



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

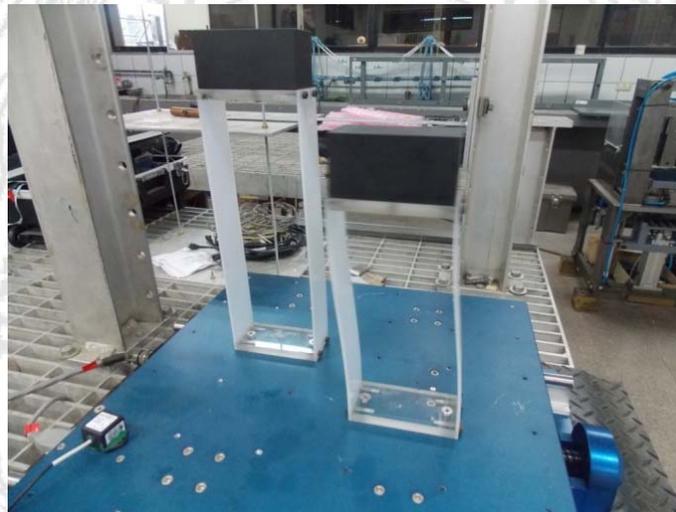


PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

LM-PI-UP-04-2015

INFORME DE AVANCE DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE ESTRUCTURAS DE PUENTES



Preparado por:
Unidad de Puentes

San José, Costa Rica
Noviembre, 2015



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

PITRA



Página intencionalmente dejada en blanco



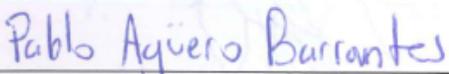
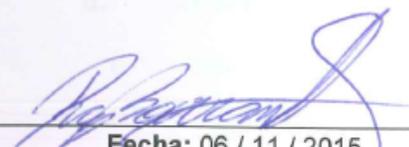
Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

LanammeUCR



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

PITRA

1. Informe: LM-PI-UP-04-2015		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: INFORME DE AVANCE DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DEL COMPROTAMIENTO DINÁMICO DE ESTRUCTURAS DE PUENTES		4. Fecha del informe 6 Noviembre 2015
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias Ninguna.		
7. Resumen Este informe presenta el estado de avance del proyecto propuesto formalmente en el informe LM-PI-UP-04-2013 "Adquisición de mesas vibratorias para la docencia e investigación sobre el comportamiento dinámico de estructuras de puentes". Se resume el trabajo realizado hasta la fecha en la investigación y transferencia de tecnología mediante la docencia y capacitación enfocada al tema de comportamiento dinámico de estructuras de puentes.		
8. Palabras clave Puentes, Mesa Vibratoria, Instrumentación, Dinámica	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 32
11. Informe por: Ing. Pablo Agüero Barrantes, M. Sc. Unidad de Puentes  Fecha: 04 / 11 / 2015		
12. Aprobado por: Ing. Roy Barrantes Jiménez. Coordinador, Unidad de Puentes  Fecha: 06 / 11 / 2015		13. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, Ph. D. Coordinador General PITRA  Fecha: 06 / 11 / 2015



Página intencionalmente dejada en blanco

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVO GENERAL.....	7
3. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	7
4. DESCRIPCION DEL PROYECTO	9
4.1. Desarrollo cronológico de la adquisición de equipos y software del proyecto	9
4.2. Capacidad Instalada.....	11
4.3. Equipos a adquirir a corto plazo.....	11
5. INVESTIGACIONES DE LA UNIDAD DE PUENTES RELACIONADOS CON MESAS VIBRATORIAS.....	13
5.1. Comportamiento dinámico de estructuras de un grado de libertad.....	13
5.2. Comportamiento dinámico de estructuras de tres grados de libertad.....	14
5.3. Desarrollo de un sistema de masa artificial para ensayos dinámicos de estructuras	15
6. OTRAS INVESTIGACIONES DE LA UNIDAD DE PUENTES.....	15
6.1. Monitoreo de puentes en sitio	15
6.2. Desplazamientos de puentes en sitio utilizando análisis de imagen.....	16
7. PARTICIPACION EN CONGRESOS Y ACTIVIDADES DE PROMOCION	19
7.1. Congreso de Ingeniería Civil 2014.....	19
7.1. Feria vocacional UCR 2014	20
7.2. Visitas guiadas al LanammeUCR.....	20
8. APOYO A CURSOS DE LA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DE LA UCR.....	21
8.1. IC-1015 Análisis y Diseño de Estructuras de Puentes.....	21
8.2. IC-0601 Mecánica del sólido 2	22
8.1. IC-0502 Mecánica 2 (Dinámica).....	25



9.	TRABAJOS FINALES DE GRADUACIÓN	26
9.1.	Estructuras de escolleras	26
9.2.	Licuação de suelos de Cinchona	27
9.3.	Otras investigaciones	27
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	28
11.	AGRADECIMIENTOS	29
12.	RECONOCIMIENTOS	29
13.	REFERENCIAS	30



1. INTRODUCCIÓN

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica LanammeUCR por medio de su Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) realiza labores de fiscalización del sector vial nacional, dicha labor se realizan de conformidad con la disposición del artículo 6 de la Ley No. 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributaria y su reforma mediante la Ley N° 8603.

