

UTN | FRGP

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL GENERAL PACHECO

III Jornada de Investigación en Ingeniería Civil

Octubre 2018

CiN REUN

Red de Editoriales
de Universidades Nacionales
de la Argentina





TERCERA JORNADA DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional General Pacheco

Octubre 2018



Tercera Jornada de Investigación en Ingeniería Civil: UTN-FRGP : Octubre 2018 /
 Docentes del departamento de ingeniería civil; compilado por José Manuel Pereiras
 ; coordinación general de José Manuel Pereiras. - 1a ed .
 Ciudad Autónoma de Buenos Aires : edUTecNe, 2019.
 Libro digital, PDF
 Archivo Digital: descarga y online
 ISBN 978-987-4998-20-0

1. Ingeniería Civil. 2. Investigación. 3. Jornadas. I. Arrayago, Fernando. II. Pereiras, José Manuel, comp.

CDD 624



Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina

Rector: Ing. Hector Eduardo **Aiassa**

Vicerrector: Ing. Haroldo **Avetta**

Secretaría Académica: Ing. Liliana Raquel **Cuenca Pletsch**



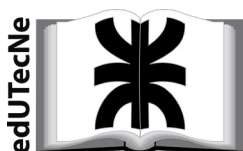
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional General Pacheco

Decano: Ing. José Luis **García**

Vicedecano: Ing. Ricardo H. **Crivicich**

Secretario de Ciencia y Tecnología: Dr. Adrián Marcelo **Canzian**

Director del Departamento de Ingeniería Civil: Mg. Enrique Héctor **Vera**



edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional

Coordinador General a cargo: Fernando H. **Cejas**

Área de edición y publicación en papel: Carlos **Busqued**

Colección Energías Renovables, Uso Racional de Energía, Ambiente:
 Dr. Jaime **Moragues**.

Queda hecho el depósito que marca la Ley Nº 11.723

© **edUTecNe, 2018**

Sarmiento 440, Piso 6 (C1041AAJ) Buenos Aires,

República Argentina

Publicado Argentina – Published in Argentina

ISBN 978-987-4998-20-0



Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.



Tercera Jornada de Investigación en Ingeniería Civil

Autores

Docentes

Ing. Fernando J. Arrayago	Mag. Ing. Tito Lasanta
Dra. Sofia Astelarra	Esp. Ing. Ricardo Marino
Esp. Daniel Ballester	Ing. Esteban Morales
Dr. Ing. Raul Bertero	Mag. Arq. Raquel Perahia
Ing. Guillermo Bochaton	Mag. Ing. Jose M. Pereiras
Ing. Marcelo Cabrera	Ing. Julio C. Tomas
Esp. Ing. German A. Ivaldi	Mag. Ing. Enrique Hector Vera
Dr. Ing. Claudio E. Jouglard	

Estudiantes

Sr. J. M. Nunes Borges	Sr. Facundo Nicuesa
Sr. Juan Pablo Cerrotta	Sra. Andrea Sanchez
Sra. Giselle Lillo Lillo	Sr. Leandro Serraiocco
Sra. Micaela Macchiarelli	Sr. Pablo N. Taroni
Sr. Tomas Mari	

CONTENIDO

PRESENTACIÓN DEL SEÑOR RECTOR DE LA UTN – FRGP ING. JOSÉ LUIS GARCÍA.....	7
PRÓLOGO DE SEÑOR SECRETARIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA UTN - FRGP DR. ADRIÁN CANZIAN	8
PRÓLOGO DE SEÑOR DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL UTN – FRGP MG. ENRIQUE VERA.....	9
FUNDAMENTOS	10
DESARROLLO DE LA JORNADA.....	10
PRESENTACIÓN.....	11
EXPOSICIÓN DE LOS TRABAJOS Y CIERRE DE LA JORNADA.....	11
AVANCE PRELIMINAR SOBRE LA CUESTIÓN DEL DESARROLLO SUSTENTABLE DENTRO DE LA GESTIÓN ACADÉMICA EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS CIVILES.....	12
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	12
EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE	16
OBJETIVOS DEL PID.....	17
ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS	18
ANÁLISIS DE LAS ENTREVISTAS AL CONSEJO DEPARTAMENTAL	19
CONCLUSIONES PRELIMINARES	24
BIBLIOGRAFÍA	25
DENOMINACIÓN DEL PID: EVALUACIÓN DE PROPIEDADES DEL ÁLAMO DEL DELTA ARGENTINO.....	26
RESUMEN	26
1. INTRODUCCIÓN.....	26
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
2.1 <i>Materiales</i>	27
2.2. MÉTODOS	29
2.2.1. <i>Procedimiento de laboratorio</i>	29
2.2.2. <i>Procedimiento de cálculo de las contracciones lineales longitudinal, radial y tangencial</i>	29
2.2.3. <i>Procedimiento de cálculo de la contracción total longitudinal, radial y tangencial</i>	29
2.2.4. <i>Procedimiento de cálculo de la contracción volumétrica total</i>	30
3. RESULTADOS.....	30
4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN	32
5. BIBLIOGRAFÍA.....	33
DISPOSITIVOS DE ATENUACIÓN TEMPRANA EN LOS PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN LLUVIA CAUDAL EN EL TERRITORIO DEL AMBA.	34
RESUMEN	34
ANTECEDENTES	34
LAS VARIABLES DE ANÁLISIS.....	35
1. <i>El régimen de lluvias</i>	35
2. <i>El territorio y su hábitat ante el riesgo de inundaciones</i>	36
OBJETIVOS	36
AVANCES	37
DETERMINACIÓN DE DISPOSITIVOS DE RETENCIÓN	37
CLASIFICACIÓN DE PAQUETES Y SU DISEÑO	38
PRUEBA DE PAQUETES DE SUELO CON SIMULADOR DE LLUVIAS.	38
CONCLUSIONES PRELIMINARES	39

FORMULACIÓN NODAL EN ELEMENTOS FINITOS ISOPARAMÉTRICOS PARA UNA RECUPERACIÓN MÁS PRECISA DEL CAMPO DE TENSIONES.....	40
RESUMEN.....	40
1. INTRODUCCIÓN.....	41
2. ECUACIONES DE ELEMENTOS FINITOS PARA ELASTICIDAD LINEAL.....	41
3. INTEGRACIÓN NODAL PARA PLASTICIDAD Y CONTACTO	52
4. CONCLUSIONES.....	53
REFERENCIAS.....	53
DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE HARDWARE LIBRE Y SENSORES MEMS. PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES Y TU POSTERIOR EVALUACIÓN RESPECTO DEL DAÑO DE REVESTIMIENTO DE EDIFICIOS.	55
RESUMEN	55
1. INTRODUCCIÓN.....	55
CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DE LECHADAS CEMENTICIAS PARA INYECCIÓN DE VAINAS EN HORMIGONES POSTENSADOS.	63
RESUMEN	63
INTRODUCCIÓN	63
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	65
METODOLOGÍA	65
VINCULO ACADÉMICO.....	65
MATERIALES.....	66
RESULTADOS.....	67
EXUDACIÓN	68
RESISTENCIA	68
CONCLUSIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	69
DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN Y PREDICCIÓN DE CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL PARA UNIONES CON PERNOS EN MADERA LAMINADA Y MADERA MACIZA, USANDO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y MODELOS NUMÉRICOS.....	70
RESUMEN.....	70
1. INTRODUCCIÓN.....	70
2. ANTECEDENTES.....	71
3. METODOLOGÍA.....	74
4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	77
5. PROYECCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	77
REFERENCIAS:	78
INTERACCIÓN HUMANO ESTRUCTURA EN PASARELAS PEATONALES DE ESTRUCTURAS MECÁNICAS ..	80
RESUMEN	80
ANTECEDENTES	80
LABORATORIO UTN FRGP.....	81
DESARROLLO DE LA PLATAFORMA ARDUINO	86
CASO PASARELA PEATONAL ESTUDIADO.	88
ESTUDIOS DINÁMICOS EN MODELO NUMÉRICO EN ELEMENTOS FINITOS.....	89
ADQUISICIÓN DE DATOS EN CAMPO	91

METODOLOGÍA	92
POST-PROCESAMIENTO.	93
REGISTRO DE ACELERACIONES	93
TRANSFORMADA DE FOURIER.....	94
FRECUENCIAS NATURALES	94
AMORTIGUAMIENTO	95
MODO DE OSCILACIÓN.....	97
CONCLUSIONES	98
TRABAJOS FUTUROS.	98
AGRADECIMIENTOS.....	99
REFERENCIAS	99

Presentación del Señor Decano de la UTN – FRGP Ing. José Luis García



En el contexto actual, la actividad de investigación en las universidades cobra cada vez más importancia. Más allá de los posibles condicionantes, debemos tener como meta esta actividad como complementaria de las actividades académicas.

La investigación, como la extensión son parte de la formación de los estudiantes y aportan sustancialmente a su perfil profesional.

Hoy se está hablando de la formación por competencias, de cómo lograr la formación integral de profesionales tanto en competencias genéricas como específicas.

El Libro Rojo de CONFEDI propone las competencias genéricas dividiéndolas en tecnológicas y sociales, políticas y actitudinales, tanto para unas como para otras, la investigación en las universidades aporta de manera significativa, especialmente en las que tienen que ver con las competencias actitudinales.

Desde los primeros procesos de acreditación la facultad viene aumentando en cantidad y calidad la actividad de investigación, lo que demuestra que más allá que fue una imposición de aquel proceso, ésta se ha arraigado, así lo acreditan algunos números. Hoy contamos con 22 Proyectos de investigación, 2 con incentivos, en ellos participan 146 docentes investigadores y una importante cantidad de estudiantes.

Si bien el nuevo proceso de acreditación con estándares de 2da. generación evaluará algunos aspectos en forma distinta al proceso anterior, en lo que respecta a investigación no se han modificado los criterios, por lo tanto, desde esta perspectiva mantiene su importancia.

Como práctica periódica, el Departamento de Ingeniería Civil realiza una actividad de difusión de sus avances, que denominan Jornadas de Investigación, la cual constituye un evento importante que potencia la investigación.

Es un gusto para mí, como responsable de esta casa de estudio, ver cómo ha evolucionado la actividad de Investigación no solo en este departamento sino en todas las carreras que dictamos.

Ing. José Luis García

Decano

Facultad Regional General Pacheco

Prólogo de Señor Secretario de Ciencia y Tecnología UTN - FRGP Dr. Adrián Canzian



Asistimos a un incremento sustancial de las aplicaciones tecnológicas. De la mano de la conectividad y de sensores remotos se abre un abanico tecnológico predictivo, que tiempo atrás, sólo estaba en meras especulaciones. Por otra parte, temáticas como el medio ambiente aumentan su relevancia ante el avance que imprime la revolución social – económica de la Industria 4.0. Para una sociedad estar en la vanguardia tecnológica implica realizar una gran inversión en Investigación, Desarrollo e Innovación (I&D+i). Surge claramente, el rol de liderazgo que debe desempeñar la Universidad, y en particular, nuestra Facultad Regional. La UTN

a partir de sus grupos de investigación puede brindar respuestas a distintas problemáticas.

A partir de su génesis, la Facultad Regional General Pacheco ha tenido una impronta profunda con el sector productivo de la región. Con la acreditación de las carreras de ingeniería se incrementaron los proyectos de investigación (PID), y en el caso particular de Ingeniería Civil dichos proyectos están abordando y dando respuestas a diferentes temáticas.

Por otra parte, la fortaleza del proceso de investigación se ve enriquecida por la participación de los alumnos de la carrera. Los alumnos que integran un PID adquieren habilidades que complementan a las académicas, lo anterior hace al futuro profesional donde la creatividad permite generar innovaciones que ataquen el problema del medio ambiente; la eficiencia energética, las buenas prácticas profesionales, entre otras.

Esta Tercera Jornada de Investigación en Ingeniería Civil nos acerca los proyectos de investigación que se encuadran dentro del plan estratégico de investigación del Departamento de Ingeniería Civil (PEI-IC). La presentación de los mismos por parte de los investigadores y de los estudiantes y la interacción con la comunidad sin duda nos brinda una oportunidad única para posicionarnos en la vanguardia tecnológica.

Dr. Adrián Canzian
Secretario de Ciencia y Tecnología
Facultad Regional General Pacheco

Prólogo de Señor Director del Departamento de Ingeniería Civil UTN – FRGP Mg. Enrique Vera



El Departamento de Ingeniería Civil nuevamente logra un hito al generar actividades extra áulicas que permiten complementar lo que significa la enseñanza universitaria, que no sólo se nutre de las actividades académicas curriculares sino también de otras actividades que perfeccionan la formación integral del estudiante.

En ese sentido, las actividades de investigación constituyen un valor importante. Luego de las 1° JJII del año 2011 y de las 2° JJII del año 2014, nos pareció importante darle continuidad a esta actividad a fin de mostrar lo que se está realizando y ver su evolución. Por ello en octubre de 2018 se realizaron las 3° JJII, las cuales constituyeron un evento importante con gran asistencia de docentes y estudiantes. Pudimos apreciar las mejoras acaecidas respecto de las anteriores en cuanto a cantidad, pero especialmente en cuanto a perfil de temáticas abordadas, algunas de las cuales tienen que ver con el ambiente y con una identificación regional.

La actividad de investigación en nuestra carrera surge como una necesidad en la época de las primeras acreditaciones, pero se ha transformado en una parte constitutiva de nuestra carrera, si bien es embrionaria tenemos la expectativa de que la misma se siga afianzando. Agradecemos a todos los docentes y estudiantes que realizan un esfuerzo importante y también a las autoridades que siempre apoyan nuestras iniciativas.

Mg. Enrique Vera
Director del Departamento de Ingeniería Civil
Facultad Regional General Pacheco

Fundamentos

La III Jornada de Investigación en Ingeniería Civil se inscribe dentro del Plan Estratégico de Investigación elaborado por el Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad Regional General Pacheco; por lo cual, esta jornada se configura como un elemento más que manifiesta el sostenimiento de la continuidad de las políticas departamentales de nuestra carrera.

En este contexto, en los últimos años, la actividad de investigación en ingeniería civil en nuestra facultad ha ido afianzando líneas de investigación e incorporando nuevos proyectos que podrían definir nuevas temáticas a abordar.

Por estas razones, la III Jornada de Investigación en Ingeniería Civil constituye una gran oportunidad para dar a conocer a la comunidad estudiantil y de docentes de ingeniería civil, así como también a la comunidad académica en general, los avances de los proyectos de investigación de nuestra carrera. Promoviendo, de esta forma, la comunicación de los proyectos de investigación en ejecución e incentivando a la comunidad universitaria a la participación en actividades de investigación.



Desarrollo de la Jornada

El día 10 de octubre de 2018, se llevó a cabo la Tercer Jornada de Investigación en Ingeniería Civil en la Facultad Regional General Pacheco de la UTN, con presencia de un gran número de estudiantes, docentes, becarios e investigadores del Departamento de Ingeniería Civil. Asimismo, la jornada contó con la presencia y participación del decano de la Facultad, el Ing. José Luis García, del Secretario de Ciencia y Tecnología, Dr. Adrián Canzian, y otras autoridades de la institución.

Presentación

La presentación de la Jornada estuvo a cargo del Decano, Ing. José Luis García, del secretario de Ciencia y Tecnología de la FRGP, Dr. Adrián Canzián, y del Director del Departamento de Ingeniería Civil, Mg. Ing. Enrique Vera.

El Ing. José Luis García brindó una cordial bienvenida a quienes asistieron a la jornada y resaltó la iniciativa del Departamento de Ingeniería Civil de continuar con la política de divulgación de los avances en las actividades de investigación de la carrera mediante una jornada especial que abre sus puertas a toda la comunidad universitaria.

El Dr. Adrián Canzián, por su parte, enmarca la actividad dentro de las políticas estratégicas de la Facultad resaltando el valor de la transferencia académica. Asimismo, destaca el avance en calidad y en cantidad de los proyectos de investigación de la carrera de Ingeniería Civil.

El Ing. Enrique Vera agradeció la participación y dedicación de estudiantes, docentes e investigadores en la jornada, destacó la evolución de la actividad de investigación de la carrera manifiesto en la cantidad de proyectos en vigencia y las temáticas abordadas. Por último, dio inicio a la III Jornada en Investigación en Ingeniería Civil.



Exposición de los trabajos y cierre de la jornada

La coordinación de la exposición de los trabajos estuvo a cargo del Mg. Ing. José Pereiras. Se presentaron siete ponencias que mostraron a la audiencia los avances en cada de uno de los proyectos de investigación de la carrera de Ingeniería Civil.

Al finalizar las exposiciones, se abrió el espacio de preguntas a los investigadores por parte de la audiencia para profundizar sobre los temas expuestos.

Por último, a modo de cierre, el coordinador de la jornada, el Mg. Ing. José Pereira, inició una reflexión con los estudiantes en torno a una pregunta sobre la importancia de la investigación en la formación de los profesionales ingeniería civil.

Avance preliminar sobre la cuestión del desarrollo sustentable dentro de la gestión académica en la formación de ingenieros civiles.

Autores: Dra. Sofía Astelarra, Ing. Guillermo Bochaton, Andrea Sánchez

Resumen

Este trabajo se enmarca en el Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID): “Estudio y formulación de estrategias de gestión académica para la formación de ingenieros civiles para el desarrollo sustentable en la Universidad Tecnológica Nacional”¹. Realizado por tres facultades regionales del país (Pacheco, Rosario y Mendoza) en la carrera de Ingeniería Civil.

El objetivo del presente trabajo es describir los avances preliminares llevados adelante en la Regional Pacheco, respecto a la indagación sobre la importancia, el reconocimiento y significado del desarrollo sustentable en la formación de ingenieros² civiles para los representantes del Consejo Departamental.

El trabajo introduce el marco conceptual del PID en torno a la noción de Desarrollo Sustentable y de Sustentabilidad, así como también lo enmarca en la Educación para el Desarrollo Sustentable. Por último, se explicitan las estrategias metodológicas y se brindan los resultados preliminares de la investigación.

Palabras clave: *Desarrollo Sustentable – Gestión Académica – Ingeniería Civil – Educación para el Desarrollo Sustentable*

Introducción

En el Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID): “Estudio y formulación de estrategias de gestión académica para la formación de ingenieros civiles para el desarrollo sustentable en la Universidad Tecnológica Nacional”, hemos caracterizado que tanto la noción de desarrollo como la de desarrollo sustentable son polisémicas de manera que los diferentes actores sociales disputan su sentido a lo largo del tiempo-espacio. Por ello, nos resulta importante indagar cómo se expresan, comprenden o definen esos diferentes sentidos acerca del desarrollo sustentable dentro de la formación de los profesionales de la ingeniería civil. Esta descripción y posterior caracterización de nociones nos permitirá buscar soluciones que favorezcan tanto la comprensión de la realidad, como la elaboración de estrategias de gestión académicas acordes a las necesidades actuales.

Varios autores han sostenido que el acta de nacimiento o la instalación en el escenario internacional del desarrollo sustentable (en adelante DS) se produjo a partir

¹PID UTN TEIFNRO0004587. Directora: Mg. Liliana Ferranti. Codirector: Ing. Osvaldo Russo.

² Nos posicionamos en aquellas teorías que comprenden al lenguaje como una construcción social, que por tanto se transforma a lo largo del tiempo-espacio. Pese a que no ha sido aceptado por algunas instituciones y que aún es una disputa académica, decidimos utilizar la “e” para incorporar la diversidad de expresiones de sexo-género.

del Informe Brundtland titulado “Nuestro Futuro Común” (1987). El documento hace un llamamiento en pos de un DS, enunciado como: “la humanidad está en condiciones de realizar un desarrollo sustentable en el tiempo, en forma tal que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones en atender sus propias necesidades” (Informe Brundtland, 1987).

Esta noción es el resultado de un consenso entre diferentes actores sociales que en décadas anteriores venían debatiendo respecto a los modelos económicos, políticos, sociales y ecológicos en América Latina y el mundo (Dipace y Crojetovich, 2001; Gudynas, 2009), a partir de que se tomaba conciencia de la escala global de determinados impactos ambientales, económicos y sociales. Cabe señalar que estas problematizaciones tienen larga data, ya a fines del siglo XIX y principios del siglo XX, surgieron movimientos sociales y ambientales tanto en el continente europeo como latinoamericano. En el primero, estuvieron vinculados a un cuestionamiento de los impactos en los procesos de industrialización y urbanización sobre las áreas naturales, ríos y cuencas, surgiendo las primeras tendencias ambientales conservacionistas ligadas a lo que hoy denominamos parques o reservas naturales. Mientras que, en el segundo, fueron los pueblos indígenas y los movimientos de campesinos quienes visibilizaron las emergentes problemáticas ambientales ligadas a procesos de deterioro o degradación de sus hábitats. En décadas más recientes surgen los movimientos ambientales, como por ejemplo, en 1970 surgen organizaciones como Amigos de la Tierra Internacional y Greenpeace, entre otras.

A partir del accionar y de la capacidad de problematización en las esferas públicas de estos impactos ambientales, sociales y económicos por parte de las organizaciones de la sociedad civil es que las cuestiones ambientales han ido adquiriendo relevancia en las agendas gubernamentales de las naciones y se han ido conformando los organismos internacionales necesarios para establecer acuerdos, pactos, tratados y diferentes mecanismos de regulación y control, más recientemente de remediación y mitigación. De allí que surgiera la noción de DS.

Según Di Pace, “lo más rico de este concepto es que para que tales condiciones se satisfagan se requiere un enfoque basado en la interdependencia y en la estrecha relación entre la ecología y la economía, entre el ambiente y el desarrollo, es decir que un problema ambiental requiere de una mirada interdisciplinaria: que considere los aspectos físicos, sociales, económicos, políticos. La definición y objetivos propuestos por el Informe Brundtland constituyeron el disparador para la formulación de nuevas contribuciones al debate sobre el DS. Aun cuando las postulaciones de dicho documento no son nuevas, el principal mérito del mismo radica en la difusión masiva de un debate articulado entre ambiente y desarrollo” (Di Pace, 2001).

Sin embargo, ya pasado casi medio siglo de que este concepto y organismos internacionales se conformaran podemos advertir que las problemáticas ambientales persisten, incluso la noción de “crisis ambiental” es cada vez más citada y corroborada científicamente. Al mismo tiempo que se toma conciencia de la escala global de la problemática ambiental, se advierte la dificultad de su resolución en un contexto de falta de voluntad política de algunos países, en particular de aquellos cuya incidencia en el deterioro ambiental es proporcional a su potencial tecnológico y a su nivel de participación en el mercado global (PID, 2017). Cada uno de los países miembros argumenta sus acciones u omisiones en pos de un tipo de DS, quedando en evidencia

que hay definiciones diferentes e incluso contrapuestas del mismo.

Esas tensiones en relación con la noción de desarrollo, no obstante, permiten alertar sobre los efectos que produce el modelo hegemónico de organización mundial del territorio, de la producción y de la distribución de las riquezas, en términos de igualdad entre sociedades y en términos de preservación de los bienes comunes de la naturaleza. Por lo tanto, pensar en desarrollo sustentable implica pensar en modelos alternativos de desarrollo.

A nivel de agenda gubernamental internacional, se sucedieron una serie de encuentros con el propósito de asumir compromisos relacionados con el ambiente. Entre ellos, mencionamos la primer Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, realizada en Estocolmo en 1972 (donde se trató el informe “Los límites al Crecimiento”); en 1992 Conferencia de Río sobre Medio Ambiente (donde surgió la Agenda 21); en 2012 la Cumbre de los Pueblos (aquí se incorpora los Derechos a la Naturaleza en constituciones nacionales en Ecuador y Bolivia); y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III), realizada en 2016, en Quito, Ecuador.

Con el propósito de dar cuenta sobre las distintas tendencias en torno a las relaciones entre ambiente y desarrollo, tomamos la siguiente categorización que propone Gudynas (2004):

No se incorpora la sustentabilidad		Ideología del progreso ; metas de crecimiento económico, artificialización del ambiente, rechazo de límites ecológicos
Se incorpora la sustentabilidad	Sustentabilidad Débil	Se aceptan los temas ambientales; visión reformista de articular el progreso con una gestión ambiental ; límites ecológicos modificables; economización de la Naturaleza; enfoque técnico
	Sustentabilidad Fuerte	Mayores críticas a la ideología del progreso; economización de la Naturaleza, pero con preservación de un stock crítico ; enfoque técnico-político
	Sustentabilidad Super-fuerte	Crítica sustantiva a la ideología del progreso; búsqueda de nuevos estilos de desarrollo ; concepto de Patrimonio Natural; ética de valores propios en la Naturaleza; enfoque político

Tabla 1 – Tendencias en la relación entre desarrollo y ambiente. (Gudynas, 2004)

Al respecto Gudynas señala que es posible agrupar las diferentes expresiones en tres grandes corrientes: sustentabilidad débil; sustentabilidad fuerte y sustentabilidad súper-fuerte. El desarrollo sostenible débil acepta modificar los procesos productivos actuales para reducir el impacto ambiental y considera que la conservación es necesaria

para el crecimiento económico. Por ello apuesta a la reforma técnica (mejores y más eficientes usos de la energía, mitigación de la contaminación, etc.) y otorga un fuerte peso a los instrumentos económicos. Detrás de esta idea está la reciente proliferación de estudios sobre “valoración económica” de los recursos naturales, postulando el concepto de “Capital Natural”. La cuestión urbana bajo esta corriente enfatizaría las soluciones técnicas, por ejemplo, a los problemas de contaminación, y apostaría a generar mercados alternativos para los bienes y servicios ambientales.

El desarrollo sostenible fuerte advierte que no toda la Naturaleza puede ser reducida a un Capital Natural, ni que todas las valoraciones son económicas. Por ejemplo, un árbol puede ser convertido en muebles (Capital Natural transformado en bienes), pero no es posible una reversión, en la cual el capital de origen humano pueda sencillamente transformarse en Capital Natural. Por más dinero que se disponga, los árboles no crecerán más rápido. Por lo tanto, se subraya la necesidad de asegurar la supervivencia de especies y la protección de ambientes críticos, más allá de su posible uso económico.

Finalmente, la sustentabilidad súper-fuerte sostiene que el ambiente debe ser valorado de muy diferentes maneras, además de la económica: también existen valores culturales, ecológicos, religiosos o estéticos, que son tanto o más importantes. Por esta razón enfatiza el concepto de “Patrimonio Natural”, entendido como un acervo que se recibe en herencia de nuestros antecesores y que debe ser mantenido, legado a las generaciones futuras, y no necesariamente vendible o comprable en el mercado.

Siguiendo esta línea de pensamiento, la sustentabilidad súper-fuerte se apoya en gran medida en una nueva ética, donde en esa pluralidad de valores, se acepta que la Naturaleza tiene valores que son propios a ella y que son independientes de la utilidad que puedan tener para el ser humano. Por el contrario, la sustentabilidad débil particularmente tiene una perspectiva utilitarista y antropocéntrica. Asimismo, la postura súper-fuerte rompe con la idea del crecimiento económico como motor del desarrollo, y pone el acento en la calidad de vida y del entorno. Esto desemboca en una crítica más aguda a la construcción del espacio urbano, poniéndose en entredicho los procesos políticos, sociales y económicos en el uso del espacio. Para esta corriente se logrará una “ciudad sustentable” a partir de una reformulación sustancial del desarrollo contemporáneo (Gudynas, 2009).

Es importante advertir que estas corrientes no son opuestas, y en realidad una contiene a la otra. En efecto, la sustentabilidad súper-fuerte reconoce que la valoración económica (propia de la sustentabilidad débil), es una forma de valoración entre varias. Por este tipo de razones, estas perspectivas expresan también diferentes papeles para la ciencia, la política, la gestión y la educación.

Finalmente, dentro del campo que nos interesa indagar, estas diferentes miradas en torno al DS han tenido su correspondencia en las propuestas para la educación y formación ambiental que surgieron de diversos encuentros internacionales. Algunas de estas quedaron principalmente a nivel discursivo y no propiciaron acciones concretas y colectivas para mejorar la calidad de vida de la mayoría de la población mundial.

Educación para el Desarrollo Sustentable

En 2002, tras la Cumbre Mundial Sobre Desarrollo Sostenible celebrada en Johannesburgo, se afianzaron conceptos sobre Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) afirmando que “la educación para la sostenibilidad deberá potenciar el compromiso con valores, principios, actitudes y comportamientos y, más concretamente, con una noción de justicia y equidad ampliamente comprendida, así como, el sentimiento de compartir un destino común con todos los pueblos”.

Ese mismo año, Naciones Unidas proclamó “Decenio de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sustentable” al período 2004-2015, asignando a la UNESCO como responsable de la coordinación y ejecución de un Plan de aplicación internacional. Entre otras, dicho plan propuso: promover la sensibilización con la EDS; reorientar los programas de estudios, la enseñanza y el aprendizaje; desarrollar las capacidades en materia de EDS; respaldar la investigación, el seguimiento y la evaluación relacionados con la EDS; Reforzar la cooperación internacional y regional; reforzar las redes nacionales; reforzar la coordinación; y aumentar la financiación de la EDS.

Contemplando la complejidad de incorporar las nociones en relación con el EDS en las universidades, las investigaciones fueron enfocándose en aspectos institucionales y organizativas con el propósito de proponer acciones que superen los inconvenientes pasados. Wals y Jickling (2002; citado en PID, 2017) sostienen que la sostenibilidad, en tanto fenómeno complejo, debe abordarse en la educación de manera interdisciplinaria, sistémica y holística desde aspectos pedagógicos referidos a conocimientos, actitudes y habilidades. En sus propuestas, fomentan la integración teoría-práctica sobre situaciones reales promoviendo la creatividad, el compromiso y aprendizajes experienciales.

De acuerdo con Junyent, Bonil y Calafell (2011; citado en PID, 2017), se diseñaron planes estratégicos de sostenibilidad tanto a nivel nacional como internacional, y en particular en las universidades; los cuales aportaron el marco para la creación de redes de instituciones universitarias que promovieron el intercambio de experiencias, investigaciones y recursos. Entre ellas, se destaca la red Ambientalización Curricular de los Estudios Superiores (ACES) que se dedicó al diseño de modelos e instrumentos para la EDS trabajando en red entre 11 universidades (5 europeas y 6 latinoamericanas).

Por su parte, la Conferencia de Rectores de Universidades Españolas (CRUE) aprobó la creación, en 2002, del Grupo de Trabajo de la Calidad Ambiental y el Desarrollo Sustentable. Este grupo elaboró lineamientos, cuya última actualización es del año 2012, a ser considerados en los diseños curriculares con el objeto de incorporar la sostenibilidad en la formación.

En el campo de la ingeniería, el concepto de sustentabilidad comienza a ser incorporado desde lo discursivo para proyectarse en los procesos de formación. En el “Congreso Mundial de Ingeniería 2010” realizado en la ciudad de Buenos Aires, tuvo como uno de sus capítulos temáticos a la “Formación del ingeniero para el desarrollo sostenible”. Uno de los objetivos del congreso fue “Impulsar el trabajo conjunto de los ingenieros con las fuerzas productivas para lograr la convergencia que fortalezca su cooperación conducente al desarrollo sostenible, con protección ambiental, equidad e

inclusión social, tal como lo definió la Cumbre Mundial de las Naciones Unidas en 1992 en Río de Janeiro”.

El Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI, 2010), en sus aportes al capítulo “Formación del ingeniero para el desarrollo sostenible” destaca la necesidad de formar profesionales con una visión sistémica para el Desarrollo Sustentable.

Los profesionales de la ingeniería, y en particular de la ingeniería civil, en tanto proyectistas, constructores y operadores de grandes obras que transforman el territorio, constituyen actores centrales de la tensión existente entre desarrollo y ambiente. El desconocimiento de conceptos ambientales básicos en el ejercicio profesional implica poner en riesgo los bienes comunes de la naturaleza y, en consecuencia, la vida humana. Por lo tanto, las universidades se encuentran con la responsabilidad de incorporar este enfoque en la formación de los profesionales de la ingeniería civil.

