

Presente y futuro del CONFEDI, la colaboración de la RADI en el cumplimiento de sus objetivos

El CONFEDI ha celebrado recientemente su 56ª Reunión Plenaria en la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la Universidad Nacional de Santiago del Estero y se apresta a realizar su próxima Reunión en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

La agenda de Santiago del Estero estuvo cargada con distintas temáticas que marcan el camino por el que hoy transita nuestra institución.

Entre las principales acciones podemos destacar el fuerte compromiso que hemos asumido en la concreción del Plan Estratégico para la Formación de Ingenieros (PEFI). Al respecto, las metas propuestas de “Incrementar los graduados en ingeniería en un 50% en 2016, y en un 100% en 2020, con relación al año 2009”, han sido ampliamente cumplidas, a través de acciones tales como: generar vocaciones tempranas y facilitar el tránsito entre niveles educativos; incrementar la retención en la carrera; e incrementar la graduación de alumnos avanzados.

Del mismo modo, y tal como se ha expresado en anteriores números de esta RADI, se ha posicionado al CONFEDI en el contexto internacional, presidiendo hoy la Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería (ASIBEI). Cumpliendo con los objetivos de dar visibilidad a la Ingeniería Argentina en el mundo, el CONFEDI ha participado del “Foro Mundial de la Enseñanza de la Ingeniería (WEEF 2014)”, del 3 al 6 de diciembre de 2014, en Dubái, Emiratos Árabes Unidos. Dicho evento contó con la presencia de académicos y representantes de universidades, organizaciones de Ingeniería y de empresas de todo el mundo. El mismo fue organizado por la Federación Internacional de Instituciones de Enseñanza de Ingeniería (IFEES), el Consejo Global de Decanos de Ingeniería (GEDC) y como anfitriona, la Escuela de Ingeniería de la Universidad Americana en Dubái. En este marco CONFEDI participó de la Asamblea General de IFEES (de la cual es socia), que tuvo como hecho sobresaliente la elección del nuevo Presidente, recaída en el Ingeniero Argentino Uriel Cukierman, quien fuera propuesto por CONFEDI. Cabe recordar que los estudiantes argentinos ganadores del Rally Latinoamericano de Innovación, pertenecientes a Universidades de Salta, Chaco, Misiones y Buenos Aires, participaron del WEEF 2014, a través de las actividades plateadas por SPEED, organización mundial que nuclea a estudiantes de Ingeniería, siendo la delegación Argentina la más numerosa del mundo. SPEED celebró su 10º Foro Anual Global de Estudiantes, durante el fin de semana anterior al WEEF.

En esta línea de trabajo, y a través de la invitación cursada por la Organización de Estados Americanos a ASIBEI, CONFEDI participó también de la “IV Reunión de Ministros y altas Autoridades de Ciencia y Tecnología”, realizada en Guatemala, a fin de exponer sobre: “La educación en Ingeniería para el Siglo XXI, con temáticas como el rol del ingeniero, las características y destrezas que debe poseer, en el marco de la globalización y el desarrollo tecnológico”. Asimismo, se habló sobre las acciones que llevan adelante las asociaciones de Ingeniería, presentando recomendaciones a los Ministros.

Los desafíos que se presentan a la Ingeniería Argentina son cada vez más exigentes y el rol del CONFEDI en ese sentido, acompaña desde la formación requerida para enfrentar esos desafíos. Para ello se encuentra trabajando, entre otros temas, en un proyecto integral sobre “Aportes al mejoramiento de Indicadores Académicos” que pretende: Fortalecer el ingreso a la universidad; y El

Mejoramiento de la enseñanza y acompañamiento al alumno durante el tránsito por la universidad”.

El CONFEDI trabaja denodadamente para cumplir con las expectativas y sueños que idearon sus fundadores hace 26 años, por ello, ponemos todas nuestras energías en llevar adelante esta institución, como se puede apreciar en nuestras más de cien Facultades asociadas, con el compromiso de sus Decanos, Docentes y Personal Administrativo, y desde el Comité Ejecutivo junto sus Comisiones de Ciencia y Tecnología, Enseñanza, Interpretación y Reglamento, Presupuesto, Planeamiento e Infraestructura, Posgrado, Relaciones Interinstitucionales e Internacionales, Extensión y Transferencia, Nuevos Alcances de Carreras de Ingeniería y Secretaría de Comunicación.

Este 5º Volumen del Año 4 de la revista RADI, significa para el CONFEDI un hecho de gran valor debido a su consolidación como propuesta innovadora, con la pretensión de convertirse en el eje de las publicaciones y una acción estratégica, en relación a la difusión del rol del ingeniero en la sociedad.

La RADI es un espacio de difusión de los trabajos realizados por nuestros ingenieros de todo el país, y también un espacio de participación y unión de las distintas expresiones del pensamiento pluralista y diverso de la Ingeniería Argentina.

Por ello el CONFEDI se siente orgulloso del presente de la Revista Argentina de Ingeniería y considera muy promisorio su futuro.

Ing. Héctor Rubén Paz
Presidente CONFEDI



Educación de calidad para una sociedad más justa..



**Ministerio de
Educación**
Presidencia de la Nación

Pizzurno 935. C1020ACA. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Teléfono (011) 4129 - 1000.
<http://portales.educacion.gov.ar/spu/>

Número 5 de la Revista Argentina de Ingeniería. Con él, la RADI comienza a transitar su tercer año de vida

A pesar de su corta existencia, ya comienza a notarse que está, de a poco, haciéndose un lugar en la Ingeniería argentina, pues los trabajos publicados son consultados por docentes, investigadores y alumnos de nuestra casas de estudio, cada vez con mayor asiduidad. Además, ya comienza a verse citada a la RADI en las referencias bibliográficas de trabajos científicos.

En algunas ramas de la Ingeniería, los docentes e investigadores de nuestras facultades debían recurrir a revistas científicas de otras áreas para publicar sus trabajos. Hoy, la RADI es un ámbito propio para difundir cuestiones referidas a la Ingeniería, sin hacer diferencias y con la intención de cobijar todas sus especialidades, como es el espíritu del CONFEDI, desde su fundación.

En este momento en que estamos presentando el N°5, es importante destacar que la RADI ha servido y sirve de ámbito de difusión de las primeras publicaciones producidas por la nueva generación de investigadores de temas de Ingeniería. Sin embargo, también tuvimos el honor de publicar trabajos elaborados por destacados referentes de la Ingeniería argentina.

El desafío de perdurar y crecer sigue vigente hoy, lo mismo que el compromiso del equipo de edición, que es el de todos los integrantes del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de Argentina. El número 5 de la RADI es el testimonio y la prueba de ello.

Dr. Ing. Jorge Pilar
Director Revista Argentina de Ingeniería, Exdecano Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional
del Nordeste.

Dr. Ing. Néstor F. Ortega
Presidente Comisión de Ciencia y Tecnología, Director Decano Departamento de Ingeniería,
Universidad Nacional del Sur.



Ingeniería y desarrollo sostenible

Ing. Daniel Morano¹

Introducción

El Plan Estratégico de Formación de Ingenieros, lanzado oficialmente por la Presidenta de la Nación Cristina Fernández el 5 de noviembre de 2012, planteó, como uno de sus Ejes, Mejorar Indicadores Académicos, a partir de la necesidad de incrementar la cantidad de ingenieros hasta llegar a los 10.000 graduados al finalizar el Plan y continuar mejorando continuamente la calidad de la formación de dichos graduados, a partir del sostenimiento de los estándares de calidad logrados en la década anterior y del aseguramiento del logro de competencias de egreso de los futuros profesionales.

Si tenemos en cuenta la visión y el rol histórico de la Universidad Argentina, el Eje anterior hubiera sido considerado suficiente, en cuanto al rol que debía cumplir el sistema nacional de formación de ingenieros.

Pero teniendo en cuenta la confluencia de factores diversos, tanto a nivel nacional como internacional, a saber (en honor a la extensión del artículo nombro sólo algunos):

- nuevos paradigmas científicos y tecnológicos y el cambio permanente de las fronteras del conocimiento,

- la imperiosa necesidad de dejar de consumir de forma excesiva los recursos naturales del planeta que está generando una huella ecológica negativa que puede tornarse irreversible,

- los cambios geopolíticos mundiales que tienden hacia una multilateralidad, fuertemente resistida por los centros históricos del poder económico y financiero mundial que pretenden mantener a los países en vías de desarrollo sólo como proveedores de materias primas de bajo costo, y por ende con altas tasas de desempleo que aseguren flexibilidad laboral y bajos salarios,

- la firme decisión de los gobiernos de los

1. Coordinador PEFI - SPU

países latinoamericanos en avanzar, a pesar de los inconvenientes, hacia la una regionalización económica y política que permita avanzar en un desarrollo conjunto,

- el haber avanzado en Argentina en la concepción de Planes Estratégicos de Desarrollo: Agroalimentario y Agroindustrial, Industrial 2020, Minero, Energético (Petróleo, Gas, Nuclear y Eléctrico), Telecomunicaciones, Aeroespacial, Ordenamiento Territorial, Transporte, Ley de Bosques; planes todos donde la base de su éxito es la confluencia de Estado, Sistema Productivo y Academia (con particular énfasis en las carreras científicas y las ingenierías),

- el impulso a las economías regionales, resumidas en conceptos tales como “industrializar la ruralidad”, “agregado de valor en origen”, “sustitución de importaciones”, “desarrollo territorial sostenible”, etc.,

- el concebir el desarrollo como el desafío de lograr la síntesis más conveniente de variables y factores no confluentes y a menudo contradictorios entre sí, para lograr competitividad económica, inclusión social y sustentabilidad ambiental, lleva a la necesidad de generar condiciones para que el Mercado opere con éxito, pero en el marco de un Estado que, como confluencia y síntesis de todos los sectores sociales sea el que planifique las condiciones de ese desarrollo territorial,

- el permanente y creciente involucramiento y compromiso con estos paradigmas de parte de las Unidades Académicas formadoras de Ingenieros en Argentina, expresadas a través de sus dos asociaciones, CONFEDI (Consejo Federal de Decanos de Ingeniería) y AUDEAS (Asociación

Universitaria de Educación Agropecuaria Superior);

han generado que otro de los Ejes del Plan Estratégico de Formación de Ingenieros sea el denominado "Aporte al Desarrollo Territorial Sostenible".

Este Eje tiene la complejidad que para su implementación es necesario lograr la confluencia del Estado, a través de Ministerios y Organismos del Estado Nacional, Estados Provinciales, Empresas y Cámaras Empresariales y por cierto, Unidades Académicas de Ingeniería.

Sin embargo, en los dos años de ejecución del plan, se ha avanzado en los dos aspectos planteados como objetivos específicos del Eje.

El aporte de la universidad al desarrollo territorial sostenible.

Objetivos

-Asegurar los perfiles de formación y la cantidad de los recursos humanos necesarios para la consolidación de cadenas productivas de valor en el territorio.

-Orientar las actividades de investigación, desarrollo y transferencia del conocimiento en temáticas de alto impacto tecnológico, de inclusión social y de cuidado ambiental en el territorio.

Logros

-Consolidación de la interrelación con Ministerios del Estado Nacional, Cámaras Empresariales y Universidades, para la concreción de los objetivos propuestos a partir de la puesta en marcha de acciones conjuntas y proyectos formativos específicos.

-Puesta en marcha de carreras en áreas de vacancia.

-Proyectos para la mejora de las competencias de los graduados de ingeniería, en particular en capacidades innovadoras y emprendedoras.

Detalle de los Logros

-Acciones conjuntas con el Ministerio de Industria en marco del Plan Estratégico Industrial 2020 para el desarrollo de las once cadenas de valor, en formación de recursos humanos, desarrollo e innovación.

-Acciones conjuntas con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca en el marco del Plan Estratégico Agroalimentario y Agroindustrial 2020.

-Participación en las acciones por la Secretaría de Minería en el marco del Plan Nacional de Desarrollo Minero apoyando la concreción del Plan Nacional de Capacitación Minera.

-Actividades conjuntas con el Ministerio de Defensa en el Proyecto Formación de Ingenieros para la Defensa.

-Acuerdos con YPF para la formación de semilleros de profesionales.

-Creación de ofertas académicas específicas y en áreas nacionales de vacancia para la formación en Transporte en coordinación con el Ministerio de Interior y Transporte.

-Convenio con Cancillería, para la realización de trabajos conjuntos con la Autoridad Nacional de Aplicación de Armas Químicas (ANCAQ) para la formación de recursos humanos.

-Puesta en marcha de proyectos y acciones para relacionar investigación y desarrollo realizada en las universidades con innovación productiva en el territorio.

-Puesta en marcha de ofertas académicas de formación de técnicos e ingenieros en áreas de vacancia territoriales.

-Desarrollo del Rally Latinoamericano de la Innovación.

Acciones desarrolladas para lograr los objetivos propuestos

-Proyecto conjunto entre el Ministerio de Industria, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios y Ministerio de Educación, denominado "La empresa informática y electrónica va a la universidad", con la finalidad que los estudiantes que trabajan en empresas del sector, tengan su puesto de trabajo en el campus de la universidad, en el marco de acuerdos universidad, empresa, estudiante, para evitar los tiempos de traslado. Para estudiantes del conurbano bonaerense de las Universidades Nacionales de Avellaneda, Facultad Regional Avellaneda de UTN, Arturo Jauretche, Quilmes, Lomas de Zamora, General Sarmiento y La Matanza.

-Proyecto conjunto entre la SPU y la Secretaria

ría de Planeamiento Estratégico Industrial (SPEI) apoyando a la Cámara Argentina de Empresas Electrónicas, Electromecánicas y Luminotécnicas (CADIEEL) y la Red Universitaria de Sistemas Embebidos (RUSE) para el desarrollo de la Computadora Industrial Abierta Argentina (CIAA), actualmente en implementación en aplicaciones en empresas y productos.

-Proyecto conjunto entre el Ministerio de Educación y el Ministerio de Industria “Tu Idea Tu desarrollo”, destinado a apoyar Ideas para la mejora de las once cadenas de valor del Plan Industrial 2020.

-Lanzamiento del proyecto conjunto con el Ministerio de Industria, denominado “TECNOINDUSTRIA”, destinado a que grupos de investigación y desarrollo de las universidades, planteen soluciones a problemáticas detectadas en las once cadenas de valor del Plan Industrial 2020.

-Lanzamiento del proyecto conjunto con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, denominado “AGROVALOR”, destinado a mejorar las condiciones de los productores agropecuarios a partir de la transferencia y aplicación del conocimiento existente en las universidades. En la primera convocatoria se aprobaron 37 proyectos, en todo el país, donde en cada proyecto participa al menos una cooperativa de productores agropecuarios. Se lanzó la segunda convocatoria.

-Trabajo conjunto con la Secretaría de Minería de la Nación, a través de la participación de docentes de universidades nacionales en las acciones implementadas por el Plan Nacional de Capacitación Minera.

-Firma de convenio entre la Secretaría de Minería y la SPU para el desarrollo integral de la cadena del litio.

-Formación de Recursos Humanos para el sector de Telecomunicaciones en conjunto con Ministerio de Planificación Federal y el Instituto Balseiro.

-Formación y actualización de Recursos Humanos para el sector Aeroespacial en cooperación con el Ministerio de Educación de Francia.

-Convenios programas con la Universidad Nacional de Rosario y la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta para la puesta en marcha de actividades de formación e inves-

tigación en el sector nuclear, en conjunto con la Comisión Nacional de Energía Atómica y Nucleoeléctrica Argentina SA (NA-SA).

-Desarrollo del proyecto Campus PLM de la Provincia de Córdoba, en conjunto con el Ministerio de Educación de Francia, Dassault Systems, Universidades de la Provincia, Dirección de Educación Técnica de la Provincia, FADEA y Cámaras Empresariales Provinciales, para la mejora de la formación de recursos humanos para el sector aeronáutico, mecánico y metalmeccánico. Se pondrá en marcha en agosto de 2015.

-Convenio con YPF para la incorporación de estudiantes avanzados de ingeniería para realización de pasantías en la empresa, que simultáneamente permita la graduación del pasante y su posterior ingreso como profesional júnior de la empresa.

-Respuesta a las necesidades de YPF de formación de recursos humanos para el sector petrolero y gasífero en el Norte Argentino con la puesta en marcha en la Universidad Nacional de Jujuy de cuatro tecnicaturas superiores e Ingeniería en Petróleo.

-En el sector transporte, puesta en marcha en la Facultad Regional Haedo de la Universidad Tecnológica Nacional de las carreras de Técnico Superior en Material Rodante Ferroviario e Ingeniería Ferroviaria.

-Propuesta de estándares para la creación en el país de la carrera de Ingeniería en Transporte. En análisis su puesta en marcha en 2015.

-Presentación del Proyecto de Formación de Futuros Profesionales de carreras de Química y Afines en la Convención Anual de Armas Químicas en La Haya, como experiencia piloto a nivel mundial.

-Puesta en marcha de los Proyectos Doctorar Ingeniería y Doctorar Agronomía, destinado a docentes de ingeniería para el desarrollo de tesis doctorales con potencialidad de impacto nacional o territorial en la mejora de cadenas de valor o complejos productivos. Se apoyó la consolidación de 41 carreras de doctorado y el apoyo a la movilidad de 232 docentes de carreras de ingeniería y agronomía.

-Programa Universidad, Diseño y Desarrollo Productivo, del que participaron 792 docentes y 1399 en 117 proyectos financiados para fortale-

cer la articulación estratégica entre las Universidades y el sistema productivo nacional, a través del fomento de las capacidades innovadoras de los estudiantes universitarios, especialmente vinculadas al desarrollo industrial, y la aplicación de conocimientos mediante el diseño y desarrollo de productos e innovaciones con destino a ser construidos como prototipos industriales.

-Proyecto Regional de Emprendedorismo e Innovación en Facultades de Ingeniería (PRECITYE) para la formación de formadores en capacidades emprendedoras en facultades de ingeniería de Argentina, Chile y Uruguay. Se formaron 330 docentes y se pusieron a disposición de las facultades, colección de casos de estudio, cuadernos de ejercicios para competencias emprendedoras en ingeniería, videos educativos de ingenieros emprendedores y un manual de buenas prácticas para la creación de incubadoras de empresas de base tecnológica.

-Como consecuencia de PRECITYE se realizó el Rally Latinoamericano de la innovación destinado en particular a estudiantes de ingeniería, los cuales en 30 horas debían proponer una solución a problemas planteados relacionados con Accidentes Viales, Tratamiento de Residuos, Eficiencia Energética, Soluciones Habitacionales para Trabajadores Rurales, entre otras. En Latinoamérica participaron 1944 estudiantes de ingeniería, de los cuales 1488 fueron de Argentina, distribuidos en 35 sedes. Apoyo al Desarrollo de prototipos de los proyectos ganadores de las 35 sedes argentinas y lanzamiento del PRECITYE II.

-Puesta en marcha de 55 tecnicaturas superiores en las provincias de Buenos Aires, Chaco, Córdoba, Corrientes, Entre Ríos, Jujuy, Mendoza, Misiones, Neuquén, Río Negro, Salta, Santa Cruz, Santa Fe, Santiago del Estero y Tucumán, todas relacionadas con los sectores productivos locales.

-Puesta en marcha de la carrera de Ingeniería Electromecánica en Salta, de Ingeniería en Petróleo en Florencio Varela, de Ingeniería en Industria Automotriz en General Pacheco y de Ingeniería Ambiental en Córdoba para la cobertura de áreas de vacancia a nivel regional.

Pendientes

Entre las acciones pendientes a llevar ade-

lante en los dos años que restan de la implementación del PEFI, el desafío pasa por llevar a cada territorio e impactar de modo directo en su desarrollo, los acuerdos y emprendimientos asociados que se impulsaron a nivel nacional.

El Campus PLM Córdoba, será una experiencia que resumirá en un único proyecto, articulación e impacto formativo en las escuelas secundarias de la provincia, impacto formativo en las carreras de ingeniería de todas las universidades de la provincia, capacitación y formación continua de profesionales y técnicos de la Fábrica Argentina de Aviones (FADEA), Cámara de Industriales Metalúrgicos y de Componentes de Córdoba, Cámara de Industrias Plásticas de Córdoba, Asociación de Fabricantes de Maquinarias Agrícolas de Córdoba, Asociación de Investigaciones Tecnológicas y la Delegación Córdoba de la Cámara de Comercio e Industria Franco Argentina, con la cooperación del Ministerio de Educación de Francia y la empresa Dassault Systèmes, líder mundial en Aeronáutica, Mecatrónica y Sistemas de Control.

Es un ejemplo de las acciones que se pretenden desarrollar en los territorios, donde se resume Mejora de competencias de egreso de estudiantes secundarios y universitarios, Aporte al Desarrollo Territorial (mejora de competitividad, capacitación del personal y mejora laboral, potencialidad de ubicar productos industriales en los mercados mundiales) en cadenas de valor claves del territorio.

Para replicar este ejemplo, existe una base muy sólida de acuerdos a nivel territorial entre estados provinciales, sector productivo y universidades, y lo más importante, con visiones estratégicas comunes. En general, en todas las mesas sectoriales, existe un total acuerdo a nivel estratégico (Qué modelo de desarrollo), y los acuerdos en general, deben trabajarse a nivel táctico y operativo (cómo lo hacemos y con qué instrumentos).

El proyecto de puesta en marcha de los Consejos Consultivos Territoriales de Educación Superior, con la instrumentación de los Observatorios Territoriales de Recursos Humanos, Investigación, Desarrollo e Innovación, será sin duda, un elemento fundamental para el cumplimiento y fundamentalmente, la consolidación

de los objetivos propuestos.

Conclusión

Según la UNESCO, el Concepto de Desarrollo en el Siglo XXI, en el marco de los objetivos del milenio, debe basarse en una cultura científica y tecnológica basada en el potencial de los países para resolver los problemas mundiales.

Pero esta visión global (nuestro mundo es sólo uno), debe basarse en el conocimiento y las capacidades de innovación locales y dirigirse hacia el bien común. Necesariamente debe ser inclusiva y orientada a la gente.

Para finalizar, transcribo las conclusiones finales del Eje de Integración Académica y Profesional del Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería 2014, que tuve el gusto de coordinar:

Es necesario formar los ingenieros del futuro, donde además de una sólida formación técnica, deben tener la misión de ser:

- Constructores de una mejor calidad de vida,
- Custodios del Medio Ambiente,
- Innovadores tecnológicos,
- Gestores de la reducción de riesgos y
- Líderes de políticas públicas.

Por ello el conocimiento de las necesidades sociales, económicas y ambientales de sus países, es un elemento imprescindible para que actúen en consecuencia, siendo capaces de poseer una visión global, para que lo producido de su ejercicio profesional pueda contribuir al desarrollo de una sociedad global más equitativa.

Argentina, a partir de políticas públicas sostenidas y consensuadas en la última década, es un líder latinoamericano y mundial en la implementación de acciones que tiendan al logro de estos objetivos. Lo que hace una década comenzó como política de un gobierno, a partir de propuestas preexistentes de los Consejos de Decanos, se ha convertido en una Política de Estado, ya que todos los actores involucrados se han empoderado de las mismas, y posee dinámicas propias. Y, como nos consta en todo momento, en un ejemplo para países hermanos.

Es un logro y debe ser un orgullo de la ingeniería argentina y de todos quienes, desde su lugar de trabajo, la construyen diariamente.

InFo-Lab UFASTA: Investigando y desarrollando tecnología nacional en Informática Forense

Ing. Ana Haydeé Di Iorio¹

El InFo-Lab

El Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Tecnología en Informática Forense (InFo-Lab) es una iniciativa conjunta de la Universidad FASTA, el Ministerio Público de la Provincia de Buenos Aires y la Municipalidad de General Pueyrredón, que nuclea en la ciudad de Mar del Plata a un equipo interdisciplinario de investigadores científicos y tecnológicos, profesionales y técnicos altamente calificados, con el objeto de desarrollar soluciones a las demandas en el campo de la Informática Forense y su aplicación. Es, a su vez, la sede del Grupo de Investigación en Informática Forense y Sistemas Operativos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad FASTA.

El Grupo de Investigación en Informática Forense y Sistemas Operativos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad FASTA es pionero en investigación y desarrollo en la temática y el creador del “Proceso Unificado de Recuperación de la Información Digital – PURI®”, la única guía para profesionales de la informática forense y organismos judiciales respecto de las tareas que se deben llevar a cabo para obtener una evidencia digital con valor probatorio en la Argentina.

El trabajo y experiencia del cuerpo técnico del Ministerio Público de Mar del Plata en la aplicación de la última tecnología disponible en el país en el proceso de investigación judicial, sumado a la aplicación de metodologías y herramientas diseñadas por el Grupo de Investigación, ha dado excelentes resultados, colaborando con la actuación judicial, y permitiendo garantizar los principios del actuar forense: evitar la contaminación, utilizar una metodología válida y controlar la cadena de custodia.

1. Profesora e investigadora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad FASTA y Directora del InFo-Lab. diana@ufasta.edu.ar.

Asimismo, la Secretaría de Seguridad, Justicia Municipal y Control de la Municipalidad de General Pueyrredón cuenta con un Centro de Análisis Estratégico del Delito y la Violencia, cuya misión es gestionar el conocimiento en materia de seguridad pública, mediante la producción, planificación, coordinación y evaluación de la información referida a la situación del delito y la violencia en el ámbito municipal, con la finalidad de contribuir a la toma de decisiones y de coordinar acciones con las autoridades de las diferentes instituciones e instancias que intervienen en la política de seguridad. Dicho centro cuenta con un equipo interdisciplinario de profesionales especializados en el análisis del delito.

Todo esto se articula y da lugar al primer Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Tecnología en Informática Forense, mixto, de nuestro país, con el propósito de coadyuvar a la autonomía investigativa del Ministerio Público de la Provincia de Buenos Aires, potenciando las capacidades institucionales en una problemática de fundamental importancia para la ciudad y la provincia: la seguridad.

Los resultados de las investigaciones y desarrollos tecnológicos del laboratorio se aplicarán en el ámbito de la provincia de Buenos Aires y se extenderán, luego, a la totalidad de los Ministerios Públicos de la República Argentina, a través del Consejo de Procuradores y del Consejo

Federal de Política Criminal, dando un alcance nacional al trabajo del equipo técnico marplatense. Esto permitirá la sustitución de productos extranjeros de apoyo a la investigación criminal por soluciones de origen nacional, con los consiguientes beneficios en términos de adaptabilidad, mantenibilidad, costos, independencia y soberanía tecnológica.

La formalización del InFo-Lab se llevó a cabo en mayo de 2014, mediante la firma del convenio 5/14 de la Procuración General, entre el Ministerio Público de la Provincia de Buenos Aires, representado por la Señora Procuradora General Dra. María del Carmen Falbo, el Municipio de General Pueyrredon, representado por el Señor Intendente Contador Gustavo Pulti y la Universidad FASTA de la Fraternidad de Agrupaciones Santo Tomas de Aquino, representada por el Rector, Dr. Juan Carlos Mena.

Al Grupo de Investigación en Informática Forense y Sistemas Operativos, que lleva adelante sus tareas en el ámbito físico de la Universidad FASTA, se sumaron profesionales de la Municipalidad de General Pueyrredon y del Ministerio Público Fiscal, conformando un equipo técnico interdisciplinario compuesto por unos 25 ingenieros, analistas, abogados, criminalistas y técnicos.