En el caso de puentes, el LanammeUCR cuenta con una Unidad de Puentes la cual se encarga de cumplir con los trabajos de fiscalización de estructuras de puentes mediante actividades de inspección y evaluación. Adicionalmente, la unidad es responsable de contribuir con la investigación y la transferencia de tecnología mediante la docencia y capacitación de profesionales en temas de puentes.

Este informe presenta el estado de avance del proyecto propuesto formalmente en el informe LM-PI-UP-04-2013 “Adquisición de mesas vibratorias para la docencia e investigación sobre el comportamiento dinámico de estructuras de puentes” [ref.1]. Se resume el trabajo realizado hasta la fecha en la investigación y además, la transferencia de tecnología mediante docencia y capacitación enfocada al tema de comportamiento dinámico de estructuras de puentes.

2. OBJETIVO GENERAL

Presentar el estado de avance del proyecto de comportamiento dinámico de estructuras de puentes, enfocado en la investigación y transferencia de tecnología.

3. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a) Presentar el desarrollo cronológico del proyecto y la capacidad instalada en cuanto a equipos, sensores y programas informáticos.
- b) Presentar un resumen de las investigaciones realizadas con la mesa vibratoria.

Informe No. LM-PI-UP-02-2015	Fecha del emisión: 16 de octubre del 2015	Página 7 de 32
------------------------------	---	----------------

- c) Comentar el apoyo brindado a profesores de cursos de Licenciatura de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica.
- d) Presentar un resumen de las investigaciones para Trabajos Finales de Graduación donde se ha utilizado los equipos del proyecto.
- e) Mencionar actividades de promoción y divulgación del proyecto y sus resultados.
- f) Presentar proyectos de investigación paralelos donde se ha brindado apoyo con el uso de los equipos.



4. DESCRIPCION DEL PROYECTO

4.1. Desarrollo cronológico de la adquisición de equipos y software del proyecto

El proyecto se propuso formalmente en el informe LM-PI-UP-04-2013 “Adquisición de mesas vibratorias para la docencia e investigación sobre el comportamiento dinámico de estructuras de puentes” [ref. 1], publicado en febrero del año 2013. Dicho informe resume una investigación enfocada en el uso de mesas vibratorias para ensayo dinámico de estructuras y se propone la compra de dos mesas vibratorias modelo Shake Table II, desarrolladas y comercializadas por la empresa canadiense Quanser.

Después del proceso de licitación y compra los equipos fueron recibidos en el LanammeUCR el 22 de agosto del 2013 y se recibió una capacitación impartida por el Ing. Michel Levis, representante de la empresa Quanser, los días 4 y 5 de setiembre del mismo año. En la capacitación se aprendió a utilizar las mesas con 2 programas que las permiten controlar. El primero es el “Shake Table Software” el cual es una aplicación desarrollada por la empresa Quanser en el lenguaje de programación Labview. El Shake Table Software permite inducir movimientos tipo onda sinusoidal de amplitud y frecuencia constante, barridos de ondas de amplitud constante y replicar 4 registros sísmicos preestablecidos. El Shake Table Software, como herramienta para la investigación, es muy limitada y su utilización es recomendable para experimentos sencillos y demostraciones.

El segundo programa utilizado es Matlab, de la empresa Mathworks, el cual permite más control en el comportamiento de la Shake Table II. Se debe indicar que además de Matlab se requieren los siguientes productos de Mathworks para hacer posible el funcionamiento de la mesa: Simulink, Matlab Coder, Simulink Coder y Control System Toolbox. Con dichos programas se puede lograr el mismo control que con el Shake Table Software y además replicar y escalar registros sísmicos tanto en amplitud como en el tiempo y hasta en dos direcciones, sumar ondas sinusoidales de distintas amplitudes y frecuencias.

Informe No. LM-PI-UP-02-2015	Fecha del emisión: 16 de octubre del 2015	Página 9 de 32
------------------------------	---	----------------

Se debe indicar que la compra de las mesas no incluía dichos programas, y al recibir la mesa se nos otorgó una licencia de prueba de los 5 productos por un periodo de un mes para utilizar los equipos. La compra de todos los programas necesarios para controlar la mesa se formalizó hasta inicios de junio del 2014. Debido a lo anterior, en el periodo entre noviembre del 2013 y junio del 2014 no fue posible trabajar con el programa Matlab y únicamente se dispuso del programa Shake Table Software.

