFD
	Concrete	Concrete			Reinf.	Reinf.
Abutment	vol. (ft <sup>3</sup> )	vol. (ft <sup>3</sup> )	% of difference		pounds	pounds
1	9,413	9,672	2.75		30,571	27,406
2	8,882	9,672	8.89		38,447	36,398

4.5 Graphical Summary

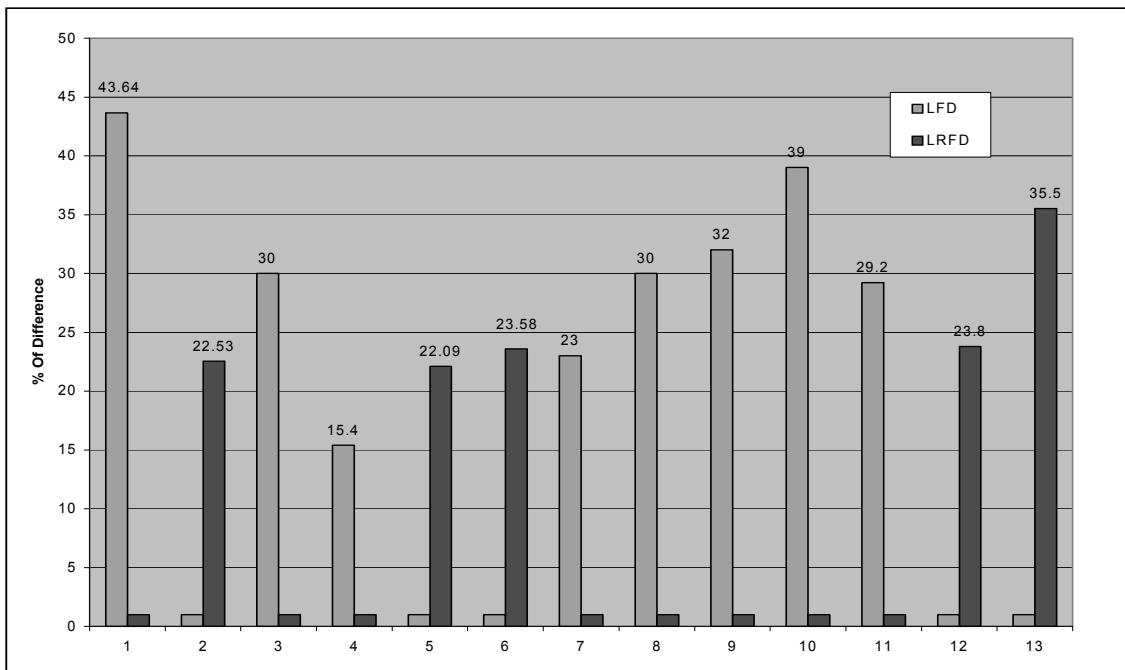


Figure 10: Items with higher percent of difference obtained

COMPARACION DEL DISEÑO DE PUENTES SEGUN EL AASHTO LFD USANDO EL MODELO HS 30 DE CARGA VIVA Y EL AASHTO LRFD USANDO EL MODELO HL 93 DE CARGA VIVA

Legend		
(spans 2&3) slab reinf. Interior		1
(spans 2&3) slab reinf. Overhang		2
No.of strands for	Int. beam (span1)	3
No.of strands for	Int. beam (span2)	4
No.of ties for	Ext. beam (span1)	5
No.of ties for	Ext. beam (span3)	6
Maximum moment in beams		7
Max. moment at Pier Cap1		8
Max. shear at Pier Cap1		9
Pier cap main reinf. (pier1)		10
Pier cap main reinf. (pier2)		11
Reinf. in Columns of Pier 1		12
Reinf. in Columns of Pier 2		13

Figure 11: Legend of figure 10

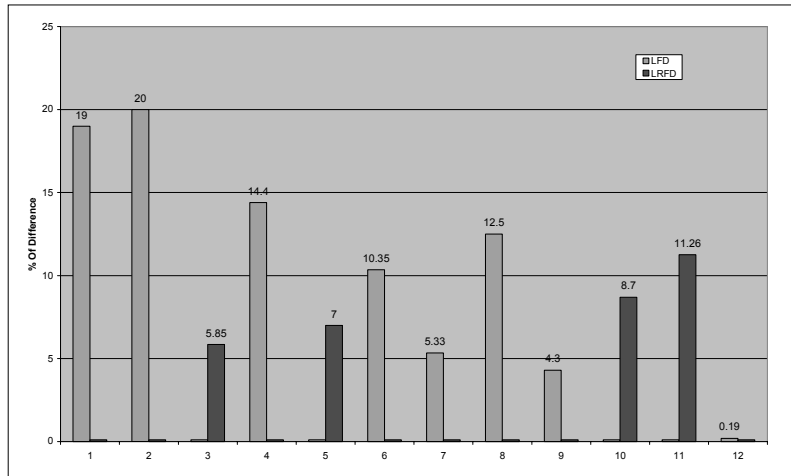


Figure 12: Items with relative lower percent of difference obtained

Legend		
Pier 1 foundation reinf.		1
Pier 2 foundation reinf.		2
LL reaction for beams (service)		3
LL reaction for beams (factored)		4
Maximum shear in beams		5
Abum1 reinf.		6
Abum2 reinf.		7
No.of strands for	Ext. beam (span1)	8
No.of strands for	Ext. beam (span2)	9
No.of ties for	Int. beam (span1)	10
No.of ties for	Int. beam (span3)	11
Bridge Cost Estimate		12