Proyectos de Investigación y Desarrollo Tecnológico

Tres de los proyectos del Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Tecnología en Informática Forense InFo-Lab han sido acreditados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación e incorporados al Banco Nacional de Proyectos de Desarrollo Tecnológico y Social. Ellos son: El Proyecto Ambiente integrado de visualización y análisis de datos (INVESTIGA) que pretende desarrollar un sistema informático que permita la consolidación de datos provenientes de múltiples fuentes en un ambiente integrado que facilite su visualización gráfica y análisis, el Proyecto Forensia en Equipos Móviles (FOMO) que tiene como objetivo el desarrollo de un sistema informático para realizar la extracción y el análisis forense de la información contenida en equipos de telefonía móvil, y el Proyecto Protocolo de Actuación en

Informática Forense (PAIF-PURI) que tiene como objetivo la elaboración de una Guía Integral del Empleo de la Informática Forense en el Proceso Penal para ser adoptado y promovido por el Ministerio Público de la Provincia de Buenos Aires como estándar oficial de trabajo, tanto para peritos informáticos como para investigadores judiciales, en base a lo establecido por el Proceso Unificado de Recuperación de Información.

Otros proyectos desarrollados por el Grupo de Investigación son: PURI (Proceso Unificado de Recuperación de Información), PURI en Smartphones, CIRA (Framework de File Carving), Windows Inside I (Administración de Memoria, la Administración del Procesador y la Administración de Entrada/Salida en el Proyecto Microsoft OZ) y Windows Inside II (Administración de Memoria Caché, Administración de Dispositivos de Almacenamiento, Administración de Archivos, Sistema de Networking y Sistema de Seguridad en el Proyecto Microsoft OZ).

A su vez, los integrantes del Grupo de Investigación están desarrollando los siguientes proyectos: PURI en Entornos Distribuidos, PRIP (Proyecto de Recuperación de Información de Perfiles de Usuario), BIP-M (Análisis Forense de Procesos en Memoria) y CIRA en Smartphones.

Extensión y Servicios

En cuanto a la extensión, servicios y transferencia, el InFo-Lab brinda asesoramiento general en Informática Forense, en investigación y desarrollo de tecnología en Informática Forense, y en cuanto a la creación, implantación y evaluación de laboratorios técnicos forenses. También desarrolla soluciones de ingeniería ad-hoc.

Además, semestralmente ofrece un Programa de Actualización Profesional en Informática Forense, destinado a profesionales de la informática interesados en la actuación pericial y que deseen capacitarse en los conceptos básicos de la Informática Forense, el Proceso Unificado de Recuperación de la Información PURI®, la legislación aplicable y las técnicas y herramientas de software libre disponibles y recomendadas para la actuación pericial. De igual manera, se brindan capacitaciones y talleres personalizados a la medida de las necesidades de cada institución.

Reflexiones

El Grupo de Investigación en Informática Forense y Sistemas Operativos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad FASTA ha trabajado durante más de 8 años en investigación aplicada, entendiendo las demandas concretas de la sociedad, en este caso del Ministerio Público, y asumiendo el desafío de generar soluciones ingeniería a problemas concretos de las instituciones del país. Sumado a su capacidad técnica, el compromiso profesional, la vocación de servicio y la calidad humana de estos jóvenes investigadores argentinos, que trabajan en silencio, fortalecen la capacidad y potencial del InFo-Lab en particular y de la ingeniería argentina en su conjunto.

Este laboratorio y sus proyectos son un aporte concreto de la Universidad al Estado, en pro de la mejora de la sociedad toda. La conjunción multidisciplinaria de actores académicos con los del poder judicial y ejecutivo, tanto en el plano provincial como municipal, demuestra que la colaboración Universidad-Estado, que tanto se promueve, es posible.

El InFo-Lab, inédito en su diseño y conformación mixta, es un ejemplo más, de los tantos que hay en el país, que honran la verdadera misión de la ingeniería: crear, con ingenio y compromiso, para mejorar la calidad de vida de la gente.

La UTN de Resistencia hace punta en la captura de fotografías aéreas con vehículo aéreo no tripulado - DRONE

Patricia Viviana Salmon¹



Se trata del Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT), cuyos prototipos físicos fueron diseñados y desarrollados por integrantes de uno de los grupo de servicios de la Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional (FRRe-UTN) y que, desde hace 2 años, viene prestando servicios a organismos gubernamentales y no gubernamentales, tanto en situaciones de carácter ecológico, de emergencia hídrica como de relevamiento económico-financiero, complementando acciones de fiscalización catastral, a través de imágenes georreferenciadas.

El Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT), más conocido como “dron”, parece un prototipo de aeromodelismo pero no fue creado a modo de hobby, sino como herramienta de monitoreo para relevar espacios de la geografía del Nordeste, ante situaciones de diversa índole. Cabe mencionar que el “avioncito” fue diseñado, construido y dotado de los programas y dispositivos necesarios, por ingenieros de la Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional, con la cooperación de técnicos chaqueños.

El primer servicio que prestó el dron fue hace

1. Directora de Cultura, Prensa y Difusión - UTN - FRRE.

casi dos años, obteniendo imágenes de una extensa zona, de más de 4000 hectáreas, ubicada en el predio “Ex-campo de tiro” de la Ciudad de Resistencia y luego en el interior de la provincia, en acciones de monitoreo de extensas zonas del departamento de Comandante Fernández de la Provincia del Chaco (Impenetrable), donde se sospechaba la tala ilegal del bosque nativo.

De vuelo silencioso, el dron lleva en su “panza” cámaras fotográficas digitales y de video, que transmiten imágenes en tiempo real, a un centro de comando ubicado en tierra, desde el cual se realiza el control del vuelo a través de enlaces de radio y un sistema de seguimiento satelital. Es de destacar que la autonomía de vuelo para el prototipo urbano es de 90 minutos y de 120 minutos para el prototipo Rural. Los drones -tanto el urbano como el rural- pueden abarcar un área con un radio de hasta 25 kilómetros, a una velocidad crucero de 65km/h y con un techo de operaciones de 2000mts de altura.

Las características mencionadas le permiten al VANT tener un acceso ágil y directo a cualquier locación, sin importar las dificultades que presente el terreno. En virtud de esa cualidad, se posiciona como una aplicación valiosísima a la hora de controlar los recursos naturales y suministrar información a quienes se encuentran involucrados en ayuda humanitaria, así como en la salvaguarda de la fauna comprometida en fenómenos naturales, tales como las crecidas

registradas últimamente en los ríos de la zona, particularmente en el Paraná.

Si bien el Vehículo Aéreo No Tripulado (pilotado por control remoto), es una modalidad de vuelo sin piloto muy utilizada con fines militares, hoy está disponible también para usos de la aviación civil. De esta manera, el proyecto desarrollado en la UTN de Resistencia, hizo uso de la tecnología disponible, aunada a la necesidad de utilizar medios alternativos para la captura de fotografías aéreas - a bajo costo - y cuyo acceso sea viable, tanto para el sector público como para el privado.

Así, a través del análisis de las fotografías obtenidas y procesadas y de la generación de mosaicos georreferenciados, se ha podido demostrar que la fotografía aérea capturada por los VANT (con características de vuelo estable y estabilización de imagen) es de alta calidad y de gran utilidad para diversos fines.

Los prototipos de la Facultad Regional Resistencia de la UTN se encuentran equipados con cámara fotográfica, VCC, modulo de estabilización de vuelo, IMU, GPS y piloto automático, lo cual les permite alcanzar grandes distancias, fotografiar zonas inhóspitas inalcanzables para el hombre y realizar otras mediciones en tiempo real y en forma remota, ya que la versatilidad de la tecnología a bordo - equipada con sensores de calor, presión, humedad, infrarrojo, etc - permite al usuario conocer las condiciones atmosféricas del lugar relevado.

Un poco de historia

El grupo que dio origen al Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT), es el Grupo de Estudios y Desarrollo en Tecnologías de Información Geográfica "GEDTIG", cuyo director es el Ing. Daniel Francisco Sanguinetti y que pertenece a la Dirección de Servicios a Terceros de la FRRe-UTN, a cargo del Ing. Carmelo Gross.

Este grupo fue creado con el fin de complementar tecnológicamente la producción de información geográfica para la toma de decisiones con herramientas tales como los Sistemas de Información Geográfica (SIG). En virtud de esto, el GEDTIG tiene como actividades inherentes al proyecto, el desarrollo del sistema, servicios de capacitación en el uso de la herramienta y la

investigación y desarrollo de sensores remotos como fuente valiosa para la obtención de información.

El Ingeniero en Sistemas de Información, Daniel Sanguinetti (graduado de la FRRe-UTN), fue quien se acercó a la Dirección de Servicios a Terceros de la Secretaría de Extensión de la FRRe-UTN, pues deseaba incorporar su experiencia como técnico aeronáutico, a la tecnología de los sistemas de georreferenciación. Una vez direccionado el proyecto, se procedió a articular la investigación, seguida del desarrollo y las posteriores pruebas para su aplicación.

Así, a través de un software específico, acompañado de cámaras de alta resolución, se desarrollaron dos VANT's, entre cuyas prestaciones podemos mencionar el seguimiento y control de la superficie forestal y la conservación de los bosques; la visualización y seguimiento de proyectos de infraestructura para la planificación y gestión de asignación de tierras; la planificación, seguimiento y control de obras públicas; la vigilancia y control de zonas limítrofes y la búsqueda y localización de personas o naves siniestradas, entre otros servicios.

Dadas las características de esta aplicación, el Ing. Gross-Director de Servicios a Terceros de la FRRe-UTN- estimó, allá por el 2012, que el proyecto brindaba posibilidades de relevar información valiosa y de calidad para la toma de decisiones estratégicas en el manejo de bosques, suelos, recursos hídricos naturales, cultivos y en la gestión de acciones ante catástrofes naturales. Además, los drones fueron considerados como una herramienta muy útil al momento de detectar construcciones no declaradas o "clandestinas" en ejidos urbanos (y rurales), especialmente en zonas residenciales, clubes de campo, countries, etc. habitados por personas de alto poder adquisitivo y contributivo, situación en la que el "avioncito" prestó valiosa colaboración, tanto en el municipio de Corrientes Capital como en la localidad de Puerto Tirol, en Chaco.

Los Drones desarrollados en la UTN de Resistencia permiten, mediante sensores CMOS montados en su "vientre", capturar fotografías aérea de alta calidad, grabar video HD y monitorear en tiempo real eventos naturales o antró-

picos de zonas, muchas veces, de difícil acceso o, directamente, no accesibles por vía terrestre

La utilidad de esta herramienta, hizo que la Universidad cobije y ayude a la consecución del proyecto, que hoy vuela por los cielos de la región, prestando servicios y proporcionando una base de datos de fotografía aérea de la geografía local y regional, que se constituye en acervo de toda la comunidad.

Nuevo desarrollo del GEDTIG para el 2015

La FRRe a través del grupo GEDTIG ha desarrollado, por pedido de un organismo nacional, un Vehículo Aéreo denominado **DRONE “ALA” PROTOTIPO 1**, cuyo radio de operaciones es de 7,5 km de la base, opera a una altura mínima de 200 mts y una máxima de 1.000 mts; la velocidad máxima que desarrolla es de 90km/h, mientras que la velocidad de pérdida es de 43km/h, siendo la velocidad crucero de 60km/h. La autonomía de vuelo es de 60 minutos (en condiciones de vuelo crucero) y tiene una cobertura de 18Km cuadrados. El peso en vuelo es de 1710 gramos y el despegue se realiza por lanzada a mano, con un aterrizaje que se ejecuta sobre pista de césped (paso) y con espacio reducido, siendo las operaciones con maletín de vuelo (Monitor “CCTV”, Equipo de comunicaciones, e indicadores de vuelo).

Cabe mencionar que el dron “ALA” Prototipo 1, posee un equipo de abordo con cámara de CCTV para vuelo FPV, grabadora HD, Cámara fotográfica de 12mpx o Video 1080p60 y un sistema de piloto semiautomático con control desde la base de operaciones, por lo que es muy versátil, y de fácil operación.

Las aplicaciones de este prototipo son varias, entre ellas la cartografía (realización de ortofotomapas y modelos de elevaciones del terreno de alta resolución, relevamiento catastral y calculo de superficie construida); la agricultura, a través de la gestión de cultivos, el control del estado de los alambros y de los animales en grandes extensiones; los servicios forestales, con el seguimiento de las áreas boscosas y el control de incendios; la Geología (histología y ambiente); el control de obras y la evaluación de su impacto; el seguimiento de la planificación urbanística y la gestión del patrimonio; la seguridad y con-

trol fronterizo y búsqueda de objetivos.

El GEDTIG sin embargo, viene planteando otras actividades, tales como los Drones para la aplicación selectiva de agroquímicos específicos para la agricultura de calidad como también la participación del grupo en la propuesta de corrección y/o enmienda del proyecto de ley –en elaboración - a nivel nacional y a través de la ANAC, que trata del uso y reglamentación de los Drones en la República Argentina.

El vehículo aéreo no tripulado- Extensión Universitaria con impacto social

A modo de conocer más sobre los diversos usos del VANT, se realizó una entrevista al Ing. Carmelo Gross – Director de Servicios a Terceros de la Secretaría de Extensión Universitaria de la UTN de Resistencia.

-Ingeniero Gross, qué usos se le pueden dar al dron?

El dron es una herramienta muy valiosa para los municipios, pues permite conocer a través de la fotografía aérea la topografía municipal y en particular el cálculo de la superficie estimada de construcciones existente. Esto habilita al municipio (a través del cruzamiento de información catastral) a saber cuántos potenciales contribuyentes no tributan lo que deberían tributar, a causa de construcciones no declaradas o la disponibilidad de terrenos fiscales a ser utilizados para loteos de los planes de vivienda en vigencia, entre otras posibles aplicaciones.

-Para el caso de la pasada creciente del Paraná, por ejemplo, cuál fue el servicio prestado por el dron?

En primera instancia, la información suministrada por el dron permite observar desde el aire -a través de tomas fotográficas- la dimensión de los daños causados por la inundación de tierras. Por otro lado, permite detectar en detalle, la presencia de personas que no han sido evacuadas y que pueden encontrarse aisladas y en riesgo, lo mismo para los animales en peligro de sofocamiento por inmersión. Asimismo, permitió detectar la extensión y localización de áreas no anegadas, que luego podrían albergar a los animales rescatados.

-Las operaciones aéreas necesitan la autorización de los organismos competentes?

-Si, para llevar a cabo toda operación aérea, siempre se procede a solicitar autorización a la Administración Nacional de Aviación Civil "ANAC" y a la Fuerza Aérea Argentina "FFAA", brindando a ese organismo, toda la información necesaria, como ser plan de vuelo, póliza de seguro de los drones, datos del pilotos, navegante y auxiliares y manteniendo contacto permanente durante las operaciones con los Servicios de Tránsito Aéreo, ubicados en la Torre de control del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de Resistencia y del Aeropuerto de la Ciudad de Corrientes en los casos que corresponda, por ejemplo. Estas buenas prácticas de vuelo, las realizamos porque queremos brindar la máxima seguridad en cada operación y por ello también dotamos a los "avioncitos" de un Sistema de Paracaídas para recuperación ante fallas y para reducir al mínimo los daños que éstos puedan ocasionar a terceros.

Integrantes del grupo GEDTIG (GRUPO DE ESTUDIO Y DESARROLLO EN TECNOLOGIA DE INFORMACION GEOGRAFICA):

Director Ing. Daniel Sanguinetti, Víctor Vallejos, Enrique Gómez Giménez y Diego Banús

Fuentes: información técnica proporcionada por el Ing. Daniel Sanguinetti – Dir. del GRUPO DE ESTUDIO Y DESARROLLO EN TECNOLOGIA DE INFORMACION GEOGRAFICA – GEDTIG; información institucional y contacto: carmelo_gross@yahoo.com.ar,

FRRé – UTN: TE 4437893-4432863 – 0362 154833026 (Ing. Carmelo Gross)

-Ante la magnitud que tomó el uso de la información obtenida a través de esta herramienta y el impacto que generó ¿Cuáles son sus percepciones, como graduado universitario, en relación a la vinculación y el compromiso social que debe tener la universidad para con la comunidad?

Mi opinión respecto al involucramiento de la universidad con las necesidades y problemas que la tiene la sociedad – especialmente en lo relativo a las dificultades de los sectores más desfavorecidos de la población – (y en esto coincidimos con el Ing. Sanguinetti y su equipo) es insoslayable, por ello me siento muy orgulloso de formar parte de la gestión que permite a graduados y estudiantes comprometerse con estos proyectos superadores. Es necesario aclarar que los drones forman parte de la división de aerofotografía del Grupo GEDTIG, y representan apenas uno de los tantos proyectos que tiene la universidad, en particular la Regional Resistencia de la UTN, que están altamente relacionados también, con las necesidades del sector productivo y de servicios y - por supuesto - con los sectores más vulnerables.



Central Nuclear Atucha II - Néstor Carlos Kirchner. Destacado logro de la Ingeniería argentina

Ing. Miguel Angel Sosa¹

La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) tiene entre sus objetivos desarrollar un plan estratégico que incluye en líneas generales y entre otros aspectos la construcción de reactores de investigación y de producción de radioisótopos, el dominio del ciclo de combustible nuclear, la construcción de reactores nucleares de potencia, la producción de dióxido de uranio, la fabricación de elementos combustibles para centrales de potencia y la producción de agua pesada, actividades que implican transferencia tecnológica en el país e intercambio con el exterior y el desarrollo de cadenas de valor, en cuyo marco la formación de profesionales y técnicos constituye un aspecto central.

El Gobierno Nacional anunció en 2006 la decisión de reactivar la actividad nuclear en el país, en particular la generación eléctrica y las aplicaciones de la tecnología nuclear a la salud pública y la industria, lo cual implicó la reactivación de la planta de producción de agua pesada, la fabricación de combustible nuclear, el desarrollo de reactores de potencia como el Proyecto de la Central Argentina de Elementos Modulares (CAREM) y el enriquecimiento de uranio en el Complejo Tecnológico Pilcaniyeu.

En este marco se estableció el compromiso de completar la construcción, el montaje y la puesta en servicio de la Central Nuclear Atucha II, Néstor Carlos Kirchner (CNAII-NCK), después de un largo período de suspensión de la obra, lo cual implicó recuperar y formar los recursos humanos necesarios y la ejecución de los trabajos con esas capacidades recuperadas.

Por primera vez se iba a realizar la puesta en marcha de una Central Nuclear de Potencia bajo responsabilidad absoluta de los argentinos.

1. Decano de la UTN - Facultad Regional Delta.

La demora en la construcción de la CNAII-NCK, obligó a la CNEA y a Nucleoeléctrica Argentina S.A (NASA) a hacerse responsables de la finalización del proyecto para lo cual se convocó a distintos sectores del país a trabajar mancomunadamente.

NASA asumió la responsabilidad de la ingeniería, el montaje, la puesta en marcha y el licenciamiento, mientras que la CNEA participó en distintas y relevantes actividades inherentes a los aspectos mencionados.

La participación de la industria nacional en el proyecto de terminación y puesta en marcha de la CNAII-NCK fue del 88 por ciento, implicando la recuperación de las capacidades perdidas en la cadena de valor de la industria y tecnología nuclear, contando actualmente el sector con 129 empresas locales calificadas.

La obra implicó 2,2 millones de horas de ingeniería, 95 % nacional, 42 millones de horas hombre para la construcción y el montaje, 99 % nacional, y en el pico el empleo de 7.200 personas.

Atucha II se encuentra operando al 100 % de su potencia eléctrica neta entregada a la red de 692 Mw, sustituye la utilización de combustible fósil evitando las consecuentes emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye actualmente a mejorar el balance de pagos del país.

NASA es la responsable de la operación y mantenimiento de las centrales nucleares de Argentina.

De modo que Argentina ha logrado integrar



las capacidades en tecnología nuclear del país, en particular las relacionadas con la generación nucleoelectrónica abarcando:

La exploración y producción de uranio, la producción de concentrado de uranio y la fabricación de los elementos combustibles necesarios para los reactores de potencia e investigación.

El enriquecimiento de uranio, para lo cual se está llevando a cabo la puesta a punto de la planta piloto de enriquecimiento de uranio por difusión gaseosa en el Complejo Tecnológico Pilcaniyeu y el desarrollo de tecnologías de enriquecimiento de uranio por láser y ultracentrifugación.

El diseño, desarrollo y construcción de reactores experimentales y de producción de radioisótopos

El diseño, desarrollo, construcción, montaje y puesta en marcha de una central nuclear de potencia como lo es el Proyecto CAREM de 25 Mw eléctricos, que presenta dos aspectos innovadores: sistemas pasivos de seguridad que no dependen de alimentación externa, y la integración de todo el circuito primario.

También se está estudiando la gestión y disposición de elementos combustibles gastados y la recuperación de materiales nucleares

En base a estas fortalezas la CNEA participó, entre otros, en los siguientes trabajos específicos para la finalización de la obra de la CNAII-NCK.

Diseño, desarrollo y provisión de los sistemas de instrumentación del núcleo del reactor para las pruebas de vibración de los canales y elementos combustibles.

Diseño y desarrollo de un sistema de instrumentación y control alternativo del sistema de parada por inyección de boro, que permite reducir sustancialmente el tiempo de respuesta del sistema original, con el consiguiente aumento de la seguridad de la Central.

Realización de la ingeniería de detalle, dirección de la construcción y montaje de dos instalaciones para el ensamble de sensores de flujo neutrónico.

Realización de la prueba de estanqueidad de exclusas, compuertas, tuberías y esfera de contención.

Gestión de envejecimiento: en conjunto con

NASA ha desarrollado un programa integral, por el que se revisan todos los sistemas y componentes de la Central Nuclear como el diseño, las condiciones de operación, las estrategias de mantenimiento actuales y las aprobadas a nivel internacional.

En la Planta Industrial de Agua Pesada ubicada en Arroyito (Neuquén), se completó el inventario inicial de agua pesada.

También otras entidades han contribuido con este destacado logro de la ingeniería argentina, por lo que a continuación se citan tres casos representativos.

INVAP Sociedad del Estado trabajó en el diseño y la construcción de máquinas automáticas de soldadura y la provisión de una planta de acondicionamiento de los efluentes radiactivos. También colaboró en etapas de comisionamiento y puesta en marcha de la Central.

TECNA (Tecnología, Ingeniería y Construcción), proveyó la ingeniería en cañerías, sistemas eléctricos, procesos, instrumentación y ensayos no destructivos. Se destaca la realización de trabajos de desarrollo de códigos para el grupo de Licenciamiento, Seguridad y Cálculo del Núcleo así como la prestación de servicios especializados para la planificación y gerenciamiento de las actividades de comisionamiento y la puesta en marcha.

La Facultad Regional Delta de la Universidad Tecnológica Nacional se encargó de la

caracterización de las vibraciones mecánicas del conjunto canal refrigerante-elemento combustible, que permiten verificar la integridad estructural en operación de cada componente, contrastar modelos estructurales, particularmente aquellos que pueden modelarse por medio de elementos finitos, e identificar las frecuencias naturales a fin de alimentar una base de datos de los sistemas de vigilancia de los componentes del sistema primario.

También realizó medición de vibraciones y tensiones en el sistema de inyección de boro del reactor, y otras mediciones especiales requeridas durante las pruebas en caliente sobre diferentes componentes del sistema.

En base a las fortalezas desarrolladas se ha comprometido la construcción de la cuarta central nuclear con una amplia participación nacio-

nal, para lo cual se tomó la decisión tecnológica de adoptar el ciclo de combustible de uranio natural y agua pesada, que la Argentina ya domina ampliamente.

NASA, será el propietario y arquitecto ingeniero, encargado de llevar adelante el diseño, la construcción, el montaje, la puesta en marcha y operación de la cuarta central nucleoelectrica de la Argentina en el predio de las Centrales Atucha I y II. El 70% de sus componentes serán construidos en el país.

La obra civil será 100% nacional, al igual que la ingeniería, el montaje, y gran parte de los materiales, e implicará el empleo de más de 6000 trabajadores.

También se ha planificado la construcción de una quinta central nuclear y se ha decidido analizar la posibilidad de utilizar el ciclo de combustible de uranio enriquecido y agua liviana.

En este caso la participación de la industria nacional alcanzaría un mínimo de 50% previendo que este nuevo aprendizaje y desarrollo conjunto permita que para las siguientes centrales esta participación se eleve al 70%.

Es importante destacar los objetivos relativos a la innovación tecnológica y la transferencia de tecnología de la CNEA, que en gran medida han ido conformando las capacidades desarrolladas, a saber:

“Contribuir a mejorar la actividad productiva y comercial del país a través de la innovación tecnológica, la investigación aplicada, el desarrollo de nuevos productos y tecnologías, la transmisión de tecnología y asesoramiento tecnológico a la industria nuclear”

“Desarrollar y promover la utilización de los conocimientos de CNEA, tanto nucleares como convencionales, en el campo de los materiales, los alimentos, la salud, la cultura, el medio ambiente y otros sectores en que la sociedad puedan requerir sus servicios”

Objetivos cuyo cumplimiento ha implicado gran impulso al desarrollo tecnológico, productivo y social de la Argentina contribuyendo a incrementar la densidad de nuestro Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, en el que las Facultades de Ingeniería pueden y deben ser protagonistas crecientemente relevantes.

Y en este sentido resulta insoslayable desta-

car la contribución que la CNEA, NASA y el sector de instituciones y empresas del área nuclear vienen realizando en la promoción de innovaciones, la conformación de redes de agentes económicos e instituciones y el impacto en su comportamiento innovativo, elementos éstos que contribuyen al desarrollo, introducción, difusión y utilización de distintas tecnologías novedosas, incluyendo a universidades, institutos técnicos y laboratorios de investigación y desarrollo.

Recordemos que las trayectorias para alcanzar ciertos desarrollos tecnológicos en los países industrializados han requerido de un fuerte contexto regulatorio e institucional nacional, y que el ambiente, constituido por el conjunto de instituciones, agentes y relaciones existentes entre ellos, influye de manera decisiva en el grado de desarrollo de actividades innovativas, concebido éste como un proceso social e interactivo en un entorno adecuado, pues cuando el ambiente tiene un comportamiento positivo en términos de generación de externalidades, actúa disminuyendo las incertidumbres, contrarrestando las debilidades de distintas culturas organizacionales y potenciando los procesos de aprendizaje.

El trabajo realizado y los resultados alcanzados en la CNAII-NCK han contribuido sin duda a fortalecer las capacidades argentinas para el Desarrollo Tecnológico y la necesaria Transferencia de Conocimientos Tecnológicos, en nuestro país, a otros países de la región y con otros países del mundo.

Conocimiento, ¿para qué?

Ing. Roberto Giordano Lerena¹

Vivimos en la “Era del Conocimiento”. Somos la “Sociedad del Conocimiento”. La pregunta inmediata es: Conocimiento, ¿para qué ?

El conocimiento científico y tecnológico es un factor clave de la evolución de los pueblos, una de las principales riquezas de las sociedades y un factor potencialmente determinante del progreso de las naciones.

El conocimiento, claro está, se crea. Esa oportunidad (casi obligación) del progreso está, entonces, en la misma sociedad. Así, la infraestructura científico-tecnológica actúa como una plataforma, necesaria para la creación de conocimiento, pero no suficiente para el desarrollo. Esto es un juego de todos.

En una síntesis muy simplificada, la sociedad debe ser capaz de incorporar la ciencia y la tecnología a su proceso de desarrollo, el sistema científico tecnológico debería ser capaz de transferir a la comunidad los resultados de la investigación, y la estructura productiva debería ser capaz de adoptarlos. Luego, la innovación actúa como motor de la economía y agente transformador y se produce el desarrollo. El proceso es, en realidad, más complejo.