La EDS requiere emplear propuestas pedagógicas y métodos participativos que permitan construir un pensamiento crítico y reflexionar sobre situaciones reales, fomentando el abordaje interdisciplinario (Ferrer y col, 2008; citado en PID, 2017). No obstante, se advierte la dificultad de incorporar esos lineamientos a las instituciones educativas, tanto por las estructuras de gobierno y gestión como por las cátedras; lo cual se explicaría, en parte, por la resistencia al cambio propia de las prácticas continuadas que no se someten a una reflexión.

Objetivos del PID

En este contexto, el presente proyecto de investigación se considera una continuidad del PID “Estrategias didácticas y metodológicas para transferir saberes ambientales en la formación del Ingeniero Civil de cinco Facultades de la UTN” abordado entre 2014 y 2016. El cual concluyó en la necesidad de abordar la problemática desde la gestión académica, además de profundizar los objetivos que habían sido propuestos con relación a la capacitación docente y estrategias didácticas para la formación para el desarrollo sustentable.

En este sentido, los objetivos generales planteados para el presente proyecto de investigación se proponen:

- Instalar en los diferentes niveles de la gestión de las carreras de ingeniería civil que se dictan en la UTN, el concepto de desarrollo sustentable.
- Estimular, en el seno de la comunidad académica de nuestra universidad, el desarrollo de un pensamiento crítico acerca de la influencia que los modelos predominantes a escala global ejercen sobre el desarrollo sustentable en los niveles nacional, provincial y local.
- Analizar y evaluar principios y fundamentos didáctico-pedagógicos para desarrollar procesos flexibles de enseñanza y aprendizaje que propicien la formación de ingenieros para el desarrollo sustentable.

Para ello, se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar y diagnosticar el grado de compromiso existente en torno a la temática del desarrollo sustentable, en los diferentes niveles de gestión de la carrera de ingeniería civil de la UTN, involucrando a la propia Universidad y a las Facultades Regionales participantes.
- Identificar y desarrollar estrategias apropiadas de gestión que fomenten la inclusión de la perspectiva del desarrollo sustentable en la carrera de ingeniería civil de la UTN.
- Diseñar y aplicar procesos específicos de interacción con los consejos departamentales y directivos de las facultades regionales participantes, que favorezcan la toma de conciencia sobre la necesidad de la gestión en la formación de ingenieros civiles para el desarrollo sustentable.
- Generar criterios para la elaboración de diseños curriculares de la carrera, inclusivos de la perspectiva del desarrollo sustentable.
- Evaluar las posibilidades de extrapolación de la temática a otras carreras de ingeniería que se dictan en el ámbito de la Universidad Tecnológica Nacional.
- Promover en forma conjunta, desde la investigación y la gestión departamental, acciones de capacitación para el desarrollo sustentable.
- Experimentar en el aula nuevas estrategias didácticas para la formación de profesionales de la ingeniería civil para el desarrollo sustentable.

Estrategias metodológicas

La metodología de investigación definida dentro del PID está basada en el modelo de investigación-acción (Corey, 1953; Pérez Serrano, 1990; citado en PID, 2017) que se define como un proceso investigativo emprendido por sus propios participantes, cuyo objetivo está centrado en conocer y comprender un aspecto de la realidad de la que se es parte para diagnosticar situaciones problemáticas, diseñar e implementar acciones necesarias para intervenir en la misma con la finalidad de transformarla. Esta elección ha sido considerada la más adecuada, dado que “Tanto la realidad que estudiamos como la acción consecuente se constituyen en una situación delimitada, en un caso concreto: las carreras de ingeniería civil de la UTN.” (PID, 2017).

En una primera etapa exploratoria, desde una metodología cualitativa desarrollamos e implementamos entrevistas semi - estructuradas a los y las integrantes del Consejo Directivo, docentes, graduados y estudiantes. El primer obstáculo que tuvimos fue la dificultad en concertar entrevistas presenciales con la totalidad de las personas, con lo cual, resolvimos flexibilizar la aplicación del instrumento y lo reelaboramos diseñando una encuesta virtual auto-administrada cuya aplicación se ajustaba a las posibilidades de cada consejero/a. De modo que logramos la respuesta de la totalidad de sus integrantes, a saber:

De un total de 20 integrantes del Consejo del Departamento de Ingeniería Civil de la UTN Facultad Regional General Pacheco, se realizaron 11 cuestionarios virtuales y 7 entrevistas semi-estructuradas, abarcando casi la totalidad de representantes. Han

respondido:

- 9 Consejeros Docentes (5 Titulares y 4 Suplentes), de un total de 10.
- 3 Consejeros Graduados, (2 Titulares y 1 Suplente), de un total de 4.
- 6 Consejeros Estudiantiles, tanto Titulares como Suplentes, de un total de 6.

Las preguntas son idénticas para las tres regionales involucradas en el proyecto. Estas versan sobre: la conceptualización u opinión personal respecto al DS; la importancia de esta problemática para la formación profesional en la ingeniería civil; la presencia o no del concepto y/o perspectiva del DS dentro del currículo y la gestión académica; el grado de importancia de incorporar el DS dentro de la gestión, así como su factibilidad. Cada pregunta se ajusta a la especificidad de la experiencia (docente, graduado, estudiante).

Las dimensiones que hemos construido a partir de sistematizar las respuestas tienen que ver por un lado: el sentido o significado de la noción de Desarrollo sustentable (la opinión que tiene al respecto, la importancia que le otorgan y el compromiso que enuncian están dispuestos/as a asumir dentro de la carrera. Por otro lado, una dimensión práctica: las medidas que proponen implementar y la intervención departamental que imaginan al respecto.

Análisis de las entrevistas al Consejo Departamental

Respecto del claustro docente:

En primer lugar, de las opiniones expresadas respecto a la importancia del desarrollo sustentable para la ingeniería civil registramos que este concepto aparece como importante para todas las disciplinas; particularmente, tiene que “ser atendido por todas las disciplinas que implican acciones sobre el medio, sus recursos y sus consecuencias”.

Por otro lado, el DS aparece asociado a la actuación profesional en relación con la intervención del ambiente “dada las características y magnitudes de los proyectos y obras de nuestra especialidad y el impacto que genera su construcción, operación, mantenimiento y disposición final.”

En relación con esto, la actuación profesional de la ingeniería civil también implica un proceso productivo que requiere ser revisado, el cómo producir o “la manera”. Al respecto, se señala la importancia de “la sustentabilidad de los materiales, de los procesos, del uso, del funcionamiento”, asociado a “producir de otras maneras”. En cuanto a esto, otros señalan que “el desarrollo sustentable que ver con el desarrollo productivo del país, es una oportunidad también para empezar a producir de manera sustentable.”

En casi todas se mencionan la relación con lo que podríamos definir como un posicionamiento ético profesional, al expresar que es crucial la “toma de conciencia” de lo importante del DS, algunas mencionan que estamos en una situación planetaria crítica. Algunos expresan que “es necesario que el ámbito académico (docentes, alumnos y autoridades) estén informados para involucrarse activamente

en la problemática del desarrollo sustentable en la ingeniería.”

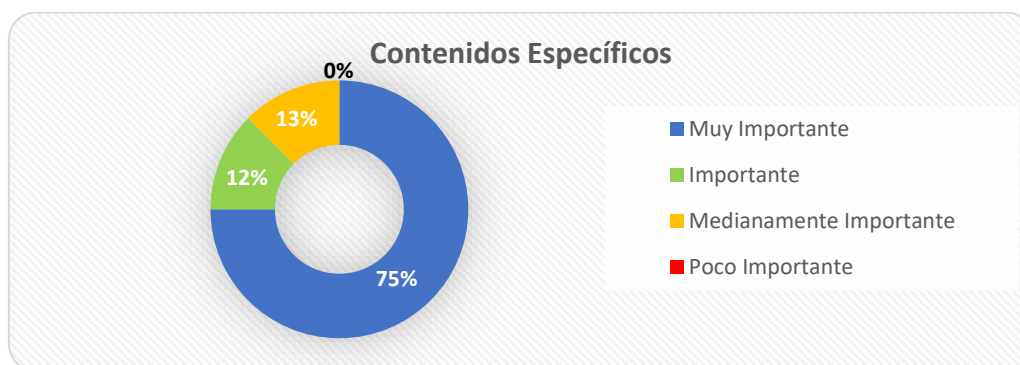
Esta ética está vinculada a “lo cultural” o bien un paradigma “es una mejor forma de ver el mundo, mejor forma de entender los procesos”.

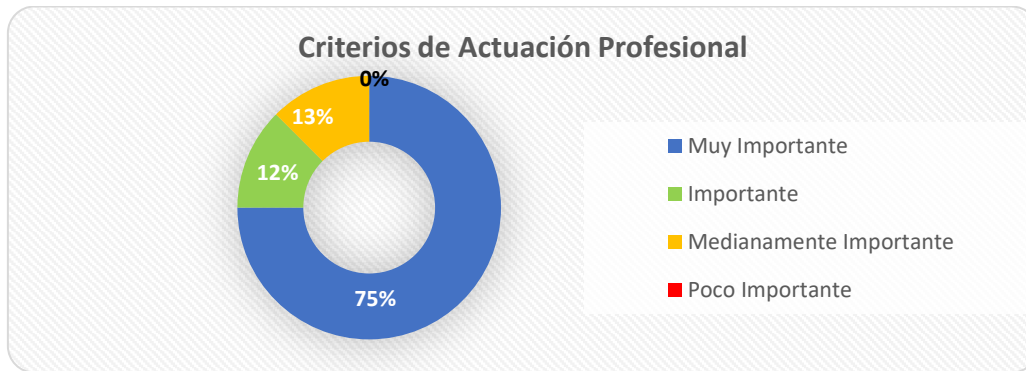
Finalmente, aparece un aspecto institucional, normativo, que apunta a que la generación de normas o leyes para regular las actividades es clave para que comience a tenerse en cuenta, dado que no es posible apelar al aspecto solamente ético profesional vinculado a cuestiones culturales y educativas:

“el tema de este concepto de sustentabilidad hay que tratar de desarrollarlo lo más rápido posible... y hay que empezar a tener además de una conciencia, herramientas, protocolos y métodos concretos para poder aplicar, porque como concepto es complejo [...] Tiene que ver con un tema cultural, tiene que ver con tema educativo, todo ese tipo de cosas, pero en el mientras tanto si todos esperamos que nos concientizamos [...] me parece que a partir de la difusión de las leyes, a partir de la difusión de los protocolos, de los criterios y los conceptos que se vayan poniendo en evidencia en toda la actividad ingenieril, pero que haya cosas concretas para todo ese núcleo de personas que todavía no están concientizados”

Del cuerpo docente, sólo uno tuvo una opinión desfavorable, señalando que: “Si el desarrollo sustentable es un impedimento para que los países en vías de desarrollo progresen, entonces no estoy de acuerdo.” Este discurso opone el desarrollo económico al cuidado del ambiente.

Al analizar cuantitativamente las respuestas en torno al nivel de importancia que los y las consejeros docentes le otorgan a: a) Incluir contenidos específicos en relación con el DS; b) Promover criterios de actuación profesional basados en las premisas del DS; y c) La creación de redes de colaboración, y emprender iniciativas comunes vinculadas al DS con otros actores de la actividad pública y/o privada; se observa lo siguiente:





Gráficos – Elaboración propia, 2018

Tanto en relación con la inclusión de contenidos específicos para el DS como con el fomento de criterios de actuación profesional, se observa que el 75%, casi la totalidad, de los consejeras y consejeros consideran muy importante que se promuevan esas acciones. Mientras que el restante 25% considera importante y medianamente importante que se promuevan esas acciones, siendo nulo el considerarlo “poco importante”.

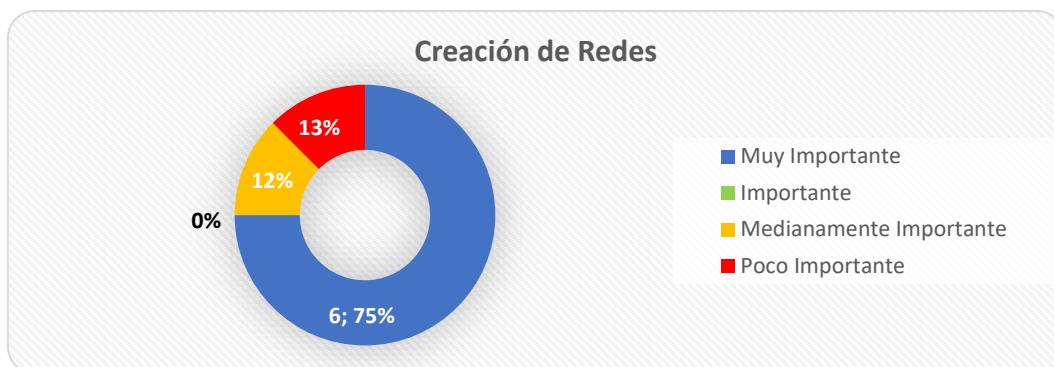


Gráfico – Elaboración propia, 2018

Por su parte, si bien la creación de redes de colaboración fue considerada por el 75% de los docentes como muy importante; el restante 25% lo considera medianamente importante o poco importante.

Respecto a las medidas a implementar dentro de la Carrera de Ingeniería Civil a partir de la información recabada la sistematización resultante ha sido:

- Implementar Talleres de formación o capacitación docente en la temática para generar la inquietud, conocer, informarse y debatir respecto a la noción de DS, las metodologías de aplicación profesional.
- Generar espacios de debate sobre el DS en las Reuniones de Área de la carrera, dado que tienen más alcance en el cuerpo docente. A partir de allí determinar medidas a implementar en la carrera.
- Generar un “Organismo desagregado” similar a una comisión, por ejemplo, la Comisión de seguimiento curricular para debatir respecto DS.

Respecto a la función del Consejo Departamental en el proceso de incorporación del DS en la formación profesional encontramos opiniones disímiles, mientras a algunos (5 consejeros, 56%) les parece apropiado este ámbito para debatir, intervenir y definir lineamientos; para otros (3 consejeros, 33%) les resulta inadecuado dado el objetivo institucional de estos espacios, proponen que se generen otros lugares. Un entrevistado expresa que:

“Los consejos departamentales deben intervenir y debatir la estrategia de incorporación de la perspectiva del desarrollo sustentable en la carrera, entendiendo que están representados los claustros docentes, alumnos y graduados, que son las partes interesadas”

Respecto del claustro de graduados y graduadas:

La totalidad de consejeros y consejeras graduados consultados consideran la relevancia de la relación entre la ingeniería civil y el desarrollo sustentable. “El desarrollo sustentable debe estar presente siempre en cualquier acción que se desarrolle de la ingeniería civil, ya que la misma tiene un impacto en la sociedad y el medio ambiente que debe ser estudiado y analizado. Con el asesoramiento de distintos profesionales y en ámbitos multidisciplinares”.

En cuanto al nivel de importancia sobre incorporar contenidos específicos, promover criterios de actuación profesional y crear redes de interacción, lo valoraron como muy importante casi en su totalidad. Quien destaca como medianamente importante la inclusión de contenidos específicos, lo hace aclarando que considera más importante “instalarlo culturalmente” como primera medida.

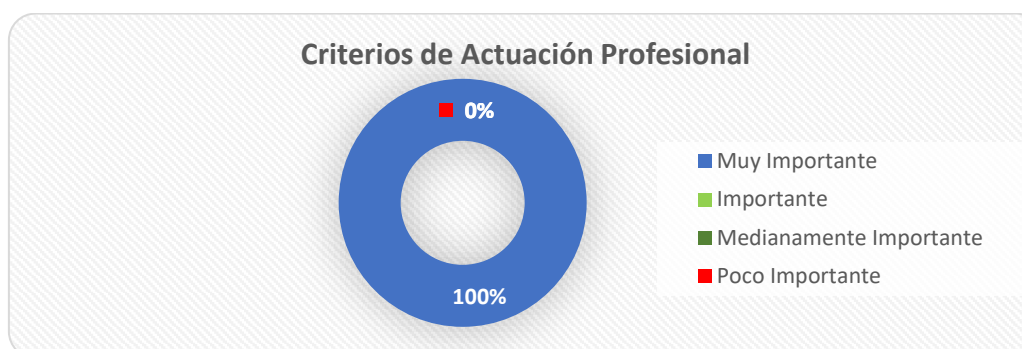
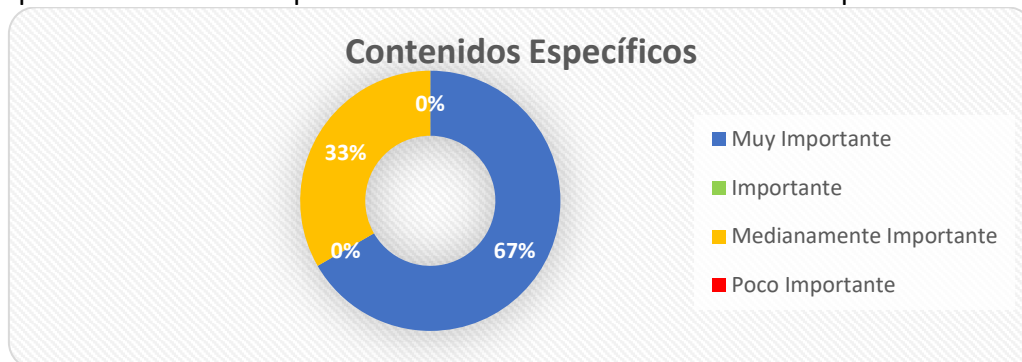


Gráfico – Elaboración propia, 2018



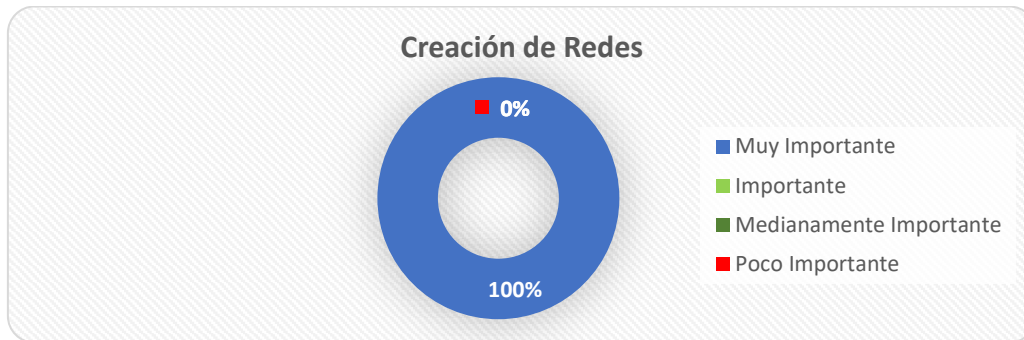


Gráfico – Elaboración propia, 2018

En el claustro de graduados, se destaca que, en cuanto a contenidos específicos sobre DS el 67% lo considera “muy importante”, mientras que el 33% restante medianamente importante, siendo nula la valoración en que sea “poco importante”. Respecto a los criterios de actuación profesional y la importancia de crear redes hay un total acuerdo, el 100%, en que es “muy importante”.

Respecto a medidas a implementar, proponen acciones que orienten el enfoque para el DS en la formación profesional, a través del acceso a la información, la concientización de las problemáticas ambientales, y el uso de instrumentos y herramientas para enfrentarlas.

En cuanto a la consulta sobre la intervención del Consejo Departamental en estos asuntos, la totalidad de los consejeros destacan la necesidad de capacitarse para poder “tener un rol más activo” desde el Consejo.

Por último, respecto al claustro estudiantil:

Las preguntas dirigidas al claustro estudiantil fueron las siguientes:

En cuanto a la relación entre ingeniería civil y el desarrollo sustentable, la totalidad de estudiantes destacaron su importancia. Particularmente, las respuestas de los y las estudiantes avanzados incluían una fuerte perspectiva social de la temática: “un Ingeniero Civil debe ser capaz de ejecutar y gestionar su forma de actuar como trabajador social que es, sin perjudicar a las generaciones futuras de la sociedad”, o bien, “el ingeniero civil desarrolla obras de gran magnitud e íntimamente relacionadas con los espacios urbanos y el uso de los recursos naturales, [...] deberían poseer las herramientas necesarias para desarrollar su actividad de un modo tal que tenga en cuenta el impacto que su trabajo produce en el medio ambiente.”

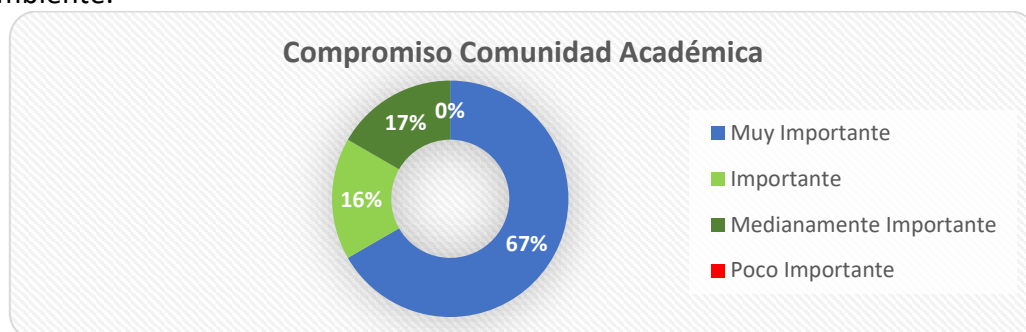


Gráfico – Elaboración propia, 2018

En cuanto a la consulta sobre la consideración del DS por parte de la comunidad académica relacionada con la ingeniería civil, un 67% (4 estudiantes) lo cree muy importante, un 16,5% (1 estudiante) importante y el restante 16,5% (1 estudiante) lo cree poco importante.

Respecto a la consulta sobre la incorporación de contenidos y prácticas, la totalidad respondió positivamente. Algunos destacan que la manera de implementarlos “sería desde la perspectiva de cada asignatura”, exponiendo “nuevas tecnologías y técnicas constructivas en cada área para poder así integrarlo entre los alumnos desde todos los puntos de vista de la carrera y no solo a través de asignaturas específicas” e implicando “capacitación por parte de los docentes”. Por otro lado, otra destaca la implementación de los estudios de casos para “crear conciencia e involucrar a los alumnos en el tema”, y considera que los contenidos deben ser “objetivos y enmarcados desde la ingeniería civil”. Otros puntualizan en la necesidad de tener ejemplos de prácticas y aplicaciones sustentables.

Por último, todos los estudiantes consideran que el Consejo Departamental puede tener intervención en esta cuestión; particularmente, “mediante la promoción de capacitaciones acerca del tema y la incorporación a los programas académicos del desarrollo sustentable no como un tema aparte sino como una manera de ver las asignaturas”. Otros proponen la revisión de programas de materias afines, “haciendo hincapié en la transversalidad de contenidos y prácticas sobre el DS en las asignaturas”.

Conclusiones preliminares

A modo de cierre de este trabajo, destacamos que la totalidad de les entrevistades consideran necesario un compromiso de toda la comunidad académica para abordar la cuestión del Desarrollo Sustentable en la formación del profesional de la Ingeniería Civil.

En este sentido, se concluye que, dada la importancia reconocida, se encuentra necesario:

- Generar espacios de debate y reflexión respecto a las diferentes nociones de DS en la carrera y que se incorpore en el currículo
- Revisar las implicancias y consecuencias de cada noción del DS para la actuación profesional en Ingeniería Civil en relación con la sociedad y el ambiente.
- Socializar y sistematizar las experiencias o prácticas asociadas a la Ingeniería Civil que incorporan el DS.
- Reconocer la importancia de integrar a los diferentes actores sociales involucrados en los procesos de DS.
- Valorizar el trabajo transdisciplinario para la mejor intervención y actuación profesional para el DS.

Por último, a fin de establecer continuidad de estrategias para abordar la temática desde la gestión académica y lograr el compromiso del cuerpo de gestión académica de las facultades regionales involucradas en el presente PID, se elaboró una Declaración en la adopción del enfoque del Desarrollo Sustentable para la formación de profesionales de la Ingeniería Civil para que sea presentada al Consejo Departamental y al Consejo Directivo de cada Facultad Regional.

Bibliografía

- CONFEDI. (2010). La formación del ingeniero para el desarrollo sostenible. *Congreso Mundial de Ingeniería. Buenos Aires*.
- Di Pace, María (2001). "Sustentabilidad urbana y desarrollo local". Módulo 4, Curso de Desarrollo Local de Áreas Metropolitanas, Instituto del Conurbano, UNGS, Los Polvorines.
- Gudynas, E. (2004). Cap. 3 "Una mirada histórica al desarrollo sostenible". En C. L. (CLAES), *Ecología, Economía y Ética del Desarrollo Sostenible*. Montevideo, Uruguay: Coscoroba.
- Gudynas, E. (2009), "Desarrollo sostenible: posturas contemporáneas y desafíos en la construcción del espacio urbano", Revista "Vivienda Popular", Número 18, pp. 12-19, Facultad de Arquitectura, Montevideo.
- PID. (2017). Estudio y formulación de estrategias de gestión académica para la formación de ingenieros civiles para el desarrollo sustentable en la Universidad Tecnológica Nacional. PID TEIFNRO0004587 - UTN SCyT.

Denominación del PID: Evaluación de propiedades del Álamo del delta Argentino

Autores: Ricardo Marino, Esteban Morales, Leandro Serraiocco

Resumen

En el marco de este proyecto se realizó el estudio de la contractibilidad de la madera de *Populus deltoides* cultivado en el delta del Río Paraná. La madera es un polímero natural y sus propiedades físicas tienen diferente comportamiento ante diferentes contenidos de humedad. Los cambios de la humedad ambiente son tomados por la madera buscando alcanzar el equilibrio. Los cambios en el contenido de humedad de la madera provocan cambios dimensionales en las piezas de madera. Esos cambios se los denomina “contractibilidad de la madera”. Su conocimiento es de suma importancia para evaluar el desempeño de la misma y definir su modo de utilización frente a las variaciones de las condiciones higrotérmicas del lugar donde será puesta en servicio. El objetivo de este trabajo es estudiar la contractibilidad de la madera de *Populus deltoides*, álamo cultivado en el Delta del Río Paraná, clones Australiano 129/60 y Stonville 67. La metodología de trabajo empleada es la propuesta en la Norma IRAM 9543/66, “Método de determinación de las contracciones totales; axial, radial y tangencial y punto de saturación de la fibra”. El material de estudio consistió en probetas cortadas por el Grupo. G.E.M.A de la UTN Reg. Concepción del Uruguay. Se presentan los resultados de las contracciones totales en cada plano de corte, la contracción volumétrica total y el coeficiente de anisotropía.

Palabra Clave: Contracciones de la madera, *Populus sp.*, propiedades físicas.

1.Introducción.

Las propiedades físicas y mecánicas de la madera tienen diferente comportamiento ante diferentes contenidos de humedad. En un árbol en pie, cuando aún los tejidos que forman la madera se encuentran vivos, su contenido de humedad supera la saturación de los tejidos. Luego del apeo, esta agua comienza a perderse. [1]

En primer lugar, se pierde el agua libre contenida en los lúmenes celulares, la cual, no afecta en gran medida las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Luego se pierde el agua llamada de impregnación que se encuentra contenida en las paredes celulares de los tejidos de la madera. En este punto, cuando comienza a perderse el agua contenida en el interior de las paredes celulares, el contenido de humedad se lo conoce como punto de saturación de las fibras (PSF). Al disminuir el contenido de humedad por debajo del PSF las células de los tejidos comienzan a contraerse provocando una merma en las dimensiones y aumentan la resistencia y los módulos de elasticidad de sus propiedades mecánicas. [1],[8].

El contenido de humedad en el PSF es característico de cada especie forestal y puede considerarse que se encuentra entre 25% y 35%, según la especie. El contenido de humedad de la madera tiende a alcanzar el equilibrio con la humedad relativa ambiente lo que le da su carácter higroscópico. Los cambios de la humedad ambiente con el transcurrir del tiempo son tomados por la madera buscando alcanzar ese equilibrio,

“humedad de equilibrio higroscópico” (HEH).[7],[9],[5]

Los cambios en el contenido de humedad de la madera provocan cambios dimensionales en las piezas de madera. Esos cambios se los denomina “contractibilidad de la madera”. La disposición característica de los diferentes tipos de células en los tejidos de la madera, le dan su carácter ortotrópico, dando un comportamiento físico y mecánico diferente según el eje de estudio considerado.[2],[3],[6].

El longitudinal o axial es paralelo al eje de crecimiento en altura del árbol, el radial es el perpendicular al axial y el tangencial es normal a los anteriores. Según estos ejes de estudio, los movimientos o cambios dimensionales por lo general son casi despreciables en el eje longitudinal y en el eje tangencial es 2 a 3 veces mayor que en el eje radial. [9] La diferencia de movimiento entre los ejes tangencial y radial son la causa fundamental de las deformaciones y alabeos de las piezas de madera. Cuanto menor es la diferencia entre los cambios dimensionales en el eje tangencial y en el radial, menor será la posibilidad de aparición de grietas y rajaduras con los cambios en el contenido de humedad.[3].

La contractibilidad de la madera puede ser cuantificada permitiendo caracterizar a las diferentes especies de madera. En este trabajo se hará por medio de la normativa del Instituto argentino de Racionalización de Materiales. [4].

Naturalmente estos cambios dimensionales modifican el volumen total de las piezas de madera provocando holguras o tensiones, lo cual afecta las uniones entre elementos de una la estructura.[3]

El buen manejo de la madera en cualquiera de sus aplicaciones como el secado técnico, la ebanistería o el empleo en estructuras, hace necesario conocer sus contracciones lineales Longitudinal, radial y tangencial, su contracción volumétrica y el coeficiente de anisotropía que relaciona las contracciones tangenciales respecto de las radiales.[3]. Estas propiedades son características de cada especie o clon y condicionadas por sus condiciones de crecimiento.[6]. En este estudio de dos clones de álamo, clones Australiano 129/60 y Stonville 67 se aplicaron métodos de test de hipótesis de diferencias de medias para comparar las contracciones de cada uno.[10]

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales

Los cuerpos de prueba utilizados en este estudio consistieron en probetas cortadas de tirantes de 10x20 cm , 6x13 cm y 8x15 cm., en los cuales se identificó la altura en el árbol y la distancia a la médula. Esto permitió realizar la conformación de la muestra a estudiar con probetas que incluyan ambos factores que podrían introducir variabilidad al resultado final de la propiedad física en estudio. De este modo se obtuvieron probetas correspondientes a 1,3 y 0,8 m de altura en el árbol y a 2,5 cm, 5 cm, 7,5 cm y 10 cm de distancia a la médula. En la tabla 1 se muestra la cantidad de probetas estudiadas en cada posición en el árbol.

Las probetas fueron cortadas con las dimensiones requeridas y la orientación de los planos de estudio longitudinal, radial y tangencial.