Figure 13: Legend of figure 12

## COMPARACION DEL DISEÑO DE PUENTES SEGUN EL AASHTO LFD USANDO EL MODELO HS 30 DE CARGA VIVA Y EL AASHTO LRFD USANDO EL MODELO HL 93 DE CARGA VIVA

### 5. Conclusion

The purposed of this study was to develop a comparison guide between the current Puerto Rico's Bridge Design Code (LFD) and the new Code to be soon implemented, the LRFD.

The resulting bridge design was similar in some aspects for both codes, for example: the abutments design, number of required strands in exterior beams and the required number of ties in the interior beams. The significant differences found between the two specifications were: (1) an increase in the required reinforcement in the deck overhang due to the increase in collision force for the LRFD code; (2) an increase in the required reinforcement for the interior slab design in LFD; (3) a decrease in the number of strands and the increase of shear reinforcement for the exterior beams when using the LRFD; (4) an increase in the main reinforcement bars in the pier's columns using the new code; (5) a reduction in the reinforcement in the Pier Cap when designing by the new specifications; and (6) a reduction in the require reinforcement for the pier's foundation when using the LRFD specifications. The reduction in the required strands for the beams in this project when using the LRFD coincides with the findings of the article in section 3.5 of the review of literature from Leap Software where the article states that the HS 25 total stresses and ultimate capacity closely compares to the HL 93, therefore it could be expected that for the HS 30 the number of required strands would be greater, as demonstrated by this project.

At the beginning of this project it was assumed that a direct comparison could be establish between the two codes but after evaluating the results, it had been shown that there is not a define pattern of which code controls the design. As stated before for example, in the LFD controlled the moment distribution factors but in the LRFD controlled the shear distribution factors. This has to do with the fact that the LRFD specifications consider the effect of the skew angle of the bridge for the determination of the distribution factors and the LFD does not.

From the results obtained, it can be stated that no member's dimensions needed to change because the increase in forces and stresses between the two specifications was taken by adding more reinforcement. The member's forces and stresses were not controlled by one code in specific for example: in the slab the overhang moment was controlled by the LRFD method and the interior slab moment was controlled by LFD, the flexural design of beams was controlled by the LFD and the shear force was controlled by the LRFD, the prestressed losses were controlled only by the LFD, the pier cap was controlled for moment and shear by the LFD, the columns required reinforcement was controlled by the LRFD, the foundation design was controlled by the bearing pressure values obtained in the LFD, in the bridge abutments the LRFD controlled both the flexural and the shear design of the stemwall.

By using the LRFD specifications the resulting required reinforcement in the deck was reduce substantially producing a saving of \$15,043 and the required reinforcement in the piers produced a saving of \$6,067. But the columns the LRFD produce an increase of \$ 1,408 for the main reinforcement. The design of the precast/prestressed beams by LRFD resulted in a lower demand of strands, this did not change the cost because the cost of the beams is per longitude, but instead of reducing the strands maybe a smaller section can be use therefore reducing the cost. The LRFD increase the cost of the abutments design by approximately 5.40% mostly due to shear requirements. Nevertheless the resulting bridge design using the new specifications and accounting the previous issues reflected a savings in costs of \$2,356 thus making the new specifications almost similar to the cost of a bridge design by the LFD specifications.

Considering that the new specifications: are incorporating the newest developments in bridge engineering, are base on more logical approaches, take advantage of the properties of new construction materials and expand the applicability of existing ones, allows the use of advance methods in design and analysis and because the principal concept used in LRFD is a probabilistic mathematical model which makes it possible to give proper weight to uncertainties in the determination of various loads and material resistance; it is recommended that the LRFD code shall be use in Puerto Rico in the near future.

SOLUCION AL CRUCIGRAMA GEOTECNICO DEL BOLETIN DEL PASADO TRIMESTRE



Este boletín es el órgano oficial del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Se publica con una periodicidad trimestral. Solicitamos colaboraciones, en especial de nuestros estudiantes. Nos reservamos el derecho a publicar, a editar los textos y hacerles las debidas correcciones de estilo que entendamos necesarias.

JUNTA EDITORA

Ing. José Borrageros  
Sra. Carmen Rodríguez

COLABORADORES EN ESTA EDICION:

Dr. Leonel Almanzar  
Ing. Pedro Modesto  
Dr. Aluisio Pimenta  
Prof. Ginger Rossy  
Ing. Amado Vélez  
Estudiantes de los cursos de Capstone Design  
Capítulos Estudiantiles  
(ASCE, CIAPR y ACI)



Departamento  
**CIVIL**

Ingeniería  
**AMBIENTAL**