Durante siglos el mundo evolucionó conforme el clásico modelo lineal: ciencia, luego tecnología, luego impacto. O bien: investigación básica, luego investigación aplicada, luego desarrollo tecnológico e innovación. Eran otras épocas, la curiosidad del científico planteaba los objetivos de la investigación, y los mismos procesos determinaban sus propios tiempos.

Hoy la realidad es diferente. Hay oportunidades, pero también necesidades. Hay urgencias. En países como los de Latinoamérica necesitamos generar un espiral creciente y permanente de agregado de valor al sistema productivo y social basado en el conocimiento científico tecnológico. Necesitamos, más que nunca, impacto de la ciencia y la tecnología.

En este contexto, impacto de la ciencia signi-

1. Decano Facultad de Ingeniería de la Universidad FASTA. Presidente de la Comisión de Relaciones Internacionales e Interinstitucionales del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de Argentina CONFEDI. Coordinador de la Comisión de Acreditación de Proyectos de Desarrollo Tecnológico y Social en Ciencias Agrarias, Ingeniería y Materiales. Secretaría de Articulación Científico-Tecnológica. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la República Argentina. rogiord@ufasta.edu.ar

fica apropiación y explotación del conocimiento generado (y de ahí la necesidad de su divulgación). Impacto de la tecnología significa la resolución de problemas o necesidades de carácter práctico; esto es, problemas y necesidades no justificados en la sola curiosidad científica, el avance del conocimiento disciplinar o la solución de incógnitas teóricas, sino problemas o necesidades enmarcados en la sociedad, la política, la economía o el mercado. Estamos hablando de proyectos de investigación aplicada y desarrollo tecnológico, con resultados “tangibles”, con diferentes dinámicas, tiempos y objetivos que la investigación científica básica, más condicionados por el entorno y la necesidad social.

Los sistemas científico-tecnológicos nacionales, las oficinas de ciencia y técnica, los organismos de fomento, financiamiento y evaluación, y la sociedad en general, deberían acusar recibo de esta necesidad, e incluir el interés nacional, regional o local en la evaluación de las actividades de investigación aplicada y desarrollo tecnológico. Esto no implica terminar con el modelo tradicional de ciencia y tecnología. Para nada. Implica ser capaz de instalar nuevos paradigmas, complementarios a los vigentes, que consideren el desarrollo de tecnología como medio para la transformación social, en el marco de los sistemas científico-tecnológicos. Nuevos mode-



los que reconozcan y valoren a los proyectos en función de su aporte en materia de conocimiento científicamente certificado a la resolución de problemas, necesidades o demandas identificables en la sociedad y/o expresadas por los agentes sociales en la esfera de la política, el mercado, el territorio, la cultura o la estructura social. Paradigmas que incorporen elementos de valoración del desarrollo tecnológico. Si sólo “contamos publicaciones” y desconocemos el valor de los proyectos de desarrollo tecnológico y social, seguimos viviendo en otro tiempo, y ajenos a las demandas sociales.

En este tipo de proyectos, y siendo la originalidad o la novedad cognitiva un rasgo central de la actividad de la ciencia y la tecnología, se requiere redefinir el concepto de novedad del conocimiento a un significado acotado a las condiciones locales. Se trata, entonces, de entender la cuestión de la originalidad en el sentido de “novedad local” y la cuestión de la relevancia en relación a los objetivos de la política pública, el sentido de urgencia o necesidad de la problemática a resolver mediante el conocimiento aplicado o el impacto esperado de los resultados de la innovación tecnológica. También se deben observar, como siempre, los aspectos de pertinencia y de demanda. La existencia de demanda constituye la prueba fehaciente de que los resultados del proyecto interesan a la sociedad y no solamente a la comunidad de investigación desde un punto de vista teórico de la disciplina.

Este nuevo paradigma incluye a la sociedad como parte imprescindible de la ciencia y la tecnología, y ve en la ingeniería un medio para la satisfacción de las demandas de la sociedad.

Claramente, los centros de investigación y desarrollo tecnológico y las universidades no pueden mantenerse ajenas a este nuevo paradigma. Hay en ellas una responsabilidad institucional y debemos reflexionar al respecto. Allí, en nuestras instituciones, es donde se hace la ciencia y la tecnología, y se forman los científicos, tecnólogos y profesionales. Allí está la chance de cambiar el país y el mundo. Haciendo ciencia y tecnología determinante de la inclusión social, provocadora de la equidad distributiva, responsable para con el desarrollo personal y comunitario de los ciudadanos. Ciencia y tecnología

ética y con vocación de servicio. Ciencia y tecnología para la vida y la paz.

Finalmente, al amparo de este nuevo paradigma de reconocimiento y valoración de la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico, la ingeniería asume un rol fundamental, aportando soluciones concretas a problemas concretos, explotando al máximo el conocimiento generado. Para eso el conocimiento.

Nuestros países latinoamericanos demandan una ingeniería comprometida, capaz de resolver las necesidades de la sociedad y mejorar la vida de las personas. Está en nosotros y en nuestras universidades tomar el desafío de formar esos ingenieros, y construir esa ingeniería. Una Ingeniería solidaria y al servicio de las personas.

La versión original de este ensayo fue realizado en atención a la invitación de la Revista Ingeniería Solidaria (ISSN 1900-3102 / eISSN 23576014) de la Universidad Cooperativa de Colombia, y para ser incluido como editorial del número correspondiente al año 2014 de esa reconocida publicación, bajo el título “Hacia un nuevo paradigma en Ciencia y Tecnología”. Fue expuesto por el autor, a modo introductorio, en el Panel de expertos “Experiencias exitosas en investigación e innovación en Iberoamérica, con énfasis en educación en ingeniería”, que se llevó a cabo en el marco de la Jornada Académica de Trabajo Conjunto entre ASIBEI y las Facultades de Ingeniería de Uruguay “Innovación y Desarrollo Tecnológico en Iberoamérica”, el 11 de noviembre de 2014 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Se publica en la Revista Argentina de Ingeniería, con nuevo título y ajustes menores realizados por el autor a instancias del Comité Editorial.

Agenda 2015

Ing. Sergio Pagani

La agenda 2015 del CONFEDI contempla tanto las actividades en el plano internacional como las acciones a realizar en nuestro país, ambas enmarcadas en el Plan Estratégico de Formación de Ingenieros.

Durante este año el CONFEDI ejerce la presidencia de ASIBEI (Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería), en esa condición comprometió su participación activa en los siguientes eventos:

- ASEE AnnualConference: Conferencia Anual de la Sociedad Americana de Educación en Ingeniería: Seattle, USA, entre los días 14 al 17 de Junio <http://www.asee.org/conferences-and-events/conferences/annual-conference/2015>
- Reunión de Comité Ejecutivo de ASIBEI y 36ª Sesión Plenaria del Comité Ejecutivo de ASIBEI. Ciudad de Porto, Portugal, desde el 21 al 24 de Junio.
- WEEF – Annual Conference: Asamblea Anual de la organización con la participación de diversas organizaciones relacionadas: Conferencia per l'Ingegneria (Copl), European Engineering Deans Council, Société Européenne pour la Formation des Ingénieurs, European Network for Accreditation of Engineering Education (ENAE), European Civil Engineering Education and Training Association (EUCEET), international Society of Engineering Pedagogy (IGIP), International Institute for Developing Engineering Academics (IIDEA), Board of European Students of Technology (BEST), Student Platform for Engineering Education Development (SPEED) y Global Engineering Deans Council (GEDC). Florencia, Italia entre los días 20 al 24 de Septiembre. <http://www.weef2015.eu/>
- GEDC. Conferencia y Asamblea Anual del Global Engineering Deans Council. Adelaida Australia, del 30 de Noviembre al 2 de Diciembre, <http://www.aomevents.com/gedc2015>
- GEDC Latinoamericano. Reunión anual

Secretario General de CONFEDI, Decano UNT - FCEyT

del Capítulo Latinoamericano del GEDC. La Paz, Bolivia, primera quincena de octubre.

Con la participación de todas las Facultades de Ingeniería del país, se prevé la realización de las siguientes actividades.

- Talleres de Ingeniería Naval para el estudio de una nueva terminal.
Lugar: sede de CONFEDI, Ayacucho 132 – CABA.
Fechas: 13 y 24 de Abril.
- Taller de trabajo conjunto entre CONFEDI y CUCEN (Consejo Universitario de Ciencias Exactas y Naturales).
Lugar: Carlos Paz, Córdoba.
Fecha: 6 de Mayo.
- 57ª Reunión Plenaria de CONFEDI.
Lugar: Carlos Paz, Córdoba.
Fecha: 7 y 8 de Mayo.
- Taller de Ciencias Básicas en Carreras de Ingeniería.
Lugar: sede de CONFEDI, Ayacucho 132 – CABA.
Fecha: 27 de Mayo.
- 58ª Reunión Plenaria de CONFEDI.
Lugar: San Miguel de Tucumán.
Fecha: última semana de Octubre.
- Taller de Diseño Curricular Basado en Competencias.
Lugar: UTN, Facultad Regional Buenos Aires.
Fecha: a confirmar.
- Taller de Tutorías organizado por GITBA (Grupo Inter Institucional de Tutorías de Buenos Aires).
Lugar: Tandil, Buenos Aires.
Fecha: última semana de Noviembre.



Historias y anécdotas del CONFEDI

MSc. Ing. Roberto Gómez Guirado¹

Deseo expresar mi agradecimiento por la invitación que me formuló el CONFEDI para que escribiera un par de páginas en el espacio dedicado a “Historias y anécdotas del CONFEDI”. Ello constituye un motivo de orgullo porque durante 12 años logré conocer muy de cerca la Institución, y de inmediato me invadió una grata alegría, por cuanto concurrí a mi mente una gran cantidad de recuerdos y anécdotas de 25 Reuniones Plenarias, innumerables encuentros de Comité Ejecutivo, creación de ASIBEL, posteriores encuentros de la misma, CAEDIs, Cenas de Camaradería, etc. Sumado a ello mi habitual locuacidad (por la cual pido disculpas), me pareció sencillo el trámite, ni siquiera lo tomé como un desafío. En la soledad del cuarto del hotel tomé conciencia del problema en el que había quedado inserto.

Muchas cosas para contar, pero he aquí el problema: cuáles sí, cuáles no. Cuáles resultarían interesantes y cuáles simple cursilería. Esquivé el problema durante un tiempo, hasta que decidí adoptar el criterio de nuestro querido Jorge H. González, a quien, por algunas eventuales ausencias, debí reemplazar en el habitual brindis de la cena de camaradería. Él me aconsejó: “cuando no sepas que decir, simplemente recurre a tu corazón y expresa lo que sientes en él”.

En mi primer CONFEDI (1996, Luján), con mucho entusiasmo y gran inexperiencia, ofrecí San Juan para el siguiente Plenario, me miraron con indulgencia y me ofrecieron nada menos que organizar el II CAEDI para 1.998.

Ese fue un plenario de aprendizaje personal: en el CONFEDI no se vota, se consensúa; en el CONFEDI siempre hay Decanos con mucha más experiencia que la de uno: Jorge H. González con su gran capacidad de trabajo, experiencia y amistad; Roberto Aguirre, meduloso, serio,

1. Decano Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de San Juan

un gran pensador; César Albina, incansable trabajador de la institución; el adusto, serio y preciso eterno Secretario Permanente, Luis De Marco; el siempre buen humorado y colaborador Vicerrector Académico del ITBA, Osvaldo Micheloud; cómo no nombrar al perpetuo amigo de todos, el transparente dueño de los recursos Richio (Eugenio Ricciolini); la permanente y valiosa colaboración de la Secretaria Ejecutiva Mercedes; años de amistad, lealtad y consejos de Diego Moitre, Daniel Morano, Marcelo Sobrevila, Manuel González...

Necesitaría 100 páginas para referirme a tantos Decanos que, con su impronta, dejaron huellas indelebles en la Institución (disculpas a los que dejé fuera).

En ese, mi primer plenario, aprendí que se trabaja tan duro que a algunos nos empieza a vencer el cansancio y comenzamos a tener sueño blanco, cosa que no comprendía al principio hasta que se alargó la reunión porque debíamos concurrir al Palacio Pizzurno, quizás al cuarto día, a presentar el Libro Azul al Ministro de Educación. Ya le había preguntado a Diego Moitre porqué se apoyaba fuertemente tres dedos en la frente durante unos segundos en algunos plenarios, me explicó que era su método para continuar en estado de alerta. A media mañana comencé a luchar contra el sueño que me vencía. Diego (experto en el tema) comenzó a pellizcarme en la espalda y darme algunos golpecitos. Llegó un momento en el que, advirtiendo que me dormía, intenté apoyarme en el respaldo de la silla de adelante. Obviamente ya iba dormido en el trayecto y



erré el apoyo. Simultáneamente, se cortaron los remaches de la silla que ocupaba un Decano quien se desplomó con fuerte estruendo, lo cual atrajo la atención hacia él y pudo pasar desapercibido mi trastabillar y consecuente situación cómica y vergonzosa.

Continué trabajando desde el llano o como Vocal o Presidente de distintas comisiones, evaluador de la revista, Secretario General, hasta que, por fin, me concedieron el honor de organizar el Plenario XXXII y asumir la Presidencia. Por supuesto, tenían resuelto que cuando llegara el momento en que César Albina me pasara la presidencia comenzarían a cantar "Roberto no asumeeee..., Roberto no asumeeee..." (Una más de Diego y compañía). Después me contaron que al ver que estaba presente la televisión comenzaron a correr la voz "se aborta, se aborta" y decidieron desistir de la broma que, desde luego, constituía una muestra más de afecto y cariño.

Antes que me sucediera en la presidencia Daniel Morano, los integrantes del Comité Ejecutivo fuimos invitados a un almuerzo en el Regimiento de Granaderos a Caballo. El Teniente General, Jefe del Ejército Argentino en ese momento, no hace falta aclarar que mucho más alto que yo, dispuso que cierto General me entregara una distinción y recordatorio. Para mi sorpresa, cuando nos paramos, el General que me entregó el obsequio tenía mi estatura, por cuyo motivo le susurré al oído durante el abrazo de saludo, "Ud. me da ánimo para continuar aspirando a integrar este cuerpo". Obviamente se lo contó al jefe, puesto que éste, en su discurso, explicó que encomendaría confeccionar botas de taco alto y un penacho de mayor tamaño que el estándar para el Ing. Gómez Guirado. Desde luego, mis colegas del Comité Ejecutivo festejaron el comentario con muchas risas (las que aún no entiendo ni asumo y, a la larga, me van a conducir a un psicólogo que considero lo debería pagar Ricciolini).

Por supuesto también ha habido inevitables situaciones complejas, conflictivas y de tensión, que en cada caso han sido afrontadas y resueltas satisfactoriamente, como consecuencia de la seriedad y compromiso con que CONFEDI defiende la Ingeniería Argentina, la institución y

sus asociados.

En el CONFEDI encontré amistad, camaradería, disposición para trabajar en equipo, respeto, solidaridad, una Institución despolitizada cuyo único fin es el de trabajar en pos de mejorar la Ingeniería. Hice entrañables amigos que han perdurado en el tiempo. El CONFEDI, todos lo sabemos, con el paso de los años, se constituye en una adicción, inclinación y propensión difícil de dejar.

Ha habido casos en los que algunos Decanos, aún después de haber dejado de serlo para ocupar el cargo de Rector, no perdieron la oportunidad de concurrir al CONFEDI para continuar despuntando el vicio (todos recordamos el caso de Jorge González), o simplemente dejaron de ser Decanos y siguieron concurriendo durante años (Roberto Aguirre, entre otros).

A fines de 2005, tras casi 10 años de asistir a innumerables reuniones y a más de 20 plenarios, llegó el momento de retirarme como Socio Decano. Sinceramente resultó un momento difícil y triste en mi vida. Durante el brindis expresé mis sentimientos y mi pesar por tenerme que alejar. Pude decir lo que tenía en mi corazón.

Al cabo de poco más de 6 años, las vueltas de la vida me permitieron volver a integrar este grupo de amigos. Encontré en 2.012 varias caras nuevas y el grato reencuentro con antiguas amistades, pero el mismo ambiente de camaradería y trabajo.

Me considero un afortunado por ser uno de los pocos argentinos que accedimos al grato placer de integrar el CONFEDI.

Práctica científica y social: gestión del conocimiento en la Universidad

Carlos Humberto Savio¹, Marcelo
Ernesto Savio² y Nelly Tapia Suárez³

Resumen

La universidad debe lograr una enseñanza de calidad orientando su trabajo al conocimiento científico y técnico, comprometiéndose además con las demandas sociales y el desarrollo productivo. Es fundamental el desempeño del docente y sus alumnos en la gestión del conocimiento para lograr un aprendizaje de calidad que cubra todas las áreas pendientes. El objetivo es capitalizar la práctica pedagógica con observaciones y encuestas para consolidar los aportes a la clase en la gestión del conocimiento correspondiente.

Palabras clave: Gestión del Conocimiento; Universidad; Aprendizaje; Práctica Pedagógica.

Abstract

The university should achieve a teaching of quality orienting its work towards technical and scientific knowledge, with the commitment to social demands and productive development. In the management of knowledge, the performance of the teacher and the students is crucial to achieve a quality learning that covers all the pending areas. The objective is to capitalize pedagogical praxis with observations and surveys to consolidate the contributions to the class in the corresponding knowledge management.

Key words: knowledge management; learning; pedagogical praxis; university.

Introducción

El presente trabajo intenta un acercamiento al problema de la gestión del conocimiento en la universidad como práctica científica y social. Este campo de estudio debe estar de acuerdo con las exigencias de la época, dentro del campo social, político, científico y técnico; por sobre

1. Ingeniero Agrimensor, Decano de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas – UNCa.

chsavio@tecno.unca.edu.ar

2. Ingeniero Agrimensor, Docente de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas – UNCa.

msavio@unca.edu.ar

3. Magister en Lingüística, Secretaria de Investigación de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas – UNCa. ntlendo@tecno.unca.edu.ar

todo tiene que incidir en la calidad de los egresados en las diferentes carreras. Como un trabajo profesional, esta enseñanza debe estar precedida por un conjunto de conceptos, reflexiones e interpretaciones de las teorías que la fundamentan; conjuntamente tiene que insertarse en aspectos tanto ideológicos como conceptuales, metodológicos y operativos. También, la gestión del conocimiento abarca elementos y procesos que inciden en el desarrollo integral de los nuevos profesionales; es decir que la enseñanza siempre debe apuntar a la reconstrucción social.

Consideramos, a la vez, que la universidad enfrenta necesidades de diversas clases, especialmente económicas, y que algunos investigadores consideran que la universidad está perdiendo su lugar como centro de gestión de conocimiento, situación que afecta a la sociedad. Ante todo esto, observamos que la universidad tiene que orientar todo su esfuerzo para optimizar el conocimiento científico y técnico. Partiendo de estas consideraciones decidimos revisar los planteos básicos de los aspectos cognitivos que dan sentido al aprendizaje, para luego modificar la práctica pedagógica, si esto fuera necesario. Este trabajo se fundamenta en la



experiencia y en las necesidades observadas, no solo desde nuestro lugar como docentes, sino también desde nuestro lugar como investigadores, para luego reflexionar sobre las variables del camino a seguir. Consideramos que en esta etapa es muy importante la construcción del pensamiento científico, desde el nivel conceptual hasta el óptimo desarrollo en el nivel procedimental, que va a conformar el centro de proceso de enseñanza y de aprendizaje. A la vez, tenemos que cuidar la atención que brindamos al conocimiento como fuente principal de gestión de la enseñanza, de este modo la universidad no va a perder su posición como centro generador de conocimientos.

Marco conceptual

Gestión del Conocimiento

El conocimiento es lo que se sabe, es un proceso en el cual se crea y se utiliza el conocimiento, entendido como la combinación organizada y estructurada de ideas e información. Sin embargo consideramos que conocimiento e información son diferentes; mientras la información es estática, el conocimiento está ligado al individuo con elementos subjetivos. La gestión del conocimiento es el factor que permite la ruptura de esquemas de la educación tradicional, específicamente la educación universitaria, generando así nuevos conocimientos y habilidades (Larrea Abásolo [1]).

En el ámbito universitario nos encontramos con una organización donde el conocimiento no es un medio sino un fin. La universidad investiga, produce nuevos conocimientos, forma profesionales y transfiere saberes científicos o técnicos para resolver problemas de la sociedad. Además, la organización de la universidad, divide los saberes según criterios teóricos o profesionales y se somete a evaluaciones institucionales para acreditar la transmisión de conocimientos. Se trabaja con una teoría implícita del conocimiento, que acepta modelos diferentes según sea la carrera, es decir que en la universidad, donde se respeta la autonomía intelectual de los profesores, pueden coexistir diversos planteos del conocimiento.

Recordemos que se entiende a la gestión del conocimiento como el factor que permite la rup-

tura de esquemas dentro de la educación, especialmente universitaria, en el ámbito de la generación de nuevos conocimientos y habilidades. Tenemos algunas actitudes que son congruentes con la gestión del conocimiento en la universidad, como ser la creatividad y la motivación, es decir que por un lado es teoría de la acción y por otro es teoría del conocimiento. Agregamos entonces, que es una combinación organizada y estructurada de ideas e información. Se entiende entonces que la gestión del conocimiento incluye la planificación, organización, coordinación y control de las actividades, que llevan a crear y difundir el conocimiento de modo eficiente en la organización en la que debe insertarse. Por lo tanto, las actividades relacionadas con la gestión del conocimiento van a ser, no sólo generar nuevos conocimientos, sino también explicitar este conocimiento en bases de datos, software o documentos. Parece existir acuerdo en que se trata de un proceso circular, que consta de subprocesos: creación, adopción, distribución y revisión de conocimiento.

La creación de conocimiento científico y técnico no es un proceso que se pueda planificar y controlar. No es simplemente procesar una información, es saber aprovechar las percepciones e intuiciones del investigador. La estrategia que se sigue consiste en prueba y aprendizaje o prueba y error, de cada una de las pruebas se extrae conocimiento parcial mientras se enfoca la investigación hacia el camino correcto, para alcanzar el éxito. Lynn y otros autores [2] proponen ejemplos: la fibra óptica, el scanner o el teléfono celular. Si estos conocimientos no se renuevan periódicamente, su rendimiento decae y pierde la facilidad de aplicarse. Sin duda que la universidad genera gran cantidad de conocimiento, que a veces se pierde, quizás por su estructura y organización. En una sociedad, como la actual, basada en el conocimiento, la universidad ha pasado a ser un elemento importante de innovación, no solo como formadora de capital humano, sino como promotora de nuevas tecnologías. En esto debe sustentarse nuestro compromiso, como parte activa de este contexto tenemos que trabajar para que esto persista. Vemos así que la gestión del conocimiento es pilar fundamental en toda institución. Antes

de analizar los cambios educativos que son tan importantes, como la gestión del conocimiento, debemos dejar bien establecido que este es un factor de vital importancia en el crecimiento de la sociedad, y la universidad no puede quedar ajena a esta corriente, desde el momento en que su función es la de producir y difundir conocimiento. Tiene que sumarse a los cambios como institución de servicio público y como una organización particular; no solo para mantener su posición dominante en la generación de conocimientos sino como principal promotora de producción científica y técnica.

Enseñanza y Universidad

Nuestra sociedad concreta sus procesos de enseñanza, intencionales, y convierte a los individuos en herederos de su saber mediante una tarea compleja que incluye procesos relevantes como la socialización y el desarrollo personal. Incluye también otros aspectos orientados a la excelencia académica que abarcan el plan de estudios, la ecología del aula, los procesos cognitivos de la clase y los recursos y saberes que el docente aplica en su clase. El docente desarrolla su práctica pedagógica basando su enseñanza en las necesidades de los alumnos y reconociendo los conocimientos previos que poseen los estudiantes; al mismo tiempo atiende a los estudiantes con sus expectativas de trabajo para orientar en este sentido la organización de la tarea conjuntamente con las actividades correspondientes. Sin embargo, algunos docentes desarrollan la práctica de la clase exponiendo una teoría acerca de su concepción sobre la enseñanza, distante de la práctica que realmente realiza. Actualmente los programas existentes en cuanto a capacitación, perfeccionamiento y actualización ayudan al profesor para que reflexione sobre sus prácticas y concepciones de enseñanza, aceptando el pluralismo profesional como una manera de abordar la didáctica del nivel superior. Solo entonces y en base a ello, asume el rol docente con conocimiento científico y con autonomía de gestión.

Esto significa que centramos nuestra atención en el aprendizaje como problema multidisciplinario, y básicamente en el aprendizaje que se desarrolla en el aula universitaria. Se plantea

la necesidad de unir esfuerzos para desarrollar alternativas instruccionales orientadas al logro de habilidades que les permitan a los estudiantes obtener, procesar y generar información. Esto sucede debido a que no se evidencia una orientación adecuada hacia el desarrollo de la potencialidad de los alumnos, para que puedan recibir y producir información de modo eficiente y en forma independiente.

Estudiosos como Bricall y Bruner [3] afirman que la universidad debe afrontar los cambios respondiendo positivamente a las demandas sociales. Bain [4] agrega que la universidad no solo está viviendo estos cambios, sino que aparte de lograr los cambios, debe modificar y flexibilizar su estructura para poder acceder al conocimiento, y gestionarlo para desarrollar personalidades aptas para desenvolverse en esta sociedad. Debido a esto es que, como objetivo, consideramos tanto los aspectos teóricos como las instancias reflexivas del desempeño del profesor en el aula universitaria, buscando responder a las demandas de la comunidad. El educador Paulo Freire [5] es uno de los más importantes investigadores en marcar la relación entre sociedad y educación. Considera que, como la educación es el camino a la libertad, el alumno debe ser crítico y reflexivo sobre la realidad, y en la realidad.

En cuanto al desarrollo de las capacidades en el aula universitaria, sabemos que actualmente se busca desarrollar capacidades que sustenten la pedagogía que se emplea en la clase. Estas capacidades, que se inician en la clase universitaria se prolongan al ámbito profesional; son habilidades y conocimientos que nos permiten desarrollar alguna actividad con la actitud necesaria para un buen desempeño en el lugar que se ocupa, logrando resultados definitorios. Por lo tanto, el cambio que se produce en la universidad debe lograr un ordenamiento social. El profesor tiene que asumir responsabilidades asegurando una enseñanza de calidad, y evidenciando un perfil polivalente para adecuarse a los cambios que se presentan. Su personalidad debe constituir un referente, no solo para sus alumnos sino para los responsables de tomar las decisiones en la institución. El accionar del docente incluirá un modelo conformado por su enseñanza y por la investigación que lleva a

cabo en el ámbito de trabajo. Los mejores profesores universitarios son los capaces de generar un aprendizaje en profundidad, influyendo por lo tanto, en el modo de pensar y actuar de sus alumnos; se logra la excelencia si se consigue desarrollar intelectual y personalmente a los estudiantes. Todo este accionar está guiado por un cúmulo de creencias, concepciones, actitudes y prácticas. El éxito de la docencia se consigue con el buen desempeño del profesor; reconociendo, a la vez, que el aprendizaje es un proceso complejo relacionado siempre con la reflexión y la actitud crítica.