Clon	Altura	Distancia a la médula	Cantidad de probetas
Stoneville 67 y Australiano 129/60	0,8 y 1,3 m	2,5 ; 5 ; 7,5 ; 10 cm y s/id.	505
Australiano 129/60	0,8 y 1,3 m	2,5 ; 5 ; 7,5 ; 10 cm y s/id.	249
Stoneville 67	0,8 y 1,3 m	2,5 ; 5 ; 7,5 ; 10 cm y s/id.	256
Australiano 129/60	0,8 m (2)	2,5 ; 5 ; 7,5 ; 10 cm y s/id.	125
	1,3 m (3)	2,5 ; 5 ; 7,5 ; 10 cm y s/id.	124
Stoneville 67	0,8 m (2)	2,5 ; 5 ; 7,5 ; 10 cm y s/id.	127
	1,3 m (3)	2,5 ; 5 ; 7,5 ; 10 cm y s/id.	129
Australiano 129/60	0,8 m (2)	2,5 cm (A)	45
		5 cm (B)	24
		7,5 cm (C)	22
		10 cm (D)	4
		Sin identificar (s/id.)	30
	1,3 m (3)	2,5 cm (A)	41
		5 cm (B)	24
		7,5 cm (C)	16
		10 cm (D)	2
		Sin identificar (s/id.)	41
Stoneville 67	0,8 m (2)	2,5 cm (A)	39
		5 cm (B)	34
		7,5 cm (C)	20
		10 cm (D)	4
		Sin identificar (s/id.)	30
	1,3 m (3)	2,5 cm (A)	50
		5 cm (B)	17
		7,5 cm (C)	28
		10 cm (D)	4
		Sin identificar (s/id.)	30

Tabla 1. Cantidad de probetas por clon y ubicación en el árbol

2.2. Métodos

2.2.1. Procedimiento de laboratorio

Las probetas se estabilizaron al aire durante 7 días en las condiciones ambientales de laboratorio. Se pesaron los 4 clavos a clavar, 2 por cada cara de la probeta. Luego fueron clavadas utilizando una plantilla construida para tal efecto, que permitió agilizar el proceso de clavado. En este estado, seco al aire, se pesaron las probetas y tomó la distancia entre clavos de cada cara. Seguidamente fueron secadas en estufa a $103\pm 3^{\circ}\text{C}$ hasta que alcanzaron peso constante. En este estado, seco en estufa, nuevamente se pesaron y midieron las distancias entre clavos en ambas caras.

Por último se saturaron con agua en dos etapas. En la primera, las probetas se sumergieron dejando la testa superior de 2 a 4 mm por encima de la superficie del agua. Se mantuvieron con este nivel de agua hasta percibir el humedecimiento de la probeta en dicha testa. Luego se aumentó el nivel del agua hasta sumergirlas totalmente. Restando el peso de los clavos se obtuvieron los pesos de las probetas en los estados seco al aire y seco en estufa.

2.2.2. Procedimiento de cálculo de las contracciones lineales longitudinal, radial y tangencial

El cálculo de las contracciones lineales se realizó según Norma IRAM 9543/66 por medio de la ecuación (1).

$$\alpha_{l,r,t} = ((L''_{l,r,t} - L'_{l,r,t}) / L'_{l,r,t}) * 100 \quad (1)$$

Donde:

$\alpha_{l,r,t}$: contracción lineal longitudinal, radial o tangencial, en porcentaje, calculadas para ambas caras de cada probeta.

$L''_{l,r,t}$: distancia en mm, entre clavos de las probetas de corte longitudinal, radial o tangencial; en estado saturado.

$L'_{l,r,t}$: distancia en mm, entre clavos de las probetas de corte longitudinal, radial o tangencial; en estado seco en estufa.

El valor de las contracciones lineales de los planos longitudinal, radial y tangencial se obtuvieron como promedio de las contracciones de dichos cortes en cada cara de la probeta.

2.2.3. Procedimiento de cálculo de la contracción total longitudinal, radial y tangencial

Estas se obtuvieron calculando el promedio de las contracciones lineales longitudinales, radiales y tangenciales, respectivamente.

2.2.4. Procedimiento de cálculo de la contracción volumétrica total

El cálculo de la contracción volumétrica total realizo según Norma IRAM 9543/66 por medio de la ecuación (2).

$$\alpha_v = ((100 + \alpha_l) * (100 + \alpha_r) * (100 + \alpha_t) / 10^4) - 100 \quad (2)$$

Donde:

α_v : contracción volumétrica total, en porcentaje

α_l : contracción total longitudinal, en porcentaje, como valor promedio de las contracciones lineales de las probetas de corte longitudinal.

α_r : contracción total radial, en porcentaje, como valor promedio de las contracciones lineales de las probetas de corte radial.

α_t : contracción total tangencial, en porcentaje, como valor promedio de las contracciones lineales de las probetas de corte tangencial.

El análisis estadístico se realizó calculando para cada clon en estudio, las variancias y los coeficientes de variación de las contracciones totales longitudinal, radial y tangencial.

3. Resultados

En la tabla 2 se muestran los resultados de las contracciones totales en los cortes de estudio longitudinal, radial y tangencial.

Clon	Australiano 129/60			Stoneville 67		
	Longitudinal	Radial	Tangencial	Longitudinal	Radial	Tangencial
Promedio	0,19	3,84	8,23	0,11	3,63	8,61
Desvío estándar	0,23	1,30	1,17	0,21	0,80	0,89
Coefficiente de variación	122	34	14	195	22	10
Cantidad de probetas	59	93	97	60	98	98

Tabla 2. Resumen estadístico de las Contracciones totales longitudinal, radial y tangencial

Puede observarse que las contracciones longitudinales en ambos clones son reducidas y los coeficientes de variación muy altos. Las contracciones radiales y tangenciales guardan una relación esperada según se encontró en estudios anteriores de diversas especies. Sus coeficientes de variación son inferiores respecto de las

contracciones longitudinales. Las contracciones radiales son levemente superiores en el clon Stoneville 67 que en el clon Australiano 129/60. En las contracciones tangenciales la relación se invierte, siendo el clon Stoneville 67 inferiores a las del clon Australiano 129/60.

En la tabla 3 se presentan los valores de contracción volumétrica de ambos clones y la relación entre las contracciones radiales y tangenciales o coeficiente de anisotropía de cada clon, respectivamente.

Clon	Contracción Volumétrica Total (%)	Relación T/R o coeficiente de anisotropía
Australiano 129/60	12,60	2,14
Stoneville 67	12,67	2,37

Tabla 3. Contracción Volumétrica Total y Relación T/R

Las comparaciones de las contracciones entre los clones Australiano 129/60 y Stoneville 67 se realizaron con el programa para análisis estadístico Stagraphics Centurion XVI.II. Por medio de este programa se compararon las medias y los desvíos estándar de las contracciones longitudinales, radiales y tangenciales de ambos clones entre sí, respectivamente. Esta prueba estadística tiene como objetivo determinar si existe diferencia estadísticamente significativa entre los dos clones, para cada tipo de corte, longitudinal, radial o tangencial, respectivamente. El procedimiento consistió en una prueba de test de hipótesis para diferencias de medias, suponiendo que las muestras son independientes con distribución normal y sus desvíos estándar son diferentes. Para la prueba se usó un nivel de confianza de 95%.

Comparación entre las medias de la contracción longitudinal de los clones Australiano 129/60 y Stoneville 67.

Dada la muestra de valores de contracción longitudinal del clon Australiano 129/60 de 93 observaciones con media de 0,186941 y desviación estándar de 0,227331, y la muestra de valores de contracción longitudinal del clon Stoneville 67 de 98 observaciones con media de 0,108129 y desviación estándar de 0,210817, se procedió a aplicar el test de hipótesis para las medias. El estadístico t calculado es igual a 1,96013. Dado que el valor-P para la prueba es mayor o igual que 0,05, no puede rechazarse la hipótesis nula con un 95% de nivel de confianza. El intervalo de confianza muestra que los valores de la diferencia entre sus medias según estos datos se estiman entre -0,000824289 y 0,158448.

Comparación entre las medias de la contracción total radial de los clones Australiano 129/60 y Stoneville 67.

El mismo procedimiento se aplicó para comparar las medias de la contracción radial entre los clones Australiano 129/60 y Stoneville 67. Se compararon, como se mostró en la tabla 3, una muestra de contracciones radiales del clon Australiano 129/60 de 93 observaciones con media de 3,83869 y desviación estándar de 1,29624 y una muestra de contracciones radiales del clon Stoneville 67 de 98 observaciones con media de 3,62275 y desviación estándar de 0,7995. El estadístico t calculado es igual a 1,37709.

Puesto que el valor-P para la prueba es mayor o igual que 0,05, no puede rechazarse la hipótesis nula con un 95,0% de nivel de confianza. El intervalo de confianza muestra que los valores de la diferencia entre sus medias estimados se encuentran entre -0,0938736 y 0,525758.

Comparación entre las medias de la contracción tangencial de los clones Australiano 129/60 y Stoneville 67.

Por último, se procede del mismo modo para comparar las medias de la contracción tangencial entre los clones Australiano 129/60 y Stoneville 67. Como se mostró en la tabla 3, se comparan una muestra de contracciones radiales del clon Australiano 129/60 de 93 observaciones con media de 3,83869 y desviación estándar de 1,29624 y una muestra de contracciones radiales del clon Stoneville 67 de 98 observaciones con media de 3,62275 y desviación estándar de 0,7995. El estadístico t calculado es igual a 1,37709. Puesto que el valor-P para la prueba es mayor o igual que 0,05, no puede rechazarse la hipótesis nula con un 95,0% de nivel de confianza. El intervalo de confianza muestra que los valores de la diferencia entre sus medias estarían entre -0,0938736 y 0,525758.

4. Discusión y conclusión

En las mediciones de las contracciones lineales longitudinales obtenidas para cada probeta de los dos clones estudiados se observaron valores tanto negativos como positivos. Esto es debido a que es influenciada por la contracción radial y en mayor grado por la tangencial, dando resultados de diferente signo. Las contracciones totales longitudinales encuentran en los valores esperados para esta propiedad física. Sus desvíos estándar son altos debido a los valores negativos y positivos. Por esta misma razón los coeficientes de variación de las muestras de ambos clones alcanzan valores muy elevados. Según los resultados de la prueba de hipótesis para determinar si existe diferencia estadísticamente significativa entre las muestras de cada clon para la contracción longitudinal se ha encontrado que no existe diferencia.

En el caso de las contracciones totales radiales de los dos clones Australiano 129/60 y Stoneville 67 los valores observados mantienen una relación esperada con las contracciones tangenciales y sus valores se encuentran dentro de lo esperado para cada clon respectivamente. En el test de hipótesis para esta propiedad entre los dos clones no se ha encontrado diferencias estadísticamente significativas.

Las contracciones totales tangenciales observadas también mantienen una relación esperada con las contracciones radiales y sus valores son similares a los citados para otras especies del género *Populus sp.*. Según el test de hipótesis realizado entre las medias de esta propiedad para las dos muestras de estos clones, no se puede afirmar que entre ellas se halla encontrado similitud en el comportamiento de la contracción tangencial. Esto puede deberse a que las contracciones en sentido tangencial son mayores a las longitudinales o radiales y a su vez tienen mayor rango de amplitud. Por otro lado, este resultado requeriría de un estudio más profundo estudiando la otras características y diferencias entre el material que conformo las muestras, como la distancia a la médula o la altura en el árbol.

Según la clasificación utilizada por varios autores y de acuerdo a los valores encontrados según las tablas 2 y 3 ambos clones se encuadran en el conjunto de maderas de “fuerte” contracción volumétrica y su relación T/R o coeficiente de anisotropía “desfavorable” o “muy alta”. Esto permite considerar a los clones Australiano 129/60 y Stonville 67 con un comportamiento similar en cuanto a las contracciones.

5. Bibliografía

- [1]. Tuset, Rinaldo y Duran, Fernando (1970): Manual de Maderas comerciales, equipos y procesos de utilización (aserraderos, secado, preservación, descortezado, partículas), Montevideo, Editorial hemisferio sur S.R.L.
- [2]. Gallego, Gonzalo M. (1997): Manual para la instalación del pavimento de madera, Madrid, Graficas Palermo S.L.
- [3]. Arguelles Alvares R. y Martitegui F. (1988): Curso de diseño y cálculo de estructuras de madera, Servicio de publicaciones del colegio oficial de arquitectos de Madrid, Madrid, Graficinco S.A.
- [4]. Instituto Argentino De Racionalización De Materiales (1966): IRAM 9543 - Método de determinación de las contracciones totales, axial, radial y tangencial y el punto de saturación de las fibras, IRAM, Buenos Aires.
- [5]. Kollmann Franz (1959): Tecnología de las maderas y sus aplicaciones, Madrid, Graficas reunidas S.A.
- [6]. Bianchet Jorge (1981): Folleto técnico forestal N° 58, ensayos físico-mecánicos en madera de coníferas: Pinus ponderosa, P. radiata, P. contorta var. latifolia y Pseudotsuga menziesii, Instituto forestal nacional, Buenos Aires, IFONA.
- [7]. Salas M. y Maureira D. (2005): Documento técnico N°1 Tecnología de la Madera, Red Manufacturera de la madera de la región del Maule, Talca, Impresora Gutenberg.
- [8]. Mutsch W. (1992): Tecnología de la madera y del mueble, Barcelona, Editorial Reverte S.A.
- [9]. Instituto Forestal de Chile (1964): Construcciones en Madera, Maderas estructura y propiedades, Santiago de Chile.
- [10]. Berenson Mark L. y Levine David M. (1996): Estadística básica en administración. Concepto y aplicaciones, México, Prentice Hall Hispano Americana S.A.

Dispositivos de atenuación temprana en los procesos de transformación lluvia caudal en el territorio del AMBA.

Autores: Raquel Perahia, Tito Lasanta.

Resumen

El sostenido proceso de urbanización de nuestro país y de numerosas ciudades de Latinoamérica y la forma desordenada de ocupación del territorio, sumado a la ausencia de adecuados servicios de saneamiento y gestión del agua de lluvia, que en cantidad y frecuencia han aumentado, provocan reiterados problemas de anegamiento.

La recurrencia de esta situación, demanda encarar esta problemática aportando soluciones eficientes a partir de una información confiable sobre estimadores de parámetros hidrológicos validados por la experiencia empírica, así como de los modelos teóricos que con ellos se construyen. Por ello este proyecto de investigación analiza dos aspectos clave: los parámetros del régimen de lluvias y las características del territorio y su hábitat frente al riesgo de las inundaciones

Departamentos de Ingeniería Civil y Mecánica

PID 4725 HOMOLOGADO (SCTyP 371/2017), Periodo 1/1/18 -31/12/19

Director: Tito Lasanta, Ingeniero Civil, Magister en Recursos Hídricos, Categoría C de investigación UTN y categoría III Mincyt

Co director: Raquel Perahia, Magister en Planeamiento Urbano y Regional, Categoría B de investigación UTN y categoría II Mincyt

Integrantes:

Blanca Rosa Vitale Doctora en Economía, Categoría C de investigación UTN y categoría III Mincyt, asesora; Ing. Luciano Arbore, categoría G de investigación UTN, Ing. Guillermo Bochaton Categoría F de investigación UTN Y Maestrando Planificación y Gestión de Ingeniería Urbana, Ing. Hernán Bee Maestrando en Ingeniería Ambiental

Alumnos y becarios: Taroni Pablo, Juan Pablo Cerrotta, Florencia Agustina Gómez, Nadia Micaela Acuña, Julieta Iara Malti, Leila Aracelli, Juan Martin Carlis, Nicolás Ezequiel Avedaño, Lemes Tudela Tomas Alfonso, Schianca Alejandro, Victoria Agustina Regueiro.

Antecedentes

El proyecto tiene como antecedentes:

- Proyecto Ubacyt 200201701000748BA: Perahia, Codirectora Cubiertas vegetadas de tipo extensivo. Estudio de algunos de sus servicios ambientales. Área Ingeniería y Ciencias del Ambiente.2018/2020
- Proyecto Ubacyt 20020130100752BA: Perahia, Codirectora Cubiertas naturadas: un aporte al estudio de sustratos, vegetación, disminución del escurrimiento, calidad del agua drenada y el desarrollo de un indicador de sustentabilidad urbana. AGR/UBA 2014/2017
- Proyecto Internacional (Convenio Prosul – Edital N° 011) Perahia Investigador Principal Proyecto “Transformaciones socio-territoriales de las grandes áreas

metropolitanas de América Latina. Una visión comparada de Buenos Aires, Santiago de Chile y Sao Paulo. Fases I y II. Aprobado y financiado por el CNPq (Brasil).financiada con fondos del CNPQ (equivalente al Conicet de Brasil). Duración: 2007/2008 y 2009-2011. Con financiación internacional. El Ing. Lasanta fue invitado a participar de la publicación final del libro que resume este proyecto concluido en octubre 2008.

- Proyecto “Investigación de sub-cuencas del Río Reconquista, para la determinación de variables hidrológicas y morfológicas para el control de escurrimientos hídricos”. PID EAPRGP345T. (UTNFRGP) acreditado por el CS de la UTN. Director: Tito Lasanta, Asesora: Raquel Perahia. Periodo: 2007-2009.Disposición SCYT nº 123/07. Con Becarios de Investigación para este proyecto.
- El laboratorio de hidrología.

Las variables de análisis

1. El régimen de lluvias

Las alternativas de atenuación y/o de mitigación temprana de inundaciones y anegamientos, requieren reconocer, como sus principales causas, los patrones de precipitaciones y las funciones de densidad de probabilidades de las lluvias, a fin de seleccionar la instalación de retención o medidas de control adecuados al régimen de lluvias.

Por otra parte observamos que es escaso el conocimiento sobre los parámetros hidrológicos y morfológicos que afectan significativamente los cálculos y los modelos que permiten simular y resolver problemáticas hídricas, y de qué modo los fenómenos extremos en los ciclos climáticos los afectan.

Por ello los diversos paradigmas de las tormentas y el análisis de sus parámetros se analizan a fin de seleccionar las mejores soluciones o combinación de soluciones en las instalaciones de retención temprana del agua de lluvia, a fin de evitar/minimizar el hidrograma de escurrimiento y las posibles inundaciones.

El régimen pluvial que se analiza resulta de los siguientes patrones o variables?;

a) modelos de valores extremos de precipitaciones/ para pronosticar sus efectos devastadores (más riesgosos) mediante la aplicación de funciones de densidad extremas. Ante este tipo de hidrograma se obtendrían las precipitaciones que deberán ser encauzadas por estructuras de drenaje bajo la premisa que si esa estructura soporta ese valor extremo soportará los subsiguientes.

b) patrones de precipitaciones que no generan la vulnerabilidad de los valores extremos pero que poseen, por debajo de un determinado umbral recurrente, pulsos de precipitaciones excedentes que acumulan sus efectos produciendo inundaciones de amplia extensión territorial.

c) Disparidad en la distribución temporal y territorial de las lluvias, que podría aumentar su efecto no deseado.

En relación al acceso a los datos la Facultad Regional General Pacheco (FRGP) cuenta con una Estación Hidrológica Experimental equipada, dependiente del Departamento de Ingeniería Civil y dirigida por el Ing. Tito Lasanta, que suscribió convenios de intercambio con el Instituto Nacional del Agua y con el Servicio Meteorológico Nacional, y que permite contar con registros sistemáticos confiables desde 2004.

Por otra parte las características del predio permiten realizar pruebas alternativas para evaluar posibles soluciones de mitigación y alerta temprana con los dispositivos adecuados con los que cuenta el Laboratorio.

2. El territorio y su hábitat ante el riesgo de inundaciones

De los diagnósticos reconocidos sobre la vulnerabilidad y riesgo de la población, en territorio metropolitano, se reconocen los siguientes factores :

- la modificación progresiva del sistema natural, producto de la expansión descontrolada de las áreas urbanizadas que adopta los últimos años formas aisladas y segregadas de la trama urbana y ajenas al planeamiento urbano,
- el crecimiento de los asentamientos irregulares, destinados a los sectores más pobres que ocupan suelos no aptos y con graves problemas de saneamiento,
- la deficiencia, obsolescencia y/o ausencia de infraestructura de servicios con escaso mantenimiento del sistema así como la predominancia en el diseño conforme al criterio tradicional de evacuación del agua de lluvia caída “lo más pronto posible”.
- la falta de manejo y gestión de los excesos pluviales a escala local, más la falta de planes de contingencia frente a desastres provocados por eventos de tormenta extremos y el exiguo empleo de medidas de prevención y/o mitigación que se suman a la escasa regulación y normas de ordenamiento territorial.

En nuestra investigación y conforme a su avances ya iniciados y presentados en Congresos se prevé en base a los datos de lluvia y conforme a algunas características urbanas prototípicas de la RMBA proponer alternativas de atenuación analizando las respuestas de cada dispositivo para cada lluvia (extrema y otras) a fin de evaluar cual/les alternativas, dentro del amplio espectro de posibilidades, resultan más eficientes para elaborar las recomendaciones pertinentes.

Objetivos

Son objetivos del proyecto:

- Desarrollar e incorporar estrategias de mitigación y adaptación a los potenciales impactos que los excesos hídricos producen en la ciudad y su población elaborando propuestas de retención / regulación a fin de maximizar la retención del agua de lluvia.

- Simular con diversas características de ocupación del espacio urbano las condiciones reales de escurrimiento en el área y el balance hídrico, tendientes a evaluar el impacto de las propuestas de mitigación.
- Completar el análisis considerando precipitaciones con distintas funciones de densidad de probabilidad, riesgos y situación de vulnerabilidad.
- Utilizar los beneficios y facilidades de la Estación Hidrológica Experimental, así como convenios que están en vigencia de la Estación Hidrológica con el Instituto Nacional del Agua y el Servicio Meteorológico Nacional, en la obtención de los datos para el proyecto.
- Transferir al medio conclusiones y recomendaciones que se obtengan de la investigación

Avances

En una primera planificación se ha avanzado en las siguientes direcciones:

- Simulación de escurrimiento en régimen permanente: se ha avanzado en los medios para calcular el escurrimiento a manto. Para llegar a visualizar los resultados del análisis, se establece la geometría que tendrá el cauce en los distintos puntos lo largo de él. Se aplica el modelo a modo de prueba en un cauce estimativo:

Se debe determinar un flujo permanente estableciendo un caudal de inicio desde aguas arriba. Este puede variar a lo largo del tramo producto de entradas y salidas desde las diferentes secciones.

También se deben definir las condiciones de contorno de los perfiles. Hay cuatro condiciones de contorno que se pueden definir: cota de agua conocida, calado crítico, calado normal y curva de gasto.

Se procede a la simulación del régimen permanente computando los datos ingresados.

Herramientas de análisis de HEC RAS obtenidos por la simulación:

- Perfil longitudinal del canal (Water Surface Profiles)

La línea de calado crítico (la roja) se encuentra debajo de la lámina de agua, por lo que podemos asegurar que el flujo es sub-crítico

Determinación de dispositivos de retención

Los depósitos de retención de lluvia sirven para la breve retención del agua de lluvia que se conduce a la red de alcantarillado. Contribuyen a aliviar la red de alcantarillado en caso de fuertes lluvias. La limpieza de los depósitos y la evacuación controlada suelen presentar siempre problemas de operación.

Hemos trabajado en una alternativa que adopta un volumen de retención.

Clasificación de paquetes y su diseño

Se ha trabajado en el diseño del paquete más apropiado considerando distintos componentes de suelo y vegetación. Se analizaron aspectos complementarios como carga y mantenimiento.

Prueba de paquetes de suelo con simulador de lluvias.

Los simuladores de lluvia son instrumentos de investigación diseñados para aplicar agua de forma similar a los episodios tormentosos naturales. Son útiles para obtener datos de erosión, infiltración, escorrentía superficial y transporte de sedimentos. No obstante, las características de la lluvia natural han de ser simuladas de forma adecuada, los datos de escorrentía/erosión obtenidos han de ser analizados cuidadosamente y se debe efectuar una buena interpretación de los resultados para obtener una información fiable en las condiciones para las que ha sido aplicada la lluvia simulada.

El principal problema que presentan es la falta de precisión para replicar las características de un episodio tormentoso natural específico ya que su utilización viene determinada por la necesidad de tener bajo condiciones controladas las características de la lluvia, intentando una aproximación lo más acertada posible a las condiciones de la lluvia natural. Las principales características de la lluvia natural que han de conseguir los simuladores de lluvia son las siguientes:

- Distribución del tamaño de las gotas de lluvia similar a la de la lluvia natural.
- Velocidad de impacto similar a la velocidad terminal de las gotas en la lluvia natural.
- Intensidad de lluvia correspondiente a las condiciones naturales.
- Energía cinética similar a la de la lluvia natural.
- Lluvia uniforme y distribución aleatoria de las gotas.

Existe una amplia bibliografía acerca de los distintos simuladores de lluvia que han sido utilizados en los últimos años por distintos investigadores y los diferentes tipos son seleccionados en función de la disponibilidad, costes de construcción y del objetivo experimental, no existiendo hasta la fecha una total estandarización en los diseños o metodología que se emplea. Se han simulado distintos patrones de precipitación sobre paquetes convencionales como el de la figura a fin de elaborar una planificación de pruebas bajo diferentes condiciones.

Conclusiones preliminares

En nuestra investigación y conforme a su avances ya iniciados y presentados en Congresos se prevé en base a los datos de lluvia y conforme a algunas características urbanas prototípicas de la RMBA proponer alternativas de atenuación analizando las respuestas de cada dispositivo para cada lluvia (extrema y otras) a fin de evaluar cual/les alternativas, dentro del amplio espectro de posibilidades, resultan más eficientes para elaborar las recomendaciones pertinentes.

Las soluciones tradicionales hasta ahora han demostrado una relativa eficacia por ello se buscan nuevos recursos avanzando en una gestión del agua de lluvia sin caños, que se pueda ejecutar en forma individual, buscando stockear momentáneamente el excedente del caudal, aumentar el tiempo de concentración, y/o infiltrarlo en el suelo.

Algunas técnicas/estrategias a utilizar que están siendo analizadas son los denominados sistemas de drenaje urbano sustentables entre las que se mencionan las medidas estructurales y no estructurales.

Formulación nodal en elementos finitos isoparamétricos para una recuperación más precisa del campo de tensiones.

Autores: José M. Pereiras^a, Marcelo A. Cabrera^b, y Claudio E. Jouglard^c

^a*Departamento de Ingeniería Civil. Facultad Regional General Pacheco. Universidad Tecnológica Nacional. General Pacheco, Argentina. jpereiras@gmail.com, <http://www.frqp.utn.edu.ar>*

^b*Departamento de Ingeniería Química. Facultad Regional Avellaneda. Universidad Tecnológica Nacional. Avellaneda, Argentina., darklainsoul@yahoo.com.ar, <http://www.fra.utn.edu.ar>*

^c*Departamento de Ingeniería Civil. Facultad Regional Buenos Aires. Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Argentina. claudio.jouglard@frba.utn.edu.ar, <http://www.frba.utn.edu.ar>*

Palabras Clave: cuadrilátero, integración nodal, tensiones.

Resumen.

En este trabajo se presenta una formulación de elementos finitos basada en la recuperación nodal de tensiones. La formulación clásica isoparamétrica de elementos finitos usando funciones de forma lineales, produce un campo de tensiones discontinuo debiendo usar técnicas de post procesamiento de resultados para poder “suavizar” este campo de tensiones.

Esto último no es necesario en esta formulación presentada en este trabajo ya que el campo de tensiones es continuo por naturaleza al elemento. Otro punto de importancia es que en la formulación clásica se utiliza integración en los puntos de Gauss, mientras que en esta formulación no es necesario realizar integración numérica, resultando en una reducción considerable del costo computacional. Por último, la obtención de las tensiones en los nodos, deriva en una ventaja para la captación de frentes de plasticidad y fractura frente a la formulación clásica donde las variables del cálculo no lineal, como la plasticidad, son acumuladas en los puntos internos de integración de Gauss.

1. Introducción.

La integración de las matrices de rigidez de cuadriláteros se puede hacer analíticamente (Babu y Pinder, 1984; Rathod, 1988), sin embargo la integración numérica mediante cuadratura de Gauss (Zienkiewicz, Taylor y Zhu, 2013) es la técnica preferida dado que es simple de codificar y se puede extender fácilmente a problemas no lineales. Usando cuadratura de Gauss el cálculo de una integral consiste en una suma ponderada de evaluaciones del integrando en ciertas ubicaciones dentro del elemento llamadas puntos de Gauss. El esfuerzo numérico es proporcional al número de estos puntos de integración.

El mínimo número de puntos Gauss es dictado por condiciones de consistencia y estabilidad (Zienkiewicz, Taylor y Zhu, 2013) y se conoce como cuadratura completa. La cuadratura completa es costosa pero el uso de un número menor de puntos de integración genera elementos con modos espurios o mecanismos (Irons y Ahmad, 1980). Para cuadriláteros en problemas de estado plano de tensiones o deformaciones la cuadratura completa requiere el uso de 2x2 puntos de integración, si usamos una cuadratura reducida de un punto el elemento presenta modos espurios conocidos como modos reloj de arena (hourglass modes) (Belytschko et al., 1984; Kosloff y Frazier, 1978). Muchos autores (Belytschko, 1983; Flanagan y Belytschko, 1981; Hansbo, 1998; Jacquotte y Oden, 1984; Liu, Ong y Uras, 1985; Liu y Belytschko, 1984; Schulz, 1985) han desarrollado controles efectivos de estos modos añadiendo algún tipo de estabilización al elemento obtenido con un punto de integración. Por ejemplo en (Liu, Ong y Uras, 1985) se realizó un desarrollo en series de Taylor para el campo de deformaciones y en (Schulz, 1985) se realizó una expansión similar pero para el campo de tensiones, en ambos casos se retienen un número mínimo de términos que aseguran convergencia y estabilidad.

En este trabajo desarrollamos paso a paso el elemento obtenido en (Liu, Ong y Uras, 1985; Liu, Hu y Belytschko, 1994) mostrando todas las matrices y vectores necesarios para su implementación y se propone una extensión para problemas no lineales utilizando los vértices del elemento como puntos de integración, usualmente llamada integración nodal.

Primeramente, se presenta la formulación de elementos finitos para problemas estáticos lineales. En la sección 3, se muestran las matrices gradiente para una interpolación bilineal sobre un elemento cuadrilátero de cuatro nodos. En la sección 4 se muestra cómo se llega a la matriz de rigidez aproximada obtenida en (Liu, Ong y Uras, 1985). Finalmente, en la sección 5 se presenta la propuesta de integración nodal para problemas no lineales.

2. Ecuaciones de elementos finitos para elasticidad lineal

El principio de los desplazamientos virtuales para un cuerpo deformables se puede postular como

$$\delta W = \int_V \delta \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\sigma} dV - \delta W_{ext} = 0 \quad (1)$$

La integración se realiza sobre el volumen V , $\boldsymbol{\varepsilon}$ es el campo de deformaciones, $\boldsymbol{\sigma}$ es el campo de tensiones y δW_{ext} es el trabajo virtual de las fuerzas externas.

Las componentes del campo de tensiones son

$$\boldsymbol{\sigma} = [\sigma_x \quad \sigma_y \quad \sigma_{xy}]^T \quad (2)$$

Y las componentes del campo de deformaciones son

$$\boldsymbol{\varepsilon} = [\varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \gamma_{xy}]^T \quad (3)$$

Para pequeños desplazamientos las componentes del campo de deformaciones están relacionadas con las derivadas de los desplazamientos como

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \quad (4)$$

donde u , v son los campos de desplazamientos en las direcciones x , y , respectivamente.

En una aproximación por elementos finitos el campo de desplazamientos es interpolado a partir de los valores nodales del elemento como

$$u(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^{NEN} N_i(\xi, \eta) u_i = \mathbf{N}^T \mathbf{u} \quad (5)$$

$$v(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^{NEN} N_i(\xi, \eta) v_i = \mathbf{N}^T \mathbf{v}$$

donde NEN es el número de nodos del elemento asociados con desplazamientos, \mathbf{u} , \mathbf{v} son los vectores de desplazamientos nodales y \mathbf{N} es el vector de funciones de forma para desplazamientos asociado a cada nodo del elemento, esto es

$$\mathbf{u} = [u_1 \quad u_2 \quad u_3 \quad \dots \quad u_{NEN}]^T \quad (6)$$

$$\mathbf{v} = [v_1 \quad v_2 \quad v_3 \quad \dots \quad v_{NEN}]^T$$

y

$$\mathbf{N} = [N_1 \quad N_2 \quad N_3 \quad \dots \quad N_{NEN}]^T \quad (7)$$

Luego de sustituir los desplazamientos el campo de deformaciones del elemento se puede expresar como

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{B} \mathbf{d} \quad (8)$$

Donde \mathbf{d} es el vector de desplazamientos nodales y \mathbf{B} es la matriz gradiente formada por las derivadas de las funciones de forma

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial x} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial y} \\ \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial y} & \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Luego la variación del campo de deformaciones es

$$\delta \boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{B} \delta \mathbf{d} \quad (10)$$

Y el trabajo virtual de las cargas externas es

$$\delta W_{ext} = \delta \mathbf{d}^T \mathbf{f}_{ext} \quad (11)$$

Donde el vector de cargas \mathbf{f} sólo está aplicado en los nodos del elemento. Introduciendo estas cantidades en la ecuación (1) tenemos

$$\delta W = \delta \mathbf{d}^T \left(\int_V \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma} dV - \mathbf{f}_{ext} \right) = 0 \quad (12)$$

Que debe ser válida para variaciones arbitrarias $\delta \mathbf{d}$. Por lo tanto, las ecuaciones resultantes de la aproximación de elementos finitos son

$$\mathbf{f}_{int} = \mathbf{f}_{ext} \quad (13)$$

donde

$$\mathbf{f}_{int} = \int_V \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma} dV \quad (14)$$

Es el vector de fuerzas internas.