La adquisición de las mesas vibratorias conllevó a otra serie de necesidades:

- adquisición de sensores para medir fuerza, aceleración y desplazamiento, y
- adquisición de una plataforma que permita la adquisición de los datos que transmiten los sensores.

A finales de octubre del 2013 se adquirió una celda de carga con una capacidad de 445N, con la intención de medir fuerzas de pequeña magnitud.

En el mes de enero del 2014 se recibió un sistema de adquisición de datos marca CompacDAQ desarrollado y comercializado por la empresa National Instruments. Dicho equipo es compatible con el software Labview, también de National Instruments, el cual permite la programación de adquisición de datos según las necesidades del usuario.

A finales de enero del 2014 se recibieron 10 acelerómetros, después de una investigación de varias semanas de los sensores que se adapten a las necesidades y presupuesto del proyecto. Se optó por acelerómetros de bajo costo fabricados por la empresa Memsic. Éstos son de tipo capacitivo (conocidos también como MEMS), diseñados para medir aceleraciones en un rango de baja frecuencia.

El mes de julio del 2014 todo el personal de la Unidad de Puentes y otras Unidades del Lanamme recibió una capacitación intensiva de programación con el programa Labview. El curso está enfocado a profesionales en las áreas programación y desarrollo de software, sin embargo nos permitió conocer muchas estructuras de programación disponibles en el lenguaje del Labview.

Informe No. LM-PI-UP-02-2015	Fecha del emisión: 16 de octubre del 2015	Página 10 de 32
------------------------------	---	-----------------

En el mes de octubre del 2014 se adquirieron 3 sensores laser de desplazamiento, los cuales permiten registrar datos con una precisión muy alta. La ventaja de los sensores laser con respecto a otros sensores de desplazamiento es que al no tener un contacto físico con los modelos estructurales no inducen fuerzas de fricción ni amortiguamiento en los modelos estructurales a escala.

A partir de enero del 2015 se dispone de una fuente de poder para alimentar sensores que requieren alimentación externa. La fuente es capaz de proporcionar tres combinaciones diferentes de voltaje y corriente para alimentar sensores.

4.2. Capacidad Instalada

A continuación se presenta la capacidad instalada del proyecto en el momento de presentar este informe.

En el cuadro No. 1 se presenta un resumen de los equipos disponibles y de sus principales especificaciones técnicas.

4.3. Equipos a adquirir a corto plazo

Conforme se avanza en el proyecto surgen nuevas necesidades de equipos y sensores a adquirir adicionales a los descritos en el cuadro No. 1.

Para la investigación de tesis del estudiante Diego Pichardo [ref. 11] debe adquirirse una celda que permite medir fuerzas de cortante.

Cuadro No. 1. Equipos de la Unidad de Puentes para el proyecto de comportamiento dinámico de estructuras de puentes

Equipo	Cantidad	Fabricante	Especificaciones Técnicas
Mesas Vibratorias	2	Quanser	Dimensiones de la plataforma: 450x450mm Capacidad de carga vertical: 131,5 kg Frecuencia Máxima: 20 Hz Aceleración máxima: 2,5g Desplazamiento máximo: ± 75 mm Cada mesa biaxial puede ser utilizada como dos mesas uniaxiales Cada mesa biaxial cuenta con una fuente de poder y una computadora con los programas adecuados para ser operada independientemente.
Unidad de adquisición de datos CompacDAQ	1	National Instruments	Hasta 32 canales de medición. 1 módulo NI 3237 con 4 canales para registrar deformaciones unitarias 2 módulos NI9234 con 4 canales cada uno para registrar aceleración 2 módulos NI9219 con 4 canales cada uno
Acelerómetros	10	Memsic	Modelo: CXL10GP3 Ejes de medición: 3 Rango de medición: ± 10 g Alimentación: 5V
Celda de carga	1	Transcell Technology	Geometría: Tipo S Capacidad: 445N Alimentación según fabricante: 10V
Sensor de desplazamiento	3	Micro-epsilon	Modelo: optoNCDT IDL1302-200 Tecnología: laser Rango de medición: 200mm Voltaje de alimentación: 24V Resolución dinámica @750Hz: 0,1 mm Protección: IP67
Fuente de poder	1	RIGOL	Modelo: DP832 2 Salidas: 30V/3A 1 Salida: 5V/3A

5. INVESTIGACIONES DE LA UNIDAD DE PUENTES RELACIONADOS CON MESAS VIBRATORIAS

A continuación se presenta un resumen de las principales investigaciones realizadas por la Unidad de Puentes del PITRA-LanammeUCR enfocadas en el comportamiento dinámico de estructuras utilizando mesa vibratoria.