Metodología y análisis

El estudio que se realiza es de carácter descriptivo con abordaje cualitativo, en el que se observa el desarrollo de las prácticas de enseñanza y la gestión del conocimiento. Este conjunto permite, luego, conceptualizar la realidad pedagógica. El análisis de las observaciones realizadas lleva a constituir los datos que se han logrado; además se incluyen y observan diversos aspectos relacionados con la metodología empleada en clase, la práctica docente, las concepciones de enseñanza, los tipos de conocimiento además del análisis de lo real y lo planificado. Esto nos conduce a un buen diagnóstico de la situación.

Los datos que se logran permiten establecer algunas consideraciones. En base a ello tenemos que reconocer que la clase universitaria cuenta con dos dimensiones esenciales: el desempeño del docente en la clase y su pensamiento con respecto a la enseñanza. El profesor actúa buscando buen nivel en sus alumnos, lo que a la vez le permite lograr buen desempeño. Al mismo tiempo, mediante prácticas metodológicas transforma al conocimiento tácito en explícito ubicándolo en una nueva dimensión. Así comienza la producción de conocimiento en donde el estudiante comienza a pensar críticamente, autorregulando su aprendizaje. Es importante, en todas las etapas, estar cerca del saber del docente, quien conoce y maneja los contenidos de su asignatura ya que domina los procesos pedagógicos. El docente no puede enseñar algo que no sabe ni dar ejemplos de lo que no es.

Por otra parte, el profesor elabora un diag-

nóstico actualizado de la situación real de sus alumnos, lo que pasa a ser la base de su modelo de gestión. Luego establece objetivos concretos y cuantificables para poder lograr objetivamente el grado de cumplimiento de los mismos. Es factible observar que algunos docentes plantean con buena definición las acciones que van a realizar, de acuerdo con los objetivos antes definidos. Mientras que otros profesores elaboran un panel con los indicadores empleados para diagnosticar y trabajar sobre la situación de la clase, dentro de toda su realidad. Logramos establecer un conjunto de sugerencias para el profesor como resultado de observaciones, comprobaciones y consideraciones, tanto de la clase, como del desempeño docente. De este modo, y de acuerdo con lo expresado podemos conceptualizar nuestro marco teórico, sustentados en observaciones prácticas.

Reflexiones finales

La gestión del conocimiento es un proceso de conversión y de cambio. Lo singular de la universidad es que su misión básica es transmitir conocimiento, y su divulgación es el elemento sustantivo de la organización. Al respecto, Bolívar [6] señala que la principal barrera para utilizar el conocimiento está marcada por la inercia de la institución, ya que su rigidez no favorece la fluidez y uso del conocimiento. La universidad es, entonces, no solo el lugar de trabajo sino un espacio privilegiado para el aprendizaje profesional, ya que se constituye un contexto de lo sabido del mismo modo que un contexto de experimentación del cambio, de lo por saber.

Consideramos que el profesor universitario tiene que ser consciente de que el conocimiento es un factor distintivo de diversas instituciones, por lo que debe dedicarse a gestionarlo en el aula universitaria. Es necesario aumentar los esfuerzos reales, prácticos, factibles y aplicables que reorienten las actividades en el aula y dinamicen el rol del docente y del alumno. Es necesario asumir el cambio y pasar del énfasis de los resultados a un verdadero desarrollo de procesos; apoyamos el acercamiento real entre la práctica y la teoría institucional para que aprender a aprender se perfile como el paradigma educativo de nuestra actualidad. Coin-

cidimos con Zabalza [7] quien expresa que el docente tiene una ardua tarea que desempeñar, y lo que es más complicado aún, tiene que lograrlo con éxito, responsabilidad y compromiso con sus alumnos, con la institución y hasta con la sociedad. El docente con compromiso tiene que preparar a sus alumnos para que participen reflexivamente en la vida universitaria. A la vez, este profesor, necesita poseer una doble competencia: competencia científica, con dominio de lo que enseña y dominio del ámbito científico y académico que cubre y una competencia pedagógica, comprometida con la formación y aprendizaje de sus alumnos. Tiene que cumplir con su rol de guía y facilitador del aprendizaje, empleando las herramientas tecnológicas disponibles. Lo que el profesor hace en su clase, es consecuencia de lo que piensa y siente. A la vez, tiene que insertar dentro de su práctica pedagógica los pilares fundamentales del conocimiento para aprender haciendo y enseñar aprendiendo.

Para concluir, proponemos como líneas prioritarias del profesor universitario un cambio en la docencia, pasando de una docencia basada en la enseñanza a una docencia centrada en el aprendizaje. El profesor tiene que convertirse en un profesional del aprendizaje, con el rol de facilitador, y no limitarse a transmitir conocimientos. Se debe aplicar el método de investigación acción como propuesta de calidad docente y de mejora profesional. El docente tiene que reconocer que la enseñanza produce cambios conceptuales; el aprendizaje transforma el pensamiento y las actitudes, no es solo acumulación de saberes. Es un proceso de absoluta transformación que permite que el estudiante se adapte a la sociedad actual y se convierta en un profesional capaz y preparado.

Referencias

- [1] LARREA ABÁSULO, M.A. (2011). La gestión del conocimiento y la universidad del futuro. Revista Infaces. Vol. 17 N°1: 21-31.
- [2] LYNN, G. S., MORONE, J. G. y PAULSON, A. S. (1996). Marketing and discontinuous innovation. California Management Review. EEUU. Vol. 8: 8-37.
- [3] BRICALL, J. M. y BRUNER J. J. (2000). Universidad Siglo XXI, Europa y América Latina. Oc-

taedro. España.

[4] BAIN, K. (2007). Lo que hacen los mejores profesores universitarios. Universidad de Valencia, Valencia, España.

[5] FREIRE, P. (1979). Educación y cambio. Ed. Búsqueda. Buenos Aires.

[6] BOLIVAR, A. (2001). Los centros educativos como organizaciones que aprenden. Contexto Educativo. Año 3 N°18: 195-205.

[7] ZABALZA, M. (2007). Competencia docente del profesor universitario. Ed. Narcea. Madrid, España.

Nuevas arquitecturas NOSQL para el trabajo con gran cantidad de datos

Giovanni Daián Róttoli¹, Marcelo López Nocera² y María Florencia Pollo-Cattaneo³

Resumen

Las bases de datos tradicionales, de arquitectura relacional, se han estado utilizando durante los últimos años para resolver cualquier problema asociado al almacenamiento y consulta de datos. Sin embargo, con la llegada de Big Data, se presentan nuevos desafíos que estas tecnologías no han podido resolver de manera eficiente. El surgimiento de las bases de datos NoSQL plantea una solución a estas cuestiones. El presente artículo detalla las características de estas soluciones, y un estudio para determinar en qué caso se obtiene mejores resultados, al utilizar estas nuevas arquitecturas trabajando con cantidades masivas de datos.

Summary

Traditional databases, with relational architecture, have been used in the last years to solve any kind of problem related to data storage and management. However, with the arrival of Big Data, new challenges appeared and with these technologies couldn't be efficiently solved. The rise of NoSQL data bases can set a solution to these issues. This article describes the features of these solutions, and introduces a study that determines which case gives the best result, by using these new architectures to work with massive quantities of data.

1. Introducción

Las bases de datos tradicionales parecen no ofrecer soluciones eficientes para un variado universo de nuevos problemas que surgen con la llegada de Big Data (por caso, el análisis en línea de los datos de redes sociales). Esta situación generó el surgimiento de nuevas tecnolo-

Grupo de Estudio en Metodologías de Ingeniería de Software. Facultad Regional Buenos Aires UTN

1. Estudiante Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Concepción del Uruguay UTN
gd.rottoli@gmail.com

2. Magister en Ingeniería en Sistemas de Información y Licenciado en Ciencias Aplicadas, Facultad Regional Buenos Aires UTN. zappapet@yahoo.com

3. Magister en Ingeniería en Software ITBA-UPM. Facultad Regional Concepción del Uruguay y Facultad Regional Concepción del Uruguay UTN.
flo.pollo@gmail.com

gías para el almacenamiento de datos, que se engloban dentro del concepto de NoSQL [1].

El primer problema general no resuelto por las bases de datos relacionales, es el de la discordancia de la impedancia (Impedance Mismatch) [1], es decir, la diferencia entre el modelo relacional y las estructura de datos en memoria, lo que implica una traducción necesaria entre ambas representaciones.

Otro problema se relaciona con el hecho de que las estructuras relacionales se basan en tuplas o filas que solo pueden contener tipos de datos simples o primitivos. Otras estructuras de representación de datos, tales como las listas o registros anidados, no son posibles de utilizar dentro de una tupla. Muchas tecnologías NoSQL permiten el uso de estos agregados [2].

Por otra parte, Big Data (BD) trajo consigo el problema del escalamiento del almacenamiento físico de la base de datos, el cual ha tomado dos rumbos: hacia afuera, o hacia arriba. En este último, la necesidad de escalar a servidores

cada vez más grandes y de mayor potencia es evidente, crecimiento que es caro y muy limitado [3]. La solución resulta en la utilización de muchas máquinas pequeñas en clúster, arquitectura que resulta más barata y resiliente (el clúster continua funcionando si un nodo resulta con problemas). Sin embargo, las tecnologías relacionales no fueron diseñadas para ejecutarse sobre clústeres, lo que llevó a que grandes compañías como Google (www.google.com) o Amazon (www.amazon.com), desarrollen sus propias soluciones NoSQL [3].

En el presente trabajo, se define en detalle el problema a tratar, para analizar los datos obtenidos utilizando tecnologías tanto SQL como NoSQL, aplicando esta última en una prueba de concepto para su validación.

2. Definición del Problema

El término NoSQL se hace conocido en el 2009, haciendo referencia a bases de datos que no utilizan el lenguaje ANSI SQL estándar para sus consultas [1], tratándose usualmente de proyectos de código abierto, capaces de correr sobre clústeres, con arquitecturas de procesamiento distribuido y que siguen modelos de datos distintos al modelo relacional tradicional.

Estas tecnologías operan sin un esquema, permitiendo agregar campos libremente a los registros de la base de datos, sin tener que definir cambios en la estructura previamente.

NoSQL es más un movimiento, una nueva tendencia, que una tecnología [4]. De hecho, coexisten varias tecnologías, varios modelos de datos y varios tipos de bases de datos distintas bajo el término NoSQL.

Las dos principales razones para utilizar la tecnología NoSQL son [1]:

- Para mejorar la productividad del programador utilizando la base de datos que mejor partido saque de una aplicación.
- Para mejorar el rendimiento de acceso a datos a través de una combinación de manejo de mayor volumen de datos, reduciendo el tiempo de latencia y mejorando el rendimiento.

Sin embargo, con datos de estructura homogénea y con una cantidad relativamente pequeña, el almacenamiento tradicional con una arquitectura relacional sigue siendo muy

eficiente, con lo cual se pueden adoptar las dos arquitecturas en paralelo. Esto se conoce como la persistencia políglota [5], es decir, el uso de diferentes almacenamientos de datos en distintas circunstancias. Por ejemplo, utilizar una base de datos relacional para integración de datos, y una NoSQL para las aplicaciones con la utilización de servicios Web, lo cual permite acceso más rápido y eficiente a grandes cantidades de datos en línea.

En cuanto al modelo de datos no relacional utilizado por NoSQL, el más difundido es el denominado agregado. De hecho, tres de las cuatro tipos de bases de datos NoSQL existentes (Clave-Valor, Documentos, Columna-Familia y Grafos), lo utilizan. A diferencia de la tupla relacional, que solo permite campos con valores simples, el agregado consta de "registros" que permiten la utilización de estructuras complejas dentro de ellos, tales como registros (en el sentido tradicional), listas, arreglos, entre otros. Un ejemplo de esta situación se puede ilustrar con un cliente que posea una lista de pedidos: un solo registro con un arreglo de productos lo puede implementar. Por otro lado, esta implementación no es estática, pudiendo cambiar el enfoque a una lista de facturas, con sus importes, cabecera y detalle, si así lo requiere, en cualquier momento.

Como nueva propuesta, NoSQL se muestra apto para solucionar los problemas que surgen en el tratamiento cotidiano de datos, entre los cuales se puede definir: dificultad para escalar la base de datos [6], [7], [8], bajo rendimiento para grandes volúmenes de datos [1], [6], [7], [8], necesidad de paralelismo de procesamiento [1], [2], [4], discordancia de la Impedancia (los datos en memoria tienen una estructura distinta a la que se almacena en la base de datos física) [1], [5], [9], dinamismo de las estructuras [1], [6], [7], [8] y finalmente, la complejidad del modelado [1], [2], [4]. Teniendo en cuenta todos estos problemas, se puede relevar y analizar comparativamente la capacidad de respuesta de las diversas tecnologías NoSQL. El resultado de dicho análisis se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Problemas resueltos por cada tipo de tecnología NoSQL

| Problema | Clave-Valor | Columna-Familia | Documentos | Grafos |
|--|-------------|-----------------|------------|--------|
| Dificultad para escalar la base de datos | X | X | X | |
| Bajo rendimiento para grandes volúmenes de datos | X | X | X | |
| Necesidad de paralelismo de procesamiento | X | X | X | X |
| Discordancia de la Impedancia | | | X | X |
| Dinamismo de las estructuras | | | X | |
| Complejidad del modelado | X | X | X | |

Se observa que no todas las tecnologías resuelven todos los problemas y que más de una solución podría aplicarse a un mismo problema, lo que da lugar al ya mencionado concepto de la persistencia polígota [5] [9].

Los principales puntos clave de la persistencia polígota son:

- Implica el uso de diferentes tecnologías de almacenamiento de datos para manejar las diversas necesidades de almacenamiento de los mismos.
- Puede aplicarse para la totalidad de los datos de una empresa o para un subconjunto de ellos.
- El encapsulamiento del acceso a los datos en servicios Web reduce el impacto de almacenamiento de datos en otras partes de un sistema.
- La incorporación de otras tecnologías de almacenamiento de datos aumenta la complejidad en programación y las operaciones, por lo que las ventajas de un buen almacenamiento de datos debe sopesarse con esta complejidad.

Al surgir NoSQL, se pensó que resolvía todos los problemas, incluso los que resuelve SQL tradicionalmente también. Pero no está demostrado que esto sea así [5].

En este contexto, el presente trabajo propone un estudio comparativo del rendimiento para carga y lectura masiva de datos en situaciones diversas para cada una de las distintas tecnologías NoSQL, verificando la conveniencia de elegir una en particular u optar por la persistencia polígota.

3. Solución Propuesta

Para dar respuesta a la problemática definida en la sección 2, se han postulado anteriormente varias soluciones parciales [9]. De hecho, estos problemas se han tratado siempre con SQL

[10]. Las soluciones encontradas son eficientes al considerar aspectos puntuales del problema pero, presentan inconvenientes al intentar aplicarlas en un todo [9].

Para verificar la validez, o no, de la utilización de una tecnología NoSQL, se propone un modelo de experimentación (banco de pruebas) para analizar la performance con SQL, y con cada una de las cuatro tecnologías NoSQL, para varios casos de carga masiva y recuperación de datos. El banco de pruebas propuesto se encuentra formado por un universo de 1.000.000 de datos de personas consideradas como clientes de un comercio, 100 datos de productos de una base de stock, 1.000.000 de datos de amistades extraídos de redes sociales y 1.000.000 de datos de compras. Posteriormente, se analizó la performance de carga y de lectura de esos datos para un motor SQL (PostgreSQL) y para cuatro motores NoSQL, como son Redis (Clave-Valor), MongoDB (Documentos), Cassandra (Columna-Familia) y Neo4J (Grafos), y se determinó en qué casos es mejor cada opción. Los resultados experimentales se detallan a continuación en la Sección 4, correspondiente a la prueba de concepto.

4. Prueba de Concepto

4.1. Herramientas de bases de datos utilizadas

Las herramientas de bases de datos utilizadas fueron:

- PostgreSQL 9.3 con PgAdmin III, para la tecnologías Relacional
- MongoDB 2.6 con RoboMongo 0.8.4, para la tecnología NoSQL Documental
- Redis 2.8.11, para la tecnología NoSQL Clave-Valor
- Neo4J 2.1.2, para la tecnología NoSQL de Grafos
- Cassandra 2.0.8, para tecnología NoSQL de tipo Columna-Familia.

Se utilizó programas realizados en Python 2.7.5 para la realización de las consultas, utilizando los controladores existentes para tal fin, tales como PyMongo, Redis-Py y Pycassa.

4.2. Procedimiento

En primer lugar, se generaron datos de acuerdo al diagrama de entidades de la Figura



1, en las cantidades de 1.000.000 (un millón) de Personas, 1.000.000 (un millón) de Compras, 1.000.000 (un millón) de relaciones de Amistad, y 100 (cien) Productos. [11]

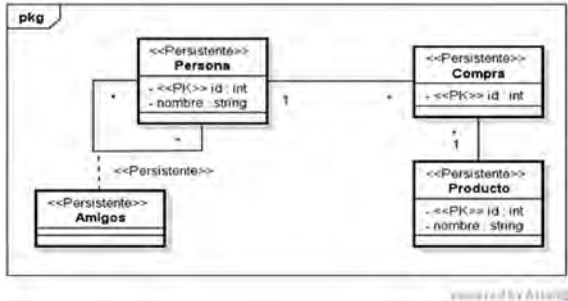


Figura 1: Diagrama de Entidades utilizado para las pruebas

Para la generación de los datos, se utilizó un programa realizado en Python para tal fin, creando archivos CSV que serían accedidos y leídos posteriormente, de manera masiva, utilizando las distintas herramientas que proveen tanto Python como los controladores utilizados, para ser cargados a los distintos motores de bases de datos [11][12].

En cada situación, y debido a las características particulares de cada tipo de tecnología de base de datos, fue necesario adaptar el modelo original para poder ajustarse a los requerimientos de cada una, manteniendo la naturaleza de las relaciones. De esta forma, por ejemplo, en el modelo documental se utilizó la referencia entre documentos mediante claves únicas, no utilizando su particularidad de documentos anidados, para mantenerse fiel a la estructura de la Figura 1. De igual manera, sucedió en cada una de las bases de datos NoSQL utilizadas.

Una vez finalizada la tarea anterior, se realizó una consulta en cada base de datos, para ubicar los productos comprados por los amigos de una determinada persona. Una vez más, se utilizó Python para realizar el programa de consulta y los controladores ya mencionados, al no poder realizar operaciones de INNER JOIN directamente en las tecnologías NoSQL, particularidad de este tipo de bases de datos [12].

La evaluación de los tiempos se realizó sin incluir el tiempo de conexión ni las operaciones del resto del programa, tales como la recuperación de datos desde los archivos CSV, contem-

plando solamente el código directamente relacionado con la consulta.

4.3. Resultados obtenido por la aplicación del procedimiento

A partir de la aplicación del procedimiento descrito en 4.2, se realizaron las mediciones de los tiempos correspondientes para cada una de las diferentes actividades planificadas.

Los resultados de los tiempos obtenidos se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados obtenidos al aplicar el procedimiento (medidos en segundos)

| Modelo | Base de Datos | Personas | Productos | Compras | Amigos |
|-----------------|---------------|----------|-----------|---------|---------|
| RDBMS | PostgreSQL | 11.617 | 0.011 | 84.019 | 44.256 |
| Clave-Valor | Redis | 59.5927 | 0.055 | 77.301 | 63.890 |
| Documentos | MongoDB | 28.195 | 0.014 | 26.269 | 29.659 |
| Columna-Familia | Cassandra | 495.303 | 0.124 | 450.174 | 496.176 |
| Grafos | Neo4J | 62.153 | 0.655 | 176.173 | 108.956 |

Se observa que, para el caso de las Personas (columna 3), la mejor solución fue SQL. El modelo documental (fila 4) sigue en segundo lugar (pero duplica el tiempo utilizado); mientras que los tres modelos restantes arrojan valores muy altos.

Para las Compras (columna 5), el modelo de mejor rendimiento resultó se Documentos (fila 4), al igual que para el caso de los Amigos (columna 6), donde se puede observar que Columna-Familia (fila 5) y Grafos (fila 6) nuevamente se encuentran alejados del rango de tiempos.

Para el caso de la Consulta (columna 7) el modelo más eficiente resultó Clave-Valor (fila 3), debido a sus características de implementación sobre memoria volátil. En este caso, Grafos (fila 6) sigue estando lejos de los valores menores. Sin embargo, para el caso de los Productos (columna 4), tanto SQL como Documentos obtuvieron resultados semejantes.

5. Conclusiones

Con la llegada de las tecnologías NoSQL surge la necesidad de experimentar sobre la verdadera utilidad, en cuanto a performance, de las mismas, sometidas a diversas situaciones.

Como resultado del trabajo realizado se confirma experimentalmente que, la mejor solución a adoptar para encarar de un modo global la gestión de bases de datos con cantidades masivas de información, es la persistencia polígota,

es decir, la coexistencia de RDBMS y NoSQL, utilizando cada una en la situación que resulte con mejor rendimiento en función a la estructura de los datos que se posee, considerando además las características propias de cada tipo de solución.

Como futuras líneas de trabajo, se prevé definir otros casos similares con mayor cantidad de datos, o bien casos con otras categorías y tipos de datos para obtener validaciones empíricas de los mismos.

Otras líneas de trabajo volcadas hacia lo técnico serían repetir el procedimiento anterior con un juego de datos sin normalizar, adaptándose a las características propias de cada tipo de solución, o bien con otros motores, tanto SQL (Microsoft SQL Server, Oracle, MySql, etc.) como NoSQL, sea Clave-Valor (BerkeleyDB, LevelDB, Memcached, Voldemort, Riak, etc.), Documentos (CouchDB, OrientDB, RavenDB, Terrastore, etc.), Columna-Familia (SimpleDB de Amazon, HBase, Hypertable, etc.) o Grafos (FlockDB, Infinite Graph, HyperGraphDB, etc.). Incluso se podría repetir el procedimiento con un equipamiento de nodo único pero más potente, o directamente en clúster.

6. Referencias

[1] SADALAGE, Pramod y FOWLER, Martín. (2013). NoSQL Distilled, A Brief Guide to the Emerging World of Polyglote Persistence. Addison-Wesley. 1ra Edición. Boston, USA.

[2] HECHT, Robin; JABLONSKI, Stefan. (2011). NoSQL Evaluation: A Use Case Oriented Survey. 2011 IEEE International Conference on Cloud and Service Computing. Pages 336-341. Hong Kong, China. 2011.12.12-2011.12.14. ISBN: 978-1-4577-1637-9/11.

<http://rogerking.me/wp-content/uploads/2012/03/DatabaseSystemsPaper.pdf> (verificado el 11-03-2015)

[3] LÓPEZ, David. (2012). Análisis de las posibilidades de uso de Big Data en las organizaciones, Manuscript. Universidad de Cantabria. Santander, España. 75p. On-Line:

<http://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/4528/TFM%20-%20David%20L%C3%B3pez%20Garc%C3%ADa.pdf?sequence=1> (verificado el 11-03-2015)

[4] RAMÍREZ ARÉVALO, Helio Henry; HERRERA, Cubides; FRANCINED, John. (2013). Un viaje a través de bases de datos espaciales. *Redes de Ingeniería* 4(2): 57-69. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. ISSN: 2248-762X. On-Line:

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/REDES/article/view/5923/7426> (verificado el 11-03-2015)

[5] NAYAK, Ameya; PORIYA, Anil; POOJARY, Dikshay. (2013). Types of NOSQL Databases and its Comparison with Relational Databases. *International Journal of Applied Information Systems (IJ AIS)* () 5(4): 16-19. Foundation of Computer Science FCS. New York, USA. ISSN: 2249-0868 On-Line: <http://research.ijais.org/volume5/number4/ijais12-450888.pdf> (verificado el 11-03-2015)

[6] STRAUCH, Ch.(2011). NoSQL Databases. Lecture Selected Topics on Software-Technology Ultra-Large Scale Sites, Manuscript. Stuttgart Media University, 2011, 149 p. On-Line: <http://www.christof-strauch.de/nosql dbs.pdf> (verificado el 11-03-2015)

[7] DEL BUSTO, Hansel Gracia; ENRIQUEZ, Osmel Yanes. (2012). Bases de datos NoSQL. *Revista Telem@tica*. 11(3): 21-33. ISSN 1729-3804. On-Line:

<http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/74/74> (verificado el 11-03-2015)

[8] BUGIOTTI, Francesca; CABIBBO, Luca. (2013). A Comparison of Data Models and APIs of NoSQL Data Stores. Dipartimento d'Ingegneria dell'Università di Roma. Roma. On-Line:

<http://www.bugiotti.it/downloads/publications/noamSEBD13.pdf> (verificado el 11-03-2015)

[9] NANCE, Cory; LOSSER, Travis, IYPE, Reenu; HARMON, Gary. (2013). NoSQL vs. RDBMS - why there is room for both. Proceedings of the Southern Association for Information Systems Conference. Pages 111-116. Savannah, GA, USA. On-Line: <http://sais.aisnet.org/2013/Nance.pdf> (verificado el 11-03-2015)

[10] MANNINO, M. (2007). Administración de Base de Datos. MCGRAW-HILL Interamericana. 3ra Edición. ISBN: ISBN 978-970-10-6109-1

[11] RÓTTOLI, Giovanni Daián. (2014).

Datos para Comparativa de Carga y Consulta en Bases de Datos NoSQL. Argentina. On-Line: <https://drive.google.com/file/d/0B7rpYh0QA1xgYmt5UXhITE0wbzQ/view?usp=sharing> (verificado el 11-03-2015)

[12] RÓTTOLI, Giovanni Daián. (2014). Utilización de No SQL para resolución de problemas al trabajar con cantidades masivas de datos (Anexos A y B). Argentina. On-Line: <https://drive.google.com/file/d/0B7rpYh0QA1xgNjl4RmF4VWIZUUK/view?usp=sharing> (verificado el 11-03-2015)

Reconstrucción de volúmenes RAID

Hugo Curti¹, Ariel Podestá², Bruno Constanzo², Juan Ignacio Iturriaga² y Martín Castellote²

Resumen

La proliferación de entornos distribuidos en la informática ha generado un cambio de paradigma que influye prácticamente en todas las actividades asociadas, incluso la informática forense.

El Grupo de Investigación de Sistemas Operativos e Informática Forense de la Facultad de Ingeniería de la Universidad FASTA ha desarrollado un Proceso Unificado de Recuperación de Información (PURI) que sirve de guía, tanto a informáticos forenses como operadores judiciales, en los pasos a seguir para recuperar la información almacenada digitalmente en un equipo de computación.

Se presenta en este trabajo una propuesta de los pasos a seguir por los informáticos forenses en el caso particular de encontrarse con un arreglo de discos RAID, del que se desconoce su estructura, al cual se le debe realizar una pericia.

Palabras clave: recuperación de información - arreglos RAID - informática forense

Abstract

The proliferation of distributed environments in information technology has generated a paradigm shift that affects practically in every associated activities, even digital forensics. The Operating Systems and Digital Forensics Research Group of Universidad FASTA has developed a Unified Process for Information Recovery (PURI) which serves as guide, both for digital forensics experts and judicial employees, in the steps to follow to recover the information that is digitally stored in a computer.

This work proposes the steps that a digital forensics expert must follow in the special case of finding a RAID array, from which they do not know its structure, that must be examined.