Para un material elástico lineal el vector de tensiones $\boldsymbol{\sigma}$ se relaciona con el vector de deformaciones $\boldsymbol{\varepsilon}$ mediante las ecuaciones constitutivas

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{C} \boldsymbol{\varepsilon} \quad (15)$$

Donde \mathbf{C} es la matriz constitutiva de coeficientes elásticos.

Para un material elástico isotrópico la matriz constitutiva para problemas de estado plano de tensiones se puede escribir como

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \bar{\lambda} + 2\mu & \bar{\lambda} & 0 \\ \bar{\lambda} & \bar{\lambda} + 2\mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu \end{bmatrix} \quad (16)$$

donde

$$\bar{\lambda} = \begin{cases} 2\lambda\mu/(\lambda + 2\mu) & \text{para estados planos de tensiones} \\ \lambda & \text{para estados planos de deformaciones} \end{cases} \quad (17)$$

y λ , μ son las constantes de Lamé.

Introduciendo las relaciones tensión-deformación en la ecuación (6) tenemos

$$\mathbf{f}_{int} = \int_V \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma} dV = \mathbf{K} \mathbf{d} \quad (18)$$

donde

$$\mathbf{K} = \int_V \mathbf{B}^T \mathbf{C} \mathbf{B} dV \quad (19)$$

Es la matriz de rigidez.

1. Elemento cuadrilátero de cuatro nodos

Considere el mapeo del elemento cuadrilátero de cuatro nodos desde el espacio físico al espacio paramétrico, como se muestra en la figura 1. La configuración del elemento patrón en coordenadas ξ, η es un cuadrado biunitario $[-1,1] \times [-1,1]$.

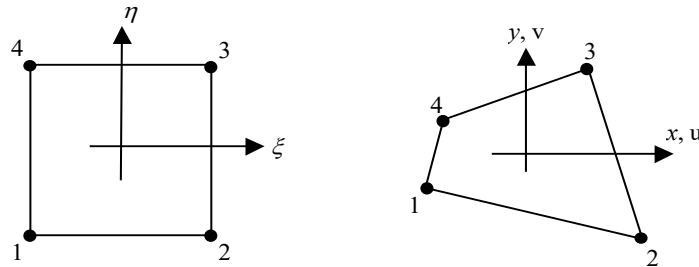


Figure 1. Mapeo del elemento cuadrilátero de cuatro nodos

Las coordenadas espaciales x, y son interpoladas en el elemento a partir de sus valores nodales x_i, y_i como

$$\begin{aligned} x(\xi, \eta) &= \sum_{i=1}^4 N_i(\xi, \eta) x_i = \mathbf{N}^T \mathbf{x} \\ y(\xi, \eta) &= \sum_{i=1}^4 N_i(\xi, \eta) y_i = \mathbf{N}^T \mathbf{y} \end{aligned} \quad (20)$$

donde \mathbf{x}, \mathbf{y} son los vectores de coordenadas nodales

$$\mathbf{x} = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4]^T \quad (21)$$

$$\mathbf{y} = [y_1 \quad y_2 \quad y_3 \quad y_4]^T$$

y \mathbf{N} es el de funciones de forma bilineales

$$\mathbf{N} = [N_1 \quad N_2 \quad N_3 \quad N_4]^T \quad (22)$$

Las funciones de forma bilineales estándar $N_i(\xi, \eta)$ son (Zienkiewicz, Taylor y Zhu, 2013)

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{4} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) \quad (23)$$

Donde ξ_i, η_i son los valores nodales del elemento patrón en coordenadas paramétricas ξ, η .

Si definimos los vectores \mathbf{s} , $\boldsymbol{\xi}$, $\boldsymbol{\eta}$ y \mathbf{h} como

$$\begin{aligned}\mathbf{s} &= [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1]^T \\ \boldsymbol{\xi} &= [-1 \quad 1 \quad 1 \quad -1]^T \\ \boldsymbol{\eta} &= [-1 \quad -1 \quad 1 \quad 1]^T \\ \mathbf{h} &= [1 \quad -1 \quad 1 \quad -1]^T\end{aligned}\quad (24)$$

Luego las funciones de forma bilineales se pueden escribir como:

$$\mathbf{N}(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(\mathbf{s} + \boldsymbol{\xi}\xi + \boldsymbol{\eta}\eta + \mathbf{h}\xi\eta)\quad (25)$$

Las transformaciones de coordenadas del elemento se pueden expresar como:

$$\begin{aligned}x(\xi, \eta) &= a_0 + a_1\xi + a_2\eta + a_3\xi\eta \\ y(\xi, \eta) &= b_0 + b_1\xi + b_2\eta + b_3\xi\eta\end{aligned}\quad (26)$$

donde

$$\begin{aligned}a_0 &= \frac{1}{4}\mathbf{s}^T \mathbf{x} = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4)/4 & b_0 &= \frac{1}{4}\mathbf{s}^T \mathbf{y} = (y_1 + y_2 + y_3 + y_4)/4 \\ a_1 &= \frac{1}{4}\boldsymbol{\xi}^T \mathbf{x} = (-x_1 + x_2 + x_3 - x_4)/4 & b_1 &= \frac{1}{4}\boldsymbol{\xi}^T \mathbf{y} = (-y_1 + y_2 + y_3 - y_4)/4 \\ a_2 &= \frac{1}{4}\boldsymbol{\eta}^T \mathbf{x} = (-x_1 - x_2 + x_3 + x_4)/4 & b_2 &= \frac{1}{4}\boldsymbol{\eta}^T \mathbf{y} = (-y_1 - y_2 + y_3 + y_4)/4 \\ a_3 &= \frac{1}{4}\mathbf{h}^T \mathbf{x} = (x_1 - x_2 + x_3 - x_4)/4 & b_3 &= \frac{1}{4}\mathbf{h}^T \mathbf{y} = (y_1 - y_2 + y_3 - y_4)/4\end{aligned}\quad (27)$$

Las derivadas de las funciones de forma (25) con respecto a las coordenadas paramétricas ξ, η son

$$\frac{\partial \mathbf{N}}{\partial \xi} = \frac{1}{4}(\boldsymbol{\xi} + \eta \mathbf{h})\quad (28)$$

$$\frac{\partial \mathbf{N}}{\partial \eta} = \frac{1}{4}(\boldsymbol{\eta} + \xi \mathbf{h})$$

La relación entre las derivadas de las funciones de forma con respecto a las coordenadas paramétricas ξ, η , y con respecto a las coordenadas físicas, x, y viene dado por la regla de la cadena

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial \xi} \\ \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial \eta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial x} \\ \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial y} \end{bmatrix}\quad (29)$$

Las derivadas en ambos sistemas están relacionadas por la matriz Jacobiana

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (30)$$

donde las derivadas se obtienen de (26) como

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial \xi} &= a_1 + a_3 \eta & \frac{\partial y}{\partial \xi} &= b_1 + b_3 \eta \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} &= a_2 + a_3 \xi & \frac{\partial y}{\partial \eta} &= b_2 + b_3 \xi \end{aligned} \quad (31)$$

La relación inversa entre las derivadas de las funciones de forma es

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial x} \\ \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial y} \end{bmatrix} = \mathbf{J}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial \xi} \\ \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (32)$$

Donde la inversa de la matriz Jacobiana es

$$\mathbf{J}^{-1} = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} \frac{\partial y}{\partial \eta} & -\frac{\partial y}{\partial \xi} \\ -\frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial x}{\partial \xi} \end{bmatrix} \quad (33)$$

Siendo J el Jacobiano de la transformación que viene dado por el determinante de la matriz Jacobiana

$$J = \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \eta} - \frac{\partial x}{\partial \eta} \frac{\partial y}{\partial \xi} = J_{00} + J_{10}\xi + J_{01}\eta \quad (34)$$

con

$$\begin{aligned} J_{00} &= a_1 b_2 - a_2 b_1 \\ J_{10} &= a_1 b_3 - a_3 b_1 \\ J_{01} &= a_3 b_2 - a_2 b_3 \end{aligned} \quad (35)$$

El área del elemento cuadrilateral se puede obtener integrando el Jacobiano

$$A = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 J(\xi, \eta) d\xi d\eta = 4J_{00} \quad (36)$$

Donde hemos hecho uso de las propiedades

$$\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 d\xi d\eta = 4, \quad \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \xi d\xi d\eta = 0, \quad \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \eta d\xi d\eta = 0 \quad (37)$$

El coeficiente J_{00} es siempre positivo e igual a un cuarto del área del elemento. Para un elemento rectangular o paralelogramo tenemos $a_3 = b_3 = 0$, esto implica que $J_{10} = J_{01} = 0$ y el Jacobiano es constante para estas formas de elemento.

Luego el Jacobiano se puede escribir como

$$J(\xi, \eta) = J_{00}(1 + \gamma_{10}\xi + \gamma_{01}\eta) \quad (38)$$

donde

$$\gamma_{10} = J_{10}/J_{00} \quad (39)$$

$$\gamma_{01} = J_{01}/J_{00}$$

Estos coeficientes se pueden interpretar como medidores de distorsión de la geometría del elemento (Yuan, Huang y Pian, 1994).

Luego de (29) podemos obtener las derivadas de las funciones de forma del elemento con respecto a las coordenadas físicas x, y como

$$\frac{\partial \mathbf{N}}{\partial x} = \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \mathbf{N}}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \eta} - \frac{\partial \mathbf{N}}{\partial \eta} \frac{\partial y}{\partial \xi} \right) \quad (40)$$

$$\frac{\partial \mathbf{N}}{\partial y} = \frac{1}{J} \left(-\frac{\partial \mathbf{N}}{\partial \xi} \frac{\partial x}{\partial \eta} + \frac{\partial \mathbf{N}}{\partial \eta} \frac{\partial x}{\partial \xi} \right)$$

1.1 Matriz gradiente para interpolación bilineal de desplazamientos

Los desplazamientos u, v son interpolados con las mismas funciones de forma usadas para describir la geometría del elemento, esto es

$$u(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^4 N_i(\xi, \eta) u_i = \mathbf{N}^T \mathbf{u} \quad (41)$$

$$v(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^4 N_i(\xi, \eta) v_i = \mathbf{N}^T \mathbf{v}$$

donde u, v son vectores de desplazamientos nodales y las funciones de forma bilineal se pueden escribir como:

$$\mathbf{N}(\xi, \eta) = \frac{1}{4} (\mathbf{s} + \xi \xi + \eta \eta + \mathbf{h} \xi \eta) \quad (42)$$

De la ec. (23) la matriz gradiente \mathbf{B} es

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial y} \\ \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial y} & \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial x} \end{bmatrix} = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} \mathbf{b}\mathbf{x}^T & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{b}\mathbf{y}^T \\ \mathbf{b}\mathbf{y}^T & \mathbf{b}\mathbf{x}^T \end{bmatrix} \quad (43)$$

Donde \mathbf{b}_x , \mathbf{b}_y serán llamados vectores gradiente y de la ec. (41) se pueden escribir como:

$$\mathbf{b}_x = J \frac{\partial \mathbf{N}}{\partial x} = \frac{\partial \mathbf{N}}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \eta} - \frac{\partial \mathbf{N}}{\partial \eta} \frac{\partial y}{\partial \xi} \quad (44)$$

$$\mathbf{b}_y = J \frac{\partial \mathbf{N}}{\partial y} = -\frac{\partial \mathbf{N}}{\partial \xi} \frac{\partial x}{\partial \eta} + \frac{\partial \mathbf{N}}{\partial \eta} \frac{\partial x}{\partial \xi}$$

Luego de sustituir las derivadas de las funciones de forma de la ec. (28) y las derivadas de las coordenadas x , y con respecto a las coordenadas paramétricas ξ , η with respect to x , y de (31) tenemos

$$\mathbf{b}_x = \mathbf{b}_{x_{00}} + \mathbf{b}_{x_{10}}\xi + \mathbf{b}_{x_{01}}\eta \quad (45)$$

$$\mathbf{b}_y = \mathbf{b}_{y_{00}} + \mathbf{b}_{y_{10}}\xi + \mathbf{b}_{y_{01}}\eta$$

Donde los vectores gradiente \mathbf{b}_{xpq} se definen como

$$\mathbf{b}_{x_{00}} = (\xi b_2 - \eta b_1) / 4 \quad \mathbf{b}_{y_{00}} = (\eta a_1 - \xi a_2) / 4 \quad (46)$$

$$\mathbf{b}_{x_{10}} = (-\mathbf{h} b_1 + \xi b_3) / 4 \quad \mathbf{b}_{y_{10}} = (\mathbf{h} a_1 - \xi a_3) / 4$$

$$\mathbf{b}_{x_{01}} = (\mathbf{h} b_2 - \eta b_3) / 4 \quad \mathbf{b}_{y_{01}} = (-\mathbf{h} a_2 + \eta a_3) / 4$$

Luego la matriz gradiente $\mathbf{B}(\xi, \eta)$ se puede escribir como

$$\mathbf{B}(\xi, \eta) = \frac{1}{J} (\mathbf{B}_{00} + \mathbf{B}_{10}\xi + \mathbf{B}_{01}\eta) \quad (47)$$

Donde las matrices \mathbf{B}_{pq} serán llamadas matrices gradiente de orden p, q

$$\mathbf{B}_{pq} = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_{x_{pq}}^T & 0 \\ 0 & \mathbf{b}_{y_{pq}}^T \\ \mathbf{b}_{y_{pq}}^T & \mathbf{b}_{x_{pq}}^T \end{bmatrix} \quad (48)$$

2 Matriz de rigidez aproximada.

En (Liu, Ong y Uras, 1985) se propone aproximar la matriz gradiente $\mathbf{B}(\xi, \eta)$ mediante series de Taylor alrededor del centroide del elemento y retener hasta términos lineales resultando

$$\mathbf{B}(\xi, \eta) \approx \bar{\mathbf{B}}(\xi, \eta) = \mathbf{B}(\mathbf{0}) + \mathbf{B}_{,\xi}(\mathbf{0})\xi + \mathbf{B}_{,\eta}(\mathbf{0})\eta \quad (49)$$

Donde

$$\mathbf{B}(\mathbf{0}) = \frac{1}{J_0}(\mathbf{B}_{00}) \quad (50)$$

$$\mathbf{B}_{,\xi}(\mathbf{0}) = \frac{1}{J_0}(\mathbf{B}_{10} - \gamma_1 \mathbf{B}_{00})$$

$$\mathbf{B}_{,\eta}(\mathbf{0}) = \frac{1}{J_0}(\mathbf{B}_{01} - \gamma_2 \mathbf{B}_{00})$$

La justificación de esta aproximación radica en el hecho de que si el jacobiano J es contante, lo cual sucede para un elemento de forma regular, ya sea rectangular o paralelogramo, entonces esta matriz gradiente aproximada coincide con la exacta. Luego si podemos asegurar que si refinando el elemento en el límite este tiende a una forma regular, lo cual se consigue subdividiendo el elemento por los puntos medios de los lados, entonces esta aproximación es convergente. Luego la matriz de rigidez se puede aproximar como

$$\mathbf{K} \approx \int_V \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{C} \bar{\mathbf{B}} dV = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 t \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{C} \bar{\mathbf{B}} J_0 d\xi d\eta \quad (51)$$

donde t es el espesor del elemento y siguiendo a (Liu, Ong y Uras, 1985) se ha asumido el jacobiano constante para el cálculo del diferencial dV .

Sustituyendo la matriz gradiente aproximada e integrando llevando en cuenta las siguientes propiedades

$$\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \xi \eta d\xi d\eta = 0, \quad \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \xi^2 d\xi d\eta = \frac{4}{3}, \quad \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \eta^2 d\xi d\eta = \frac{4}{3} \quad (52)$$

La matriz de rigidez aproximada resulta

$$\mathbf{K} \approx \tilde{\mathbf{K}}^C + \tilde{\mathbf{K}}^S \quad (53)$$

Donde la primera matriz es la llamada matriz de rigidez consistente

$$\mathbf{K}^C = \mathbf{K}_{00} \quad (54)$$

Siendo \mathbf{K}_{00}

$$\mathbf{K}_{00} = \frac{4t}{J_{00}} \mathbf{B}_{00}^T \mathbf{C} \mathbf{B}_{00} \quad (55)$$

La segunda matriz de la expresión (53) es la llamada matriz de estabilización

$$\mathbf{K}^S = \frac{1}{3}(\tilde{\mathbf{K}}_{20} + \tilde{\mathbf{K}}_{02}) \quad (56)$$

Donde

$$\tilde{\mathbf{K}}_{20} = \mathbf{K}_{20} - \gamma_1 \mathbf{K}_{10} + \gamma_1^2 \mathbf{K}_{00} \quad (57)$$

$$\tilde{\mathbf{K}}_{02} = \mathbf{K}_{02} - \gamma_2 \mathbf{K}_{01} + \gamma_2^2 \mathbf{K}_{00}$$

Siendo las matrices de rigidez \mathbf{K}_{ij}

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_{10} &= \frac{4t}{J_0} (\mathbf{B}_{00}^T \mathbf{C} \mathbf{B}_{10} + \mathbf{B}_{10}^T \mathbf{C} \mathbf{B}_{00}) & \mathbf{K}_{20} &= \frac{4t}{J_0} \mathbf{B}_{10}^T \mathbf{C} \mathbf{B}_{10} \\ \mathbf{K}_{01} &= \frac{4t}{J_0} (\mathbf{B}_{00}^T \mathbf{C} \mathbf{B}_{01} + \mathbf{B}_{01}^T \mathbf{C} \mathbf{B}_{00}) & \mathbf{K}_{02} &= \frac{4t}{J_0} \mathbf{B}_{01}^T \mathbf{C} \mathbf{B}_{01} \end{aligned} \quad (58)$$

La matriz de rigidez consistente \mathbf{K}_C es la matriz que obtendría integrando con un punto de integración. Esta matriz provee las fuerzas internas exactas para cualquier estado de deformación constante y asegura la convergencia del elemento. Sin embargo, es sabido (Liu, Ong y Uras, 1985; Liu y Belytschko, 1984) que esta matriz tiene deficiencias de rango y posee dos modos propios además de los modos asociados con movimientos de cuerpo rígido. La matriz de estabilización \mathbf{K}_S elimina estos modos espurios de la matriz de rigidez aproximada proveyendo estabilidad a la aproximación.

2.1 Expresión alternativa simplificada para la matriz de estabilización

Para un campo de desplazamientos lineal la matriz de estabilización \mathbf{K}_S no debe proveer fuerzas internas, ya que en este caso la matriz de rigidez consistente provee los valores correctos. Luego las fuerzas internas generadas por la matriz de estabilización deben ser producidas por campos de desplazamientos ortogonales a un campo de desplazamiento lineal.

Si definimos un vector $\boldsymbol{\gamma}$ (Liu, Ong y Uras, 1985; Liu y Belytschko, 1984) como

$$\boldsymbol{\gamma} = \alpha_1 \mathbf{s} + \alpha_2 \boldsymbol{\xi} + \alpha_3 \boldsymbol{\eta} + \mathbf{h} \quad (59)$$

Donde hemos utilizado el hecho de que los vectores \mathbf{s} , $\boldsymbol{\xi}$, $\boldsymbol{\eta}$ and \mathbf{h} forman una base. Si imponemos la condición de ortogonalidad de este vector con un campo de desplazamientos lineales, esto implica que para valores arbitrarios β_0 , β_1 , β_2 debemos tener

$$\boldsymbol{\gamma}^T \mathbf{d}_L = (\alpha_0 \mathbf{s}^T + \alpha_1 \boldsymbol{\xi}^T + \alpha_2 \boldsymbol{\eta}^T + \mathbf{h}^T) (\beta_0 \mathbf{s} + \beta_1 \mathbf{x} + \beta_2 \mathbf{y}) = \mathbf{0} \quad (60)$$

Luego de algún algebra tenemos

$$\alpha_0 = 0, \quad \alpha_1 = -\gamma_{01}, \quad \alpha_2 = -\gamma_{10} \quad (61)$$

resultando

$$\boldsymbol{\gamma} = \mathbf{h} - \gamma_{01} \boldsymbol{\xi} - \gamma_{10} \boldsymbol{\eta} \quad (62)$$

Este vector γ es conocido como el vector de estabilización, y de esta ecuación podemos despejar

$$\mathbf{h} = \gamma + \gamma_{01}\xi + \gamma_{10}\eta \quad (63)$$

Sustituyendo el vector \mathbf{h} en las expresiones (46) de los vectores gradiente tenemos

$$\mathbf{b}\mathbf{x}_{10} = [-b_1\gamma - (\gamma_{01}b_1 - b_3)\xi - \gamma_{10}b_1\eta]/4 \quad \mathbf{b}\mathbf{y}_{10} = [a_1\gamma + (\gamma_{01}a_1 - a_3)\xi + \gamma_{10}a_1\eta]/4 \quad (64)$$

$$\mathbf{b}\mathbf{x}_{01} = [b_2\gamma + \gamma_{01}b_2\xi + (\gamma_{10}b_2 - b_3)\eta]/4 \quad \mathbf{b}\mathbf{y}_{01} = [-a_2\gamma - \gamma_{01}a_2\xi - (\gamma_{10}a_2 - a_3)\eta]/4$$

Luego las matrices de estabilización se pueden escribir como

$$\tilde{\mathbf{K}}_{20} = \mathbf{K}_{20} - \gamma_{10}\mathbf{K}_{10} + \gamma_{10}^2\mathbf{K}_{00} = \frac{4t}{J_{00}} [(\mathbf{B}_{10}^T - \gamma_{10}\mathbf{B}_{00}^T)\mathbf{C}(\mathbf{B}_{10} - \gamma_{10}\mathbf{B}_{00})] \quad (65)$$

$$\tilde{\mathbf{K}}_{02} = \mathbf{K}_{02} - \gamma_{01}\mathbf{K}_{01} + \gamma_{01}^2\mathbf{K}_{00} = \frac{4t}{J_{00}} [(\mathbf{B}_{01}^T - \gamma_{01}\mathbf{B}_{00}^T)\mathbf{C}(\mathbf{B}_{01} - \gamma_{01}\mathbf{B}_{00})]$$

donde

$$(\mathbf{B}_{10} - \gamma_{10}\mathbf{B}_{00}) = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -b_1\gamma & 0 \\ 0 & a_1\gamma \\ a_1\gamma & -b_1\gamma \end{bmatrix} \quad (66)$$

$$(\mathbf{B}_{01} - \gamma_{01}\mathbf{B}_{00}) = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} b_2\gamma & 0 \\ 0 & -a_2\gamma \\ -a_2\gamma & b_2\gamma \end{bmatrix}$$

Luego la matriz de estabilización se puede escribir como

$$\mathbf{K}^S = \frac{t}{12J_0} \begin{bmatrix} h_{11}\gamma\gamma^T & h_{12}\gamma\gamma^T \\ h_{12}\gamma\gamma^T & h_{22}\gamma\gamma^T \end{bmatrix} \quad (67)$$

donde

$$h_{11} = C_{11}(b_1^2 + b_2^2) + C_{33}(a_1^2 + a_2^2) \quad (68)$$

$$h_{12} = -(C_{12} + C_{33})(a_1b_1 + a_2b_2)$$

$$h_{22} = C_{22}(a_1^2 + a_2^2) + C_{33}(b_1^2 + b_2^2)$$

Siendo C_{pq} los coeficientes de la matriz constitutiva

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & 0 \\ C_{12} & C_{22} & 0 \\ 0 & 0 & C_{33} \end{bmatrix} \quad (69)$$

Para el caso de un material elástico lineal, ec. (16), los coeficientes h_{pq} son

$$\begin{aligned} h_{11} &= (\bar{\lambda} + 2\mu)(b_1^2 + b_2^2) + \mu(a_1^2 + a_2^2) \\ h_{12} &= -(\bar{\lambda} + \mu)(a_1 b_1 + a_2 b_2) \\ h_{22} &= (\bar{\lambda} + 2\mu)(a_1^2 + a_2^2) + \mu(b_1^2 + b_2^2) \end{aligned} \quad (70)$$

Notemos que el esfuerzo computacional se reduce notablemente para el cálculo de la matriz de estabilización.

3. Integración nodal para plasticidad y contacto

El elemento mostrado previamente ha sido presentado en (Liu, Hu y Belytschko, 1994; Liu et al., 1998), sin embargo para su utilización se sugiere utilizar una regla de integración, poco ortodoxa, de dos puntos de integración sobre una de las diagonales del elemento. El argumento utilizado es que la utilización de un único punto de integración es insuficiente para predecir adecuadamente la evolución de un frente plástico.

En este trabajo se propone utilizar como puntos de integración los vértices del elemento. Notemos que en una malla de cuadriláteros hay aproximadamente la misma cantidad de vértices que elementos (Ewing, Fawkes and Griffiths, 1970), por lo tanto la cantidad de puntos de integración es equivalente a la utilización de un punto por elemento.

Además, la utilización de los vértices presenta varias ventajas: 1) las variables elastoplásticas se comparten con todos los elementos vinculados al nodo, 2) mejora la captura de frentes de plasticidad por estar en el contorno del elemento, 3) en el caso de refinamiento adaptativo de la malla se conservan los valores calculados en los vértices ya que estos vértices se comparten con las mallas más finas sin necesidad de extrapolar variables elastoplásticas. Por el lado de las desventajas se tiene que se requiere utilizar valores únicos de las deformaciones y tensiones en los vértices lo que obliga a un post-procesamiento para hallar estos valores.

Aquí se propone mantener las mismas matrices gradientes del elemento estabilizado y utilizar para la matriz constitutiva un promedio de los valores nodales

$$\bar{\mathbf{C}} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \mathbf{C}_i \quad (71)$$

Luego se construye la matriz de rigidez estabilizada utilizando esta matriz constitutiva promediada.

Se puede demostrar de manera simple que podemos llegar a esta expresión si dividimos al elemento en cuatro partes por los puntos medios de los lados y asumimos que cada cuarto posee las propiedades constitutivas del vértice incluido en ese cuarto.

Como mencionamos previamente es necesario obtener valores únicos de deformación en los nodos previo al cálculo de las variables elastoplásticas, para ello se propone extrapolar en cada elemento las deformaciones en sus cuatro puntos de Gauss a los vértices. Para este caso es posible utilizar las técnicas descritas en (Durand y Farias, 2014). Luego estos valores extrapolados deben ser promediados en cada vértice para tener un único valor por vértice.

Luego es posible utilizar los valores postprocesados no sólo para los cálculos nodales sino también para la presentación de resultados suavizados.

4. Conclusiones.

Existen varias formulaciones (Artioli, Castellazzi y Krysl, 2014; Krysl y Zhu, 2008) que utilizan la integración nodal, sin embargo son más complejas. La presente formulación está basada en un elemento eficiente (Liu et al., 1998; Liu, Hu y Belytschko, 1994) pero cuya implementación es poco ortodoxa, por ejemplo, los puntos de integración no están distribuidos simétricamente en el elemento. Se está trabajando en la obtención de resultados numéricos.

Referencias.

- Artioli, E., Castellazzi, G. y Krysl, P., Assumed strain nodally integrated hexahedral finite element formulation for elastoplastic applications, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 99(11), pp. 844–866, 2014.
- Babu, D.K. y Pinder, G.F., Analytical integration formulae for linear isoparametric finite elements, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 20(6), pp. 1153–1163, 1984.
- Belytschko, T., Correction of article by D.P. Flanagan and T. Belytschko, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 19(3), pp. 467–468, 1983.
- Belytschko, T., Ong, J.S.-J., Wing Kam Liu y Kennedy, J.M., Hourglass control in linear and nonlinear problems, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 43(3), pp. 251–276, 1984.
- Durand, R. y Farias, M.M., A local extrapolation method for finite elements, *Advances in Engineering Software*, 67, pp. 1–9, 2014.
- Ewing, D.J.F., Fawkes, A.J. y Griffiths, J.R., Rules governing the numbers of nodes and elements in a finite element mesh, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2(4), pp. 597–600, 1970.
- Flanagan, D.P. y Belytschko, T., A uniform strain hexahedron and quadrilateral with orthogonal hourglass control, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 17(5), pp. 679–706, 1981.
- Hansbo, P., A new approach to quadrature for finite elements incorporating hourglass control as a special case, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 158(3–4), pp. 301–309, 1998.
- Irons, B. y Ahmad, S., *Techniques of Finite Elements*. E. Horwood, 1980.
- Jacquotte, O.-P. y Oden, J.T., Analysis of hourglass instabilities and control in underintegrated finite element methods, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 44(3), pp. 339–363, 1984.
- Kosloff, D. y Frazier, G.A., Treatment of hourglass patterns in low order finite element codes, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 2(1), pp. 57–72, 1978.
- Krysl, P. y Zhu, B., Locking-free continuum displacement finite elements with nodal integration, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 76(7), pp. 1020–1043, 2008.

- Liu, W.K. y Belytschko, T., Efficient linear and nonlinear heat conduction with a quadrilateral element, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 20(5), pp. 931–948, 1984.
- Liu, W.K., Guo, Y., Tang, S. y Belytschko, T., A multiple-quadrature eight-node hexahedral finite element for large deformation elastoplastic analysis, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 154(1), pp. 69–132, 1998.
- Liu, W.K., Hu, Y.-K. y Belytschko, T., Multiple quadrature underintegrated finite elements, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 37(19), pp. 3263–3289, 1994.
- Liu, W.K., Ong, J.S.-J. y Uras, R.A., Finite element stabilization matrices-a unification approach, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 53(1), pp. 13–46, 1985.
- Rathod, H.T., Some analytical integration formulae for a four node isoparametric element, *Computers & Structures*, 30(5), pp. 1101–1109, 1988.
- Schulz, J.C., Finite element hourglassing control, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 21(6), pp. 1039–1048, 1985.
- Yuan, K.-Y., Huang, Y.-S. y Pian, T.H.H., Inverse mapping and distortion measures for quadrilaterals with curved boundaries, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 37(5), pp. 861–875, 1994.
- Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L. y Zhu, J.Z., *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. 7th edn. Elsevier Butterworth-Heinemann, 2013.

Desarrollo e implementación de hardware libre y sensores MEMs. para la medición de vibraciones y tu posterior evaluación respecto del daño de revestimiento de edificios.

Ing. Ivaldi, Germán A.; Mari, Tomás F. L.; Nicuesa, Facundo A.; Macchiarelli Micaela; Giselle Lillo Lillo; Juan Pablo Cerrotta,.
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Pacheco.
gaivaldi@gmail.com

Resumen

La actividad humana puede causar acciones dinámicas sobre las estructuras, generando en algunos casos, efectos indeseables tales como molestias a los ocupantes, daño de contenidos incluyendo el mal funcionamiento de equipos sensibles y daño en revestimientos entre otros. Actualmente está vigente la norma IRAM 4077 y 4077-2 para la evaluación de los efectos de las vibraciones en edificios. Paralelamente, en los últimos años, tecnologías como los sensores MEMs y las plataformas de hardware libre, que son de uso masivo y bajo costo, están permitiendo el desarrollo de sistemas de medición, reemplazando equipos que requieren una importante inversión económica. El presente trabajo tiene por finalidad presentar un desarrollo e implementación de esta tecnología para la medición de vibraciones a los fines de realizar la evaluación de las mismas respecto de daños en revestimientos.