5.1. Comportamiento dinámico de estructuras de un grado de libertad

El primer proyecto de investigación se realizó utilizando modelos de un grado de libertad (ver figura 1). Durante el año 2013 se redactaron los manuales del estudiante y del profesor [refs. 2,3] enfocados al cálculo analítico y comprobación experimental de la frecuencia en resonancia de modelos estructurales sencillos de un grado de libertad.

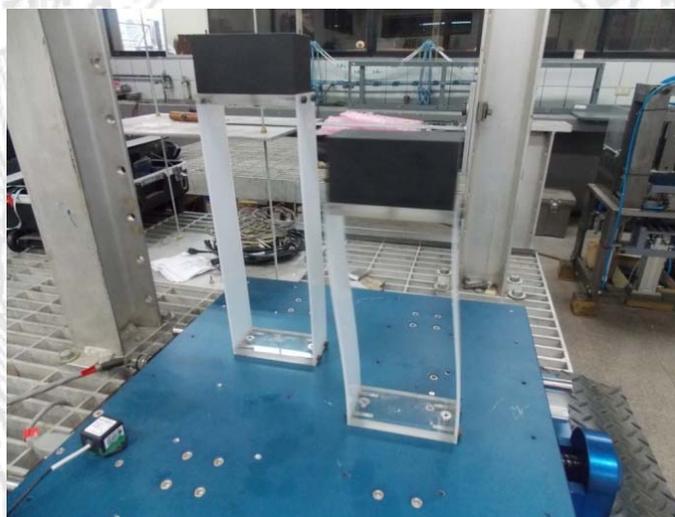


Figura 1. Mesa vibratoria con modelos de un grado de libertad

Posteriormente, con la adquisición de acelerómetros y un sistema de adquisición de datos a inicios del año 2014, se pudo ampliar el alcance de la investigación incorporando el registro de aceleración y desplazamientos. Sumado a lo anterior se obtuvieron las primeras experiencias en la programación en el lenguaje Labview.

El proyecto y los avances de este experimento fueron presentados en el Congreso de Ingeniería Civil del Colegio de Ingenieros Civiles de Costa Rica celebrado en agosto del

Informe No. LM-PI-UP-02-2015	Fecha del emisión: 16 de octubre del 2015	Página 13 de 32
------------------------------	---	-----------------

2014 [ref. 4]. El objetivo era dar a conocer el trabajo realizado a la comunidad ingenieril de Costa Rica.

5.2. Comportamiento dinámico de estructuras de tres grados de libertad

Con base en conocimiento adquirido durante la investigación del comportamiento dinámico de estructuras de un grado de libertad se continuó con el estudio de una estructura de 3 grados de libertad (ver figura 2).



Figura 2. Estructura de tres grados de libertad

El proyecto se basa en los manuales del Módulo 8 del UCIST. El proyecto incluyó la determinación de la rigidez de la estructura y del comportamiento dinámico de la estructura, tanto analítica como experimentalmente. Se redactaron manuales del profesor y del estudiante [refs. 13, 14].

5.3. Desarrollo de un sistema de masa artificial para ensayos dinámicos de estructuras

Se propuso un proyecto de investigación para desarrollo e implementación de un sistema de masa artificial para el ensayo dinámico de estructuras [ref. 12]. El proyecto se debe a una necesidad surgida de una de las principales limitaciones de la mesa vibratoria Shake Table II, que es su limitada capacidad de carga vertical.

Se propuso un proyecto en 3 etapas experimentales, posterior a una etapa de investigación bibliográfica para determinar la factibilidad del mismo.

6. OTRAS INVESTIGACIONES DE LA UNIDAD DE PUENTES

Además de las investigaciones relacionadas con el uso de la mesa vibratoria, mencionadas en la sección 5, los equipos han sido utilizados para otros proyectos de investigación de la Unidad de Puentes, en las etapas de validación en laboratorio. A continuación se presentan brevemente los proyectos.

6.1. Monitoreo de puentes en sitio

Los sensores del proyecto de monitoreo de puentes en sitio debieron ser verificados y validados en laboratorio antes de ser utilizados en puentes. En la figura 3 se presenta el proceso de validación de los inclinómetros utilizados en el proyecto de monitoreo de puentes en sitio. Al igual que los inclinómetros se validaron acelerómetros, galgas extensométricas y LVDTs [ref. 9].



Figura 3. Pruebas de validación de los inclinómetros utilizado en el proyecto de monitoreo de puentes en sitio.

6.2. Desplazamientos de puentes en sitio utilizando análisis de imagen

La Unidad de Puentes está desarrollando un sistema de análisis de imagen para la medición en el sitio de los desplazamientos de puentes sometidos a cargas estáticas o dinámicas [ref. 10]. El sistema es simple y permite medir de forma muy precisa las deformaciones en estructuras.