Ingenieros en Informática

1. Universidad FASTA y Universidad Nacional del Centro. hcurti@gmail.com

2. Universidad FASTA - arielpodesta@gmail.com, arielpodesta@gmail.com, Juan@ufasta.edu.ar, tinchocapoeira@ufasta.edu.ar

Keywords: information recovery - RAID arrays - digital forensics

Introducción

El Grupo de Investigación en Sistemas Operativos e Informática Forense de la Universidad FASTA lleva desde el año 2011 trabajando para definir y mejorar un Proceso Unificado de Recuperación de Información (PURI)[1]. Éste trabajo inicial se extendió para adaptarlo y aplicarlo tanto a Smart-phones como a Sistemas Distribuidos.

Durante el desarrollo de este proceso se detectaron aspectos de informática forense con fuertes carencias de herramientas y técnicas, que fueron llamados “nichos carentes”[2]. Múltiples proyectos finales de alumnos de la universidad FASTA se enfocaron en estos aspectos a fin de brindar soluciones a estas necesidades[3][4].

En el estudio de los Sistemas Distribuidos y entornos de “Cloud Computing” se analizaron cuestiones específicas de entornos de computación distribuida, ya sean servidores, máquinas virtuales o sistemas en la nube. Un aspecto de especial interés, tanto por el desafío técnico como por la necesidad de los peritos informáticos, fue la reconstrucción de arreglos de discos.

El uso de arreglos RAID, en sistemas de mediano a gran tamaño, presenta varios desafíos a los informáticos forenses, entre los que se en-

cuentran el no contar con la capacidad de almacenamiento para realizar una adquisición completa del volumen RAID, que la adquisición del arreglo RAID no haya seguido un procedimiento adecuado para obtener la información completa, o que exista daño físico en el sistema. Si no se siguen los procedimientos correctos el resultado es una pila de discos (o imágenes de discos) potencialmente sin valor para la investigación judicial, ya que sería complicado acceder a la información en forma coherente.

En este trabajo se van a exponer conceptos básicos de RAID y sistemas de archivos, plantear una situación de problema, un entorno de pruebas y una técnica propuesta para realizar la reconstrucción de un arreglo RAID.

Marco teórico

Arreglos RAID

RAID (Redundant Array of Independent Disks) es una tecnología que permite combinar múltiples dispositivos de almacenamiento y los presenta al host como un solo volumen virtual[5] [6]. RAID establece una sinergia entre los dispositivos que conforman el arreglo, brindando las siguientes ventajas:

-Rendimiento: el funcionamiento en conjunto de los múltiples dispositivos abre la posibilidad de realizar operaciones de lectura y escritura en forma paralela, que no serían posibles si se tratara de un único dispositivo.

Velocidad: se logra una mayor tasa de transferencia al distribuir las lecturas y escrituras en múltiples dispositivos.

Operaciones E/S por segundo: cuando se puede paralelizar el acceso a las tramas en distintos discos se puede responder mayor cantidad de operaciones pequeñas sobre los discos.

-Tolerancia a fallos: RAID, en algunos de sus modos de operación, permite tener redundancia en los datos. En estos casos la falla de un disco no compromete la información, pero el rendimiento se ve degradado hasta reemplazar el dispositivo y restaurar el arreglo.

-Capacidad: como consecuencia de combinar los dispositivos, se obtiene un dispositivo virtual de igual o mayor tamaño que cada uno de los dispositivos individuales.

-Economía: éstas características se obtienen de combinar discos reales con un costo relativamente bajo. Si se buscara un dispositivo único real con las mismas características que un arreglo de discos, en caso de existir, probablemente sería mucho más costoso.

Dependiendo la configuración de RAID que se utilice, se refuerzan en mayor o menor medida estos aspectos. Como se verá más adelante, hay configuraciones que sacrifican la capacidad de almacenamiento por redundancia, o al revés, sacrifican la redundancia por mayor capacidad de almacenamiento. También hay configuraciones que establecen un balance entre capacidad y redundancia, a un costo de rendimiento.

Los metadatos de configuración de los discos que componen un arreglo RAID se almacenan en una estructura llamada superbloque RAID, o estructura DDF según la nomenclatura del SNIA[7]. Esta estructura guarda la información relevante para determinar a qué arreglo y unidad virtual pertenece cada disco, y los parámetros de configuración, como tipo de paridad, tamaño de banda, caché, entre otros.

La especificación de RAID define siete niveles de RAID. A continuación se detallarán los cuatro niveles más utilizados:

RAID 0: los discos del arreglo RAID se fraccionan en tramas (chunks) de acuerdo a bandas, también llamadas stripes, lo que permite utilizar los discos en paralelo para realizar operaciones de lectura/escritura en cada disco. Este nivel de RAID brinda excelente rendimiento, pero no cuenta con redundancia de datos.

RAID 1: también llamado “arreglo espejo”, define un disco de datos y uno o más discos espejo. Los discos espejo son copias idénticas del disco de datos y pueden reemplazarlo automáticamente si ocurre una falla. Este nivel de RAID permite la lectura en paralelo de las partes espejadas, pero la ventaja principal de este modo es que realiza un “respaldo automático” del disco de datos que permite proteger la información de la rotura física de todos menos uno de los discos que componen el arreglo.

RAID 5: los discos del arreglo RAID se fraccionan en bandas, lo que permite realizar lectura y escritura en paralelo en los múltiples discos. Para cada banda, el segmento que corresponde

a cada disco se denomina chunk, y se calcula una función XOR de los N-1 chunks de datos de la banda. El chunk de paridad se distribuye entre discos para distintas bandas del arreglo, y así se evita que uno solo de los discos cargue con la tarea de escritura asociada con el almacenamiento de paridad. Esto permite un mejor rendimiento de todo el arreglo, ya que el uso de los discos tiende a ser uniforme. Los chunks de paridad permiten al arreglo soportar la falla de uno de los discos y continuar funcionando en forma degradada, a la espera del cambio del disco, y reconstruir el disco perdido cuando haya un reemplazo disponible. RAID 5 es un balance entre capacidad, rendimiento y redundancia de datos.

RAID 6: puede considerarse como una variante de RAID 5 en donde se calculan dos funciones de paridad distintas, lo que permite recuperar el arreglo con la falla de dos discos. Nuevamente, es un balance entre capacidad, rendimiento y redundancia, más resistente a fallas que RAID 5. En particular, este nivel de RAID permite recuperarse del caso donde se produce la rotura de un segundo disco durante la reconstrucción.

En los niveles 5 y 6 es necesario además especificar cómo se van a distribuir los chunks de paridad entre las distintas bandas. Usualmente se aplican tres algoritmos estándar[8]: Left Asymmetric, Left Symmetric y Right Asymmetric, La diferencia entre las tres radica en el modo en el que se distribuye la paridad y el orden de los chunks de datos en cada banda, tal como se muestra en la Ilustración 1.

| Left Asymmetric | | | | | Left Symmetric | | | | | Right Asymmetric | | | | |
|-----------------|----|----|----|----|----------------|----|----|----|----|------------------|----|----|----|----|
| Banda | A | B | C | D | Banda | A | B | C | D | Banda | A | B | C | D |
| Banda 0 | 0 | 1 | 2 | P | Banda 0 | 0 | 1 | 2 | P | Banda 0 | P | 0 | 1 | 2 |
| Banda 1 | 3 | 4 | P | 5 | Banda 1 | 4 | 5 | P | 3 | Banda 1 | 3 | P | 4 | 5 |
| Banda 2 | 6 | P | 7 | 8 | Banda 2 | 6 | P | 8 | 7 | Banda 2 | 6 | 7 | P | 8 |
| Banda 3 | 9 | 10 | 11 | P | Banda 3 | 9 | 10 | 11 | P | Banda 3 | 9 | 10 | 11 | P |
| Banda 4 | 12 | 13 | 14 | P | Banda 4 | 12 | 13 | 14 | P | Banda 4 | P | 12 | 13 | 14 |
| Banda 5 | 15 | 16 | P | 17 | Banda 5 | 15 | 16 | P | 15 | Banda 5 | 15 | P | 16 | 17 |
| Banda 6 | 18 | P | 19 | 20 | Banda 6 | 20 | P | 19 | 18 | Banda 6 | 18 | 19 | P | 20 |

Ilustración 1 - Distribución de chunks de datos y chunks de paridad (P) de acuerdo a los distintos algoritmos, para un arreglo compuesto por cuatro discos.

RAID puede implementarse tanto por software como por hardware. Las implementaciones de RAID por software permiten flexibilidad y brindan las ventajas de los distintos niveles, usualmente a un costo de rendimiento ya que las tareas de administración de los discos y cálculo de paridades deben llevarlas

a cabo el sistema operativo, introduciendo al procesador como parte del camino crítico del sistema de almacenamiento.

En el caso de un RAID implementado por hardware se pierde algún grado de flexibilidad, pero se gana en rendimiento: el sistema operativo delega en la controladora RAID las tareas de administración y cálculo, y se expone al host la controladora como uno o varios discos virtuales. Además, las controladoras RAID pueden implementar cachés de escritura y circuitos específicos para el cálculo de las funciones de paridad, que permiten acercar el arreglo al desempeño máximo teórico.

Particiones, MBR y GPT

Los discos, tanto reales como virtuales, deben particionarse para formatear la partición con un sistema de archivos. Las particiones son exactamente eso, partes de un disco completo a las que se le asigna un sistema de archivos configurado con parámetros determinados. En la década de 1980 IBM definió el Master Boot Record (MBR) como un sector del disco en el cual guardar código del cargador de arranque (bootloader) e información de las particiones del disco, que permite definir 4 particiones, almacenar unos 400 bytes de código de arranque y manejar particiones de hasta 2 TiB de tamaño. Con el paso de los años se fueron haciendo extensiones y modificaciones a MBR, pero era claro que el estándar necesitaba un reemplazo.

GPT (GUID Partition Table), definido por Intel, reemplaza a MBR, permitiendo definir cientos de particiones, y al utilizar 64 bits para almacenar el tamaño, su tamaño puede ser de hasta 8 ZiB. Además, GPT está diseñado para ser compatible con MBR y facilitar la transición. Actualmente casi todos los sistemas informáticos modernos utilizan GPT para definir su tabla de particiones.

El concepto de particiones es importante para la reconstrucción de un RAID porque el enfoque de éste trabajo se concentra en particiones tipo NTFS. Si hay una partición NTFS presente en el arreglo RAID, es posible aplicar la técnica y deducir el orden de los discos para todo el arreglo.



Conceptos NTFS

New Technology File System (NTFS), es un sistema de archivos desarrollado por Microsoft para sus sistemas operativos que presenta características especiales[9] que facilitan la técnica de reconstrucción de arreglos RAID planteada en este trabajo.

En NTFS todo el volumen se encuentra compuesto por bloques. El tamaño de dichos bloques es establecido al momento de la creación del sistema de archivos y siempre corresponde a un múltiplo de dos por el tamaño del sector de disco. A su vez cada bloque puede contener información válida de un solo archivo.

Una particularidad realmente distintiva de NTFS es que en él "todo es un archivo". Toda información válida dentro del volumen se encuentra contenida en un archivo, incluso la misma tabla de archivos y el sector de arranque. Así, todos los metadatos y estructuras de administración del sistema de archivos están comprendidos en archivos del sistema. Probablemente el archivo de sistema más relevante es la Master File Table (tabla de archivos), identificada con el nombre \$MFT. Esta tabla, por el hecho de encontrarse implementada como un archivo, presenta las mismas características que cualquiera de ellos. Por ejemplo, puede ubicarse en cualquier sector del volumen, crecer dinámicamente o incluso hallarse fragmentada.

La MFT cuenta con un registro por cada archivo o directorio contenido en el volumen al que pertenece. Esto no excluye a los archivos de sistema. De esta manera también existe un registro referente a la misma tabla, denominado \$MFT, y un registro al archivo que contiene el sector de arranque del volumen denominado \$Boot, entre otros. La MFT se implementa como una secuencia de registros de tamaño fijo (1024 bytes) que representan los metadatos de cada archivo o directorio en el sistema, lo que brinda la oportunidad de utilizarla como recurso en la reconstrucción de un arreglo de discos.

Cada registro se compone de un encabezado y una estructura dinámica de atributos no necesariamente presentes en todos los registros. A su vez, cada atributo también se materializa mediante un encabezado y contenido dinámicos. Esto haría pensar que el tamaño del regis-

tro también debería ser dinámico pero no lo es. Cuando los datos de los atributos no caben en los 1024 bytes asignados por registro, se almacenan direcciones a bloques de contenido en lugar del contenido en sí. En este caso el contenido se denomina "no residente" por el hecho de que el dato no reside en la misma tabla \$MFT.

Para el método de reconstrucción de discos que se verá más adelante, lo que interesa de la MFT son los datos del encabezado de cada registro. Entre otros datos cada uno de ellos cuenta con un identificador: el número de registro MFT. Este identificador se encuentra implementado como un número entero de 4 bytes que crece secuencialmente con cada registro MFT.

El problema

Se plantea una situación hipotética para establecer las condiciones del entorno de pruebas y las condiciones en las que se tiene que trabajar para intentar reconstruir el arreglo:

Una empresa informática sufrió una falla en uno de sus servidores, y el arreglo RAID 5 de N discos se corrompió. Por malas políticas del departamento TIC, no cuentan con información sobre la configuración del arreglo de discos. Para empeorar las cosas, un intento fallido de recuperación resultó en la re-escritura de los superbloques RAID, por lo tanto tampoco se pueden utilizar para recuperar la configuración original. Es decir, se cuenta con N discos de los cuales se desconoce el orden, tamaño de chunk y algoritmo de distribución de la paridad, de los cuales es urgente recuperar información crítica para el negocio.

Se plantea como caso un inconveniente no judicial para mostrar que ésta técnica es aplicable a cualquier situación de recuperación de la información. Su aplicabilidad en entornos judiciales/forenses es igualmente válida, siempre y cuando se documente el proceso para garantizar la reproducibilidad y replicabilidad del procedimiento.

Entorno de pruebas

Para simular el problema propuesto, se trabajó en un sistema Debian Linux con la utilidad mdadm, que permite realizar arreglos RAID por software. El proceso de creación de un caso es

prueba es el siguiente:

1- Se generan N archivos vacíos, de nombre aleatorio, que van a funcionar como discos virtuales. Cada archivo se monta como un disco a través de la interfaz de loopback de Linux.

2- Se crea el arreglo RAID 5 con mdadm, utilizando los N dispositivos loopback. El tamaño de chunk y algoritmo de distribución de paridad son datos aleatorios que no se almacenan.



Ilustración 2 - RAID 5 de 4 discos (A a D) con paridad Left Asymmetric.

3- Se monta el arreglo RAID recién creado, y se crea en él una partición NTFS con un desplazamiento aleatorio del comienzo del disco (alineado a sector). Esto sirve para simular que la partición se encuentra en el medio del disco virtual RAID, como si hubiera otras particiones presentes en el disco.



Ilustración 3 - Ejemplo de distribución de la MFT en los dispositivos físicos y el virtual.

En la ilustración 3 se ejemplifica cómo se vería si la MFT ocupase 6 chunks comenzando en la banda M-1 del dispositivo C y finalizando en el chunk de la banda M del dispositivo D. También se ejemplifica cómo se vería la misma MFT en el dispositivo virtual ocupando 5 chunks si existiera 1 chunk de paridad en los dispositivos físicos. Cabe destacar que para que el estudio sea posible la MFT debe ocupar una cantidad considerablemente mayor de chunks.

4- La partición NTFS se monta y se crean en ella 3 archivos de 1 MiB con contenido aleatorio. De éstos archivos se calcula el digesto (hash digest) MD5 para verificar luego que la reconstrucción ha sido exitosa.

5- Dentro de la unidad NTFS se crean 17.000 archivos pequeños con contenido "Hola mun-

do". Sin estos archivos se corre el riesgo de la MFT no sea lo suficientemente grande y no se pueda deducir la distribución de paridad.

6- Se desmonta el volumen RAID y se desconecta de la interfaz loopback. Luego, se detiene el arreglo RAID con mdadm.

7- Se eliminan los superbloques de cada disco con mdadm.

8- Finalmente se desconectan los archivos de la interfaz loopback.

Se creó un script de bash para generar automáticamente nuevos casos de prueba con distinta cantidad de discos y configuraciones de forma fácil, para validar la técnica propuesta con múltiples pruebas.

Técnica propuesta

Hasta aquí se tienen N archivos que representan los N dispositivos, denominados en las ilustraciones como A, B, C y D. Si bien en los ejemplos se muestran en orden por claridad, este orden no es conocido a priori. A continuación se describe el proceso de reensamblado:

Paso 1: Se buscan en todos los discos del arreglo las cabeceras NTFS y los registros FILE. En un sistema de archivos NTFS siempre se encuentran dos cabeceras, una al principio de la partición y otra al final. Debido a la redundancia de RAID 5 es posible que se encuentren copias de una o ambas cabeceras en el chunk de paridad de la banda correspondiente. Encontrar las cabeceras NTFS ayuda a establecer los posibles puntos de comienzo del sistema de archivos dentro del arreglo RAID.

Paso 2: De los registros FILE interesa el número de registro MFT, que ayuda a determinar el orden de los discos. Si un mismo conjunto de registros está presente en dos discos, esto indica que uno de esos discos, para esa banda, contiene un chunk de paridad y los demás están vacíos.

Paso 3: Hay dos cuestiones para analizar con respecto al número de registro MFT:

En primer lugar, se debe analizar la longitud de los conjuntos de registros con numeración contigua por cada dispositivo. Si en el dispositivo A se encuentran los registros 3001, 3002, 3003, ..., 4000, 7001, 7002, 7003, ... Puede apreciarse un salto en la secuencia del 4000 al 7001 y se

puede deducir que el chunk tiene la capacidad de almacenar 1000 registros FILE de la MFT y así se determina su tamaño. La ilustración 4 muestra este concepto.

En segundo lugar, se deben ubicar los registros FILE de la MFT iniciales, y seguir la secuencia cuando salta de un disco a otro. De éste análisis se empieza a determinar el orden de los discos, aunque no alcanza para determinar cuál es el disco inicial.

El seguimiento de la secuencia de registros FILE de la MFT también permite detectar los chunks de paridad. En la ilustración 4 puede verse un arreglo RAID 5 con distribución Left Asymmetric de 4 dispositivos en orden, con los registros FILE de la MFT y la secuencia indicada con flechas. Puede apreciarse cómo la presencia de un chunk de paridad altera el orden común de salto de la secuencia de registros entre dispositivos, y cómo también indica la secuencia que siguen los dispositivos en el arreglo.

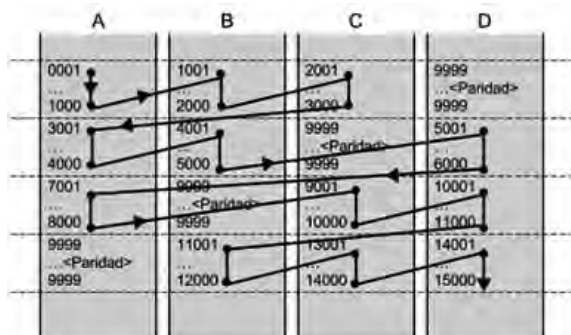


Ilustración 4 - Distribución de los registros de la MFT en un arreglo RAID 5 Left Asymmetric. Se asume que entran 1000 registros FILE de MFT por chunk del arreglo y se muestra el orden.

Para el caso de la distribución Left Symmetric, el salto de un disco a otro siempre es el mismo, pero el chunk de paridad introduce un salto a la siguiente banda del arreglo.

Nota: La técnica busca determinar el orden de los discos, o si eso no es posible, reducir la cantidad de combinaciones que deben intentarse para determinar el orden real. En el caso de la distribución Left Symmetric no se puede determinar el disco inicial, sin embargo se logra reducir las combinaciones posibles de $N!$ a N . En el caso de las distribuciones Left Asymmetric y Right Asymmetric, si el tamaño de chunk es de-

masiado grande, puede no haber suficiente información para determinar el primer dispositivo del arreglo.

Paso 4: Las combinaciones posibles para reconstruir el arreglo se verifican utilizando mdadm en el modo en que ignora la información de los superbloques y monta el arreglo RAID con la configuración suministrada manualmente, siguiendo las deducciones previas.

Paso 5: Con el arreglo reconstruido, se monta la unidad en un directorio. Si se puede acceder a la misma, casi con seguridad se ha tenido éxito en la reconstrucción. Para verificar estrictamente el éxito de la técnica, se comparan los digests MD5 de los archivos grandes con los digests MD5 calculados previo al desarmado del arreglo RAID y la eliminación de los superbloques.

Se realizaron múltiples pruebas con el entorno de pruebas y la técnica propuesta, y fue posible la validación por medio del montaje de la unidad y la verificación de los digests MD5 de los archivos grandes.

Conclusiones y trabajo futuro

La técnica propuesta permite reconstruir un arreglo RAID 5 contando con N imágenes, una por cada dispositivo del arreglo, en condiciones en las que no se conoce el orden de las mismas, ni el tamaño de chunk ni el algoritmo de distribución de paridad. Si bien la técnica se apoya en las estructuras del sistema de archivos NTFS, es posible extender esta técnica para aplicar a otros sistemas de archivos.

Esta técnica debería utilizarse como último recurso, ya que si se procediera con las tareas de recolección y adquisición de los discos de forma ordenada y metódica no sería necesaria. Ésta técnica y las tareas asociadas para la correcta adquisición se incorporaron como una extensión al proceso PURI.

Como trabajo futuro, se está evaluando implementar esta técnica en una herramienta informática para simplificar la tarea de reconstrucción. También es posible extender la técnica para poder trabajar en base a archivos conocidos, y de ésta forma lograr independencia del sistema de archivos de las particiones que se desee reconstruir.

Si el arreglo es RAID 6, o si utiliza un algo-

ritmo de distribución de paridad no estándar, la técnica tal como se expuso presenta algunas dificultades. Con un estudio detallado de RAID 6 y de los algoritmos de distribución de paridad propietarios, la técnica puede adaptarse para funcionar en estas situaciones.

Referencias

[1] DI IORIO, Ana H., SANSEVERO, Rita E., CASTELLOTE, Martín A., PODESTÁ, Ariel, GRECO, Fernando, CONSTANZO, Bruno, WAIMANN, Julian. (2012) “La recuperación de la información y la informática forense: Una propuesta de proceso unificado”, Congreso Argentino de Ingeniería CADI 2012.

[2] DI IORIO, Ana H., SANSEVERO, Rita E., CASTELLOTE, Martín A., PODESTÁ, Ariel, GRECO, Fernando, CONSTANZO, Bruno, WAIMANN, Julian. (2013) “Determinación de aspectos carentes en un Proceso Unificado de Recuperación de Información digital”, Jornadas Argentinas de Informática Forense JAIF 2013.

[3] CONSTANZO, Bruno, WAIMANN, Julián. “El Estado Actual de las Técnicas de File Carving y la Necesidad de Nuevas Tecnologías que Implementen Carving Inteligente”. (2012). 1er. Congreso Argentino de Ingeniería.

[4] DI IORIO, Ana H., CASTELLOTE, Martín A., PODESTÁ, Ariel, GRECO, Fernando, CONSTANZO, Bruno, WAIMANN, Julian. “El framework CIRA, un aporte a las técnicas de file carving”. (2013). Revista Argentina de Ingeniería.

[5] TANENBAUM, Andrew S. “Sistemas Operativos Modernos”, Capítulo 4, Prentice Hall Hispanoamericana, 1993.

[6] TANENBAUM, Andrew S. “Structured Computer Organization”, páginas 89 a 93, 5ta edición, Pearson Prentice Hall, 2006.

[7] SNIA. (2008) “Common RAID Disk Data Format Specification”.

[8] FAY-WOLFE. (2008). “RAID Rebuilding 101”. CSC-486 Network Forensics, University of Rhode Island. Disponible en http://media.uri.edu/cs/csc486_wmv/RaidRebuilding_TOC.pdf

[9] RUSSON, Richard, FLEVEL, Yuval, “NTFS Documentation” antes disponible en <http://linux-ntfs.sourceforge.net/ntfs/index.html>, copia disponible en <http://dubeyko.com/development/FileSystems/NTFS/ntfsdoc.pdf>

Radiación e índice ultravioleta solar al mediodía sobre superficies en diferentes posiciones

Enrique Albizzati¹

Resumen

Se calculan la radiación y el índice solar ultravioleta al mediodía para Santa Fe-Argentina, en días de cielo claro. Para los cálculos sobre superficies con diferentes inclinaciones, se aplican los modelos TUV de transferencia radiativa e isotrópico. El índice supera el valor 11 en el período noviembre-febrero, en planos con inclinaciones entre 0° y 30°, y orientados hacia el norte, este y oeste; también es extremo en diciembre y enero, sobre superficies igualmente inclinadas mirando al sur. La componente difusa horizontal de la radiación y del índice es mayor que la directa, en marzo- octubre y durante todo el año respectivamente.

Palabras clave: Radiación - Ultravioleta - Índice - Eritémica - Solar.

Abstract

Radiation and solar ultraviolet index are calculated at noon for Santa Fe-Argentina, in clear-sky days. For the computations on surfaces with different inclinations, are applied the models of radiative transfer TUV and isotropic. The index exceeds value 11 in the period November and february, in planes with inclinations between 0° and 30°, and facing north, east and west; it is also extreme in december and january over equally inclined surfaces facing south. The horizontal diffuse component of radiation and index are greater than the direct, in march-october and throughout year respectively.

1. Introducción

La radiación ultravioleta solar (RUV) incidente sobre nuestro planeta constituye aproximadamente el 5,0 % de la radiación de todo el espec-

1. Facultad de Ingeniería Química - Universidad Nacional del Litoral. albizzati@fiq.unl.edu.ar

tro solar. Antes de llegar a la superficie terrestre, las radiaciones solares sufren variaciones debido a la dispersión y absorción provocada por las moléculas de aire, polvo, ozono, dióxido de carbono, vapor de agua y otros gases presentes en la atmósfera. Las radiaciones que se reciben dependen también de la distancia sol-tierra y de la posición del sol en el cenit [1].

Las RUV-B (290 nm-315 nm) y RUV-A (315 nm-400 nm) incidentes son fuertemente afectadas por la concentración de ozono estratosférico y por las condiciones climáticas y ambientales particulares de cada región. La denominada RUV-C, es absorbida completamente en la atmósfera por el gas ozono, por debajo de 290 nm.

En la actualidad es de gran interés el conocimiento de la RUV, por lo que se estudian tanto sus efectos perjudiciales sobre los seres vivos y los diversos materiales de uso corriente, como su aplicación beneficiosa en diversos procesos fotoquímicos [2-4].

Con respecto a los daños que en los seres humanos puede producir la RUV, son: quemaduras, dermatosis y envejecimiento en la piel, melanomas y carcinomas, inflamaciones y cataratas en los ojos, y alteraciones en el sistema inmunológico. El riesgo relacionado con la aparición de enrojecimiento e inflamación en la piel humana debido a la exposición a los rayos solares se determina el índice ultravioleta solar (IUV) que está relacionado con la llamada radiación eritémica [5].



En la región Litoral-Centro de la República Argentina, donde se encuentra la ciudad de Santa Fe (-31,65° S; -60,72° O), se han realizado una serie de estudios, mediciones y modelizaciones de las radiaciones solares ultravioleta y eritémica [6-9].

Dadas las dificultades que se presentan para realizar mediciones de las radiaciones ultravioleta y eritémica, tales como la confiabilidad, costo y mantenimiento del instrumental, resulta conveniente usar modelos con el fin de predecirlas. Estos modelos previamente verificados pueden ser considerados confiables y útiles para reemplazar a las mediciones en el plano horizontal y en superficies inclinadas [10,11].