1. Introducción

Las principales actividades humanas que causan vibraciones son el movimiento humano, el uso de maquinaria, el tráfico automovilístico y ferroviario, y las actividades de construcción. La medición y evaluación de las vibraciones en estructuras es requerida para el análisis de la respuesta humana, los posibles daños cosméticos o de revestimientos y respecto de equipos sensibles. Entre las causas del creciente interés en la temática figuran: la baja tolerancia de las personas a la vibración, el alto nivel de construcción con uso intensivo de maquinaria, el uso equipos con alta sensibilidad a las vibraciones, y la creciente rigurosidad de la legislación medio ambiental.

Actualmente en el país se dispone de la IRAM 4077 “vibraciones en edificios, guía para la medición de vibraciones y evaluación de sus efectos sobre los edificios”; y la 4077-2 “valores orientativos de vibraciones propagadas a través del terreno que pueden producir deterioros de revestimientos (daños cosméticos). En los últimos años, tecnologías como los sensores MEMs (Microelectromechanical systems) y las placas arduino, que son de uso masivo, bajo costo, y esta última libre, están permitiendo el desarrollo de sistemas de medición de bajo costo, reemplazando en ciertos casos a equipos que requieren una importante inversión económica. El presente trabajo tiene por finalidad presentar un desarrollo e implementación de esta tecnología para evaluar las vibraciones respecto del daño en revestimientos o cosmético.

Para la evaluación de las vibraciones se utilizan los valores orientativos de la IRAM 4077-2. Los valores sugeridos fueron elegidos contemplando un criterio de riesgo mínimo de daño producido por vibraciones (9.7 IRAM 4077). Los valores límite para vibraciones transitorias, por sobre las cuales pueden aparecer daños cosméticos está dados en la figura 1, donde la línea 1 corresponde a estructuras reforzadas o enmarcadas, edificios industriales y comerciales pesados; y la línea 2 a estructuras no reforzadas o ligeramente enmarcadas, edificios livianos tipo residencial o comercial.

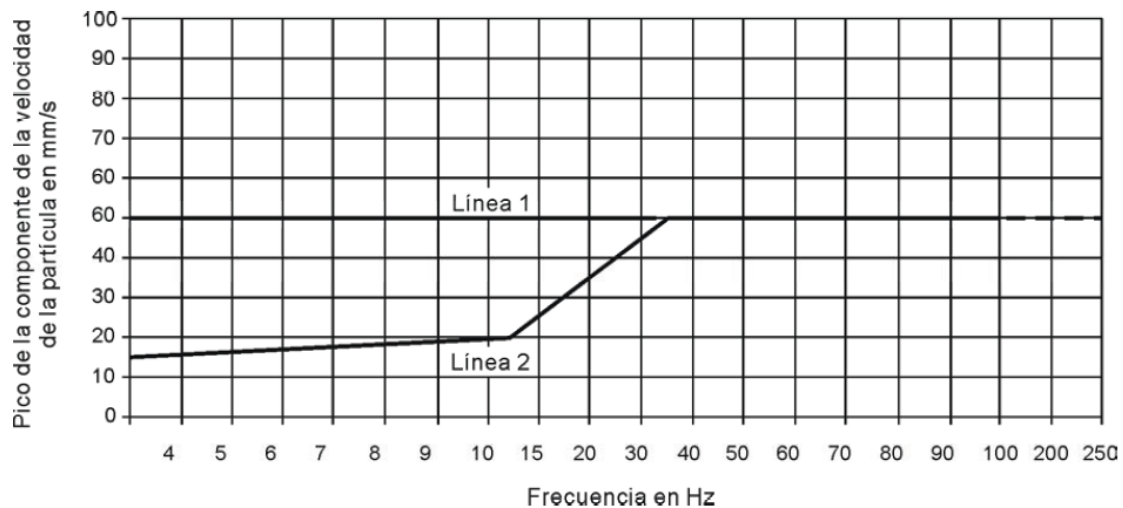


Fig. 1. Valores orientativos de vibración transitoria para deterioro en los revestimientos (daño cosmético)

2. Aplicación IRAM 4077 y 4077-2.

La norma IRAM 4077 Vibraciones mecánicas y choques. Vibraciones en edificios, guía para la medición de vibraciones y evaluación de sus efectos sobre edificios” corresponde con la norma ISO 4866 de 1990 Mechanical vibration and shock. Vibration of buildings – guidelines for the measurement of vibration and evaluation of their effects on buildings”.

La norma incluye:

- Factores relacionados con la fuente a ser considerados.
- Factores a ser considerados con relación al edificio.
- Variables a medir.
- Instrumentación de la medida incluyendo el rango típico de respuesta estructural para distintas fuentes.
- Posición y fijación de los transductores.
- Recolección, reducción y análisis de datos.
- Métodos de evaluación de datos.
- Una categorización de estructuras, fundaciones y suelos, a los fines de clasificar los edificios de acuerdo a su resistencia a la vibración y la tolerancia aceptable para efectos vibratorios.
- Estimación de las tensiones pico partiendo de la velocidad pico de las partículas.
- Recomendaciones para la duración de registros aleatorios.

La norma IRAM 4077-2 “Vibraciones mecánicas y choques. Vibraciones en edificios. Valores orientativos de vibraciones propagadas a través del terreno que pueden producir deterioros de revestimientos (daño cosmético)” fue desarrollada a partir de la norma Británica BS 7385.

Como se dijo anteriormente, en la figura 1 se presentan los límites para vibraciones transitorias, por encima de los cuales pueden aparecer daños cosméticos. Para valores superiores a dos veces los de la figura 1, es posible la aparición de daños menores en la estructura del edificio. Si los valores fueran superiores a cuatro veces los tabulados, podrán ocurrir daños mayores (categorías de daños definidas en 9.9 IRAM 4077). En los casos que por vibraciones dinámicas continuas den lugar a una magnificación dinámica como consecuencia de la resonancia, entonces los valores de la figura 1 pueden ser reducidos hasta un 50%. En general los valores de la figura 1 no deben ser reducidos por fatiga.

1. Descripción placa y acelerómetro seleccionado

El equipo está formado por una placa de desarrollo Arduino Due, un módulo MPU 6050 y un módulo lector de tarjetas SD como partes principales. Además, se utiliza un breadboard y cables para la conexión de los componentes.

La placa de hardware libre Arduino Due está basada en el microcontrolador Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3. El mismo posee 54 pines digitales de entrada y salida (de los cuales 12 pueden ser usados como salidas PWM), 12 entradas análogas, 2 salidas análogas, 4 UART (puertas seriales por hardware), cristal oscilador de 84MHz, una conexión compatible con USB-OTG, 2 TWI, Jack de poder, conexión JTAG, botón reset y un botón borrar.

El módulo MPU 6050 es un sensor de movimientos de seis ejes formado por un acelerómetro y un giroscopio MEM de tres ejes cada uno. Cuenta con un convertor analógico-digital de 16 bits para cada canal, por lo que es muy preciso. Posee un rango de medición configurable por el usuario de +2g, +4g, +8g y +16g. La comunicación con la placa Arduino se realiza a través del bus I2C.

Para el almacenamiento de los datos se utiliza un módulo SD conectado a través del bus SPI.

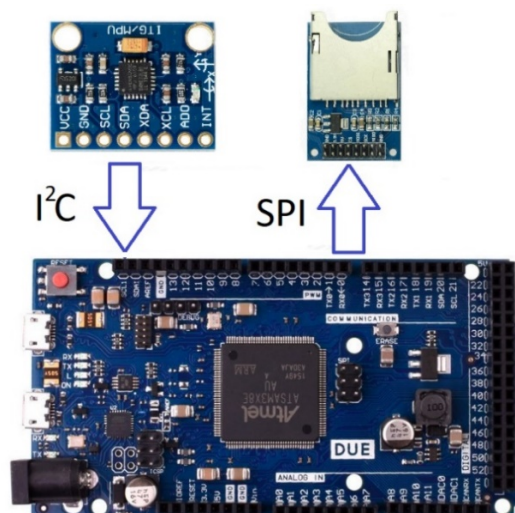


Fig. 2 Componentes.

3. Algoritmo conceptual para lectura de señales.

El lenguaje de programación es C++ dentro de un entorno de trabajo provisto por Arduino.

La medición de las aceleraciones se realiza de manera continua a una frecuencia constante. La señal analógica se convierte en una señal de 16 bits en el convertor analógico digital del MPU 6050 y almacenada en un buffer en la placa Arduino Due. Luego es guardada en la tarjeta SD en bloques del tamaño del buffer. El procedimiento se repite hasta que se alcanza la duración definida al inicio.

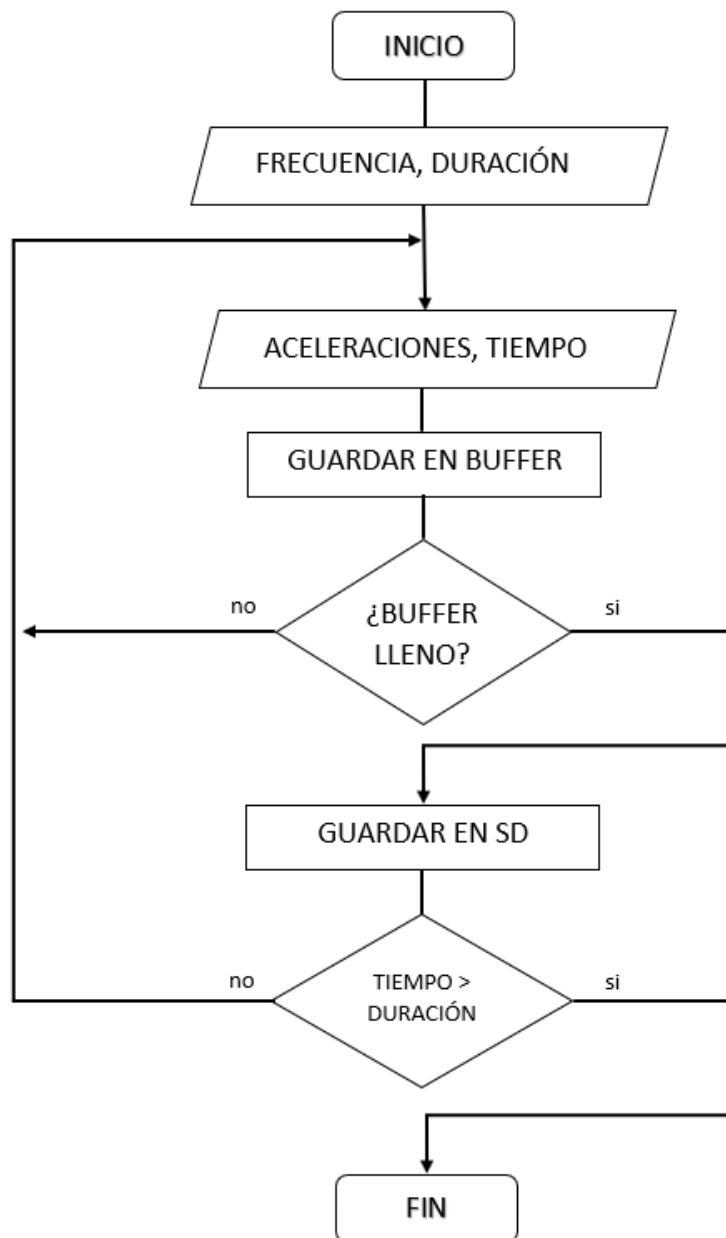


Fig. 3. Algoritmo programación de Arduino.

4. Procesamiento de la señal.

El procesamiento de la señal se realizó con un programa en Mathcad aplicando el algoritmo de la transformada rápida de Fourier.

El algoritmo conceptual utilizado es el siguiente:

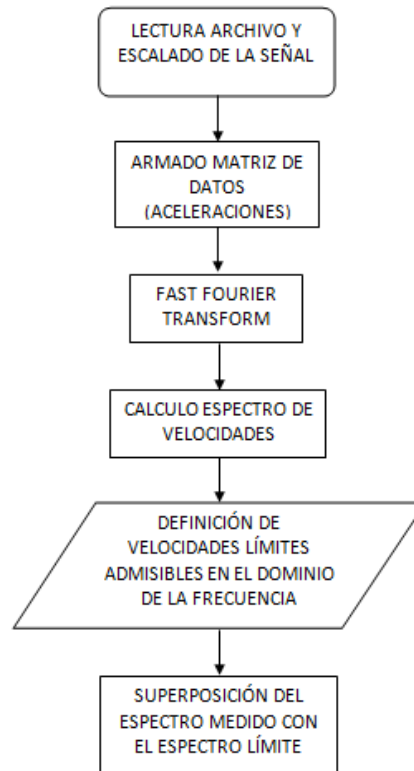


Fig. 4. Algoritmo programación en mathcad.

5. Comparación de resultados.

Se realizó una comparación de resultados medidos directamente con un acelerómetro triaxial RION PV-83CW, un medidor de vibraciones VM-54 y una placa de adquisición LabJack U6. El procesamiento de las señales fue hecho en mathcad con el mismo algoritmo con el que se analizó la señal del acelerómetro MPU 6050.



Fig. 5. Medición de prueba.

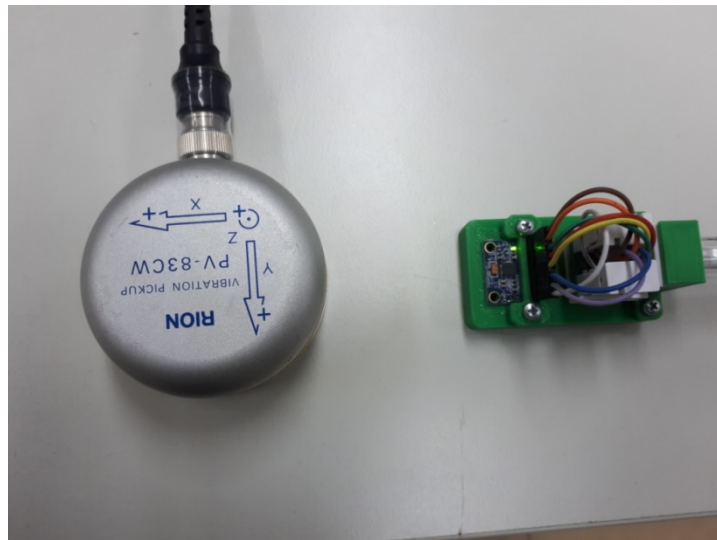
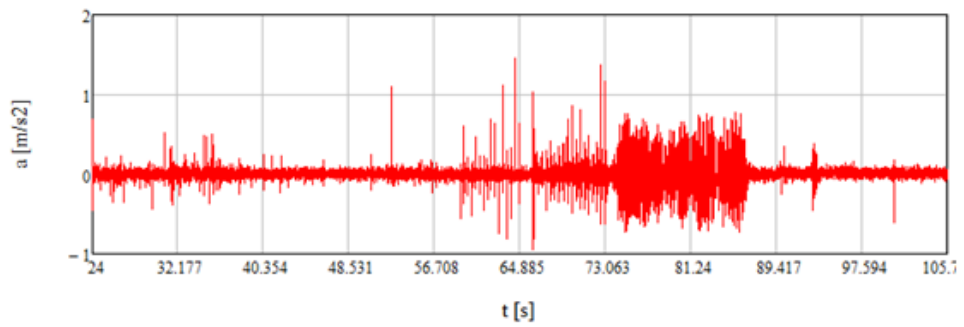


Fig. 6. acelerómetro triaxial RION PV-83CW y MPU 6050

Registro de aceleraciones

Arduino - MPU 6050 - Eje x:



Rion - Eje x:

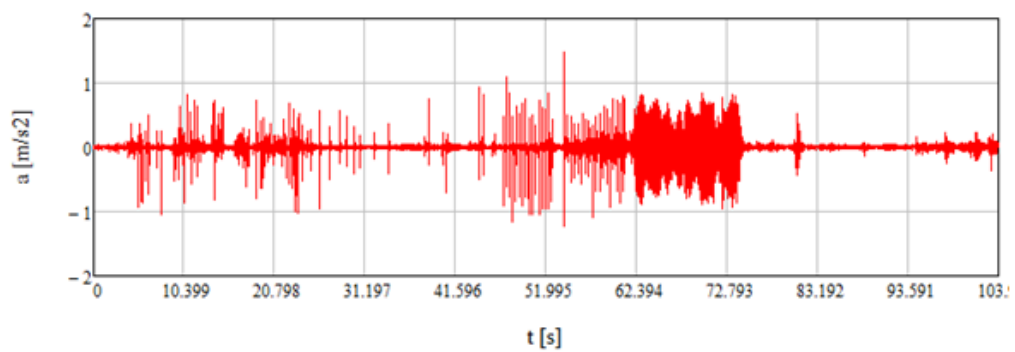


Fig. 7. Registro de aceleraciones MPU 6050 y RION PV-83CW.



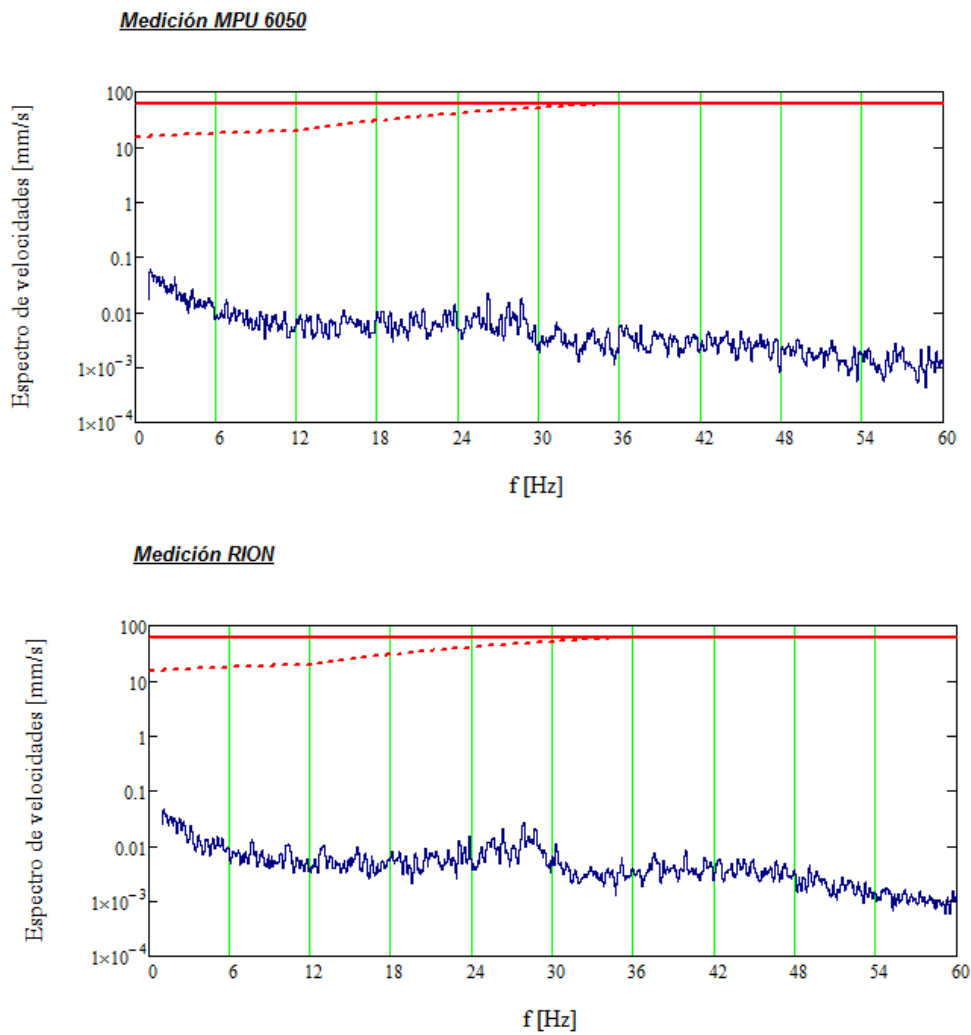


Fig. 8. Espectros de velocidades límite y medidas con el MPU 6050 y el RION PV-83CW.

Medición	Vel Max Espectral	Frec
1x MPU 6050	0.190	5.005
1x RION	0.319	4.979
1y MPU 6050	0.060	1.129
1y RION	0.047	1.129
2x MPU 6050	0.119	5.873
2x RION	0.179	5.940
2y MPU 6050	0.024	1.365
2y RION	0.026	1.172
3x MPU 6050	0.092	5.857
3x RION	0.214	6.230
3y MPU 6050	0.014	1.398
3y RION	0.033	1.208

Tabla 1. Comparación mediciones.

6. Conclusiones

El presente trabajo incluye la implementación de mediciones con un equipo de bajo costo, en este caso una plataforma Arduino y un acelerómetro MEMs, dando como resultados preliminares una buena performance con valores razonables tras el procesamiento de los mismos según la norma IRAM 4077. Es necesario continuar con el trabajo para mejorar la medición y verificar la confiabilidad del equipo, lo cual permitirá realizar una instrumentación con varios sensores para la medición de vibraciones a bajo costo en una estructura.

Referencias

- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1997). IRAM 4077. Vibraciones mecánicas y choques. Vibraciones en edificios. Guía para la medición de vibraciones y evaluación de sus efectos sobre los edificios.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2005). IRAM 4077-2. Parte 2: Valores orientativos de vibraciones propagadas a través del terreno que pueden producir deterioros de revestimientos (daños cosméticos).
- Organización Internacional de Normalización. (1997). ISO 2631-1. Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements.
- Lehmann, A.; Mussat, J.; Vaquero, S.; Barbieri, P. “Uso de microtecnología para la medición de acciones y respuestas de las estructuras” (2016). 24º Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural.
- Galdino, E; Cury, A. “Development of low-cost wireless accelerometer for structural dynamic monitoring” 2016. XXXVII Iberian Latin American Congress on computational methods in engineering.
- Varanis, M; Silva, A; Brunetto, P; Gregolin R. “Instrumentation for mechanical vibration analysis in the time domain and frequency domain using the Arduino platform” (Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 38, nº 1, 1301 (2016).
- Mussat, J.; Lehmann, A.; Barbieri, P. “Análisis de la normativa vigente para la verificación de construcciones sometidas a vibraciones producto de la actividad humana” (2014). 23º Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural.

Caracterización y diseño de lechadas cementicias para inyección de vainas en hormigones postensados.

Ing. Julio C. TOMAS; Ing. Fernando J. Arrayago; J.M. Nunes Borges.

Resumen

La inyección de vainas con lechadas cementicias en estructuras de hormigón postensado, tiene por objetivo la protección del acero contra la corrosión y el aseguramiento de la adherencia entre los elementos tensores y el hormigón. Este requerimiento vale también para los anclajes en roca o suelo. La correcta inyección de las vainas donde se aloja la armadura -cordones, barras o cables- de un elemento postensado, es pues una tarea de fundamental importancia para asegurar la durabilidad de las estructuras. El proceso de inyección y uso de estas lechadas plantea un desafío actual en la construcción de estructuras postensadas. En este artículo se presentan los primeros avances sobre la caracterización de lechadas con el fin de poder establecer las bases para la escritura de una normativa al respecto.

Introducción

La problemática de la durabilidad de las estructuras de hormigón postensado por problemas de corrosión en el acero, se ha manifestado en innumerables estudios en diferentes países sobre estructuras de puentes, estructuras industriales, depósitos y estructuras de contención de reactores nucleares. Desde que el hormigón pretensado fue inventado por Eugène Freyssinet (1928) ha adquirido gran relevancia como solución tecnológica para el refuerzo del hormigón en estructuras de gran esbeltez.

La acción de pretensar el hormigón consiste en aplicar previamente una tensión de compresión, opuesta a la tensión de tracción generada por las cargas aplicadas a la obra, y manteniendo al hormigón siempre en estado de compresión donde posee sus mejores características mecánicas.

La inyección de vainas de postesado adherente, consiste en rellenar el espacio vacío en los conductos de postesado con un producto adecuado para proteger las armaduras activas contra la corrosión. Los objetivos de la inyección son: a) Rellenar completamente el espacio existente entre el conducto y las armaduras activas, a fin de protegerlas de la corrosión (pasivación) y de la posible formación de hielo, con la consiguiente ruptura de hormigón por cambio volumétrico, en climas fríos. b) Establecer la adherencia entre las armaduras activas y el hormigón que rodea las vainas para proporcionar una distribución más uniforme de eventuales fisuras y mejora de la resistencia a rotura por flexión.

Las lechadas cementicias es el material más utilizado para la inyección de vainas de hormigón postensado, siendo un material compuesto por cemento portland, adiciones, agua y aditivos químicos. La calidad de la lechada cementicia para inyección

se logra por una correcta selección de materiales caracterizados (cemento, adiciones, agua y aditivos), un plan de control de la calidad para asegurar las propiedades del material, el diseño de la mezcla y los procedimientos de mezcla adaptadas a la elección de los materiales, el medio ambiente y el equipo y la ejecución de la lechada por personal calificado siguiendo el método aprobado por las normas vigentes.

Por lo tanto, es fundamental la adecuada elección de materiales y diseño de la mezcla (cantidades de cada componente) y un eficiente plan de calidad de ejecución en obra. Las características intrínsecas que debe cumplir cada uno de los materiales componentes de las lechadas cementicias están establecidos en las normas de material que se deben de evaluar mediante ensayos normalizados.

En el estado fresco las condiciones que debe reunir la lechada cementicia para su correcta inyección implican un grado adecuado de fluidez al momento de la operación, así como la consistencia (cohesión) que asegure la nula exudación de agua y menor retracción por fragüe.

En el estado endurecido las condiciones que debe reunir la lechada de cemento requieren de una alta resistencia mecánica para asegurar la adherencia con una suficiente resistencia al congelamiento (en climas fríos) y no contener ningún producto posible de corroer la armadura activa (cloruro).

Las consecuencias de una deficiente calidad de inyección de las lechadas cementicias, han sido relevadas mediante estudios en diferentes países (EE.UU., Suiza y Gran Bretaña) analizando el estado de estructuras existentes y evaluando el estado de corrosión de los cordones de pretensado. Los efectos ocasionados por deficiencias en la inyección de vainas de postensado durante la vida útil de la estructura se pueden resumir en problemas potenciales como el llenado incompleto de los vainas, la exposición del acero de postensado y la corrosión de acero bajo tensión. Los potenciales problemas generan potenciales reparaciones que requieren la localización del área con problemas, la apertura de vaina, la inspección (Visual & END), limpieza de vaina y acero activo, re inyección, reparación del hormigón afectado, refuerzo mediante cordones de postesado adicional u otros métodos de restitución de capacidad portante. Los estudios llevados a cabo en distintos países en estructuras de puentes o en ambientes de potencial corrosivo han generado una revisión de la ingeniería de detalle y de las especificaciones de la lechada de cemento. Complementariamente la calificación de los contratistas de las operaciones de postensado mediante procedimientos definidos.

En nuestro país la temática de “inyección de vainas” se encuentra reglamentada en el capítulo 23 “Hormigón Pretensado. Inyección de Vainas” del Reglamento CIRSOC 201-2005 (1) que está vigente desde el año 2013 para el ámbito de las Obras Publicas Nacionales. En el capítulo 23 del reglamento CIRSOC 201-2005 (1) se establecen los requisitos de las mezclas, componentes, criterios y control de conformidad, dosificación, producción, mezclado, inyección y métodos de ensayos que deben cumplir las lechadas de inyección en estructuras de hormigón pretensado. A pesar de que el reglamento CIRSOC 201-2005 (1) se basa en el reglamento ACI 318-2005(2), sus requerimientos son menos rigurosos y avanzados que las normas europeas (3)(4)(5) y las especificaciones norteamericanas del Post-Tensioning Institute (6), Federal Highway Administration (7) y American Segmental Bridge Institute (8)

Podemos concluir que es necesario la caracterización y evaluación de las lechadas cementicias con los componentes, procedimientos y equipos disponibles en

nuestro país, atendiendo la importancia creciente de las lechadas cementicias en la durabilidad de las estructuras de hormigón postensado. Estableciendo una base para futuras revisiones del reglamento CIRSOC 201 sobre la caracterización y evaluación de las lechadas, así como un plan de calidad para la inyección de lechadas en obra, que asegure la correcta ejecución evitando los importantes problemas de corrosión encontrados en obras existentes.

Objetivos de la investigación

El objetivo general de esta investigación es contribuir al desarrollo tecnológico mediante la transferencia del conocimiento en la caracterización y evaluación de las lechadas cementicias para inyección de vainas de hormigón postensado. Son objetivos concurrentes: 1. Caracterizar las lechadas cementicias en normales y especiales según las condiciones de aplicación. 2. Validar la evaluación de las características de las lechadas mediante los ensayos de laboratorio especificados. 3. Revisar y mejorar los procedimientos actuales de inyección en colaboración con empresas especializadas. 4. Desarrollar recomendaciones en el uso de cementos y aditivos para lechadas disponibles en nuestro país. 5. Establecer bases científicas y tecnológica para el desarrollo de normativas técnicas en el IRAM sobre lechadas cementicias.

Metodología

Se comenzará con la caracterización, y comportamiento de los materiales (cementos, aditivos, filler, escoria). Se continuará con el estudio de las mezclas, teniendo como parámetro el tiempo de fluidez en ambos conos (CIRSOC 201-1982 y CIRSOC 201-2005), para luego seguir con los ensayos de exudación, tiempo de fraguado y compresión. Como resultado del procesamiento de datos se seleccionarán las mezclas con mejores resultados, para así poder pasar a los ensayos a escala de obra. Con los resultados finales se redactará un documento el cual será aportado al CIRSOC para la ampliación del conocimiento del tema, así como también se presentará un esquema de Norma en IRAM.

Vinculo académico

La contribución a la formación de recursos humanos se conducirá mediante: La integración de un grupo de trabajo con docentes, graduados y alumnos de la Regional Pacheco; El grupo de colaboradores de este proyecto de investigación cuenta con la participación de estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, que se encuentran en distintas etapas de la carrera. Por lo tanto, para cada caso en particular la contribución a su formación profesional adopta distintas características; La participación de los mismos en la formulación del Proyecto, en la preparación del Plan de Trabajo y en la puesta a punto del equipamiento necesario, así como también la realización de los ensayos que involucre el proyecto, contribuirán directamente a su formación; Los integrantes del Grupo (alumnos, graduados y docentes) participarán y colaborarán en la presentación del trabajo en Jornadas Técnicas y Congresos, así como en la difusión en el ámbito académico de nuestra Facultad.

Materiales

Cemento: en la etapa de prueba se trabajó con cemento de bolsa, comprado en el mercado, tipo CPC 40, una vez probado el método de mezclado y definido la incorporación de los componentes a la mezcladora y los tiempos de mezclado se cambió a CPN, ya que es más difícil su obtención. Sobre el cemento se realizó en ensayo de finura Blaine, según IRAM 1623, y tiempo de fraguado según IRAM 1619 , según se observa en tabla 1 .

Tipo	Finura [kg/m ²]	Fraguado [min]
CPN 40	325	65
CPC 40	345	73

Tabla 1: Propiedades de cemento.

Aditivo superfluidificante(AS): De base en lignosulfonato al que se le realizó la compatibilidad con el cemento, grafico n°1.