Durante la etapa de validación en laboratorio se utilizó la mesa vibratoria y los sensores laser de desplazamiento para comparar los resultados obtenidos con el sistema de análisis de imagen. En las figuras 4 y 5 se presenta dos pruebas realizadas a diferente distancia, para comprobar los resultados de los desplazamientos que calcula el sistema de análisis de imagen.

Los resultados de la validación fueron satisfactorios y el sistema ha sido utilizado para determinar desplazamientos en puentes de la Red Vial Nacional (ver figura 6).



Figura 4. Pruebas de validación de medición de desplazamientos utilizando análisis de imagen utilizando las mesas vibratorias en el laboratorio a escala reducida.



Figura 5. Pruebas de validación de medición de desplazamientos utilizando análisis de imagen utilizando las mesas vibratorias en las instalaciones de la UCR.



Figura 6. Sistema de medición de desplazamiento siendo utilizado en el puente sobre el río seco en Ruta Nacional 1.

7. PARTICIPACION EN CONGRESOS Y ACTIVIDADES DE PROMOCION

Se considera importante la divulgación de los proyectos de investigación realizados en el LanammeUCR. En ese sentido, se ha participado en congresos y actividades de promoción para dar a conocer el trabajo que se realiza en el proyecto.

7.1. Congreso de Ingeniería Civil 2014

En la sección 5.1 se mencionó la presentación del proyecto y su avance en el Congreso de Ingeniería Civil del Colegio de Ingenieros Civiles de Costa Rica celebrado en agosto del 2014 [ref. 4].

Adicionalmente, una mesa fue trasladada hasta el lugar del evento para ser mostradas a los participantes del Congreso (ver figura 7).



Figura 7. Personal del LanammeUCR presentando las mesas vibratorias y otros proyectos en el Congreso de Ingeniería Civil 2014.

7.1. Feria vocacional UCR 2014

Se participó en el espacio de la Escuela de Ingeniería Civil en la Feria Vocacional de la Universidad de Costa Rica celebrada en el mes de agosto del 2014. Las mesas fueron transportadas al edificio de parqueos ubicado frente a la nueva Facultad de Ciencias Sociales.

Se mostró el equipo en funcionamiento a estudiantes de secundaria que asistieron a la Feria Vocacional generando en algunos casos gran curiosidad.

7.2. Visitas guiadas al LanammeUCR

Desde su adquisición las mesas han sido presentadas a la prensa nacional. Por ejemplo en el siguiente reportaje de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica (21 de enero 2014):

http://www.vinv.ucr.ac.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=1781:expertos-de-la-ucr-simulan-efecto-de-movimientos-sismicos-sobre-puentes-&catid=102:noticias-sala-de-prensa&Itemid=100058

También en el reportaje de Teletica Canal 7 en el siguiente vínculo (27 de enero 2014):

<http://www.teletica.com/Noticias/40566-Lanamme-adquiere-nueva-tecnologia-para-estudio-de-estructuras.note.aspx>

También se realizan, de forma continua, demostraciones de la mesa vibratorias a estudiantes de otras carreras impartidas en la UCR diferentes a la Ingeniería Civil.

8. APOYO A CURSOS DE LA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DE LA UCR

Una parte muy importante del proyecto es la utilización de las mesas vibratorias y el resto de los equipos para fines académicos. Se desea apoyar a los profesores y estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil con una herramienta que complemente las clases magistrales de los cursos con ensayos experimentales relacionados con los temas impartidos en clase.

Por tal motivo se ha ofrecido y brindado colaboración a los docentes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. A continuación se presentan un resumen de dichas colaboraciones.

8.1. IC-1015 Análisis y Diseño de Estructuras de Puentes

En una colaboración conjunta de la Unidad de Puentes y el Laboratorio de Fuerza del LanammeUCR se brindó apoyo al Ing. Rolando Castillo Barahona con un proyecto de investigación para sus estudiantes del curso de análisis y Diseño de Estructuras de Puentes, en el segundo semestre del año 2013. El proyecto se basa en un proyecto propuesto en la Academia de West Point: "Designing and building file folder bridges" del autor Stephen Ressler.

Se facilitó la celda de carga y la unidad de adquisición de datos para que los estudiantes determinaran experimentalmente la capacidad a la carga axial de los elementos estructurales del puente de cartón que debían construir. Los alumnos debían determinar analíticamente la capacidad de carga teórica de la estructura y luego determinar experimentalmente la capacidad real de carga. Con base en los resultados debían presentar un informe de investigación (ver figura 8).

Informe No. LM-PI-UP-02-2015	Fecha del emisión: 16 de octubre del 2015	Página 21 de 32
------------------------------	---	-----------------



Figura 8. Estudiantes del curso de Análisis y Diseño de Puentes exponiendo el proyecto de los puentes de cartón (segundo semestre 2013).