En lo que respecta a las superficies inclinadas, debe considerarse que los modelos aplicados para las RUV en principio han sido desarrollados en el hemisferio norte, para planos orientados al sur y para todo el espectro solar. El modelo isotrópico propuesto por Liu-Jordan para las superficies inclinadas, es relativamente simple y ha dado satisfactorias predicciones de las RUV al compararlo con los resultados obtenidos sobre superficies en diferentes posiciones [12,13].

En este trabajo se hallan la RUV y el IUV solar al mediodía, en Santa Fe, a lo largo del año para días de cielo claro y sin nubes. En los cálculos de la RUV horizontal se utiliza el modelo de transferencia radiativa TUV (Trospheric Ultraviolet-Visible transfer model), desarrollado en la División de Química Atmosférica del Centro Nacional para la Investigación de la Atmósfera de los Estados Unidos [14].

Luego, en base al referido modelo isotrópico, se calculan la RUV y el IUV sobre planos inclinados entre 0° y 90°, posicionados hacia el norte, este, oeste y sur. Posteriormente se obtienen y analizan los respectivos cocientes entre las RUV y los IUV sobre las referidas superficies y el plano horizontal.

2. Radiación e índice solar ultravioleta

La radiación solar global sobre la superficie horizontal en una dada longitud de onda (I_h), es la suma de la radiación directa y la radiación difusa. La radiación directa es la radiación directa normal ($I_{DN,\lambda}$) multiplicada por el coseno del

ángulo cenital (θ_z).

$$I_h = I_{DN,\lambda} \cos \theta_z + I_{d,\lambda} \quad (1)$$

La radiación difusa ($I_{d,\lambda}$) se obtiene como la suma de la componente de dispersión de las moléculas o de Rayleigh, la dispersión de los aerosoles, y la componente de la múltiple reflexión entre el aire y el suelo. En los cálculos se considera un día típico que representa cada mes del año, al mediodía solar.

El modelo TUV es usado para computar las radiaciones solares ultravioleta directa, difusa y global horizontales. Los elementos para el cálculo se encuentran en http://cprm.acd.ucar.edu/Models/TUV/Interactive_TUV. Una vez hallados los valores de las radiaciones correspondientes a cada longitud de onda, integrándolos se obtiene la RUV solar integrándolos en el rango del espectro 290 nm-400 nm.

Para determinar la radiación solar total sobre las superficies inclinadas se multiplica la radiación global horizontal antes obtenida (I) por un factor R [1]:

$$IT = R I \quad (2)$$

La radiación solar total que alcanza la superficie inclinada (IT) es la suma de la radiación directa, la radiación difusa recibida desde el cielo, y la radiación reflejada por el suelo.

En el modelo propuesto por Liu-Jordan, la superficie recibe desde el cielo radiación difusa e isotrópica. La superficie inclinada un ángulo B respecto del plano horizontal tiene un factor de visión del cielo igual a $(1 + \cos B)/2$, y el factor de visión del suelo es $(1 - \cos B)/2$.

Entonces, la expresión para obtener R es:

$$R = [(1 - I_d/I)] R_b + (I_d/I) [(1 + \cos B)/2] + p [(1 - \cos B)/2] \quad (3)$$

En la ecuación (3) I_d es la radiación difusa horizontal, y p es un coeficiente que indica la fracción de la radiación solar que es reflejada difusamente por el suelo. R_b es la relación entre la radiación solar directa en el plano inclinado y la radiación solar directa en el plano horizontal, siendo:

$$R_b = \cos \theta / \cos \theta_z \quad (4)$$

El ángulo de incidencia de la radiación (θ) que aparece en la ecuación (4), depende de la declinación solar, la latitud, la posición de la superficie y el ángulo horario [1].

Para conocer el IUV, previamente se encuentra la radiación solar eritémica. Ésta es el producto de la radiación ultravioleta solar por un factor (F_{λ}), que según Mc Kinlay y Diffey, representa el efecto sobre la piel humana provocado especialmente por las RUV-B (Tabla 1). Luego el valor del IUV se calcula multiplicando por cuarenta (40) el valor de la radiación solar eritémica expresada en W/m².

La escala empleada para el IUV, aprobada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) se muestra en la Tabla 2. Valores crecientes del IUV indican un aumento del riesgo por exposición humana al Sol.

Tabla 1. Factor de Mc Kinlay y Diffey [5].

| Longitud de onda λ | $\lambda < 299 \text{ nm}$ | $299 \text{ nm} \leq \lambda \leq 328 \text{ nm}$ | $\lambda > 328 \text{ nm}$ |
|----------------------------|----------------------------|---|----------------------------|
| Factor F_{λ} | 1 | $10^{0,094(298-\lambda)}$ | $10^{0,015(139-\lambda)}$ |

Tabla 2. Exposición a las radiaciones solares.

| Categoría | Baja | Moderada | Alta | Muy alta | Extrema |
|-----------|----------------|----------|-------|-----------|----------------|
| IUV | 2 y menos de 2 | 3, 4 y 5 | 6 y 7 | 8, 9 y 10 | 11 y más de 11 |

3. Resultados del cálculo

En el procedimiento aplicado para hallar la RUV en el plano horizontal es necesario definir un día típico del mes, que se muestra en la Tabla 3 [1].

El ángulo cenital calculado al mediodía solar ($\theta_{z,m}$) varía entre 8,60° y 54,74° y el espesor de la capa de ozono se recupera de la base de los datos medidos en el año 2013 por el Ozone Monitoring Instrument (http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/ozone_overhead_current_v8.md).

Para determinar la RUV solar se adopta el albedo igual a 0,06, dadas las características de la zona geográfica, y para la atmósfera sin nubes se adopta 0,380 como efecto del espesor óptico de aerosoles a la longitud de onda 340 nm. Por otra parte, en el cálculo de la RUV reflejada sobre los planos inclinados con distintas orientaciones, el valor de la reflectividad del suelo en los alrededores de las superficies es 0,10.

Tabla 3. Datos para cálculo de la RUV en el plano horizontal.

| Mes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Día | 17 | 47 | 75 | 105 | 135 | 162 | 198 | 228 | 258 | 288 | 318 | 344 |
| $\theta_{z,m}$ (°) | 10,73 | 18,70 | 29,23 | 41,07 | 50,44 | 54,74 | 52,83 | 45,11 | 33,87 | 22,05 | 12,74 | 8,60 |
| Ozono (uD) | 267 | 266 | 261 | 265 | 257 | 278 | 256 | 281 | 292 | 286 | 273 | 275 |

Los cálculos efectuados para el plano horizontal (Figura 1) muestran las componentes directa y difusa en la RUV y en el IUV.

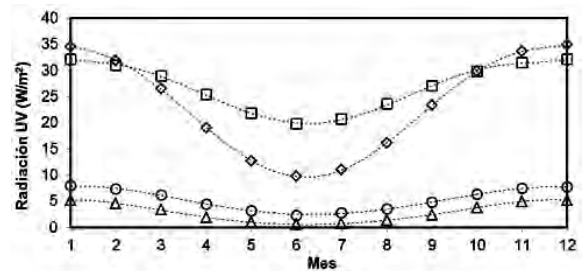
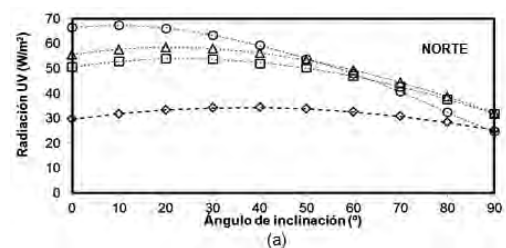


Figura 1. Radiación ultravioleta solar en plano horizontal (en W/m²) para cada mes del año -◇ componente directa, □ componente difusa. Índice ultravioleta solar en plano horizontal para cada mes del año -△ componente directa, O componente difusa.

Se observa que la RUV directa supera a la RUV difusa sólo en el período noviembre-febrero. Además en todos los meses del año la componente difusa del IUV supera a la componente directa. Con el modelo TUV también se determina que la componente difusa horizontal de la RUV-B es siempre mayor que la directa. En cambio cuando el ángulo cenital es menor que 20° aproximadamente, entre noviembre y febrero, la componente difusa es menor que la directa en el RUV-A. Estas observaciones justifican las tendencias representadas en la figura mostrada, sabiendo que el IUV es muy influenciado por la RUV-B.

En la Figura 2 se han representado los valores del RUV calculados para las diferentes superficies en el mediodía solar, en los meses de marzo, junio, setiembre y diciembre.



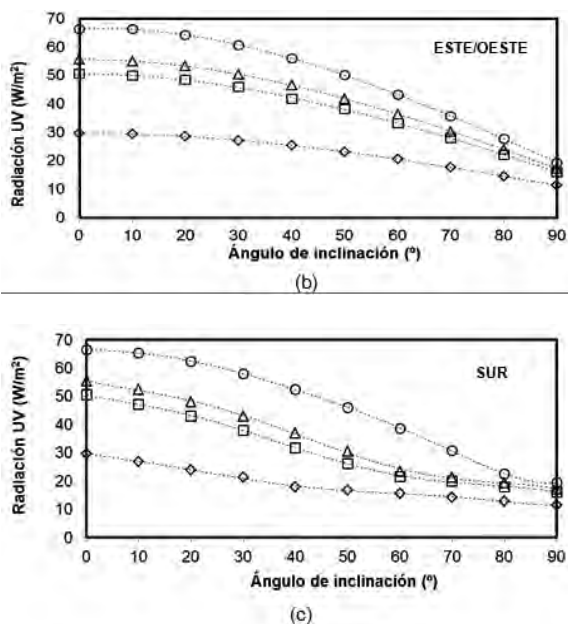


Figura 2. Radiación ultravioleta solar (en W/m^2) en función de su orientación y del ángulo de inclinación de la superficie ($^\circ$) - Δ marzo, \diamond junio, \square setiembre, \circ diciembre.

La influencia de los valores de la componente difusa de la radiación solar horizontal estudiada, se traslada al cómputo de la RUV y del IUUV en todas las orientaciones e inclinaciones de las superficies consideradas.

Como muestra la Figura 2a, la máxima RUV es en diciembre, con la superficie mirando al norte e inclinada 10° ($67,3 W/m^2$). En esa misma orientación, los máximos de la RUV se corresponden con inclinaciones que crecen en marzo, setiembre y junio respectivamente.

En las orientaciones este, oeste y sur, el valor máximo de la RUV se presenta cuando el plano es horizontal, decreciendo rápidamente al aumentar el ángulo de inclinación (Figuras 2b y 2c). Como es esperable, los valores de la radiación sobre las superficies son similares en cada mes, para ángulos de inclinación superiores a 80° .

La Tabla 4 se ha elaborado con valores de las RUV en el plano horizontal y en las superficies inclinadas. Se ve en esa tabla que entre la radiación inclinada y la horizontal es mayor que la unidad sólo en algunas superficies que miran al norte, en los meses de marzo y setiembre si los ángulos de inclinación son bajos, y en junio

si estos ángulos tienen valores bajos o medios.

Tabla 4. Cociente entre las RUV sobre superficies inclinada y horizontal.

| Mes | Inclinación($^\circ$) | Norte | Este/oeste | Sur |
|-----------|-------------------------|-------|------------|-------|
| Marzo | 30 | 1,042 | 0,908 | 0,774 |
| | 60 | 0,887 | 0,655 | 0,423 |
| | 90 | 0,579 | 0,310 | 0,310 |
| Junio | 30 | 1,152 | 0,917 | 0,716 |
| | 60 | 1,099 | 0,692 | 0,526 |
| | 90 | 0,854 | 0,384 | 0,384 |
| Setiembre | 30 | 1,064 | 0,909 | 0,753 |
| | 60 | 0,928 | 0,659 | 0,428 |
| | 90 | 0,629 | 0,319 | 0,319 |
| Diciembre | 30 | 0,954 | 0,914 | 0,875 |
| | 60 | 0,721 | 0,652 | 0,583 |
| | 90 | 0,372 | 0,293 | 0,293 |

En la Figura 3 se observa que el IUUV es mayor a 11 en el período noviembre-febrero, para el plano horizontal y para superficies orientadas al norte, este y oeste con inclinaciones menores a 30° . También el índice es extremo en superficies mirando al sur con estas mismas inclinaciones, durante los meses de diciembre y enero.

Por otra parte, el IUUV tiene valores menores a 6 entre mayo y agosto cualquiera sea la posición y orientación de la superficie. Ese período se amplía en el caso de superficies que tienen una inclinación mayor a 30° y miran al este, oeste y sur. Como era esperable en las superficies verticales (Figura 3d), el índice nunca es alto, muy alto o extremo.

Los resultados del cociente entre los IUUV sobre las superficies inclinada y horizontal de la Tabla 5 muestran una tendencia similar a los de la Tabla 4. Considerando para la comparación el mismo caso, los valores de la última tabla son superiores al cociente entre las RUV de la primera si la superficie mira al sur. Lo mismo sucede prácticamente siempre que la superficie esté orientada al este u oeste, y lo contrario se presenta si la superficie está hacia el norte.

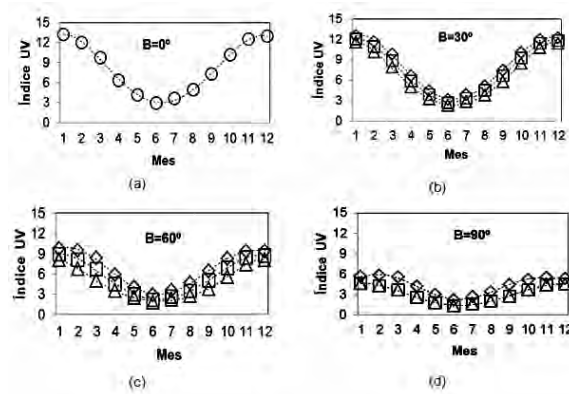


Figura 3. Índice ultravioleta solar para cada mes del año y diferentes inclinaciones de la superficie (O horizontal, \diamond norte, \square este/oeste, Δ sur).

Tabla 5. Cociente entre los IUUV sobre superficies inclinada y horizontal.

| Mes | Inclinación(°) | Norte | Este/oeste | Sur |
|-----------|----------------|-------|------------|-------|
| Marzo | 30 | 1,015 | 0,916 | 0,818 |
| | 60 | 0,858 | 0,687 | 0,516 |
| | 90 | 0,571 | 0,374 | 0,374 |
| Junio | 30 | 1,070 | 0,926 | 0,783 |
| | 60 | 0,973 | 0,724 | 0,623 |
| | 90 | 0,736 | 0,448 | 0,448 |
| Setiembre | 30 | 1,031 | 0,917 | 0,804 |
| | 60 | 0,887 | 0,690 | 0,521 |
| | 90 | 0,608 | 0,381 | 0,381 |
| Diciembre | 30 | 0,943 | 0,913 | 0,883 |
| | 60 | 0,727 | 0,675 | 0,622 |
| | 90 | 0,410 | 0,349 | 0,349 |

4. Conclusiones

Analizando las predicciones de la RUV y del IUUV realizadas para Santa Fe, al mediodía solar y en condiciones de cielos sin nubes, se concluye que:

En el plano horizontal la contribución de la componente difusa de la RUV supera a la directa entre marzo y octubre, mientras que al computar el valor del IUUV aquella contribución es mayor en todo el año.

El máximo de la RUV ($67,3 \text{ W/m}^2$) se presenta sobre una superficie inclinada a 10° y orientada al norte, en el mes de diciembre. Para esta orientación, los máximos de la RUV se observan para inclinaciones mayores en marzo, setiembre y junio.

Para las orientaciones este, oeste y sur, el

máximo de la RUV se presenta cuando el plano es horizontal, decreciendo al aumentar la inclinación. Los valores de la radiación, en todos los meses del año, tienden a igualarse si la inclinación es mayor a 80° .

El IUUV es mayor a 11 sobre una superficie horizontal, y para las que miran al norte, este y oeste cuya inclinación es menor a 30° , en el período noviembre-febrero. En los meses de diciembre y enero, el índice supera a 11 en superficies al sur, que tienen idénticas inclinaciones.

Cualquiera sea la posición y orientación de la superficie los valores del IUUV son menores a 6 en el período mayo-agosto. El período es mayor si las superficies poseen una inclinación superior a 30° y están orientadas al este, oeste y sur. El índice no es alto, muy alto o extremo sobre las superficies verticales.

Referencias

[1] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, Fourth Edition, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, NJ, USA, 2013.

[2] B. L. Diffey, “Solar ultraviolet radiation effects on biological systems”, *Physics in Medicine and Biology Review*, vol. 36. nº 3, pp. 299-328, 1991.

[3] A. L. Andrad, H. Hamid and A. Torikai, “Effects of solar UV and climate change on materials”, *Photochem. Photobiol. Sci.*, vol. 10, pp. 292-300, 2011.

[4] S. Malato, J. Blanco, D. C. Alarcón, M. I. Maldonado, P. Fernández-Ibáñez and W. Gernjak, “Photocatalytic decontamination and disinfection of water with solar collectors”, *Catalysis Today*, vol. 122, nº 1-2, pp. 137-149, 2007.

[5] A.F. McKinlay and B. L. Diffey, “A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin”, *CIE Journal*, vol. 6, nº 1, pp. 17-22, 1987.

[6] E. Albizzati, G. Rossetti y O. Alfano, “Mediciones de la radiación solar UVB y predicción de la radiación solar UV eritémica bajo cielos claros y sin nubes”, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 6, pp.1.25-11.30, 2002.

[7] R. Piacentini y J. Herman, “Radiaciones solares ultravioletas sobre Sudamérica y sus mares adyacentes”, *Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 1, pp. 7-9, 1996.

[8] R. Piacentini, O. Alfano, E. Albizzati, E. Luccini y J. Herman, "Solar ultraviolet irradiance for clear sky days incident at Rosario, Argentina: measurements and model calculations", *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, vol. 107, pp. AAC 6-1–AAC 6-7, 2002.

[9] R. D. Piacentini y A. Cede, "Measurements of solar ultraviolet irradiance on inclined surfaces", *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, vol. 6, pp. 819-823, 2004.

[10] C. Gueymard, SMARTS2 a simple model of the atmospheric radiative transfer of sunshine: algorithms and performance assessment, FSEC-PF-270-95, Fla. Solar Energy Cent., Cocoa, Fla, USA, 1995.

[11] P. Koepke, A. F. Bais, D. Balis, M. Buchwitz, H. de Backer, X. de Cabo, P. Eckert, P. Erikson, D. Gillotay, T. Koskela, V. Lapeta, Z. Litynska, J. Lorente, B. Mayer, A. Renauld, A. Ruggaber, G. Schaubberger, G. Seckmeyer, P. Seifert, A. Schmalwieser, H. Schwander, K. Vanicek and M. Weber, "Comparison of models used for UV index calculation", *Photochem. Photobiol.*, vol. 67, pp. 657-662, 1998.

[12] S. Madronich, UV radiation in the natural and perturbed atmosphere, in *Environmental Effects of UV Radiation*, ed. M. Tevini, Lewis Publisher, Boca Raton, Fla, USA, 1993.

[13] D. Serrano, M. J. Marín, M. P. Utrillas, F. Tena y J. A. Martínez-Lozano, "Medida y modelización de la irradiancia solar eritémica global sobre planos inclinados", *Tethys*, vol. 7, pp. 57-66, 2010.

[14] M. P. Utrillas, M. Marín, A. R. Esteve, V. Estellé, F. Tena, J. Cañada and J. A. Martínez-Lozano, "Diffuse ultraviolet erythemal irradiance on inclined planes: a comparison of experimental and modeled data", *Photochemistry and Photobiology*, vol. 85, pp. 1245–1253, 2009.

Nueva oferta académica para afianzar la competitividad de la industria textil chaqueña

Juan José Corace, José Leandro Basterra, Arturo Alfredo Borfitz, Jorge Víctor Pilar y Germán Edgardo Camprubí.

Resumen

Uno de los más grandes desafíos de la educación superior es el vínculo entre Universidad y Sociedad. La relevancia de la educación superior podría ser considerada en los términos del grado de adecuación entre lo que la Sociedad espera de las Universidades y lo que hacen las instituciones de educación superior. En la intersección entre lo global y lo local, la Universidad necesita un balance entre su oferta educativa en general y las carreras específicas y focalizadas.

Este artículo muestra el diseño y contenidos de una nueva carrera en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste que pretende dar respuesta a una necesidad de desarrollo sustentable que proviene de su entorno económico inmediato. Esta nueva carrera está orientada a afianzar la competitividad de una de las industrias clave en la provincia del Chaco.

Palabras clave: Universidad, Sociedad, desarrollo sustentable

Abstract

One of the greatest challenges of higher education is the relationship between University and Society. Relevance in higher education should be assessed in terms of the fit between what Society expects of universities and what they do. In the intersection of the global and the local, University needs a balance to provide not only broad general education but also targeted, career specific education focusing on skills and aptitudes.

This papers shows the contents and design

Docentes e investigadores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Resistencia (Chaco).

jcorace@ing.unne.edu.ar ; jbasterra@ing.unne.edu.ar; aborfitz@ing.unne.edu.ar; jpilar@ing.unne.edu.ar; gcamprubi@ing.unne.edu.ar

of a new career at Facultad de Ingeniería Universidad del Nordeste in response to the needs of sustainable development in the immediate socio-economic environment. This new career is aim to improve competitiveness of one of the key industries in Chaco province.

Key words: University, Society, sustainable development.

Fundamentos

1.1 Universidad: desafíos y dilemas

La Universidad, por su propia naturaleza, tiene una finalidad de excelencia académica y científica por lo cual ha atravesado continuos procesos de construcción y deconstrucción de su identidad para adaptarse a los nuevos retos sociales. De acuerdo con Navarro de Gottifredi [1] uno de los mayores desafíos que debe afrontar una Universidad, es la vinculación con la Sociedad y su inserción en el medio, es decir que se trata si la Universidad es efectivamente pertinente para la sociedad que la contiene.

En la Sociedad del Conocimiento, Fernández Enguita [2] señala la existencia de cierto desfase entre los requerimientos sociales y las

ofertas educativas disponibles que constituye, al mismo tiempo, argumento de la crisis y fundamento para una transformación. En este marco, y aún cuando la universidad continúa siendo una institución que genera conocimiento científico, De Souza Santos [3] sostiene que se ha constituido en un objetivo de crítica social, dirigida a la “utilidad” del conocimiento que produce.

Si se pretende generar las condiciones adecuadas para que la Sociedad apoye y valore a la Universidad, considerándola necesaria para mejorar la calidad de vida del entorno, entonces hay que saber de qué manera el accionar universitario es comprendido y apoyado por la Sociedad y a su vez comprobar cómo la Universidad inserta en el contexto que la contiene responde a las expectativas y exigencias sociales con acciones comprometidas, relevantes y oportunas. Para hacerlo, Navarro de Gottifredi [1] considera que la Universidad tiene que cambiar, salir de esa torre de marfil que la aleja de las situaciones problemáticas y de las soluciones, y que la aparta de la socialización de sus múltiples actividades.

Puede ocurrir que la Sociedad no sepa lo que está haciendo la Universidad, debido a que las instituciones de educación superior se encierran en sus ámbitos y no socializan sus actividades. Pero también puede ocurrir que lo que se realiza en la Universidad no responda a la necesidad de acciones comprometidas, relevantes y oportunas destinadas a los actores sociales externos a la propia universidad. Follari [4] dice al respecto que si las universidades no cambian, mueren, formulando que el dilema de la universidad argentina consiste en encontrar los mecanismos que le permitan distanciarse, pero al mismo tiempo incorporar los requerimientos de la sociedad; la Universidad necesita encontrar el modo de implicarse en el devenir de la realidad nacional actual y al mismo tiempo tomar distancia para comprender lo que en esta realidad sucede.

1.2 Una instancia superadora

Como en todas las situaciones de crisis, algunos contemplan las pérdidas mientras que otros aprovechan las oportunidades. En este punto, Sosa [5] entiende que la universidad pú-

blica tiene la oportunidad de transitar hacia una instancia superadora en aquellos que han sido sus quehaceres tradicionales: la formación y la producción de conocimientos. Es decir que son necesarios nuevos paradigmas del conocimiento para superar las limitaciones de lo que Sosa [6] considera como una manera de hacer ciencia esterilizada y también anacrónica.

En la búsqueda de enfoques que permitan interpretar y apreciar la pertinencia social del proyecto universitario tendrían que considerarse al menos dos niveles de análisis: por una parte lo interno a la Universidad, lo endógeno (Facultades, alumnos, docentes, no docentes, egresados, procesos de enseñanza y de aprendizaje, planes de estudio, gestión, investigación, extensión, servicios, infraestructura, entre los principales) y por otra parte con lo externo a ella (extensión, relaciones con el Gobierno, sectores estatales y privados, instituciones, organizaciones, empresas, sistema educativo, trabajo, respuestas a problemáticas sociales, locales, regionales, nacionales e internacionales).

En este marco, se propone el concepto de ecología de saberes aludiendo a la creación de instancias de extensión aunque imprimiéndole un sentido contrario al que tradicionalmente ha caracterizado a la Universidad: ya no una instancia en la que la Universidad haga conocer sus productos a la comunidad sino una extensión universitaria desde afuera hacia adentro en la que la Universidad sea la que recepcione aquello que la Sociedad produce. De Souza Santos [7] considera que subyace una propuesta en la que la Universidad asume un rol de generar las condiciones adecuadas para el diálogo entre el saber científico y humanístico que la Universidad produce y los saberes legos, populares y tradicionales que caracterizan a la Sociedad.

Desde esta perspectiva, De Souza Santos [7] propone la noción de ecología de saberes en tanto conjunto de prácticas que son promotoras de una nueva convivencia activa de saberes. Convivencia que se propone desde un diálogo activo en el que todos los saberes que participan son los que podrían enriquecerse en ese diálogo. El concepto incluye una amplia gama de acciones de valoración cuyo propósito radica en la construcción de comunidades epistémicas

cuya amplitud permite hacer de la Universidad un espacio público de interconocimiento. En el marco de esta construcción, y el conjunto de acciones que ésta supone, no sólo es posible pensar una reubicación de los ciudadanos y los grupos sociales sino también de la Universidad como institución que logra reubicarse y fundar desde otras lógicas su relación con la sociedad.

Aspectos externos

2.1 La provincia del Chaco en el contexto nacional

La provincia del Chaco es una de las provincias integrantes del llamado Norte Grande Argentino. Estas nueve provincias, si bien no constituyen una región homogénea, presentan ciertos rasgos en común ya que se caracterizan por una incompleta dotación energética, insuficiente infraestructura hídrica y cloacal y debilidades en los sistemas de transporte de cargas y pasajeros. Resulta claro, entonces, que futuras inversiones en esas áreas podrían constituir disparadores para la mejora de varios sectores y entre ellos el de las PyMEs industriales.

La provincia del Chaco, donde vive 2,7% de la población del país, aporta aproximadamente el 1,25% del Producto Bruto Interno argentino y sólo el 0,5% del Producto Industrial Nacional.

2.2 Ámbito productivo en la provincia del Chaco

Teniendo en cuenta que el proceso de crecimiento industrial chaqueño se nutre de los recursos del territorio, se identifican dos macro núcleos sectoriales industriales de relevancia. El primero, conformado por la cadena de aserrado y cepillado de la madera, aberturas y muebles (MyM) y el segundo, por los sectores de la producción de fibra de algodón, fibras textiles y confecciones de prendas de vestir (FTC). Si bien ambas cadenas aportan proporciones no muy disímiles al producto industrial provincial, la cadena MyM aporta el 14% de la ocupación industrial provincial mientras que la cadena FTC contribuye con alrededor del 38%.