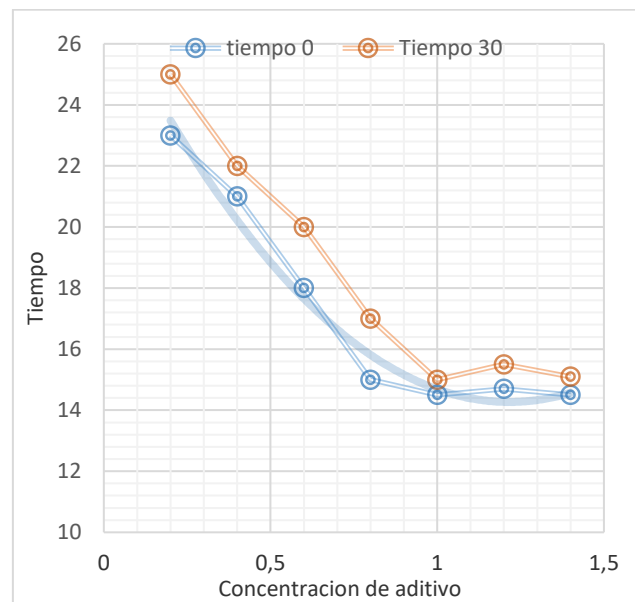


Gráfico n°1: compatibilidad aditivo-cemento

Mezclado

El orden de ingreso de los materiales a la mezcladora resulta de vital importancia a escalas de mezclado de laboratorio, debido a la formación de floculos y restos que pueden quedar adherido en las paredes del recipiente de mezclado. Luego de varias pruebas se llegó a lo siguiente, todo se realiza en continuo mezclado:

- 1- 50% de cemento.
- 2- 70% del agua.
- 3- 50% del cemento
- 4- 30% del agua restante con los aditivos.
- 5- 4 minutos de mezclado.

Resultados

Combinaciones realizadas

Las primeras combinaciones de componentes fueron:

	AS	AE	AS
CPN	0,6%	1%	1%
CPN+10F	0,6%	1%	1%
CPN+20F	0,6%	1%	1%

Tabla 2: combinaciones
AS: Aditivo superfuidificante
AE: Aditivo expansor

Debido a la no disponibilidad del aditivo expansor, al momento de la redacción de este trabajo, se expondrán los resultados de escurrimiento de las combinaciones realizadas con filler calcareo.

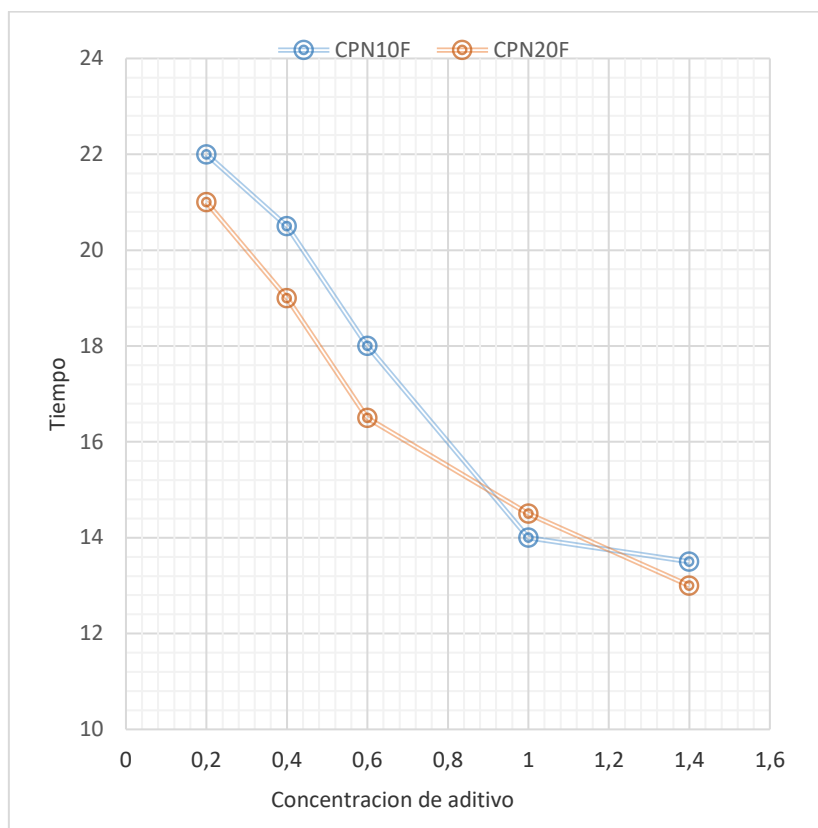


Gráfico n°2: Tiempo de escurrimiento de las combinaciones con filler.

Exudación

La exudación fue analizada según lo establecido en el CIRSOC 201-2005, cilindros de 10cm de diámetro, y según la norma Europea, tubo de 10cm de diámetro y 100 cm de alto, con el extremo de acrílico (15cm). Foto1



Foto 1: Tubo para ensayo de exudación

Resistencia

Se realizó según las indicaciones del reglamento CIRSOC 201-2005-cap 23, en cilindro de 10 cm de diámetro y 8 cm de altura. Se confeccionaron tres muestras de cada combinación para ser ensayadas a 28 días.

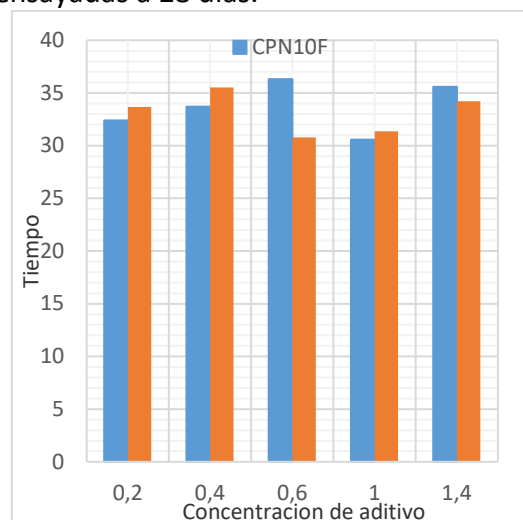


Gráfico n°3: Resultados resistencia a compresión

Conclusiones

1. Resulta de vital importancia la realización de la curva de compatibilidad aditivo-cemento para el diseño de la lechada, de modo de reducir los tiempos de pastones de prueba.
2. La utilización del cono de marsh, considerado en el reglamento de 1982, resulta más amigable que el cono del reglamento 2005, por cuestiones de volúmenes de mezclas y tamaño del mismo.
3. El ensayo a compresión simple considerado en el reglamento actual, CIRSOC 201-2005, no mantiene una esbeltez adecuada, inferior a 1, por lo que se obtiene como resultado valores elevados de resistencia que no son reflejado en la realidad.
4. Los ensayos de exudación realizados según CIRSOC 201-2005 son poco prácticos y de lectura dificultosa, sin embargo, la lectura realizada con el tubo de 100mm de diámetro y un metro de altura resultan más representativos.
5. Actualmente se está trabajando en el principio y fin de fraguado de la lechada y ensayos a compresión simple con cubos de 75mm de lado.

Bibliografía

- 1- CIRSOC 201-2005, “Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón” (2005)
- 2- ACI 318-2005, “Building Code Requirements for Structural Concrete”, ACI (2005)
- 3- EN-445-2007, “Grout for Prestressing Tendons - Test Methods”, ECS (2007)
- 4- EN-446-2007, “Grout for Prestressing Tendons - Grouting Procedures”, ECS (2007)
- 5- EN-447-2007, “Grout for Prestressing Tendons - Basic Requirements”, ECS (2007)
- 6- PTI M55.1-12, “Specification for Grouting of Post-tensioned Structures”, ACI (2012)
- 7- FHWA-NHI-13-026, “Post-Tensioning Tendon Installation and Grouting Manual”, FHWA (2013)
- 8- Cox William, “Grouted Post-Tensioning Specification”, PTI & ASBI (2013)
- 9- Sprinkel Michael, “Post-Tensioned Grout Update”, Virginia Concrete Conference (2013)
- 10- Loguercio Aldo, “Inyección de Vainas en Estructuras de Hormigón Pretensado, Análisis Comparativo entre Normas”, AIE (2014)
- 11- FIB Bulletin 33, “Durability of Post-Tensioning Tendons”, FIB (2005)
- 12- Concrete Society, “Durable Post-Tensioned Concrete Structures”, CS (2010)

Desarrollo de una metodología para la caracterización y predicción de confiabilidad estructural para uniones con pernos en madera laminada y madera maciza, usando ensayos no destructivos y modelos numéricos.

⁽¹⁾ Vera, Enrique Hector; ⁽²⁾ Pereiras, José M.; ⁽³⁾ Morales, Esteban A.R.; ⁽⁴⁾ Marino, Ricardo A.; ⁽⁵⁾ Serraiocco, Leandro D.; ⁽⁵⁾ Taroni; Pablo N.

⁽¹⁾ Mgtr. Ingeniero Construcciones

Director Departamento de Ingeniería Civil. Facultad Regional General Pacheco. UTN.

⁽²⁾ Mgtr. Ingeniero Civil

Especialista metodológico de Ingeniería Civil. Facultad Regional General Pacheco. UTN.

⁽³⁾ Ingeniero Agrónomo

Investigador de Ingeniería Civil. Facultad Regional General Pacheco. UTN,

⁽⁴⁾ Ingeniero Civil

Docente de Ingeniería Civil. Facultad Regional General Pacheco. UTN.

⁽⁵⁾ Alumnos becarios de la carrera de Ingeniería Civil. Facultad Regional General Pacheco. UTN.

Resumen

Este trabajo constituye un avance del PID (Código del Proyecto: ECUTNGP0004745) “Desarrollo de una metodología para la caracterización y predicción de confiabilidad estructural para uniones con pernos en madera laminada y en madera maciza, usando ensayos no destructivos y modelos numéricos”, donde se pretende desarrollará una metodología para la caracterización de uniones con pernos en maderas laminadas y en maderas macizas de *Populus deltoides* clones australiano 129 y stoneville 67/72 cultivados en el Delta del Río Paraná. Esta caracterización se basará en el estudio de la correlación entre los ensayos de esfuerzo convencionales, ensayos no destructivos y la predicción del comportamiento estructural a plena escala con el ajuste de parámetros en modelos numéricos.

1. Introducción

En el marco del proyecto de investigación y desarrollo (PID) denominado: “Desarrollo de una metodología para la caracterización y predicción de confiabilidad estructural para uniones con pernos en madera laminada y en madera maciza, usando ensayos no destructivos y modelos numéricos”. La Universidad Tecnológica Nacional Reg. Pacheco desarrolla una investigación de carácter empírico- experimental para incorporar a la industria de la madera regional en la zona del Delta del río Paraná.

El PID adopta la metodología de “investigación empírico- experimental como aquella que mejor se adapta a las necesidades de la investigación tecnológica en tanto permite articular el ensayo del material real y el análisis de los resultados experimentales con los

modelos de simulación numérica y obtener como resultado un importante insumo para la industria local de la madera.

El alcance del PID no se limita solamente al área tecnológica, también permite la participación de docentes y alumnos que serán beneficiados al participar de manera activa en un proyecto donde se prioriza la investigación y capacitación, todo ello desde una actitud que tiene como eje central la participación de distintos actores en el área de la educación, medio ambiente, sociales, instituciones gubernamentales y de la industria de la madera en general.

Los objetivos generales del PID son los siguientes:

- Desarrollo de una metodología para el diseño y cálculo de uniones con pernos en madera laminada y madera maciza.
- Puesta a punto y ajuste de un método de medición de resistencia de uniones con pernos en madera laminada y maciza de *Populus deltoides* clones australiano 129 y stoneville 67/72 cultivados en el Delta del Río Paraná.
- Desarrollo de modelos numéricos para la validación de resultados.

2. Antecedentes

A partir del año 2009. La redacción del Proyecto del Reglamento CIRSOC 601, de cálculo de estructuras de madera, generó la oportunidad de desarrollar algunos temas de investigación aplicada con la perspectiva de la utilización inmediata de sus resultados [1]

Desde el año 2010 hasta 2012. Se realiza una visita a las principales plantaciones de madera de álamo en el delta del río Paraná, para marcar los árboles que serán utilizados para realizar la investigación. La técnica utilizada fue de muestreo seleccionado y marcando los árboles que mejor representan la población de cada una de las plantaciones de los productores de madera que son utilizados en la industria. En el laboratorio de ingeniería civil de la UTN Gral. Pacheco, se realizó un trabajo de investigación experimental para determinar la densidad de la madera de álamo del delta, en dos especies de salicáceas clonadas más difundidas en plantaciones del delta del Paraná.

Los resultados de esta investigación fueron publicados en la Primera Jornada de Investigación de Ingeniería Civil de la UTN reg. Pacheco (2011) "evaluación del estado de las investigaciones el área de Ingeniería Civil: Evolución, Logros, Transferencia e Impactos". Trabajo: Determinación de la resistencia y Densidad de la madera de Álamo del delta con unión tipo clavija. (ISBN 978-987-27897-4-9).[2]

Desde el año 2012 hasta 2014. Se realiza en el laboratorio de ingeniería Civil y el laboratorio de mecánica de la UTN Gral. Pacheco un trabajo de investigación experimental de la tensión de aplastamiento en la madera de álamo del delta con elementos de fijación tipo clavija (perno y Clavo). Siguiendo los lineamientos de la norma EM 383, según las reglas de diseño del Euro código 5.

INTI – CIRSOC Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios Secretaria de Obras Publicas de la Nación Integrante del Reglamento CIRSOC 601 reglamento Argentino de Maderas (2013). [1]

Los resultados de la investigación fueron publicados en la segunda Jornada de Investigación de Ingeniería Civil de la UTN reg. Pacheco (2014). Resultados del proyecto de Investigación Tecnológica la resistencia al aplastamiento en uniones del tipo clavija en la segunda jornada de investigación en Ingeniería Civil. “Análisis comparativo de los resultados de los ensayos con los calculados según las reglas de diseño del Euro código 5, la norma Brasileña NBR 7190 y del reglamento CIRSOC 601” (ISBN 978-987-1896-40-0). [3]

Desde el año 2015 hasta 2017. La incorporación de un investigador formado en el área de la madera jerarquiza el trabajo que se realiza en el laboratorio de ingeniería civil y se realiza el primer PID “Evaluación de propiedades del álamo del delta argentino mediante ensayos no destructivos” (código de proyecto: ECUTNGP0002433). [4]

Se participa en el IRAM - Instituto Argentino de Normalización y Certificación Subcomité de maderas, en la elaboración del Esquema A de la norma IRAM 9662- 4 Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 4: Tablas de álamo. [5]

El resultado de la investigación fue publicado en las memorias del II Congreso Latinoamericano de Maderas y II Congreso Ibero-Latinoamericano de la Madera en la Construcción trabajo T3 -21"Estudio de la contractibilidad de la madera de Populus Deltoides cultivado en el delta del rio Paraná, clones Australiano 129/60 Stoneville 67” (2017). [6]

Durante este periodo de tiempo realizó la transferencia de la distinta investigación en las cátedras de estructuras metálicas y de madera y Tecnología de los materiales en la carrera de ingeniería civil de la UTN Gral. Pacheco.

En el año 2016 en la Asociación de Ingenieros Estructurales Ciudad Autónoma de Buenos Aires se publica el trabajo N° 089 en la 24 Jornada Argentina de Ingeniería Estructural "Ensayos de aplastamiento en maderas para la obtención de una metodología eficiente de cálculo de uniones con pernos.(2016). [7]

A lo largo de la tesis de maestría de uno de los integrantes del grupo de investigación de maderas de la UTN reg. Pacheco, comenzaron con los primeros estudios de las propiedades del álamo argentino enfocadas en el estudio de uniones con pernos. En dicha tesis pudo estudiarse el aplastamiento paralelo y perpendicular a la fibra. También se realizaron los primeros estudios de modelos numéricos por elementos finitos llegando a comparaciones preliminares entre los aplastamientos obtenidos en laboratorio y los predichos con las deformaciones plásticas en los modelos numéricos. [8]

Es este el punto de partida del presente PID, donde se pretende desarrollará una metodología para la caracterización de uniones con pernos en maderas laminadas y en maderas macizas de Populus deltoides clones australiano 129 y stoneville 67/72 cultivados en el Delta del Río Paraná. Esta caracterización se basará en el estudio de la correlación entre los ensayos de esfuerzo convencionales, ensayos no destructivos y la predicción del comportamiento estructural a plena escala con el ajuste de parámetros en modelos numéricos.[9]

1.1 Estado actual del conocimiento del tema

En el presente proyecto se desarrollará una metodología para la caracterización de uniones en maderas laminadas y uniones con pernos en maderas macizas para el Álamo Australiano 129 y Álamo Stoneville 67/72 cultivados en el Delta del Paraná. Esta caracterización se basará en ensayos no destructivos y la predicción del comportamiento estructural por correlación de ensayos a plena escala con el ajuste de parámetros en modelos numéricos.

En Argentina, la técnica de inspección visual se ha desarrollado llegando a estar normalizada por IRAM [5] en el caso de madera maciza y vigas laminadas encoladas. En tanto que otros métodos no destructivos como vibraciones y ultrasonido, no han sido desarrollados y puestos a punto con el fin de ser aplicados en la industria maderera y en la construcción.

Las conexiones con pernos juegan un papel importante en estructuras de madera. Entonces su rendimiento tiene que ser estimado con una alta confiabilidad. El comportamiento de estas conexiones ha sido exhaustivamente caracterizado con su rigidez K y su capacidad, para lo cual los cálculos de European Yield Model (EYM) [10] es hoy en día muy bien aceptado.

En los últimos años se han desarrollado una gran variedad de técnicas no destructivas aplicadas a la caracterización de maderas incluyendo dispositivos comerciales orientados a tal fin [11]. Un desafío que se plantea a la hora de la utilización de estas tecnologías, es poder determinar aquellas que cumplen con los requisitos necesarios, plantear una metodología de medición confiable, robusta y q económicamente rentable para la industria local.

En la actualidad, plataformas de adquisición de datos open source están siendo utilizadas en varios campos de la ingeniería e investigación [12]. Como ejemplo se puede nombrar ARDUINO [13].

Finalmente, el desarrollo de modelos numéricos para la obtención de una metodología de predicción de confiabilidad estructural de uniones de madera laminada y uniones abulonadas, permitirá otorgar una herramienta de cálculo para el dimensionamiento de estructuras que involucren estos sistemas constructivos [14].

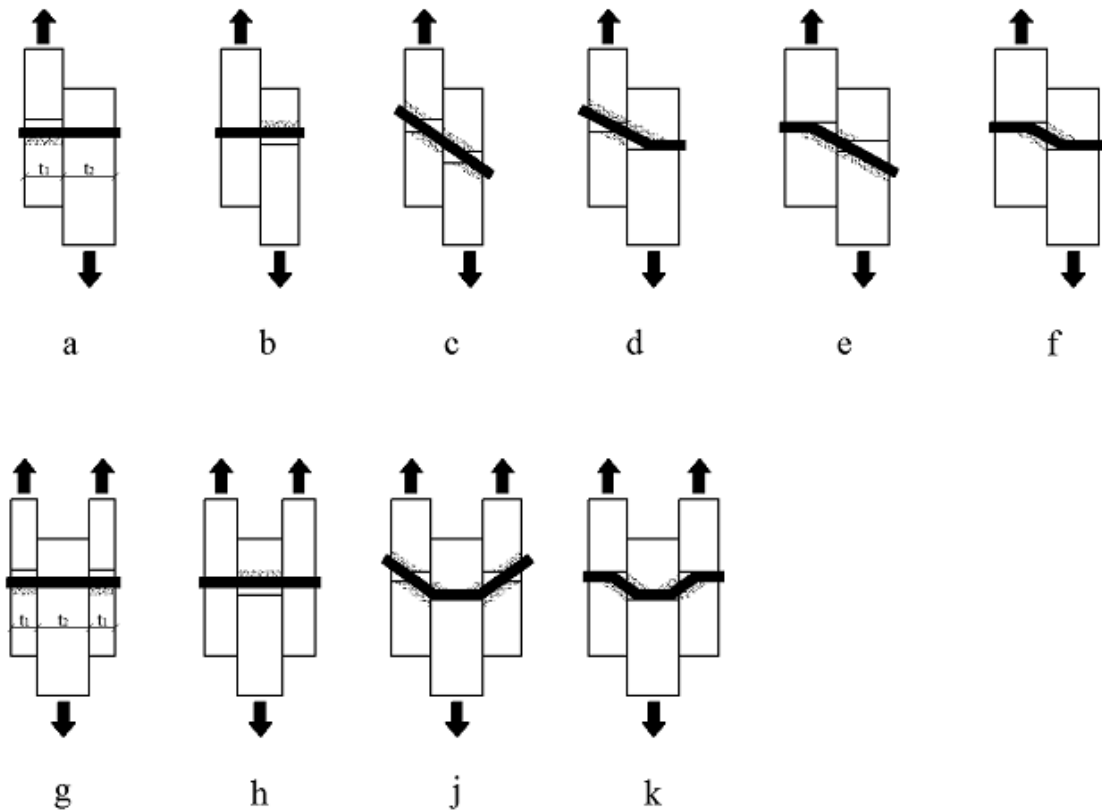


Figura 1 Modos de rotura posibles en una conexión de tipo clavija según el modelo de Johansen. Conexiones con una sección de corte (arriba), conexiones con dos secciones de corte (abajo).

3. Metodología

Ensayos de laboratorio con métodos convencionales y métodos no destructivos de uniones con pernos en madera laminada y en madera maciza. Se prepararán probetas con madera de álamo citada. Luego serán sometidas a evaluación con vibraciones como método de ensayo no destructivo obteniendo la frecuencia fundamental y por último, se someterán a esfuerzo real con un equipo hidráulico según la norma EN 383 (2007) [15] con el cual se obtiene la carga de resistencia y la deformación de la probeta.

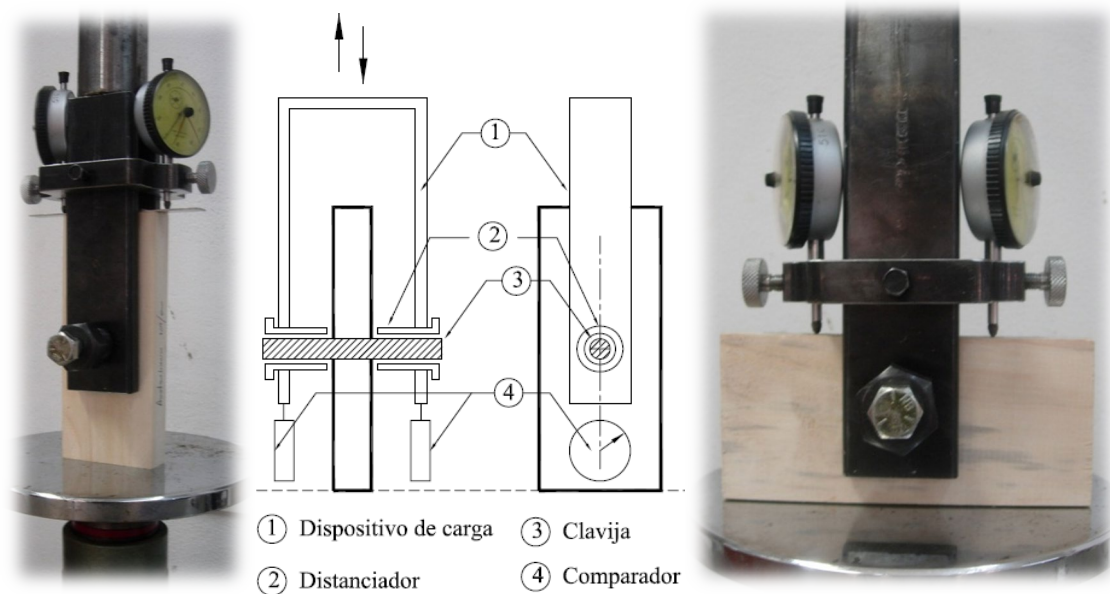


Figura 2 Equipamiento empleado para los ensayos de resistencia al aplastamiento según la norma EN 383 (2007) y dispositivo auxiliar de carga.

3.1 Determinación de la resistencia y deformación al aplastamiento

Con la información obtenida de los ensayos será determinada la resistencia al aplastamiento (f_h), el módulo de deslizamiento instantáneo (K_{ser}) -también denominado módulo de aplastamiento y simbolizado como K_s -, la densidad aparente (ρ) y el contenido de porcentual de humedad (%H) de cada cuerpo de prueba.. Para la determinación de la resistencia al aplastamiento se emplearon las siguientes expresiones:

$$f_h = \frac{f_{max}}{d t} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (\text{Ec 3.3})$$

$$f_{hest} = \frac{f_{max,est}}{d t} (\text{N/mm}^2) \quad (\text{Ec 3.4})$$

donde:

F_{max} : carga máxima o correspondiente a un deslizamiento de 5mm (N)

$F_{max,est}$: carga máxima estimada (N)

d: diámetro del elemento (mm)

t: espesor del cuerpo de prueba (mm)

Se calcularon los siguientes valores a partir de los resultados de las mediciones

Según la norma EN 383 (2007) [15]:

- Desplazamiento inicial: $w_i = w_{0.4}$ (mm) (Ec 3.17)

- Desplazamiento inicial modificado:

$$w_{(i\ mod)} = \frac{4}{3} (w_{0.4} - w_{0.1}) \text{ (mm)} \text{ (Ec 3.18)}$$

- Desplazamiento elástico:

$$w_e = \frac{2}{3} (w_{1.4} + w_{2.4} - w_{1.1} - w_{2.1}) \text{ (mm)} \text{ (Ec 3.19)}$$

- Módulo de aplastamiento inicial: $K_i = \frac{0.4 f_{h\ est}}{w_i}$ (N/mm³) (Ec 3.20)

- Módulo de aplastamiento elástico: $K_e = \frac{0.4 f_{h\ est}}{w_e}$ (N/mm³) (Ec 3.21)

- Módulo de aplastamiento: $K_s = \frac{0.4 f_{h\ est}}{w_{i\ mod}}$ (N/mm³) (Ec 3.22)

- Desplazamiento bajo cargas de 0.6 F_{max} : $w_{0.6}$ (mm) (Ec 3.23)

- Desplazamiento bajo carga de 0.8 F_{max} : $w_{0.8}$ (mm) (Ec 3.24)

Según la norma EN 26891 (1991):

- Módulo de deslizamiento: $K_s = \frac{0.4 F_{est}}{w_{i\ mod}}$ (N/mm) (Ec 3.25)

dónde:

$w_{0.4}$: deslizamiento correspondiente al 40 % de la carga máxima estimada (mm)

$w_{0.1}$: deslizamiento correspondiente al 10 % de la carga máxima estimada (mm)

3.2 Modelo Numérico para la predicción de los ensayos de Aplastamiento

Desarrollo de modelos numéricos en elementos finitos y su comparación con los resultados obtenidos para el desarrollo de la metodología de cálculo. Se empleará el método de Elementos Finitos para el modelado de uniones, considerando la no linealidad del material y su ortotropía. Se realizarán modelos numéricos para identificar las zonas críticas en uniones tanto en componentes laminados como en uniones con tornillos. Para uniones laminadas nos focalizaremos en analizar la resistencia del conjunto y comparando con los ensayos a plena escala. En el caso de uniones con tornillos se verificará el aplastamiento en la dirección normal y paralela a la fibra.[16]

Este modelo consta en un modelo plano de deformaciones, donde se estima la gran influencia del plano medio de la probeta cuyo comportamiento se puede asumir en este sentido. En la Figura 9 se muestra la malla del modelo.

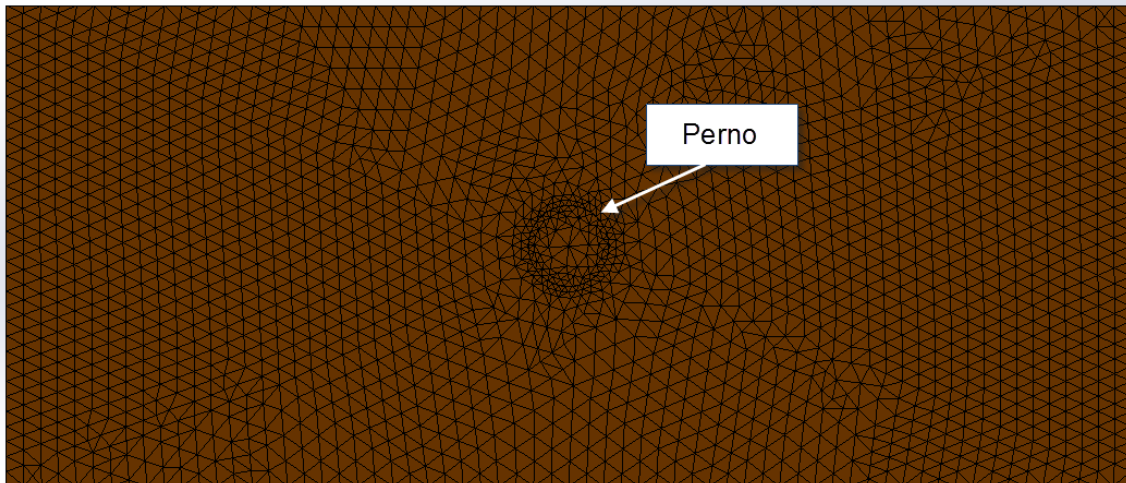


Figura 3: Malla de Elementos Finitos – PlaneStrain

4. Análisis de los resultados

En esta etapa del proyecto se va a contar con los resultados obtenidos a partir del programa experimental y los modelos de elementos finitos. Se tendrá los resultados de los ensayos destructivos en referencia a la resistencia al aplastamiento de las conexiones simples con un elemento metálico tipo clavija (clavo o bulón), que provee información sobre la resistencia y la rigidez de la especie investigada cuando es sometida a esfuerzos de aplastamiento en dirección paralela y perpendicular a la fibra. La resistencia y deformación al aplastamiento constituyen los objetivos centrales del trabajo. Se analizará la relación entre los resultados de ambos métodos con el fin de desarrollar un modelo de evaluación por métodos no destructivos.

5. Proyección del proyecto de investigación

5.1 Contribución al avance científico

- Obtención de una metodología para el diseño eficiente y seguro de uniones con pernos en maderas laminadas y madera maciza de *Populus deltoides* clones australiano 129 y stoneville 67/72 cultivados en el Delta del Río Paraná.
- Puesta a punto y ajuste de un método de medición de resistencia de uniones con pernos en madera laminada y maciza de *Populus deltoides* clones australiano 129 y stoneville 67/72 cultivados en el Delta del Río Paraná.
- Desarrollo de una metodología de cálculo robusta para el tipo de uniones antes mencionadas.

5.2 Contribución a la formación de recursos humanos

Estará dada por las siguientes acciones:

- Formación de un grupo de trabajo integrado por docentes y alumnos de la UTN reg. Gral.Pacheco.
- Contribución en la formación de estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil que se encuentran en distintas etapas de la carrera.
- La participación de los miembros del grupo en la formulación del proyecto, las tareas de preparación de probetas, ensayos, puesta a punto del equipamiento y estudios en gabinete, contribuirán a su formación profesional aportando características particulares a cada uno de los miembros.
- Cierre de la tesis de Maestría del integrante del grupo de investigación.
- Formación de becarios de maestría.
- El grupo de trabajo presentará los resultados de este proyecto en Congresos, Jornadas Técnicas y dará difusión en el ámbito académico de nuestra Universidad.

Referencias:

[1]:INTI CIRSOC (2013) Reglamento Argentino de estructuras de madera CIRSOC 60. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires.

[2]: Primera jornada de investigación en ingeniería civil, Departamento de ingeniería civil (2011), pág. 57, U.T.N. reg. Gral Pacheco, Buenos Aires, ISBN 978-987-27897-4-9.

[3]:Segunda jornada de investigación en ingeniería civil, Departamento de ingeniería civil (2014), pág. 53, U.T.N. reg. Gral Pacheco, Buenos Aires ISBN 978-987-1896-40-0.

[4]: Evaluación de propiedades del álamo del delta argentino mediante ensayos no destructivos, PID U.T.N.-F.R.G.P., 2015 – 2017,código de proyecto: ECUTNGP0002433.