8.2. IC-0601 Mecánica del sólido 2

El primer semestre del año 2014 se brindó apoyo al Ing. Andrés González Ureña, profesor del curso Mecánica del Sólido 2, de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica.

Se facilitó la unidad de adquisición de datos (CompacDAQ de National Instruments) y una estructura tipo cercha con celdas de carga para un proyecto del curso (ver figura 9). Como parte de la colaboración al profesor González y con base en lo aprendido en la primera experiencia se redactó un manual del profesor y un manual del estudiante para repetir el proyecto en el segundo semestre del 2014 [refs. 5, 6].



Figura 9. El profesor Andrés González y sus alumnos durante la parte experimental del proyecto con un puente tipo cercha a escala (primer semestre 2014).

En el primer semestre del 2015 el profesor González adoptó el proyecto de los puentes de cartón, descrito en la sección 8.1 del presente informe. En la figura 10 se presenta la falla de elementos de cartón y en la figura 11 la falla de uno de los puentes.

Anterior a la publicación del presente informe el profesor González volvió a solicitar colaboración de la Unidad de Puentes y del Laboratorio de Fuerza para dar continuidad al proyecto de investigación en el segundo semestre del 2015. La falla de elementos está programada los días 11 y 18 de noviembre.

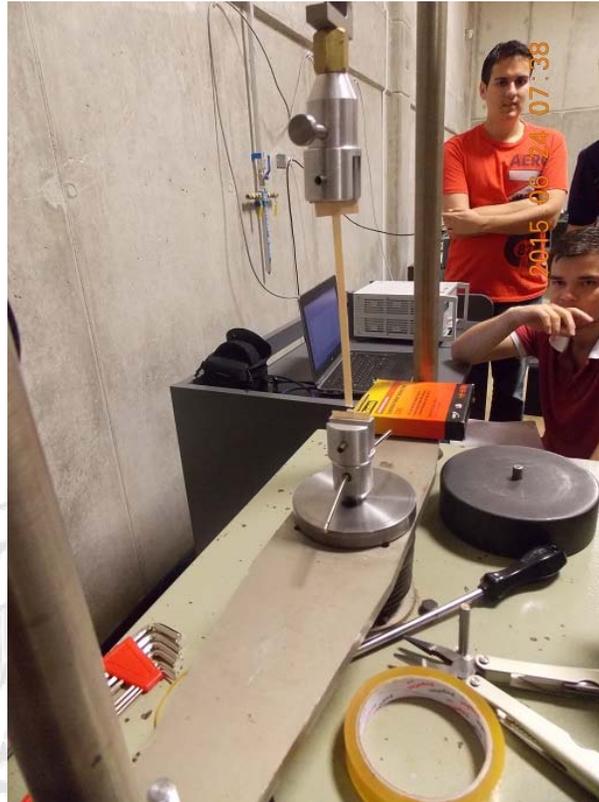


Figura 10. Estudiantes del curso de Mecánica del Sólido 2 presenciando la falla de un elemento de cartón ensayado a tracción (primer semestre 2015).



Figura 11. Estudiantes del curso de Mecánica del Sólido 2 durante la falla de un puente tipo cercha construido con cartón (primer semestre 2015).

8.1. IC-0502 Mecánica 2 (Dinámica)

El Ing. Yi-Cheng Liu Kuan, profesor de los cursos de Estática y Dinámica, ha utilizado las mesas vibratorias el segundo semestre del 2014 y el primer semestre del 2015, para un proyecto con los estudiantes del curso de Dinámica.

Los estudiantes deben construir una estructura que será sometida a movimiento en la base, inducido por la mesa vibratoria y registrar la aceleración en el nivel superior (ver figura 12). Además, deben analizar los resultados experimentales para determinar el periodo fundamental de la estructura y calcular el amortiguamiento.

El profesor Liu ha solicitado de nuevo el apoyo para darle continuidad al proyecto en el segundo semestre del 2015.