La base tradicional de la estructura productiva chaqueña se concentra en el sector primario, en particular en las actividades algodoneras, ganaderas y forestales, y en años recientes re-

gistra el crecimiento notable de la producción de oleaginosas. El sector primario del Chaco ha sido recurrentemente afectado por un conjunto de condiciones climáticas y fenómenos naturales que desafiaron, y desafían, su capacidad de reacción y supervivencia. A nivel industrial, las últimas décadas fueron el escenario de crisis tendencial de los sectores textil y taninero, los dos procesos de transformación de materias primas locales que mayor importancia alcanzaron en la historia económica del Chaco.

En paralelo, se produce un actual predominio del sector servicios, cuyo peso en la estructura económica provincial (aproximadamente 70% del Producto Bruto Geográfico del Chaco) evidencia un proceso de tercerización que, lejos de reflejar la modernización de la estructura productiva y social, denuncia que la crisis estructural en el sector productor de bienes ha tendido a ser enfrentada con un mayor dinamismo del empleo en el sector público y en los servicios urbanos conexos.

2.2.1 El sector algodonero chaqueño según la perspectiva del CONES

El Consejo Económico y Social (CONES) fue creado por la Ley 5.081 del año 2002, en cumplimiento de lo dispuesto por el artículo 45 de la Constitución de la Provincia del Chaco. El CONES tiene como rol actuar de órgano de consulta y asesoramiento de los Poderes Ejecutivo y Legislativo de la provincia del Chaco, en asuntos económicos, de la producción, laborales, gremiales, profesionales, educativos, ambientales y socioculturales. Su composición está dada por dos órganos fundamentales: un Plenario y un Comité Ejecutivo.

De acuerdo con el diagnóstico sectorial del CONES, la política algodonera provincial podría pensarse desde un objetivo productivo, expresado principalmente en cantidad de hectáreas sembradas, o desde un objetivo social, contemplando el sostenimiento de los productores del sector. Estos dos objetivos de política no están necesariamente asociados debido a la concentración de la superficie agropecuaria y la gran cantidad de productores pequeños y medianos existentes en la provincia. El grueso de la producción agrícola provincial está determinado por

productores grandes y medianos, que toman sus decisiones de siembra en base a la rentabilidad esperada de cada cultivo. En tanto, la inmensa mayoría de productores chaqueños (pequeños y minifundistas) que son los típicos productores algodoneros de la provincia, no ejercen peso significativo en la producción.

Análisis de la actividad algodonera chaqueña como problema productivo

En el período 1997/2007 se ha producido una expansión del 35% en la superficie agrícola sembrada en la provincia del Chaco. Sin embargo, esa notable extensión de la superficie sembrada obedece al crecimiento de cultivos que no son tradicionales en la región tales como la soja y el girasol principalmente. La participación del algodón en la superficie implantada ha pasado del 62% en la campaña 1996/97 al 14% en la campaña 2005/06 lo que da cuenta de un proceso de sustitución del cultivo tradicional. El impulso inicial de este proceso puede atribuirse a una relación de precios desfavorable para el algodón respecto de otros cultivos. Sin embargo, el hecho de que esta situación se haya mantenido en los últimos años obedece a otros factores y en ese sentido los productores lo relacionan con un problema de inestabilidad y variabilidad de los precios del algodón, que generaron el consecuente aumento del riesgo de la inversión.

Otro factor de desventaja del algodón frente a sus sustitutos es la brecha tecnológica en lo atinente al manejo del cultivo. El cultivo de soja dispone de un amplio paquete tecnológico que es fácilmente accesible para cualquier productor. Como consecuencia, la producción moderna requiere menor utilización de mano de obra que la producción tradicional. El único limitante para la utilización de las innovaciones tecnológicas para el cultivo de la soja radica en la escala de producción mínima necesaria para justificar la inversión.

Si bien es cierto que la producción algodonera en la provincia del Chaco ha atravesado una situación crítica, cuya gravedad quedó evidenciada con las 85.000 ha sembradas en la campaña 2002/03 (nivel equiparable al promedio de la década de 1930), últimamente se ha notado una recuperación de hectáreas sembradas. Esta

situación puede atribuirse al repunte de los precios, que rondan los niveles promedio históricos y a la difusión de nuevas tecnologías (siembra en surcos estrechos).

Análisis de la actividad algodonera chaqueña como problema social

La situación de los productores primarios chaqueños difiere según sus posibilidades de diversificar la producción con distintos cultivos o con ganadería, en respuesta a las señales de los precios, y con el objetivo de reducir los riesgos asociados a la actividad. Esta capacidad está determinada por el tamaño y la calidad de las tierras de las explotaciones. De estos factores depende la elección productiva de cada año. En general, los productores más pequeños no tienen posibilidad de producir más que algodón, o al menos este cultivo es el más rentable a esa escala.

i) Productores grandes

Los productores del estrato de más de 500 hectáreas prácticamente no tienen dificultades en optar entre diferentes cultivos en base a las expectativas de precios.

La notable expansión del cultivo de soja en la provincia, como así también la recuperación reciente del algodón, parecerían estar determinados por el comportamiento de este estrato de productores, que tienen posibilidad de acceder y aplicar las últimas tecnologías disponibles para cada cultivo (transgénicos y siembra directa para soja; siembra en surcos estrechos para algodón). En la campaña 2001/02, las explotaciones más grandes producían el 66% del total sembrado con oleaginosas en la provincia, y el 41% del algodón provincial. (Fuente: CONES, en base a datos Censo Nacional Agropecuario 2002).

ii) Minifundistas

Los minifundistas (extensiones de hasta 10 has) tienen como principal cultivo comercial al algodón, además de hacer horticultura y cría de animales menores para consumo propio. Como son asistidos por el gobierno con semillas y gasoil y no tienen escala para pasarse a cultivos más rentables, se mantienen con la siembra del textil independientemente de los cambios en los precios, sufriendo en gran medida la crisis de rentabilidad del cultivo en los últimos años.

iii) Productores pequeños y medianos

Los productores algodoneros de este estrato enfrentan un problema de inestabilidad de los precios, fenómeno observado de una campaña a otra, como también en cada campaña, según el mes en que se comercialice la producción.

Por un lado, Argentina no tiene participación en la determinación del precio internacional de la fibra y también hay que considerar factores internos tales como la estructura oligopsónica del mercado de algodón en bruto (pocos compradores ante numerosos oferentes), lo que reduce el poder de negociación de los productores más pequeños y el precio que reciben como retribución de su producción.

Asimismo, este estrato de productores enfrenta serios problemas financieros, lo que limita sus posibilidades de optar entre diferentes alternativas productivas. Estos problemas consisten básicamente en falta de liquidez para enfrentar los costos de la campaña y de endeudamiento con entidades bancarias.

Los productores pequeños (entre 10 y 100 has) parecerían ser los más vulnerables, ya que carecen de la escala o los recursos necesarios para sustituir cultivos en respuesta a cambios en los precios relativos, y tampoco cuentan con asistencia del gobierno. Es el estrato de productores que tiende a desaparecer, a medida que las explotaciones más grandes se expanden acaparando mayores extensiones de tierra.

En este escenario de la actividad algodonera chaqueña, el CONES propone, entre otras medidas, la creación de un Centro de Desarrollo Textil promovido por el Estado y con creciente participación privada en la gestión para coordinar el conjunto de políticas orientadas al desarrollo del sector algodonero chaqueño. Una primera etapa consiste, según esta propuesta, en convocar a los empresarios que desarrollaran las empresas núcleo de la cadena textil (hilanderos, tejedores o revendedores minoristas de indumentarias), a los que crean marcas y a aquellos que comercializan en otros lugares de la Argentina, que quieran lanzar nuevas líneas produciendo en el Chaco.

2.3 Problemáticas nacionales desde la perspectiva universitaria

En función de las propuestas realizadas por la Comisión de Ciencia, Tecnología, Industria y Extensión durante los años 2010 y 2011, y teniendo en cuenta el Plan Estratégico de Ingeniería 2012 – 2016 y otros documentos de planificación nacional de la República Argentina, se avanza en el planteo de acciones tendientes al Desarrollo Territorial Sostenible por parte del CONFEDI (Consejo Federal de Decanos de Ingeniería) dando lugar a completar el mismo con presentaciones de Programas Específicos de cada Facultad de Ingeniería (FI).

En el Plan Estratégico para la Formación de Ingenieros 2012-2016 de la Secretaría de Políticas Universitarias se pretende apoyar a las universidades para que determinen a nivel territorial, en conjunto con gobiernos locales y organizaciones no gubernamentales las cadenas de valor de mayor impacto en el territorio, sus fortalezas y debilidades, con especial énfasis en el análisis de oferta y demanda de mano de obra calificada y profesionales y en el monitoreo de inserción de graduados universitarios. En consecuencia, se favorece la puesta en marcha de forma permanente o a término de ofertas curriculares de pregrado o grado que constituyan áreas de vacancia en el territorio, a través del mecanismo de convenio programa.

Por otra parte, en el Plan Estratégico Industrial 2020 se describen las cadenas productivas cuyos desarrollos se consideran prioritarios en Argentina; y se extrae del mismo un párrafo relevante para este trabajo:

Cadena de valor textil e indumentaria: Esta cadena tiene una fuerte presencia de PyMES, una vinculación estratégica con el desarrollo de las economías regionales y presenta una marcada orientación al mercado interno.

Argentina cuenta con dos de las materias primas naturales más importantes para la producción textil, el algodón y la lana. Se impulsa una industrialización de la ruralidad, generación de polos productivos con valor agregado cercanos a los recursos naturales como el algodón, y federalizando el crecimiento.

Aspectos internos

3.1 La Universidad del Nordeste y la Facultad de Ingeniería

La Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), creada en 1956, es una Universidad regional que actualmente desarrolla su actividad académica en las Provincias de Chaco y de Corrientes en la República Argentina. Las principales líneas institucionales de la UNNE, se configuran en cuatro ejes estratégicos: la formación y desarrollo del conocimiento; la integración de la estructura y la gestión académico-administrativa; la articulación del sistema educativo regional y la vinculación y cooperación para el desarrollo territorial sostenible.

En coherencia con esos lineamientos estratégicos se desarrollan una serie de Programas Centrales entre los que se destacan aquellos orientados al cambio curricular, la autoevaluación institucional y la formación docente continua. También la UNNE participa en diversos programas impulsados por la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación. Durante las últimas gestiones, la UNNE fortaleció su política de trabajo en red y vinculación con el medio social y productivo concretando, mediante la actual Secretaría General de Relaciones Interinstitucionales, alianzas estratégicas con universidades e instituciones científicas del país y del exterior. Además, la Subsecretaría de Subsecretaría de Vinculación realiza acciones de transferencia desde los ámbitos universitarios de innovación hacia los de producción privados y los organismos estatales en todos sus niveles. También AGENTIA (Agencia de Innovación y Desarrollo de la UNNE) incluye la formación de emprendedores entre sus líneas de acción y tiene una activa presencia en el ámbito de las PyMEs de la región.

La UNNE cuenta con 49 carreras de grado, 12 de pregrado, 6 de articulación (para egresados del nivel superior no universitario) y 3 carreras de complementación y además tiene una oferta académica de 53 carreras de posgrado, con una oferta de 12 carreras de Doctorado, 15 Maestrías y 26 carreras de Especialización.

La Facultad de Ingeniería de la UNNE, con sede en la ciudad capital de la Provincia del Chaco, tiene los siguientes objetivos y propósitos institucionales:

Propósitos:

-Ofrecer carreras que por su nivel y conteni-

do satisfagan necesidades reales emergentes de las demandas sociales, científicas, económicas de la región y del país.

-Promover la producción de nuevos conocimientos de relevancia social, cultural, científica y tecnológica.

-Contribuir con la transferencia de conocimientos al mejoramiento de la calidad de vida humana en general y en particular, en el contexto de la región.

-Mantener la eficacia en los procesos de democratización de las oportunidades y posibilidades ofrecidas a los alumnos para que concluyan con éxitos sus estudios.

-Promover la revisión crítica de las acciones institucionales orientadas a crear y afianzar las condiciones necesarias para el logro de los propósitos que definen su función específica.

Objetivos:

-Propiciar la diversificación y actualización de las ofertas académicas, tomando como referencia los cambios producidos en la realidad regional, nacional y mundial, sin perder de vista los principios rectores de calidad académica, profesional, científica y tecnológica.

-Fortalecer la estructura institucional de extensión y servicios, con el objeto de satisfacer necesidades y demandas laborales del medio.

-Formar recursos humanos competentes para el sector productivo y laboral de la región.

4. Resultados

La Tecnicatura Universitaria en Tecnología Textil pretende instalarse dentro de la oferta actual de la UNNE, como una propuesta de innovación vinculada a necesidades contextuales, y relacionada con el desarrollo sustentable de la región en la cual se integra.

En referencia al contexto cultural y social se remarca la importancia de que toda definición referida a las carreras de orientación técnica, han de sustentarse en las demandas laborales, las necesidades y posibilidades económicas de cada región y en las características que identifican la personalidad social de la población y el entorno local – regional.

Por lo expuesto, se entiende que la formación de Recursos Humanos en el área textil debe responder a las necesidades de transformación

para cubrir las expectativas de un parque industrial y empresas PYMES contando con personal altamente capacitado para afrontar las expectativas y cambios vertiginosos de la tecnología, creando equipos de trabajo para que puedan desempeñarse operativamente adaptándose a los cambios e implementación de nuevas estrategias como por ejemplo: formas de organización, gestión de calidad total y mantenimiento productivo, entre otras.

En tal sentido, el Plan de Estudios propuesto provee los espacios necesarios para que el estudiante conozca las dinámicas propias del campo de intervención profesional y, además, sirvan de estímulo para el desarrollo de áreas hoy no presente en el medio. La estructura modular del plan de estudios responde a las dinámicas heterogéneas y de creciente competitividad del mercado laboral.

La propuesta formativa se articula en cuatro campos:

- a) Formación general de fundamento,
- b) Formación orientada,
- c) Formación técnica específica y
- d) Prácticas profesionalizantes.

El contexto desde donde surge esta propuesta formativa nos lleva a evaluar la presencia de recursos humanos con perfiles específicos para llevar adelante los diferentes procesos en cada fase de la actividad industrial. En este sentido, se entiende que para lograr las competencias y la calidad del graduado, se necesita abordar las temáticas específicas sin desconocer el contexto del que vienen los estudiantes. Por lo tanto, las materias de las ciencias básicas o aplicadas serán el elemento de partida que les permitirá a los estudiantes apropiarse de los contenidos específicos.

Carga horaria total: El plan de formación totaliza 1608 horas reloj, distribuida en cinco (5) cuatrimestres de quince (15) semanas de clases cada uno, organizados de la siguiente manera:

| Asignaturas 1° Año | Horas | Asignaturas 2° Año | Horas | Asignaturas 3° Año | Horas |
|--------------------------------|-------|----------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
| Técnica de Producción Textil I | 72 | Técnica de Producción Textil II | 72 | Evaluación de Proyectos | 60 |
| Matemática | 72 | Seguridad e Higiene Industrial I | 72 | Seguridad e Higiene Industrial II | 60 |
| Electrotecnia I | 72 | Electrotécnia II | 72 | Relaciones Humanas | 60 |
| Inglés Técnico | 60 | Portugués | 60 | Legislación | 60 |
| Práctica Profesional I | 72 | Práctica Profesional II | 72 | | |
| Proceso Productivo I | 72 | Proceso Productivo II | 72 | | |
| Sociología de la Organización | 60 | Organización Industrial | 60 | | |
| Informática I | 72 | Informática II | 48 | | |
| Pasantía I | 144 | Pasantía II | 144 | | |

Número total de asignaturas: Para obtener el título de Técnico Universitario en Tecnología Textil, se deberán aprobar 22 (veintidós) de asignaturas, todas de carácter obligatorias.

Duración de la carrera en años: La duración prevista es de 2 años y medio, en 5 (cinco) cuatrimestres académicos.

Identificación del nivel de la carrera: Carrera universitaria de pre-grado Tecnicatura Universitaria en Tecnología Textil

Requisitos de ingreso a la carrera: Los que exige la Ley de Educación Superior para el ingreso en las universidades, los establecidos por la U.N.N.E. y adicionalmente los que establezca el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería.

Campo profesional: El Técnico Universitario en Tecnología Textil cumplirá sus servicios profesionales mayoritariamente en sistemas de producción, en empresas del área textil e industriales de la región.

Perfil del graduado: El egresado de la tecnicatura, es un Técnico Universitario capacitado para indagar y comprender los temas del área de los conocimientos de esta carrera, a partir de la aplicación de ideas relevantes para la estructuración, validación y producción de saberes y prácticas que definen al profesional técnico, todo ello enmarcado en una actitud reflexiva, crítica y de compromiso social.

El profesional egresado de la Tecnicatura en Tecnología Textil deberá ser capaz de:

- Ubicar y caracterizar el objeto de estudio y las posibilidades de abordarlo, a partir del conocimiento técnico profesional.
- Diseñar, elaborar, implementar y evaluar sistemas de producción en empresas del área textil.
- Organizar procesos de producción de acuerdo a requerimientos de calidad de productos y procesos (asignar recursos: tiempos; distribuir tareas; organizar el espacio; seleccionar equipamiento; herramientas y tecnologías; aplicar normas de seguridad e higiene).
- Supervisar el proceso de producción realizando los ajustes necesarios para la optimización y concreción del proyecto.
- Realizar y/o supervisar las tareas de mantenimiento electromecánico en maquinarias de las diferentes etapas del proceso.



-Adoptar y adaptar soluciones técnicas apropiadas según el comportamiento de distintas variables (materiales, mano de obra, maquinarias, tiempos y otras).

-Reconocer e interpretar las modificaciones en el sector e idear procedimientos para la adaptación activa de los cambios.

-Emplear y comunicar sus conocimientos técnicos e intercambiar ideas en su ámbito a fin de generar nuevas soluciones en el ámbito del proceso productivo optimizando los recursos.

Alcances del título:

-Diseñar y elaborar anteproyectos y documentación de procesos de producción textil.

-Diseñar, elaborar e implementar programas de Control de Calidad Textil.

-Planificar y ejecutar la realización de producciones, mantenimiento electromecánicos, y programas de Control de Calidad.

-Seleccionar, entrenar y conducir personal para las tareas de producción y control en industrias textiles en un marco de prevención de accidentes, gestión sustentable del ambiente y seguridad laboral.

-Asesorar en la formulación de criterios y normas destinadas a la prevención de accidentes relacionados con el ejercicio de la práctica profesional.

Carga horaria en la estructura curricular:

Espacios de Formación Básica (FB): 372 hs.

Espacios de Formación Específica (FE): 1236 hs.

Carga Horaria Total: 1608 hs

5. Conclusiones

La Universidad Nacional del Nordeste – UNNE es una de las pocas universidades nacionales de carácter regional que perduran en Argentina y su área de influencia se extiende más de 800 km, abarcando, además de Chaco y Corrientes, el norte de Santa Fe y la región de la República de Paraguay que limita con Argentina.

Su Facultad de Ingeniería, consustanciada con la importancia de aportar al desarrollo territorial sostenible y como contribución al fortalecimiento y sostenibilidad de la “Cadena de Valor Textil e Indumentaria”, priorizada por el “Plan Estratégico Industrial 2020”, ofrece a partir del año 2013 una Tecnicatura Universitaria en Tec-

nología Textil que se focalizará en aportar mano de obra calificada al cluster textil que está desarrollándose en Chaco y en Corrientes.

La afluencia de numerosos interesados en inscribirse en la carrera –única en su tipo en Argentina–, más el interés expresado por las industrias textiles de la región son fuertes indicios de la pertinencia de la propuesta académica.

6. Bibliografía

[1] NAVARRO DE GOTTIFREDI, A. M. (2002). Una forma de profundizar la relación Universidad – Sociedad. Cuadernos Nº 15, FHYCS-UNJu.

[2] FERNÁNDEZ ENGUIA M. (1990). Juntos pero no revueltos. Ensayos en torno de la Reforma de la Educación. Ed. Visor.

[3] DE SOUZA SANTOS, B. (1995). De la idea de la Universidad a la Universidad de las ideas. Cortés Ed. Sao Pablo.

[4] FOLLARI, R. (1994). Universidad y evaluación. Estado del debate. Buenos Aires. Aique.

[5] SOSA R. (2009). La opacidad de la validez social de los saberes del trabajo. Mimeo.

[6] SOSA, R.(2011). Los saberes “necesarios”: la producción y legitimación social. El rol de la Universidad. Trabajo y Sociedad, Núm.17.

[7] DE SOUZA SANTOS, B.(2005). La universidad en el siglo XXI. Para una reforma democrática y emancipadora de la universidad. Miño y Dávila, Buenos Aires.

Localización de planta de tratamiento de agua aplicando técnicas de optimización

Alejandro Ruberto, Jorge V. Pilar y Marcelo Justo M. Gómez

Resumen

Se presenta un estudio realizado para encontrar la mejor ubicación de la planta de tratamiento de agua en Misión Nueva Pompeya, en el Impenetrable Chaqueño, de manera tal de minimizar los impactos negativos provocados por su construcción y operación.

Para ello se formuló un modelo de apoyo a la decisión basado en una técnica de optimización multiobjetivo, incorporando una variante de “relajamiento difuso”.

Se tuvieron en cuenta aspectos relevantes, como riesgo sanitario, molestias a la población, costos, además de otros de naturaleza técnica.

El abordaje que se presenta en este trabajo buscó minimizar las valoraciones subjetivas que se dan en procesos de selección de alternativas.

Palabras clave: minimización de impactos, optimización multiobjetivo, relajamiento difuso, agua potable.

Introducción

La ciudad de Misión Nueva Pompeya se localiza en el Impenetrable Chaqueño, a 190km de Juan José Castelli, cabecera del departamento Gral. Güemes.

Cuenta con una población de poco más de 5.000 habitantes, a la que se suma una población periurbana de cerca de 1.600 habitantes, totalizando alrededor de 6.600 personas.

Actualmente, su fuente de provisión de agua es el río Bermejito, que pasa al este de la ciudad. Sin embargo, este río presenta problemas estacionales e interanuales de calidad y cantidad (BIRF [1]).

Por ello, la empresa SAMEEP (empresa del

Grupo de Investigación del Departamento de Hidráulica – Facultad de Ingeniería – UNNE aruberto@ing.unne.edu.ar; jpilar@ing.unne.edu.ar; marcelogomez@ing.unne.edu.ar

Gobierno del Chaco, proveedora de servicios de agua potable y cloacas) decidió la construcción de un sistema de distribución de agua potable, que se abastecería con un acueducto que tomaría agua del río Teuco. La idea es que ese acueducto transporte agua no tratada y la potabilización se realice en una planta que se construirá en la ciudad de Misión Nueva Pompeya o sus inmediaciones (Figura N°1).

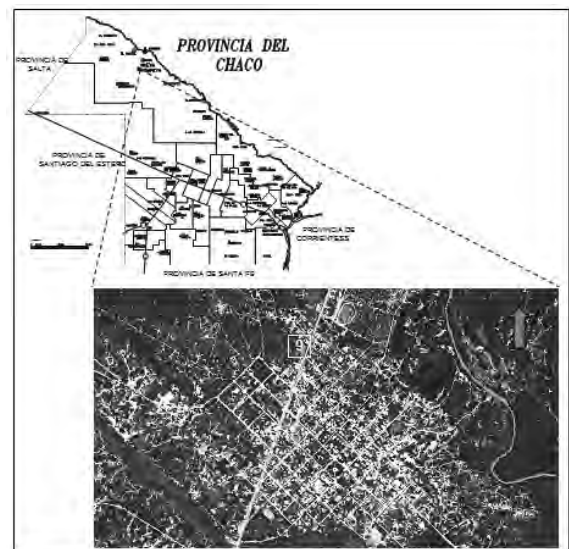


Figura N°1. Ubicación e imagen satelital de Misión Nueva Pompeya y alrededores. Fuente: Google Earth 2011.

La provisión de agua de buena calidad y en suficiente cantidad es ciertamente beneficiosa para cualquier población. Sin embargo la construcción y funcionamiento de las obras traen aparejados impactos ambientales, sociales y económicos no deseados.

La localización de una planta de tratamiento (potabilización) es una de las cuestiones que más fricciones genera en materia de agua potable. Por ello, el desafío consistía, en buscar una ubicación que minimizara los impactos negativos, teniendo en cuenta que ninguna de las alternativas de emplazamiento posibles se mostraba ni absolutamente mejor, ni absolutamente peor que las otras. Utilizando el léxico propio de la Teoría de la Decisión, ninguna constituyó una solución dominante o dominada, según el criterio de Pareto.

Elegir una sola opción entre varias posibles y teniendo en cuenta varios criterios simultáneamente es, además de una tarea difícil, una fuente de potenciales conflictos.

Este tipo de situaciones y su solución viene siendo estudiado en las últimas décadas por la Investigación de Operaciones, y las técnicas desarrolladas para abordar estos problemas son conocidas como "Técnicas de Análisis Multiobjetivo" (Barbosa [2]; Cohon [3]; Eppen et al [4]; Pilar [5]). Ellas son una importante herramienta de apoyo a la decisión, en especial en cuestiones de interés público.

La formulación objetiva de un problema de toma de decisión es siempre complicada, por la imprecisión e incertidumbre inherentes, que generan un ambiente no siempre claro para el decisor. Los conceptos y definiciones asociados a la optimización multiobjetivo/multicriterio, acertados o equivocados, intentan objetivar de alguna manera el subjetivo proceso de decisión, rompiendo con el mito de la decisión óptima en el más puro y abstracto sentido matemático. Algunos autores definen a estos métodos como una tercera alternativa a la eterna dicotomía entre pragmatismo y purismo (Barredo Cano [6]).

Para abordar el problema de escoger el sitio de emplazamiento de la planta de tratamiento para un acueducto que abastezca de agua potable a la ciudad de Misión Nueva Pompeya se aplicó la técnica de optimización multiobjetivo

conocida como "Método de Análisis Jerárquico", desarrollado por Saaty (Saaty [7]), con una variante de "relajamiento difuso", propuesta por Pilar [5], que aplica conceptos de lógica difusa (fuzzy logic).

El método de análisis jerárquico

Un proceso de toma de decisión, en el que una persona o grupo de personas esté evaluando varias alternativas podría asimilarse analógicamente a un "pesaje". Según esta analogía, las decisiones surgirían de comparar medidas físicas muy precisas, por ejemplo "pesos".

Comparar (pesar) al mismo tiempo todas las alternativas en cuestión entre sí es una tarea prácticamente imposible. Pero sí es posible realizar comparaciones "paritarias" entre ellas, es decir, de a dos por vez.

Si el resultado de estas comparaciones se vuelca en una matriz, se tendrá algo semejante a lo indicado en la Figura N°2.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Figura N°2. Matriz de las comparaciones paritarias entre alternativas

En la matriz "A" de la Figura N°2, "a₁₂" representa la importancia relativa entre la alternativa "1" y la "2". Por tal motivo, esta matriz "A" será recíproca, es decir que lo que está por arriba de la diagonal principal será recíproco de lo que se encuentra por debajo de la misma.

En la analogía de los pesos y suponiendo que la alternativa "1" pese, por ejemplo, w₁ = 50g y la "2", w₂ = 40g se tendrá:

$$a_{12} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{50g}{40g} = \frac{5}{4} \quad (1)$$

Si en la matriz "A" cada elemento "a_{ij}" es reemplazado por una relación semejante a la indicada en (1), se tendrá una matriz como la mostrada en la Figura N°3.