[5]: Instituto Argentino de Normalización y Certificación - <http://www.iram.org.ar/>

[6]: Congreso internacional de estructuras de madera CLEM – CIMAD 2017, Junín, Provincia de Bs. As, trabajo T3-21 "Estudio de la contractibilidad de la madera de Populus Deltoides cultivado en el delta del rio Paraná, clones Australiano 129/60 Stoneville 67"

[7]: Congreso de la Asociación de Ingenieros Estructuralistas "ENSAYOS DE APLASTAMIENTO SOBRE MADERAS ESTRUCTURALES PARA LA OBTENCION DE UNAMETOLOGIA EFICIENTE DE CÁLCULO PARA CONNEXIONES CON PERNOS", (1) Pereiras, José M. y (2) RicardoMarino, AIE, 2017, Bs. As.

[8]: Plan de tesis "Comportamiento mecánico de la madera de álamo cultivada en el delta del río Paraná cuando es sometida a esfuerzos de aplastamiento en conexiones con elementos de fijación de acero de tipo clavija." Resolución Nº 1337/13, Bs. As.

[9]: "Desarrollo de una metodología para la caracterización y predicción de confiabilidad estructural para uniones con pernos en madera laminada y en madera maciza, usando ensayos no destructivos y modelos numéricos", PID U.T.N.-F.R.G.P., 2018– 2020 Código del Proyecto: ECUTNGP0004745.

[10]: European Yield Model For Wood Connections - Structures congress '91 compact

papers; 9th structures congressproceedings; 1991 April 29-May 1; Indianapolis, IN. New York: American Society of Civil Engineers: 60-63; 1991 - <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1991/solti91b.pdf>

[11]: 20th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium <http://www.forestprod.org/symposium/>

[12]: SOLIDWORKS Simulation & Arduino applied in a real Word case for predicting fatigue failure, José Pereiras, Febrero 2017, Los Angeles, Estados Unidos.

[13]: ARDUINO - <https://www.arduino.cc/>

[14]: Finite Element Analysis of Wood Materials, 2014, Tankut, Tankut, Zor.

[15]: EM 383 (2007) Timberstructures, test methods, determinación de la resistencia al aplastamiento y del módulo de aplastamiento para los elementos tipo clavija, Brussels.

[16]: Segunda jornada de investigación en ingeniería civil, Departamento de ingeniería civil (2014), pág. 545, U.T.N. reg. Gral. Pacheco, Buenos Aires ISBN 978-987-1896-40-0.

Interacción humano estructura en pasarelas peatonales de estructuras mecánicas

Autor :Daniel Ballester

Resumen

“Squibb Park Bridge” es una pasarela que sirve como atajo peatonal entre el “Brooklyn Heights” hasta el “Brooklyn Bridge Park”, inaugurada en la primavera de 2013 hace apenas 5 años, costó 5 millones de Dr., fue diseñada deliberadamente para rebotar ligeramente con los pasos de los peatones, reproduciendo el efecto de los puentes colgantes en senderos naturales.

Si embargo en poco tiempo, menos de un año, el movimiento se volvió más notable. Los tramos completos del puente comenzaron a moverse mucho, y no solo hacia abajo y hacia arriba, sino también lateralmente de lado a lado. Este efecto de rebote y balanceo a 15m de altura generaron preocupación por la seguridad para los peatones y en agosto del 2014 fue cerrado. “Brooklyn Bridge Park Corporation” realizó una demanda por 3 millones Dr. en contra HNTB Corporation de Ted Zoli, un prominente ingeniero de puentes, quienes fueron los diseñadores originales del puente. Un nuevo contratista, Arup, firma de ingeniería británica que realizó la reparación del diseño el London Millennium Bridge, fue contratada para desarrollar y supervisar un plan para mejorar la estabilidad del puente Squibb Park Bridge. Arup arregló una estructura debajo del puente con grandes amortiguadores que redujeron el rebote a más de la mitad de lo que era antes. Tres años después de que se cerró por reparaciones, el Squibb Park Bridge volvió a abrir sus puertas al público en abril de 2017.

El estudio del comportamiento colectivo en sistemas mecánicos viene siendo realizado por distintos autos desde hace más de 350 años. Muchos puentes han experimentado vibraciones dramáticas o incluso colapsaron debido a los efectos de la resonancia mecánica. Fue El Puente del Milenio de Londres que amplió significativamente el interés en la dinámica de acción colectiva de los peatones, luego de que comenzó a tambalearse después de su apertura en 2000 (19-21). A pesar del gran interés que despertó la interacción entre los peatones que caminan y el Puente del Milenio de Londres aún no se ha comprendido completamente. Se considera que la oscilación del Puente del Milenio de Londres fue iniciada por una excitación lateral cooperativa causada por peatones de forma intencional, en sincronía con las oscilaciones del puente en uno de sus modos de vibración (29, 38-42) Se observó que los peatones sintonizaban e impulsaban repetidamente en su fase de paso con el movimiento lateral del puente (43).

Antecedentes

Este efecto de la excitación lateral de las pasarelas mediante la marcha sincrónica se estudió en documentos recientes (29, 38-42) incluyendo el modelado de la sincronía de multitudes por modelos de oscilador de fase (40-42) Estos modelos explican cómo una multitud sincronizada relativamente pequeña puede iniciar el bamboleo.

Por muy buenos que sean estos modelos de fase, no capturan por completo un mecanismo de bifurcación del inicio abrupto de oscilaciones laterales que ocurrieron cuando el número de peatones excedió un valor crítico, que según las investigaciones publicadas de: Igor Belykh, Russell Jeter, Vladimir Belykh, es de alrededor de 165 peatones en el Puente del Milenio de Londres.

El Modelado de fuerzas provocada por peatones, en el marco de la dinámica de multitudes en puentes oscilantes es un tema vigente, en investigación y lleno de incertidumbres para ser resueltas. Actualmente, el código de EE. UU. en particular, ni los programas estándar para diseño estructural de estructuras, puentes y puentes peatonales, no abordan explícitamente el impacto del comportamiento colectivo de los peatones, sino que dependen de carga estática requerida incrementada por un modelo factorizado con criterios estadísticos y de pruebas mediante la aplicación de una carga externa periódica (44).

Las Especificaciones "LRFD, *Guide Specifications for the Design of Pedestrian Bridges* (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2009)", para el diseño de puentes peatonales, capítulo 6, fijan límites inferiores a la frecuencia fundamental de un puente en las direcciones verticales y horizontales a 3.0 y 1.3 Hz, respectivamente. Sin embargo, esta limitación podría no ser suficiente, si es que hay una "acción provocada por múltiples peatones en el puente al mismo tiempo" (44). El código no proporciona especificaciones sobre cómo modelar y describir estas cargas. Dado que, para esta condición, le parámetro frecuencia fundamental de la estructura el que debe ser controlado, cobra un grado de importancia su correcta determinación. Sobre todo en estructuras que tienen posibilidad de quedar fuera del estándar de servicio e incluso con riesgo de colapso, producto de estas acciones dinámicas.

Laboratorio UTN FRGP

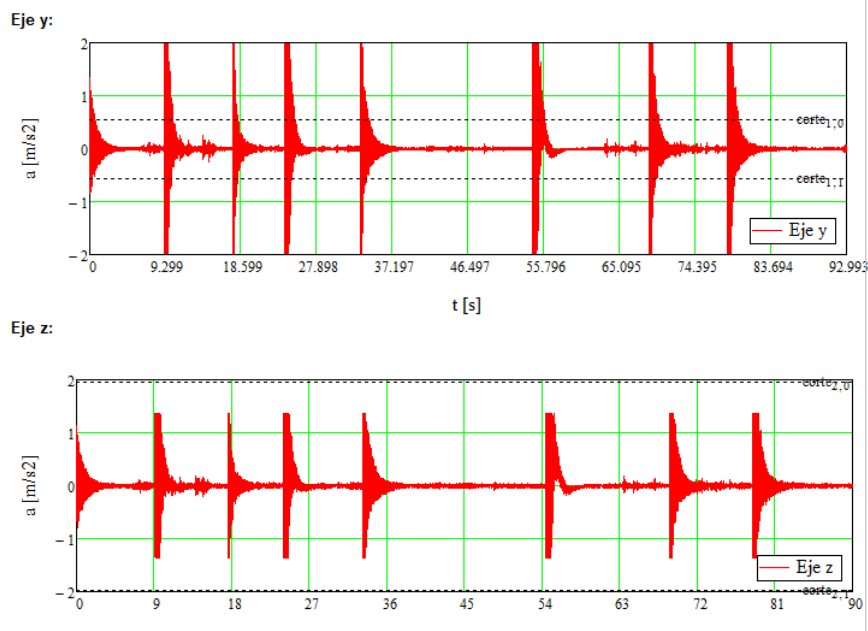
Con la intención de realizar comparaciones entre los estudios analítico resolviendo las ecuaciones de comportamiento dinámico, con resultados de modelos de simulación digital con programas de elementos finitos, se programó la realización de estudios sobre una viga testigo.

Es por eso que se llevó al laboratorio del Dto. De Ing. Civil de UTN FRGP un tramo de perfil IPN12 de un largo de 2,1 m.

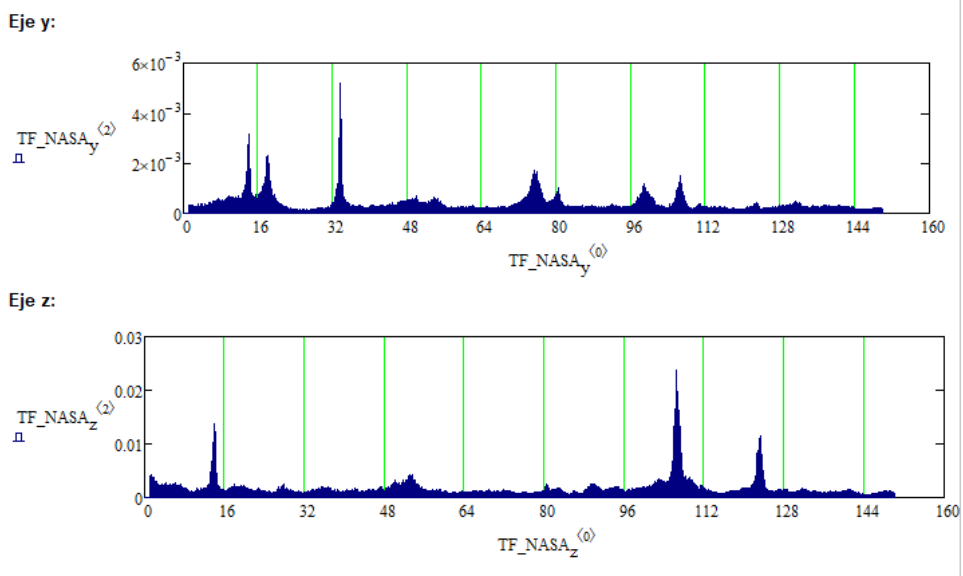




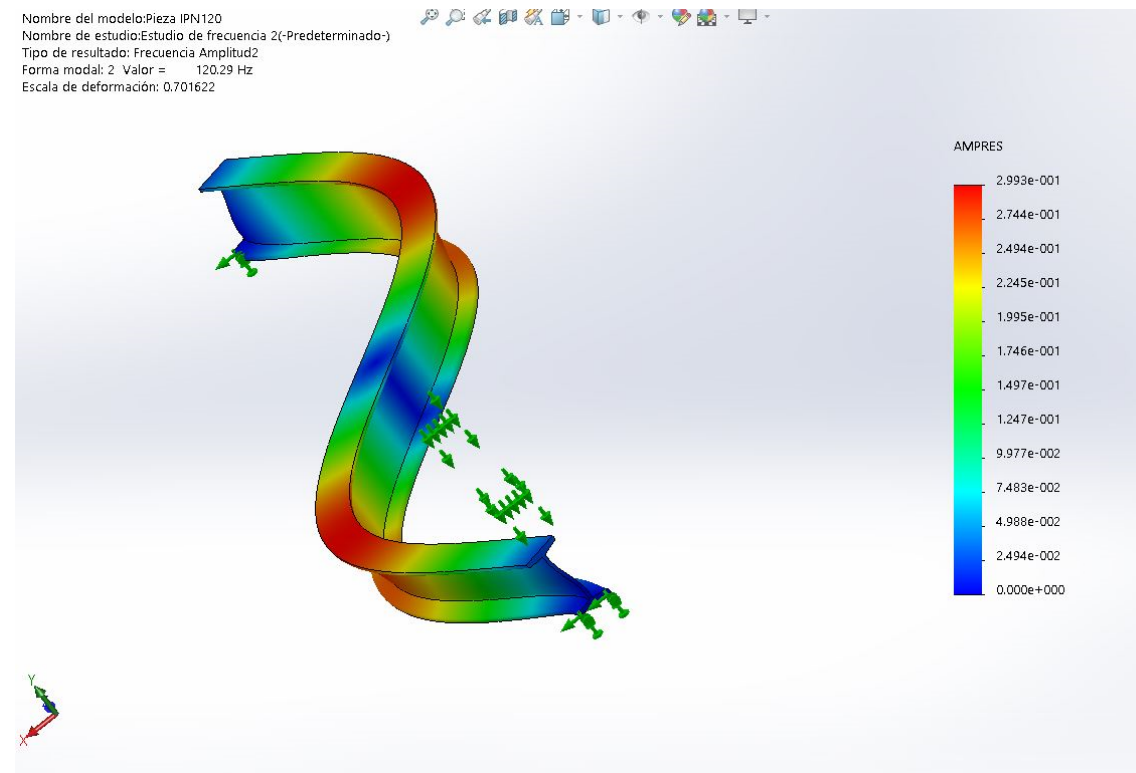
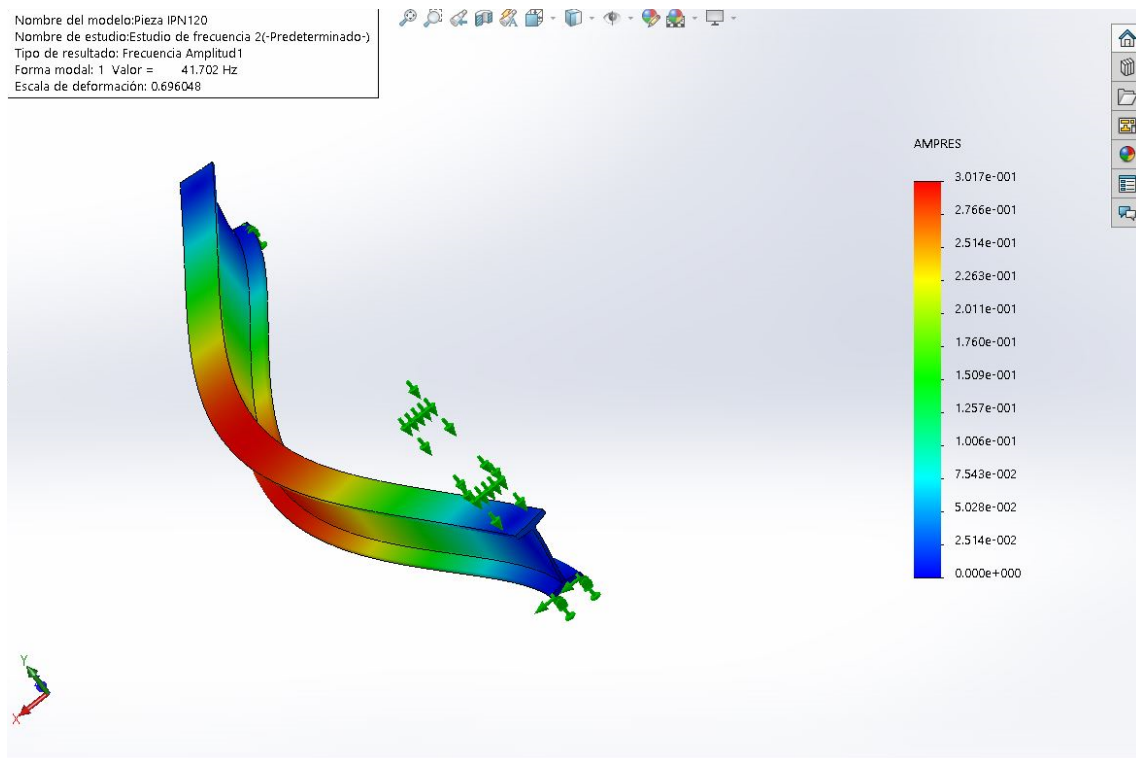
Se tomaron aceleraciones que experimenta cuando entra en Vibración Libre.



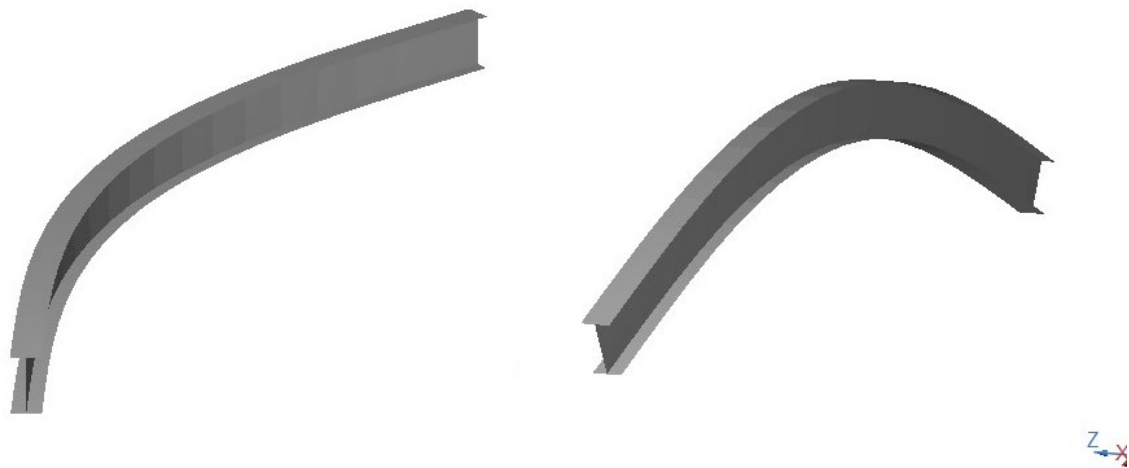
De esta manera podemos mediante la anti transformada de Fourier determinar la frecuencia que caracterizan la estructura.



Se realizaron modelos numéricos con SOLIRWORK, el que se describen a continuación.



Los resultados de los modelos numéricos con RAM ELEMENTS, que se describen a continuación.



MASSES:

Node	Mass X [kg]	Mass Y [kg]	Mass Z [kg]	MMI.xx [kg*m2]	MMI.yy [kg*m2]	MMI.zz [kg*m2]
1	0.00	2.77	2.77	0.00	0.00	0.00
2	0.00	2.77	2.77	0.00	0.00	0.00
5	0.00	5.55	5.55	0.00	0.00	0.00
6	0.00	5.55	5.55	0.00	0.00	0.00
7	0.00	5.55	5.55	0.00	0.00	0.00

MODE FREQUENCIES

MODE	W [RAD/SEC]	T [SEC]
1	153.36	0.04097
2	594.00	0.01058
3	607.87	0.01034
4	1284.90	0.00489
5	2286.88	0.00275
6	4573.99	0.00137

Fy= 24.42

Fz=94.58

Los resultados de las determinaciones analíticas se describen a continuación.

Material Acero	$E := 2100000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	
Longitud entre apoyos	$L := 200\text{cm}$	
Inercia de la Sección	$I_x := 328\text{cm}^4$	
	$I_y := 21.5\text{cm}^4$	
Rigidez de la barra		
	$k_x := 48 \cdot \frac{E \cdot I_x}{L^3}$	$k_x = 4.053 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$
	$k_y := 48 \cdot \frac{E \cdot I_y}{L^3}$	$k_y = 2.657 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$
	$k_y := 48 \cdot \frac{E \cdot I_y}{L^3}$	$k_y = 2.657 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$
Peso por metro	$p := 11.1 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$	$L = 2\text{m}$
Masa	$m := p \cdot \frac{(L + 0.01\text{m})}{\text{g}}$	$m = 22.311\text{kg}$
Frecuencias	$f_2 := \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_y}{\frac{m}{L}}} \cdot \frac{1}{2\pi}$	$f_2 = 24.74 \frac{1}{\text{s}}$
	$f_1 := \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_x}{\frac{m}{L}}} \cdot \frac{1}{2\pi}$	$f_1 = 96.632 \frac{1}{\text{s}}$

Comparativa

IPN 12	Trasversal	Vertical	Unidad
RAM ELEMENTS	24,42	94,58	Hz
ANALITICO	24,74	96,62	Hz
SOLIDWORK			Hz
ADQUISICION	33,68	106,52	Hz

Desarrollo de la plataforma Arduino

Los valores deben ser tomados con instrumental que pueda registrar adecuadamente el rango de aceleraciones a medir lo que invalida algunos dispositivos.

Los primeros pasos que se realizaron para el desarrollo de la plataforma, fue la implementación de una placa Arduino Mega 2560 con dos acelerómetros como se muestra en la Figura N° 1.

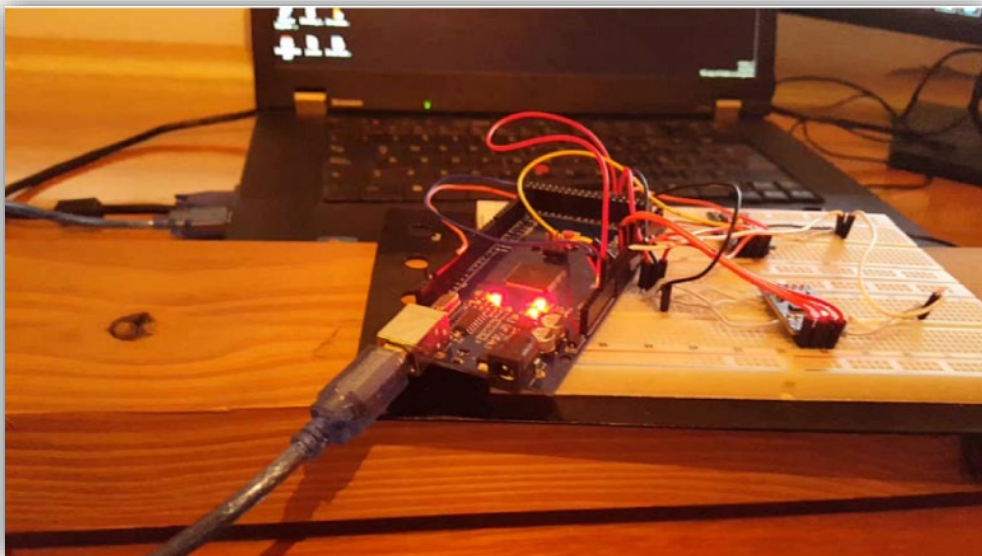


Fig. 01: Implementación de una placa Arduino 2560 y dos acelerómetros.

Las primeras ediciones se realizaron sobre una viga de madera de pino de escuadría 2x3 pulgadas. El largo de la viga es de 150 cm simplemente apoyada en sus extremos. El módulo de elasticidad considerado fue de 70000 kg/cm².

Se obtuvieron las aceleraciones en función del tiempo y también se realizó un análisis de esa señal para determinar el periodo y la frecuencia de oscilación de su modo fundamental. Como resultado de las mediciones se obtuvo una frecuencia fundamental de 39.4 Hz como se muestra en la Figura N° 2.

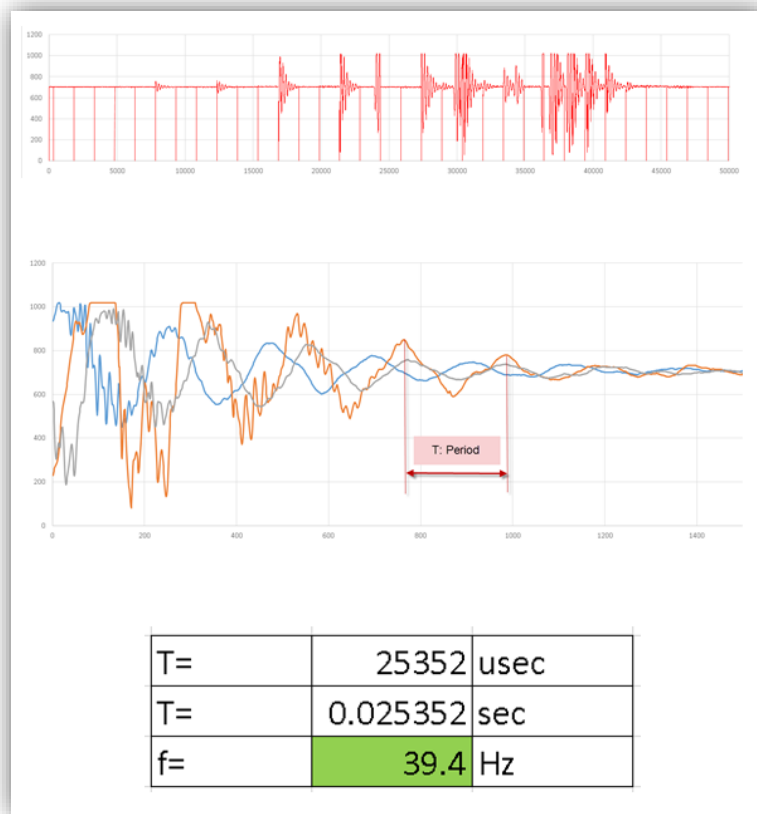


Fig. 02: Análisis de la señal de los acelerómetros

Se desarrolló un modelo numérico de la viga de madera y se obtuvieron las 3 primeras frecuencias naturales. En la Figura N° 3 se muestra un comparativo entre los valores obtenidos con la plataforma de adquisición de datos y los obtenidos con el modelo de elementos finitos.

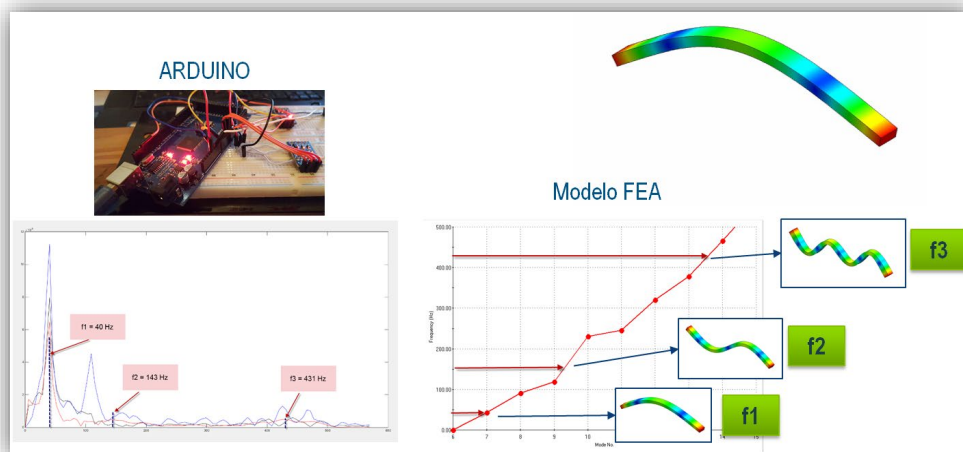


Fig. 03: Comparativo entre Arduino y el modelo FEA



Estos resultados demostraron la fiabilidad de la plataforma desarrollada. A partir de este desarrollo inicial se mejoró el primer prototipo de Arduino llegando a un sistema independiente, que no necesita la conexión a un computador para la recolección de las aceleraciones. En la Figura N° 4 se muestra el sistema final desarrollado y su esquema eléctrico.

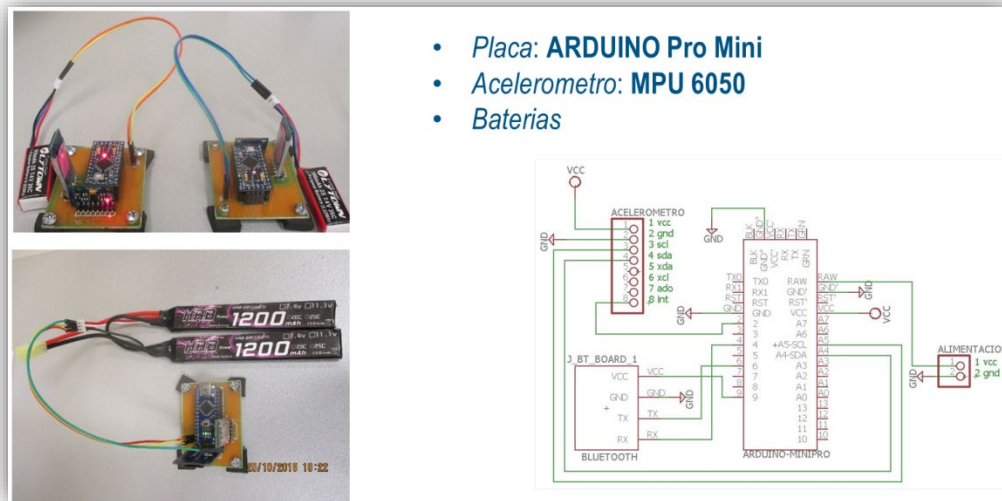


Fig. 04: Sistema final Arduino y esquema eléctrico

Finalmente, este sistema es el que se contempla para el uso de las mediciones de los modelos de pasarelas peatonales que se mostraran a continuación.

Caso pasarela peatonal estudiado.

El modelo geométrico de la estructura considerada es el que se muestra a continuación en la Figura N° 5, el del puente de 47m.



PUENTE 47M

PUENTE 21M

Fig. 05: Pasarelas sobre Av. Gral. Paz: Puente largo 47m – Puente Corto 21m

Estudios dinámicos en modelo numérico en elementos finitos

Se generaron modelos numéricos en elementos finitos usando el software SOLIDWORKS. En primer término, el modelado geométrico de cada uno de los componentes. Realizado el modelo geométrico, se procedió a crear los modelos numéricos en elementos finitos, ajustando los parámetros como se describe a continuación.

Se realizaron estudios dinámicos para obtener la respuesta final estructural. En la Figura N° 6, se expresa el modelo matemático utilizado. Se usa el método de descomposición modal para la resolución del modelo dinámico.

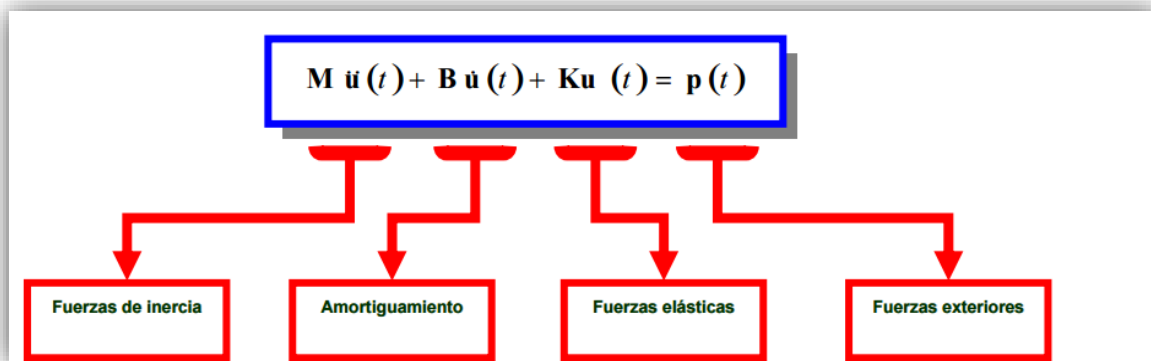


Fig. 06: Modelo Matemático del Estudio Dinámico

Las configuraciones fundamentales que deben ser realizadas para un cálculo correcto del puente, debe considerar los siguientes ítems:

Factor de Participación de Masa:

- # indicador de modos (MPF > 0.8)

Paso de Tiempo:

- Tiempo de resolución del modo más alto: $Dt < 0.1 * T_{min}$
- Tiempo de resolución de la carga: $Dt < 0.1 * (\text{duración del pulso})$

Amortiguamiento:

- Efecto friccional
- Amortiguamiento del Material
- Amortiguamiento viscoso

(Todos los tipos de amortiguamiento son convertidos al viscoso equivalente)

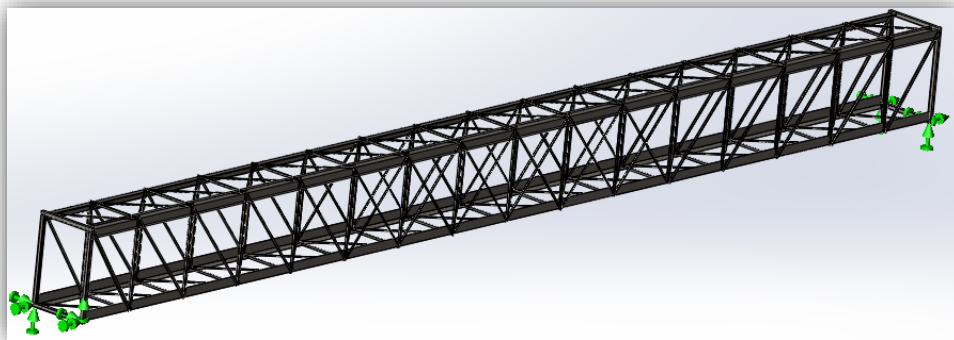


Fig. 07: Modelo geométrico del puente largo

Descripción

- Largo total: 47m
- Ancho total: 2,4m
- Altura total: 3,6m

La distancia entre baricentro del cordón superior e inferior es 3,6m. Puede ser considerado como un modelo con apoyos simples en los extremos inferiores, sin arriostres externos más que lateral en los apoyos. Con un pórtico transversal en cada extremo.