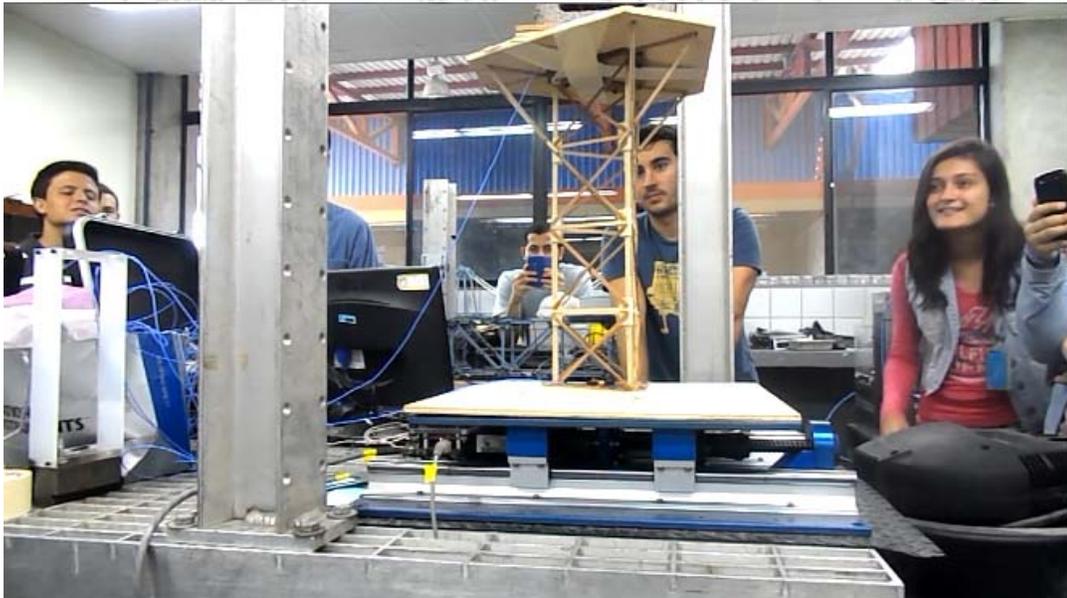


Figura 12. Estudiantes del curso de Mecánica 2 durante las pruebas experimentales de una estructura construida con madera (segundo semestre 2014).

9. TRABAJOS FINALES DE GRADUACIÓN

Otro aporte del proyecto a la academia es la colaboración en proyectos de investigación de Trabajos Finales de Graduación de estudiantes de la Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica.

A continuación se presentan algunos de los trabajos donde se ha facilitado o se facilitará equipos del proyecto a estudiantes para fines investigativos.

9.1. Estructuras de escolleras

El trabajo final de graduación de la Ing. Silvia Barrantes Quirós [ref. 8] se trata del diseño de estructuras de escollera para las condiciones sísmicas de Costa Rica. El director del proyecto fue el Ing. Marco Valverde Mora.

La parte de experimental de la investigación fue realizada ensayando modelos a escala de estructuras de escollera colocados sobre la mesa vibratoria, simulando la acción de un sismo (ver figura 13).



Figura 13. Proceso constructivo de los modelos a escala de las estructuras de escollera sobre las mesas vibratorias. Tomado de la referencia 8.

9.2. Licuación de suelos de Cinchona

Durante la redacción del presente informe la investigación de tesis de la estudiante Heylin Parra estaba en proceso [ref. 7]. Se utilizó la mesa vibratoria para ensayar muestras de inalteradas de suelo del sector de Cinchona (ver figura 14). Se utilizó el registro de aceleraciones del evento 8 de enero del 2009 con epicentro en Vara Blanca, el cual es conocido como “terremoto de Cinchona” por los daños ocasionados a dicha población.

El trabajo de graduación de la estudiante Parra es dirigido por el Ing. Sergio Sáenz.



Figura 14. Prueba preliminar de la investigación de la estudiante Heylin Parra [ref.7].

9.3. Otras investigaciones

El estudiante Alberto Montero realizará su proyecto de graduación utilizando las mesas vibratorias, bajo la dirección del Ing. Rolando Castillo Barahona.

Informe No. LM-PI-UP-02-2015	Fecha del emisión: 16 de octubre del 2015	Página 27 de 32
------------------------------	---	-----------------

El estudiante Diego Pichardo Cerda investigará el comportamiento dinámico de estructuras utilizando tanques para agua como amortiguadores [ref. 11]. El estudiante utilizará las mesas vibratorias y el resto de los equipos del proyecto. El director de la investigación es el Ing. Yi-Cheng Liu Kuan.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La Unidad de Puentes del PITRA-LanammeUCR adquirió las mesas vibratorias para ensayos a escala reducida en setiembre del 2013, desde entonces y durante los últimos dos años, los investigadores de la Unidad de Puentes del LanammeUCR se han concentrado en utilizarlas para adquirir conocimiento en el uso de sensores y de programación de adquisición de datos.
- Las mesas vibratorias y otros equipos se han utilizado para dar soporte a otros proyectos de investigación de la Unidad de Puentes del PITRA-LanammeUCR. La utilización de las mesas se realizó en las etapas de validación de dichos proyectos.
- Se ha brindado apoyo a cursos de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, facilitando los equipos para fines académicos.
- Se ha brindado soporte a investigaciones experimentales de trabajos finales de Graduación de la carrera de Civil de la Universidad de Costa Rica, capacitando a los estudiantes y facilitando los equipos.
- Se recomienda dar continuidad y soporte financiero al proyecto con nuevas investigaciones que reflejen las necesidades de la Unidad de Puentes. En esa línea se ha presentado la propuesta de investigación de sistemas de masa artificial [ref. 12].

11. AGRADECIMIENTOS

Se debe reconocer el valioso aporte al inicio del proyecto al Laboratorio de Fuerza del LanammeUCR, dirigido por el Ing. Humberto Tioli.

También se extiende un agradecimiento a la Unidad de Mantenimiento del LanammeUCR, dirigida por el señor Jorge Mora. El soporte técnico que brinda dicha Unidad ha sido un aporte muy valioso para el desarrollo del proyecto.

Finalmente, se agradece al Ing. Yi-Cheng Liu Kuan por la ayuda desinteresada que ha brindado y compartir sus conocimientos para el crecimiento del proyecto.

12. RECONOCIMIENTOS

El financiamiento de la presente investigación está dentro del marco de las competencias asignadas al PITRA-LanammeUCR mediante el artículo 6 de la ley No. 8114.

13. REFERENCIAS

Ordenadas cronológicamente

1. Unidad de Puentes. *“Adquisición de mesas vibratorias para la docencia e investigación sobre el comportamiento dinámico de estructuras de puentes”*. Informe LM-PI-UP-04-2013. Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA). Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). San José, Costa Rica. Febrero 2013.
2. Unidad de Puentes. *“Experimentos con sistemas de un grado de libertad y su comparación con predicciones analíticas - Manual del Estudiante”*. Informe LM-PI-UP-08-2013. Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA). Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). San José, Costa Rica. Noviembre, 2013.
3. Unidad de Puentes. *“Experimentos con sistemas de un grado de libertad y su comparación con predicciones analíticas - Manual del Profesor”*. Informe LM-PI-UP-09-2013. Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA). Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). San José, Costa Rica. Noviembre, 2013.
4. Agüero, P.; Castillo, R. *“Programa De Instrumentación Y Monitoreo De Puentes A Escala Reducida”*. Congreso de Ingeniería Civil, Colegio de Ingenieros Civiles: Costa Rica. Mayo, 2014.
5. Unidad de Puentes. *“Experimentos con modelo de puente tipo cercha y su comparación con predicciones analíticas - Manual del Estudiante”*. Informe LM-PI-UP-02-2014. Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA). Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). San José, Costa Rica. Setiembre, 2014.
6. Unidad de Puentes. *“Experimentos con modelo de puente tipo cercha y su comparación con predicciones analíticas - Manual del Profesor”*. Informe LM-PI-UP-03-2014. Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA). Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). San José, Costa Rica. Noviembre, 2014.

Informe No. LM-PI-UP-02-2015	Fecha del emisión: 16 de octubre del 2015	Página 30 de 32
------------------------------	---	-----------------

7. Parra, Heylin. "Comportamiento dinámico de limos volcánicos de estructura porosa en Cinchona". Propuesta de Tesis de Graduación para el Departamento de Geotecnia de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Noviembre, 2014.
8. Barrantes Quirós, Silvia. "*Dimensionamiento de muros de escollera para las condiciones de sismicidad de Costa Rica*". Proyecto Final de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. Febrero, 2015.
9. Liu, Yi-Cheng; Agüero, Pablo. "Desarrollo y validación de un sistema de medición de desplazamientos en tiempo real mediante técnicas de procesamiento de imágenes digitales". Propuesta de Investigación para la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica. Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA). Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). San José, Costa Rica. 2015.
10. Liu, Yi-Cheng; Agüero, Pablo. "Desarrollo y validación de un sistema portátil de monitoreo y evaluación de puentes". Propuesta de Investigación para la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica. Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA). Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). San José, Costa Rica. 2015.
11. Pichardo, Diego. "Análisis comparativo de la respuesta dinámica de un sistema de un grado de libertad utilizando un tanque de agua como amortiguador líquido sintonizado ante eventos sísmicos". Propuesta de Tesis de Graduación para el Departamento de Estructuras de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Setiembre, 2015.
12. Unidad de Puentes. "*Desarrollo e implementación de un sistema de masa artificial para pruebas experimentales dinámicas de estructuras de puentes*". Informe LM-PI-UP-01-2015. Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA). Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). San José, Costa Rica. 2015.
13. Unidad de Puentes. "*Experimentos a pequeña escala usando mesa vibratoria y su comparación con predicciones analíticas. Manual del Profesor*". Informe LM-PI-UP-02-2015. Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA). Laboratorio Nacional

Informe No. LM-PI-UP-02-2015	Fecha del emisión: 16 de octubre del 2015	Página 31 de 32
------------------------------	---	-----------------

de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). San José, Costa Rica.
Noviembre 2015.

14. Unidad de Puentes. “*Experimentos a pequeña escala usando mesa vibratoria y su comparación con predicciones analíticas. Manual del Estudiante*”. Informe LM-PI-UP-03-2015. Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA). Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). San José, Costa Rica. Noviembre 2015.