Secciones:

- Cordones: L 370x370x7,9mm
- Montantes de piso y techo: UPN 80
- Diagonales de piso y techo: L 2x2x3/16"
- Montantes verticales: UPN 80 y UPN 120
- Diagonales verticales: L 3x3x3/8" y L 2x2x1/4"
- Marcos de extremos: 2 UPN 160 BOX

En la Figura 08 y Figura 09, se muestran los primeros modos de vibración que son los que tiene mayor factor de participación de masa.

Estas simulaciones de las frecuencias naturales se utilizarán como valores comparativos con los resultados obtenidos en campo.

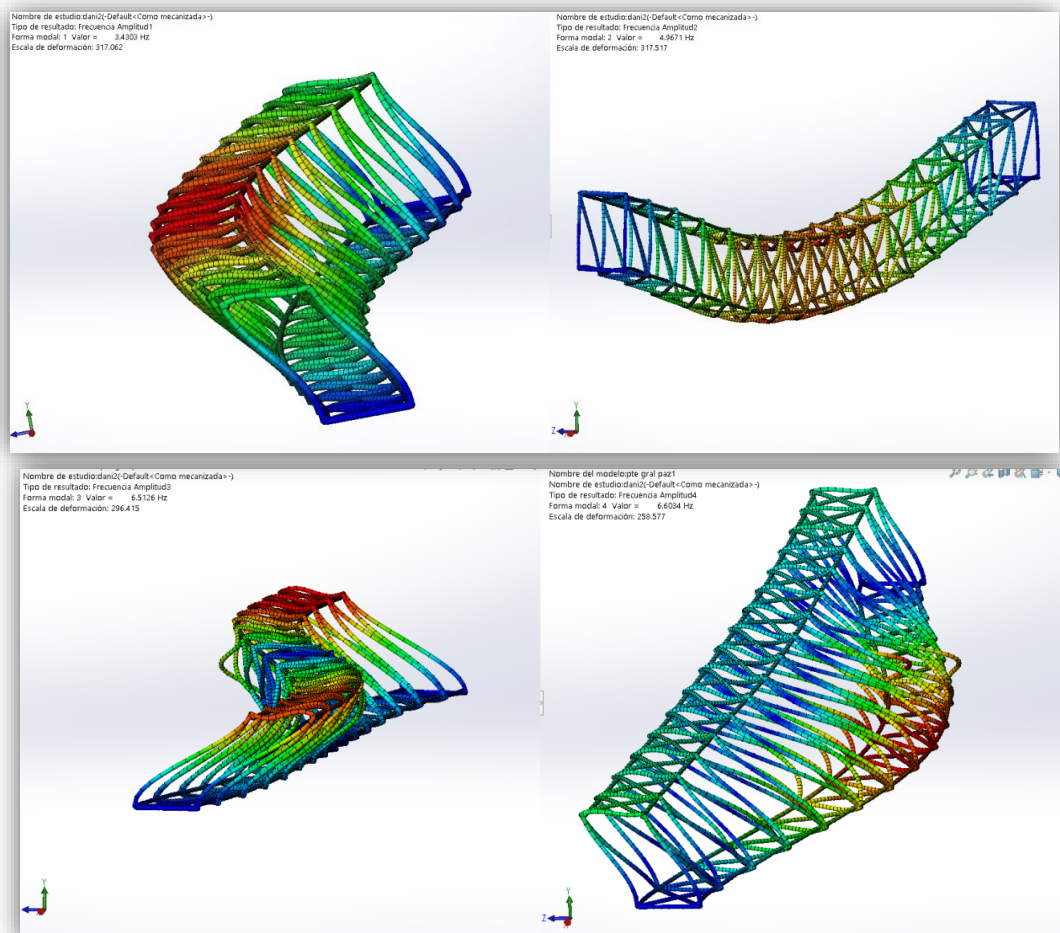


Fig. 08: Forma Modal 01 – Forma Modal 02
Fig. 09: Forma Modal 03 – Forma Modal 04

Datos de frecuencia del modelo de SolidWorks		
Forma Modal 01	3,43	Hz
Forma Modal 02	4,97	Hz
Forma Modal 03	6,51	Hz
Forma Modal 04	6,60	Hz

Tabla 01: Frecuencias Naturales del puente obtenidas numéricamente.

Los valores de frecuencia indicados son los que serán comparados con los datos de campo obtenidos.

Adquisición de datos en campo

Inicialmente se utilizó para la adquisición de las aceleraciones equipos comerciales. En el presente trabajo se plantea una nueva plataforma que permitirá la obtención de las vibraciones de una forma precisa.

En la Figura Nº 10 se muestra un ejemplo de las vibraciones obtenidas en una estructura metálica usando la plataforma Arduino presentada en este trabajo.

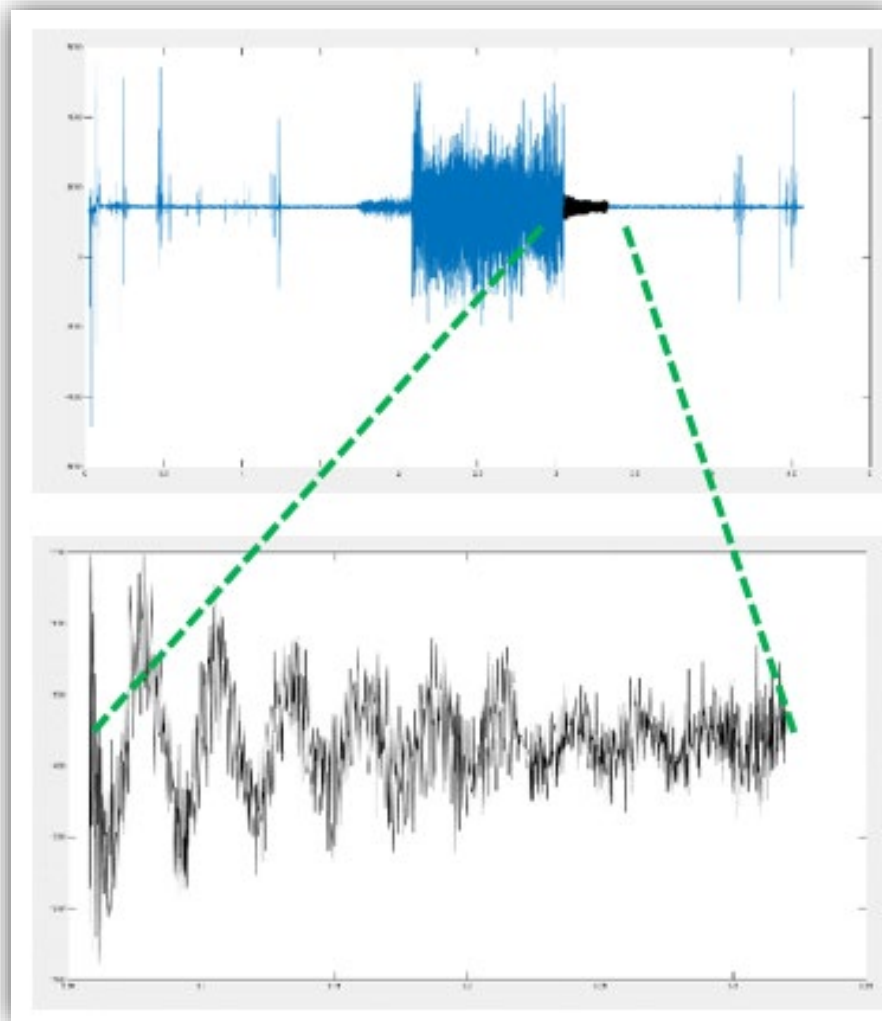


Fig. 10: Análisis de Vibraciones

Metodología

Para estudiar el comportamiento estructural, se toman muestras en 3 posiciones del puente: en el medio, en el tercio y en el cuarto de la luz de la pasarela. Se consideró Ruido Blanco para el estudio de frecuencias propias, y se registró la respuesta con un Impulso de dirección vertical aplicadas, para determinar el amortiguamiento.



Fig. 11: Acelerómetro triaxial.

La fijación del sensor a la superficie se realiza por magnetismo, éste es uno de los limitantes en lo que hace al rango de frecuencias a medir, ya que altas frecuencias podrían ser desvirtuadas por la falta de rigidez en la sujeción.

La toma de muestras se estableció en 1 milésima de segundo (1 kHz). Este muestreo se considero a partir de resultados preliminares, por el rango de frecuencias naturales esperable para este tipo de estructuras.

```

Ambiente1-2_0 - Notepad
File Edit Format View Help
27/09/2014
11:46
|
0, CH+=0, CH=-199, Range=+/-10, y=a
1, CH+=1, CH=-199, Range=+/-10, y=b
2, CH+=2, CH=-199, Range=+/-10, y=c
3, CH+=3, CH=-199, Range=+/-10, y=d

Time  v0      v1      v2      v3      y0      y1      y2      y3
0.000000 -1.895675 -0.022820 0.007536 -0.011753 -1.895675 -0.022820 0.007536 -0.011753
0.001000 -1.852355 -0.017445 0.003425 0.040110 -1.852355 -0.017445 0.003425 0.040110
0.002000 -1.819154 -0.015864 -0.002900 0.054974 -1.819154 -0.015864 -0.002900 0.054974
0.003000 -1.809036 -0.014915 -0.012386 0.036315 -1.809036 -0.014915 -0.012386 0.036315
0.004000 -1.819787 -0.019974 -0.024401 0.006904 -1.819787 -0.019974 -0.024401 0.006904
0.005000 -1.841288 -0.015231 -0.037998 -0.035152 -1.841288 -0.015231 -0.037998 -0.035152
0.006000 -1.869746 -0.013650 -0.044006 -0.082582 -1.869746 -0.013650 -0.044006 -0.082582
0.007000 -1.901999 -0.013018 -0.046851 -0.134439 -1.901999 -0.013018 -0.046851 -0.134439
0.008000 -1.934884 -0.012386 -0.042108 -0.172383 -1.934884 -0.012386 -0.042108 -0.172383
0.009000 -1.958282 -0.006694 -0.032306 -0.175545 -1.958282 -0.006694 -0.032306 -0.175545
0.010000 -1.961128 -0.005113 -0.019658 -0.139182 -1.961128 -0.005113 -0.019658 -0.139182
0.011000 -1.939310 -0.005113 -0.008907 -0.089222 -1.939310 -0.005113 -0.008907 -0.089222
0.012000 -1.904212 -0.011753 -0.000370 -0.041476 -1.904212 -0.011753 -0.000370 -0.041476
0.013000 -1.873224 -0.015864 0.007536 -0.011437 -1.873224 -0.015864 0.007536 -0.011437
0.014000 -1.850774 -0.016180 0.009117 0.002792 -1.850774 -0.016180 0.009117 0.002792
0.015000 -1.838442 -0.020607 0.012280 0.004690 -1.838442 -0.020607 0.012280 0.004690
0.016000 -1.836229 -0.013018 0.012596 0.002792 -1.836229 -0.013018 0.012596 0.002792
0.017000 -1.836229 -0.006694 0.009750 0.003109 -1.836229 -0.006694 0.009750 0.003109
0.018000 -1.835913 -0.007010 0.007536 -0.002900 -1.835913 -0.007010 0.007536 -0.002900
0.019000 -1.840972 -0.008907 0.008801 -0.009540 -1.840972 -0.008907 0.008801 -0.009540
    
```

Fig. 12: Archivo de salida del acelerómetro

Los datos del instrumental se recogen en un grupo de archivo “.dat”. Este archivo se compone de 9 columnas. En la primer columna se especifica el tiempo. En el resto de las columnas se especifican las aceleraciones.

Post-Procesamiento.

Con el programa Mathcad se levanta la información de distintos archivos y se la agrupa en una matriz de “Datos”, donde quedan identificados en columnas y filas con los subíndices a la serie. De allí, se selecciona la información de 4 canales, correspondiente al dato de tiempo y los valores de aceleración registrados en las 3 direcciones ortogonales asociadas a ese tiempo: Longitudinal “x” - Transversal “y” - Vertical “z”.

Se obtienen la media estadística y la desviación estándar de las aceleraciones, con el objeto de ordenar los valores en una distribución y se presentan los gráficos de aceleración función del tiempo en cada dirección.

Registro de Aceleraciones

De la muestra considerada se obtiene en forma directa la aceleración, integrando la función de la aceleración, se determina la velocidad, que a su vez al integrarse nos da el desplazamiento. De estas 3 magnitudes se puede determinar los valores medios, máximos, y demás valores estadísticos que sean de utilidad en el estudio, todos ellos en función del tiempo.

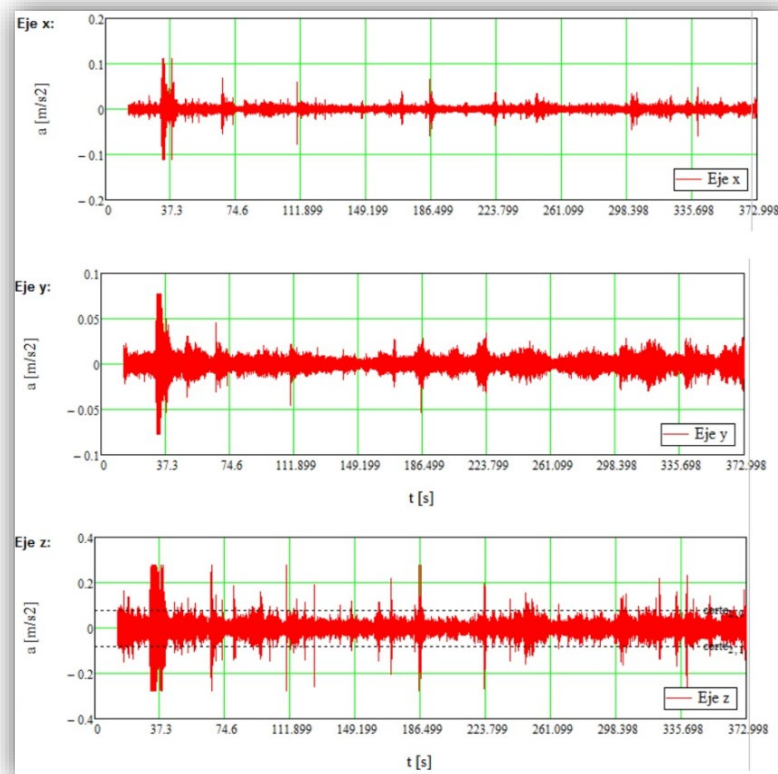


Fig. 13: Aceleraciones en función del tiempo.

Entre los desplazamientos “pico” en una y otra dirección, se encuentra la posición de equilibrio de la estructura en el estado considerado. Por lo que en el dominio del tiempo se podrá determinar los valores entre picos, o entre el punto de equilibrio y el pico. Así también, de los valores de aceleración, velocidad o desplazamiento y podemos obtener el valor RMS, valor medio eficaz, del parámetro considerado.

Estos parámetros ya nos permiten hacer comparaciones con valores tabulados en normas o estudios, que determinen como afectan la comodidad de las personas.

Transformada de Fourier

Los tados registrados son en función del tiempo, ya sea aceleraciones, velocidad o desplazamiento. Para la caracterización de la estructura es conveniente pasar del dominio tiempo al dominio frecuencias.

Para esto se utiliza como herramienta también del programa Mathcad. Se procesan los datos con un algoritmo de la transformada de Fourier, se adopta como filtro de 1Hz, con lo que se obtienen los valores de las frecuencias propias de la estructura. (BERTERO, R. 2014)

Frecuencias Naturales

Consideramos los picos de frecuencia menores a 12Hz, dado que los valores por encima, no tienen incidencia en la interacción con las personas.

Lo valores de frecuencias, son el número de veces que la estructura oscilara en torno a la posición de equilibrio en 1 seg., para un determinado modo de oscilación.

Puente 47m.				
	Longitudinal	Trasversal	Vertical	Unidad
Parámetros Dominio del Tiempo	x	y	z	
Aceleraciones máximas registradas	0,096	0,078	0,368	m/s ²
Aceleración RMS	8,840	9,109	44,784	m/s ²
Parámetro Dominio de la Frecuencia (menores a 12Hz)				
Frecuencia Natural	2,30	1,709	3,376	Hz
1er. Armónico de la Frecuencia		4,227		Hz
2do. Armónico de la Frecuencia		7,587		Hz

Tabla 02: Parámetros dinámicos en el dominio de las frecuencias, Puente 47 m

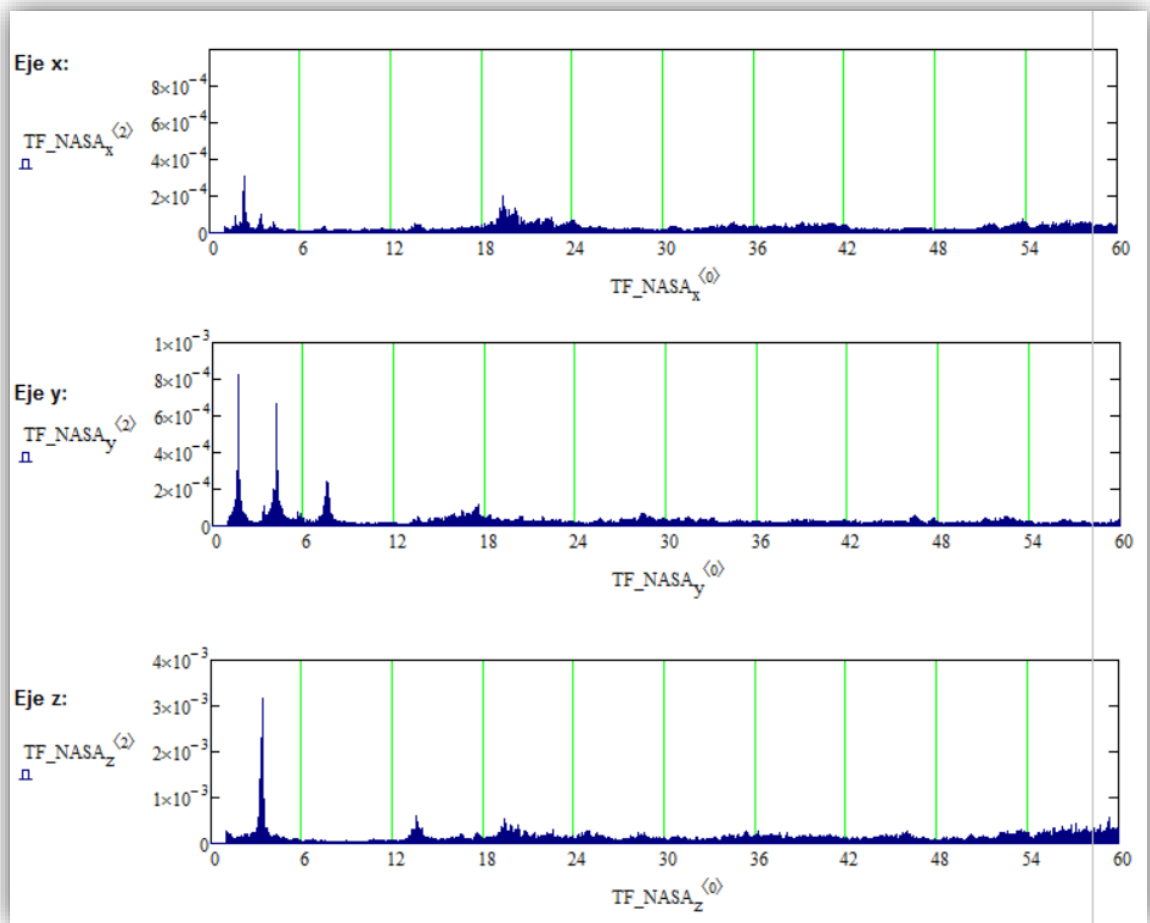


Figura 14: Aceleraciones x, y, z, en el dominio de las frecuencias .

Registramos la respuesta con la acción de lo que se denomina “Ruido Blanco” (BERTERO, R. 2014), determinando los parámetros indicados seguidamente, en direcciones ortogonales.

El espectro de frecuencias determinado para cada dirección, por ejemplo la vertical “z”, resulta ser la componente de la dirección vertical del modo natural de oscilación.

Amortiguamiento

Se denomina ζ al porcentaje del amortiguamiento crítico, parámetro adimensional que depende de las características de la estructura, su masa y su rigidez, considerado como el amortiguamiento de la estructura. Sin embargo no es posible determinarlo apropiadamente en forma teórica, y en muchos casos se lo adopta por analogía con otros casos, o con el tipo de material interviniente.

En este estudio, para determinarlo nos valemos de la expresión:

$$\delta = \ln\left(\frac{u_i}{u_{i+1}}\right) = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (1)$$

(Chopra - 1997). Donde al despreciar el término $\sqrt{1 - \zeta^2}$, por ser un infinitésimo de orden superior, queda definido el amortiguamiento con suficiente exactitud:

$$\delta = \ln\left(\frac{u_i}{u_{i+1}}\right) = 2\pi\zeta \quad (2)$$

Tomando los valores de desplazamientos por inspección de la grafica de desplazamientos producto de impulso, podemos tomar las ordenadas entre picos y calcularlo para el caso en estudio, como se indica a continuación.

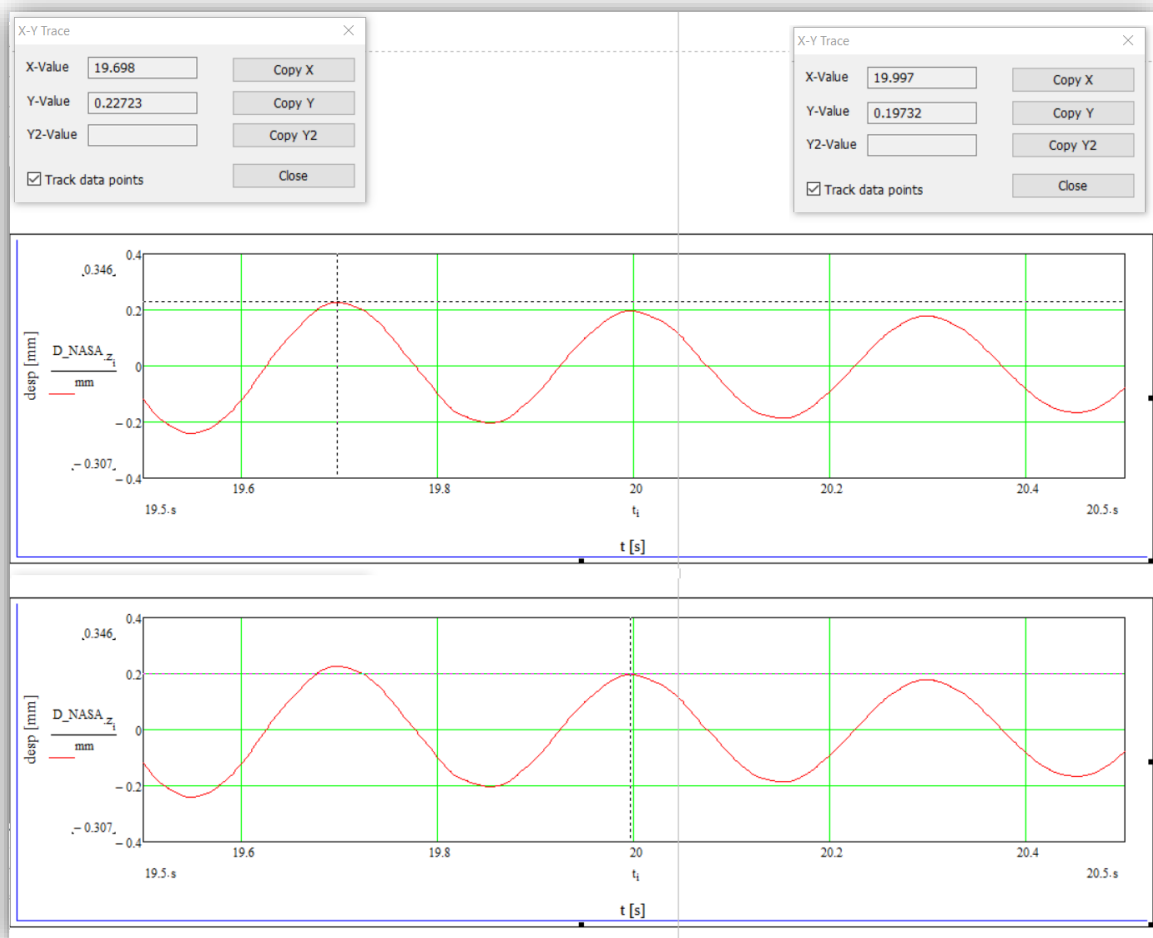


Fig. 15: Registro de desplazamientos

Dirección Vertical									
Causa	x(t)	x(t+n*T)	n	Amortiguamiento					
1 Impulso	0,263570	0,231740	1	δ	0,13	ζ	0,020	2%	
2 Impulso	0,263570	0,200060	2	δ	0,14	ζ	0,022	2%	
3 Impulso	0,263570	0,188870	3	δ	0,11	ζ	0,018	2%	
4 Impulso	0,263570	0,150800	4	δ	0,14	ζ	0,022	2%	
5 Impulso	0,263570	0,131420	5	δ	0,14	ζ	0,022	2%	
6 Impulso	0,227230	0,197320	1	δ	0,14	ζ	0,022	2%	
7 Impulso	0,227230	0,178300	2	δ	0,12	ζ	0,019	2%	

Dirección Transversal									
Causa	x(t)	x(t+n*T)	n	Amortiguamiento					
1 Impulso	0,055029	0,049847	2	δ	0,05	ζ	0,008	1%	
2 Impulso	0,055029	0,032388	5	δ	0,11	ζ	0,017	2%	
3 Impulso	0,046325	0,038393	3	δ	0,06	ζ	0,010	1%	
4 Impulso	0,046325	0,031745	5	δ	0,08	ζ	0,012	1%	

Dirección Longitudinal									
Causa	x(t)	x(t+n*T)	n	Amortiguamiento					
1 Impulso	0,041927	0,036984	1	δ	0,13	ζ	0,020	2%	
2 Impulso	0,041927	0,027326	2	δ	0,21	ζ	0,034	3%	
3 Impulso	0,041927	0,024525	3	δ	0,18	ζ	0,028	3%	
4 Impulso	0,024525	0,018203	4	δ	0,07	ζ	0,012	1%	

Tabla 03: Tabla de amortiguamientos registrados

Si bien hay algo de dispersión en los valores determinados, podemos adoptar 2% en la dirección vertical, 1% en la dirección transversal y 2,5% en la dirección longitudinal.

De estos resultados podemos inferir que hay una tendencia a obtener un mayor amortiguamiento en el sentido en que la estructura tiene mayor rigidez.

Modo de oscilación

Cada modo de oscilación se corresponde con una posibilidad de desplazamiento de la estructura. Si consideramos la estructura como un conjunto de masas discretas dispuestas en un cierto orden, la combinación de todos esos posibles desplazamientos serían los modos del sistema. Si lo consideramos como un continuo los modos se presentan como ondas, cada onda tendrá su frecuencia y habrá frecuencias con mayor posibilidad de coincidir, acoplándose con otras, producto de la acción externa.

Conclusiones

Se desarrolló una plataforma de adquisición de datos basada en la tecnología Arduino que permite obtener las aceleraciones de estructuras metálicas con un alto grado de confiabilidad.

Los valores de frecuencia del primer y del segundo modo, determinado con el modelo numérico, concuerdan con frecuencia obtenidos por adquisición de datos, con diferencias menores. Esta determinación cumple con nuestro objetivo para esta instancia. Sin embargo, se observa que la dirección de ese primer y segundo modo, no concuerdan entre el modelo numérico y los datos registrados en el campo. Los amortiguamientos medidos están en el rango de los valores considerados para este tipo de estructura. Por inspección de los datos, se detectan inconsistencias en los parámetros de amortiguación en el sentido horizontal. Se observan riesgos de acoplamiento de frecuencias en el sentido transversal, donde aparece la frecuencia más baja de 3,4Hz, además parecen 3 valores de armónicos por debajo de los 10Hz. Es probable que estas estructuras en Estados de Servicio, sometidas a acciones humanas en el plano horizontal puedan entrar en resonancia y que sea percibido por las personas.

Trabajos futuros.

La implementación robusta sobre pasarelas peatonales de la nueva plataforma de Arduino desarrollada para este trabajo. El caso considerado en el presente, del Puente Pasarela de 47m, podrá complementarse con otros casos existentes y un cruce de información surge como posible e interesante para continuar la investigación.

Finalmente, una de las consecuencias y trabajos futuros, es el desarrollo de una plataforma que pueda analizar en tiempo real las vibraciones de la estructura. En la Figura N° 16 se plasma la idea

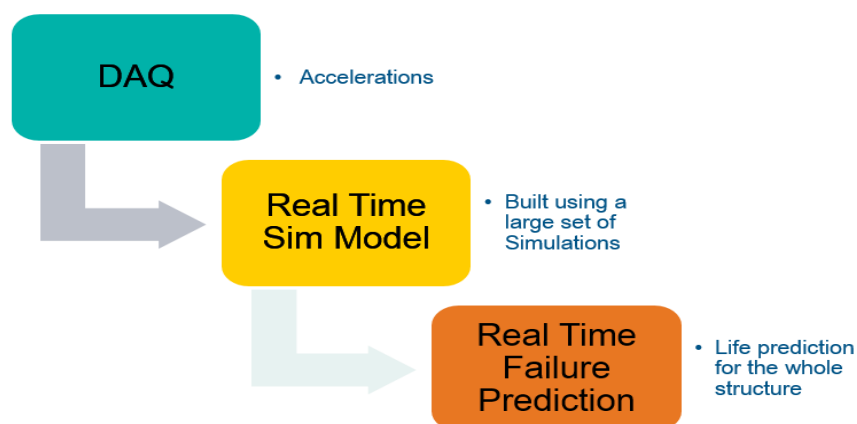


Fig. 16: Sistema de Análisis de Estructuras en Tiempo Real

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración del Departamento de Ingeniería Civil de la FRGP-UTN, al LABDIN de la FIUBA.

Referencias

<https://www.arduino.cc/>

Per Ericksson, Hallvard Pagander, Vibration response of lightweight pedestrian bridges, 2013.

Bertero, R. Vibraciones de edificios originadas por aceleraciones transmitidas por el terreno. General Pacheco, Buenos Aires: UTN-FRGP-SEGUNDAS JORNADAS DE INVESTIGACION EN INGENIERIA CIVIL, 2014

Anil K. Chopra, Dynamics of Structures, Theory and Application to Earthquake Engineering, Thirh Edition, 1997.



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional General Pacheco