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}$$

Figura N°3. Interpretación de la matriz de comparaciones paritarias

No sería esperable que matrices de este tipo sean elaboradas cada vez que se vaya a tomar una decisión, trascendente o no. Sin embargo, si se espera que la decisión tenga visos de ecuanimidad, el proceso no debería apartarse mucho de lo recién indicado.

Continuando con el razonamiento, si se considerase la línea “i” de la matriz “A” mostrada en la Figura N°2 (a_{i1} ; a_{i2} ; ; a_{ij} ; ; a_{in}), si se multiplicase el primer elemento de esa línea por “w1”, el segundo por “w2”, y así en más, se tendrá:

$$\frac{w_1}{w_1} \cdot w_1 = w_1, \quad \frac{w_1}{w_2} \cdot w_2 = w_1, \dots, \quad \frac{w_1}{w_j} \cdot w_j = w_1, \dots, \quad \frac{w_1}{w_n} \cdot w_n = w_1 \quad (2)$$

Si esto mismo se hiciera con los juicios reales (ya no con los ideales), se obtendría una línea (vector línea), cuyos elementos representarían la “dispersión estadística” del juicio elaborado sobre el valor de “wi”. Luego, parece válido utilizar como estimativa de “wi” al promedio de estos valores (Saaty [7]).

Caso ideal: $w_i = a_{ij} \cdot w_j$ (para i y j variando de 1 hasta n) (3)

Caso más real: $w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j$ (4)

Entonces, suponiendo que se tenga una matriz “A”, formada por juicios (comparaciones) “precisos” y otra matriz “A’”, que sea una estimativa aproximada de “A”, se podrá escribir lo siguiente:

$$A' \cdot W = \lambda_{MAX} \cdot W \quad (5)$$

Se puede demostrar que, en el caso de que la “A’ ” sea una matriz consistente, o sea con juicios o ponderaciones coherentes, la (5) tiene solución única y en ella “λMAX” es el mayor autovector de “A’ ”, mientras que “w” es su autovector. Este autovector representará el “vector de prioridades” de las alternativas que se están analizando, según el criterio utilizado en la elaboración de las comparaciones.

Es posible percibir que, cuanto más parecido sea “λMAX” al número de alternativas que están siendo comparadas (n), más consistente será el juicio de valor que se elaboró (matriz A’). Además, se puede demostrar que siempre será “λMAX” n. El método prevé mecanismos para verificar la consistencia de las comparaciones paritarias.

Saaty propone utilizar una escala 1 a 9 pues, según el autor, nuestro cerebro es capaz de reconocer hasta 9 niveles de “matices” en una comparación simultánea.

El “relajamiento difuso”

Cada vez que los tomadores de decisiones deben llenar las matrices de comparaciones paritarias descritas anteriormente, se puede percibir en ellos cierta incomodidad al tener que asignar un puntaje preciso y de preferencia entero a esas comparaciones.

Para intentar resolver este conflicto, Pilar [4] propuso el artificio de “relajar” esta puntuación, haciendo uso de algunas nociones de la lógica difusa.

La lógica difusa utiliza el concepto de “grado de membresía”, que indica la seguridad o certeza que se tiene respecto a que un elemento pertenezca a un conjunto. En la teoría clásica de conjuntos, que se basa en la “lógica booleana”, un elemento o bien pertenece a un conjunto dado, o bien no pertenece a él. La lógica difusa admite la pertenencia parcial, lo que la hace especialmente interesante para incorporar el análisis de sensibilidad al propio proceso de toma de decisión (Pilar [8]).

Otro concepto interesante de la lógica difusa es el de “número difuso”, que se utiliza para caracterizar un dato subjetivo y que no debe ser entendido como una variable aleatoria: es una estimativa y no una medida.

Pilar [5] propuso que cuando se realizan las comparaciones paritarias, al estimarse la relación "aij", que define el peso relativo que el decisor atribuye al elemento "i" sobre el "j", en caso que dicho valor sea mayor que la unidad, el mismo podría variar de un valor "n", con un grado de membresía máximo, hasta "n-z" y "n+z" (siendo z cualquier número entero "pequeño", por ejemplo 1), con grados de membresía nulos en ambos casos. En caso de ser menor que la unidad, podría variar entre "1/n", con grado de membresía máximo, hasta "1/(n+z)" y "1/(n-z)", como límites inferior y superior, respectivamente, y con grados de membresía nulos. En este trabajo se adoptó z = 1, por lo que el número difuso triangular resultante queda como el mostrado en la Figura N°4.

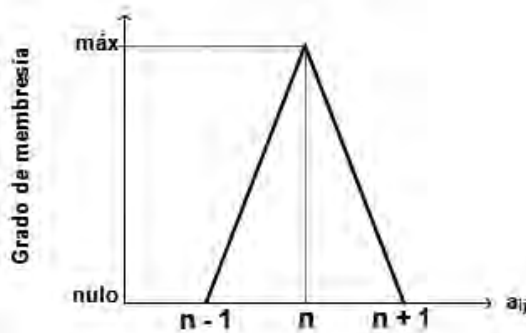


Figura N°4. Caracterización difusa de la relación "aij"

Entonces, siguiendo este razonamiento, las matrices de comparaciones paritarias podrían tener tres valores por celda: uno correspondiente al grado de membresía máximo y los dos restantes, uno superior y otro inferior, con grados de membresía nulos.

Luego, continuando el procedimiento del Método del Análisis Jerárquico, se deberían calcular tres autovectores: uno para las comparaciones con grado de membresía máximo, otro para los valores que representan los límites superiores de estas comparaciones (grado de membresía nulo) y el restante para los valores que representan los límites inferiores de las comparaciones (también con grado de membresía nulo).

Elección del sitio de emplazamiento de la planta de tratamiento

Para aplicar el "Método del Análisis Jerárquico" al problema de decidir la localización de la

planta de tratamiento de agua para la ciudad de Misión Nueva Pompeya se consideraron 4 aspectos:

- a) Social: que tiene en cuenta el riesgo sanitario y las molestias a la población;
- b) Ambiental: que considera el desmonte, la modificación del paisaje, la alteración de los suelos y de la morfología;
- c) Dificultades técnicas: en lo relacionado al tratamiento del agua y la disposición final de los lodos residuales; y
- d) Económico.

Es importante que estos aspectos reflejen la problemática sin redundancias, es decir, deben ser independientes. Es de destacar que, en otro caso, inclusive en este mismo caso, diferentes analistas podrán escoger otros aspectos a ser tenidos en consideración.

El resultado de las comparaciones paritarias primarias (sin relajamiento difuso) entre los aspectos considerados es mostrado en la Figura N°5. Hecho el correspondiente análisis de consistencia, se verificó que los juicios representados en esta matriz fueron coherentes.

| | Aspectos sociales | Aspectos ambientales | Aspectos técnicos | Aspectos económicos |
|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|---------------------|
| Aspectos sociales | 1,00 | 3,00 | 3,00 | 5,00 |
| Aspectos ambientales | 0,33 | 1,00 | 1,00 | 1,67 |
| Aspectos técnicos | 0,33 | 1,00 | 1,00 | 1,67 |
| Aspectos económicos | 0,20 | 0,60 | 0,60 | 1,00 |
| Sumatoria | 1,87 | 5,60 | 5,60 | 9,34 |
| 1/Sumatoria | 0,53 | 0,18 | 0,18 | 0,11 |
| Valor normalizado | 0,53 | 0,18 | 0,18 | 0,11 |

Figura N°5. Comparaciones paritarias entre los aspectos que fueron considerados.

La línea inferior de la matriz de la Figura N°5 es el vector de prioridades, que refleja la preferencia de los decisores: el aspecto "social" representa 53% de su decisión, el aspecto "ambiental" 18%, las cuestiones "técnicas" también 18% y las "económicas" 11%.

Posteriormente, a la matriz de la Figura N°4 se la aplicó el "relajamiento difuso" explicado en párrafos anteriores. En la Figura N°6 se muestra en una gráfica con los resultados finales de esas comparaciones.



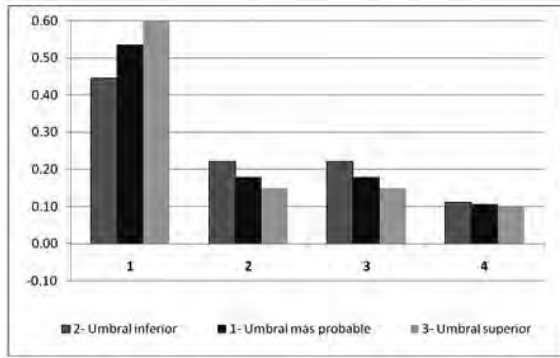


Figura N°6. Resultado final de las comparaciones paritarias, incluido el relajamiento “difuso”.

Se evaluaron tres alternativas de localización (ver Figura N°7):

- 1) planta sobre la Ruta Provincial N° 9;
- 2) planta en la ciudad y
- 3) planta cercana al río Bermejito.



Figura N°7. Alternativas de localización en Misión Nueva Pompeya

Siguiendo en Método de Análisis Jerárquico, las tres alternativas se compararon entre sí, en forma paritaria, según cada uno de los cuatro aspectos considerados y utilizando la misma escala (de 1 a 9) que en la comparación mostrada en la Figura N°5. Con ello, se obtuvieron cuatro nuevos autovectores, que representan las preferencias de cada una de las tres alternativas de ubicación, según cada uno de los cuatro aspectos considerados.

En la Figura N°8 se presentan las comparaciones antes mencionadas entre las tres alternativas de localización evaluadas.

| Comparaciones según aspectos sociales | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|
| | Alt 1 | Alt 2 | Alt 3 |
| Alt 1 | 1 | 5 | 2 |
| Alt 2 | 0,2 | 1 | 0,4 |
| Alt 3 | 0,5 | 2,5 | 1 |
| Σ | 1,7 | 8,5 | 3,4 |
| $1/\Sigma$ | 0,59 | 0,12 | 0,29 |

| Comparaciones según aspectos ambientales | | | |
|--|-------|-------|-------|
| | Alt 1 | Alt 2 | Alt 3 |
| Alt 1 | 1 | 5 | 2 |
| Alt 2 | 0,2 | 1 | 0,4 |
| Alt 3 | 0,5 | 2,5 | 1 |
| Σ | 1,7 | 8,5 | 3,4 |
| $1/\Sigma$ | 0,59 | 0,12 | 0,29 |

| Comparaciones según aspectos técnicos | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|
| | Alt 1 | Alt 2 | Alt 3 |
| Alt 1 | 1 | 0,33 | 0,17 |
| Alt 2 | 3 | 1 | 0,50 |
| Alt 3 | 6 | 2 | 1 |
| Σ | 10 | 3,33 | 1,67 |
| $1/\Sigma$ | 0,10 | 0,30 | 0,60 |

| Comparaciones según aspectos económicos | | | |
|---|-------|-------|-------|
| | Alt 1 | Alt 2 | Alt 3 |
| Alt 1 | 1 | 3 | 3 |
| Alt 2 | 0,33 | 1 | 1 |
| Alt 3 | 0,33 | 1 | 1 |
| Σ | 1,67 | 5 | 5 |
| $1/\Sigma$ | 0,60 | 0,20 | 0,20 |

Figura N°8. Comparaciones entre las tres alternativas de localización analizadas

Finalmente, fue preciso integrar todos los juicios (los cuatro autovectores de los últimos renglones de las matrices de la Figura N°8) para hacer una valoración final de estas alternativas. Entonces, se conformó con ellos una nueva matriz, la que se multiplicó por el vector de preferencias obtenido de la Figura N°5 (última línea de la matriz mostrada en esa figura) y por los otros dos vectores que surgieron del “relajamiento difuso” de la matriz presentada en esa misma figura.

Como resultado se obtuvieron tres vectores (Figura N°9), que representan la preferencia de los decisores por cada una de las alternativas: uno correspondiente a la puntuación que en el contexto de este trabajo se denominó “más probable”, y los otros dos correspondiendo a los umbrales “superior” e “inferior” del relajamiento “difuso” de la matriz presentada en la Figura N°4.

Ello permitió clasificar a las alternativas de localización de la planta de tratamiento según un orden de mérito o “ranking” (Figura N°9). La localización junto a la Ruta Provincial N° 9 obtuvo el primer orden de prioridad.

| Localización | Resultados | | | |
|-----------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------|
| | Umbral inferior | Valor más probable | Umbral superior | Ranking |
| Planta sobre la Ruta | 0,48 | 0,51 | 0,52 | 1° |
| Planta en la ciudad | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 3° |
| Planta cercana al río | 0,35 | 0,34 | 0,33 | 2° |

Figura Nº 9. Orden de preferencia de las alternativas de localización analizadas

Conclusiones y recomendaciones

La aplicación de una técnica de optimización multiobjetivo/multicriterio permitió dar un poco de objetividad al proceso decisorio de elegir una entre tres alternativas posibles de localización de la planta de tratamiento para abastecer de agua potable a la ciudad de Misión Nueva Pompeya, siendo que a priori ninguna de esas alternativas se mostraba ni mejor ni peor que las otras.

Según las ponderaciones efectuadas y según el parecer de los decisores, la alternativa de localización junto a la Ruta Provincial N° 9 sería la que minimizaría los impactos negativos que provocarán la construcción y operación de la planta.

Se utilizó el “Método del Análisis Jerárquico”, de sólida base matemática y lógica, adoptando una variante de “relajamiento difuso” de las puntuaciones.

Sería deseable aprovechar la buena aceptación que mostró este tipo de abordaje, es decir la utilización de técnicas de optimización multiobjetivo/multicriterio, para aplicarlo a otras situaciones conflictivas, con lo cual se podría ganar en objetividad a la hora de tomar decisiones trascendentes, especialmente en cuestiones de interés público.

Referencias bibliográficas

- [2] Barbosa, P.S.F. (1997). O emprego da análise multiobjetivo no gerenciamento dos recursos hídricos. *Água em revista*. n8, pp 42-46.
- [6] Barredo Cano, J.I. (1996). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio*. Madrid: RA-MA. 264p.
- [3] Cohon, J.L. (1991). *Multiobjective programming and planning*. New York: Academic Press. 333p.

[4] Eppen, G.D., Gould, F.J., Schmidt, C.P., Moore, J.H., Weatherford, L.R. (2000). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa*. México: Prentice-Hall. 792p.

[1] BIRF, PRESTAMO 7992/OC-AR. LINEA DE BASE AMBIENTAL . (2013). Programa de infraestructura hídrica del norte grande - agua potable y drenajes urbanos. “Proyecto de Abastecimiento de Agua Potable a las localidades de Wichí-El Sauzal-Misión Nueva Pompeya y Fuerte Esperanza”. Provincia del Chaco.

[5] Pilar, J.V. (2003). Utilización de un modelo de apoyo a la decisión con relajación “difusa” para la elección de la traza de una defensa para el Gran Resistencia. In: Encuentro nacional de docentes de investigación operativa, 16, [e] ESCUELA DE PERFECCIONAMIENTO EM INVESTIGACIÓN OPERATIVA, 14., La Plata. Anales.

[8] Pilar, J.V. (2012). *Herramientas para la gestión y la toma de decisiones* (2da. Ed.). Salta: Editorial Hanne. 138p.

[7] Saaty, T. (1991). *Método de análisis jerárquica*. São Paulo: McGraw-Hill, Makron. 367p.

Evaluación tecnológica y estructural de tubos prefabricados de hormigón con fibras de acero

Norma Luján Ercoli, Leonel Osvaldo Pico y Marcos M. Villarreal

Resumen

Este trabajo muestra estudios experimentales y numéricos sobre tubos de 600 mm de diámetro de hormigón reforzado con fibras de acero, HRFA, con dosis de fibras de 25 y 30 kg/m³. La sustitución de armadura tradicional por fibras tiene ventajas técnicas y económicas, pues modifica el comportamiento material y la respuesta estructural. Los tubos se ensayaron mediante compresión diametral. Se observó que las fibras controlan la fisuración y aumentan la ductilidad, estanqueidad y durabilidad en servicio. Los resultados confirman que el HRFA es viable y sustentable para fabricación de tubos de hormigón, potenciando su uso en la industria del prefabricado.

Palabras claves: tubos de hormigón, fibras de acero, prefabricado, comportamiento estructural

Abstract

This paper presents experimental and numerical studies on steel fiber concrete pipes of 600 mm diameter, SFRC, with dosages of fibers of 25 and 30 kg/m³. The replacement of traditional reinforcement by fibers has technical and economic advantages and it modifies the material behavior and structural response. Pipes were tested by diametral compression. Fibers control the cracking and they increase ductility, tightness and durability in service. The results confirm that the SFRC is viable and sustainable for manufacturing concrete pipes, upgrade their use in precast industry.

Keywords: concrete pipes, steel fibers, precast, structural performance.

Ingenieros Civiles – Grupo de investigación “Teoría y Modelos para Análisis Estructural”, Facultad de Ingeniería, UNCPBA.

nercoli@fio.unicen.edu.ar, lpico@fio.unicen.edu.ar

Introducción

La industria del prefabricado presenta variedad de productos en constante expansión porque se plantea como una solución sustentable para el desarrollo de productos en serie y con calidad asegurada para obras civiles. Ejemplo de ello es la fabricación de tubos de hormigón armado destinados principalmente a conducir aguas cloacales, aguas pluviales y aguas superficiales en obras de infraestructura civil. En el diseño de los tubos de hormigón, la tendencia actual es reemplazar la armadura tradicional de barras de acero por fibras de acero, conformándose un nuevo material denominado Hormigón Reforzado con Fibras de Acero (HRFA). La adición de fibras de acero conduce a ventajas tanto técnicas como económicas. Recientes investigaciones demuestran que la incorporación de dosis adecuadas de fibras de acero modifica tanto el comportamiento a nivel material como la respuesta estructural, [1-3]. Entre los factores principales que controlan el desempeño del material compuesto hay que mencionar las propiedades físicas de las fibras y de la matriz y la adherencia entre ellas. El uso de fibras incrementa la capacidad de absorción de energía permitiendo un comportamiento más dúctil hasta la carga última. Esto se traduce desde el punto de vista estructural en que la presencia de fibras retarda

y reduce el proceso de fisuración en un elemento de hormigón, lo cual es de importancia en la evaluación del análisis al límite o modo de falla de los elementos. Esto es de interés para aquellas aplicaciones donde el diseñador debe contemplar los aspectos de durabilidad y seguridad durante la vida útil de las estructuras para evitar colapsos frágiles mediante un adecuado incremento de ductilidad, tenacidad y control de fisuración. En ese sentido, se destacan los trabajos realizados en el LEMIT y sus contribuciones para la difusión en el país del HRFA [4-6]. Asimismo, la combinación de armadura más fibras conduce a una sinergia positiva en la respuesta estructural. En la Facultad de Ingeniería de Olavarría existen antecedentes de utilización del HRFA en vigas de hormigón armado como sustitución de armadura de estribos [7,8]. El HRFA es de práctica usual en varios países europeos y en EE.UU, y es una innovación aplicable a nuevos productos y usos en la ingeniería civil. Particularmente, se destaca su empleo en la industria del prefabricado. El uso de fibras de acero para refuerzo de tubos de hormigón se inició hace aproximadamente dos décadas, y su introducción en el mercado es progresiva, acrecentándose a medida que las contribuciones e investigaciones van sumando ventajas a su uso, las cuales se detallan a continuación [1-2]:

-La eliminación total de la armadura convencional de barras de acero externa en tuberías de gran diámetro.

-El ahorro de estas cuantías de armadura de barras de acero repercute directamente en los esfuerzos destinados a la manipulación y montaje de las jaulas de armado, disminuyendo tiempos, personal y recursos económicos involucrados en este proceso.

-Se evitan los problemas asociados al movimiento de las jaulas de armado, al cumplimiento de separaciones y a los recubrimientos mínimos exigidos en los códigos.

-Se genera una malla homogénea que inicia su colaboración en la tarea resistente desde la fisuración de la matriz y que se extiende hasta cargas avanzadas.

-Los sistemas de giro-compresión y giro-vibración empleados para la fabricación de tubos no presentan problemas técnicos relacionados

con la factibilidad de producción con HRFA.

-Debido a la naturaleza de los esfuerzos que se generan durante el proceso de vibrado, compactación y al efecto pared causado por los contornos del molde, las fibras tienden a posicionarse paralelas al flujo de tensiones normales que aparecen en servicio. Esto aumenta la eficiencia de la fibra incrementándose la capacidad resistente y la ductilidad de la pieza.

-El reparto homogéneo de fibras impide la aparición de fisuras superficiales durante el proceso de fraguado y favorece el proceso de auto-protección por hidratación de las partículas del cemento. Todo ello mejora las propiedades de estanqueidad, de durabilidad y de resistencia a la fatiga.

En este trabajo se muestran los resultados experimentales de estudios realizados mediante un convenio con una empresa de prefabricados de Olavarría. Se realizaron tubos de 0,60 m de diámetro con cuantías de fibras de 25 y 30 kg/m³ de hormigón, con y sin encastrado, según Figura 1. Se presentan resultados sobre la tecnología del proceso de fabricación y sobre el desempeño estructural, ensayos instrumentados y realizados en el Laboratorio de Estructuras de la FIO, a través del ensayo de compresión diametral. Los resultados obtenidos confirman que la sustitución de armadura convencional por fibras es una solución viable para la realización de tubos de hormigón.



Figura 1. a) Tubos nervurados con encastrado; b) tubos lisos sin encastrado.

Contexto normativo para el diseño de tubos de hormigón

Varios códigos internacionales contemplan el uso de HRFA, estableciendo especificaciones de la tecnología del material, de usos y de bases para su diseño resistente. En Argentina aún no se ha incorporado el HRFA al Reglamento de Estructuras de Hormigón, CIRSOC 201/05 [9], que

tiene como base filosófica al Código ACI 318, cuya versión 2008 [10] lo incorpora con especificaciones tanto desde el punto de vista material como de las prestaciones estructurales. Al respecto, el American Concrete Institute define al Hormigón Reforzado con Fibras (HRF) como "... un hormigón realizado con cementos hidráulicos que contiene agregado fino o fino y grueso y fibras discontinuas. Las mallas continuas o barras largas quedan excluidas de la definición" [11]. En Europa la Norma UNE-EN 1916 [12] regula los tubos de hormigón en masa o simples (THS), los tubos de hormigón armado (THA) y los tubos de hormigón con fibras (THF), en base a las normas americanas ASTM-C14 y ASTM-C76 para THS y THA, respectivamente [13,14] Específicamente, en las normativas nacionales europeas se fijan las cuantías de armadura [15]. En Brasil existe una norma integral que considera las tres variantes de tubos mencionados [16]. Tanto la normativa de Europa como la de Brasil no sugieren cuantías de fibras para alcanzar las clases resistentes. Solo indican valores de carga de fisuración y de resistencia y no consideran la situación mixta de fibras y armadura. En Argentina las normas IRAM 11503 e IRAM 11513 [17,18] regulan los tubos de THA y THS respectivamente. En la Tabla 1 se resume el contexto normativo vigente.

Tabla 1. Estado actual de normativas de tubos de hormigón.

| País | Normativa | Regulación | | |
|-----------|----------------|------------|-----|-----|
| | | THS | THA | THF |
| Argentina | IRAM 11503 | — | Sí | — |
| Argentina | IRAM 11513 (*) | Sí | — | — |
| Brasil | NBR 8890 | Sí | Sí | Sí |
| España | UNE 127916 | Sí | Sí | Sí |
| EE UU | ASTM-C14 | Sí | — | — |
| EE UU | ASTM-C76 | — | Sí | — |
| EE UU | ASTM-C76M | — | — | Sí |
| Europa | UNE-EN 1916 | Sí | Sí | Sí |

(*) Clase de tubos no permitidos por la Dirección Nacional de Vialidad

Evaluación comportamiento estructural de tubos de hormigón

El ensayo tradicionalmente utilizado para la evaluación estructural de los tubos se denomina "prueba de tres aristas" o "ensayo de compresión diametral", donde se analiza la respuesta hasta la rotura con seguimiento del proceso de fisuración. En Argentina, el ensayo de tubos de hormigón se rige por la Norma IRAM 11503 [17], la cual no contempla la incorporación de fibras al material hormigón. En esta norma se deben

evaluar las cargas de fisuración y las cargas de rotura solo para tubos reforzados con barras de acero para hormigón armado. Para el caso de los tubos de hormigón con fibras de este desarrollo y al no contar con normativa en el país, se utilizaron como referencia y marco conceptual las normas de España [12,15] y de Brasil [16]. El procedimiento de ensayo para THRFA es el siguiente:

Se carga hasta la fisuración con F_c y se mantiene esta carga durante 1 min sin que aparezcan nuevas fisuras, donde F_c debe ser el 67% de la carga de rotura especificada, F_n .

Se carga el tubo hasta la rotura, donde se obtiene la carga última F_u mayor que F_n .

Cuando la carga desciende más de un 5% respecto a F_u se debe descargar el tubo y luego recargar. En esta recarga se debe alcanzar como mínimo el 67% de F_n durante 1 min, sin que se produzca la destrucción total del tubo.

La Figura 2 muestra la disposición del ensayo y el proceso de carga y descarga en función del tiempo de ensayo. Este proceso cíclico tiene como fin verificar que el tipo y cantidad de fibras son las adecuadas para garantizar la carga mínima post-rotura.

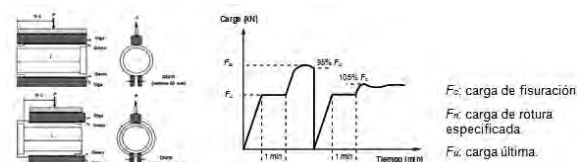


Figura 2. Disposición de ensayo de THRFA y Curva de carga en función del tiempo, según NBR 8890 [16].

Descripción del diseño de tubos

Los tubos se diseñaron considerando criterios de dimensiones de interés comercial, y de tecnología de fabricación y fibras disponibles en el país. Al efecto se estudiaron tubos de diámetro interior de 600 mm, ya que es ampliamente utilizado en obras de infraestructura civil. Estos tubos se fabricaron en una empresa de premoldeados de la ciudad de Olavarría en el marco de un Convenio y luego se ensayaron en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería según la modalidad que proponen las normativas [12,15,16]. Para el refuerzo de los tubos se utilizaron fibras de acero Wirand del tipo FF3,

cuya geometría y sus características se describen en la Tabla 2 [19]. Según las investigaciones recientes, [1-3], las dosificaciones de fibras que influyen en el comportamiento del material se encuentran entre 20 kg/m³ y 40 kg/m³. En particular, para la construcción de los tubos de este trabajo se adoptaron dosificaciones de fibras de 25 kg/m³ y 30 kg/m³. Los tubos de hormigón simple (sin fibras) se utilizaron como patrones de referencia. La Tabla 3 presenta las características generales de los tubos realizados, en un total de 6 especímenes.

Tabla 2. Propiedades físicas de las fibras [19].


| Fibra | Material | Resistencia a la tracción (MPa) | Dimensiones | | |
|---|---|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | Longitud (mm) | Diámetro (mm) | Esbeltez (ld) |
|  | Alambre de acero de bajo contenido de carbono | 1200 | 50 | 0,75 | 67 |

Tabla 3. Características generales de los tubos realizados.

| Nomenclatura | Características | Dosificación (kg/m ³) | Espesor (mm) |
|--------------|---------------------|-----------------------------------|--------------|
| THS | Hormigón simple | 0 | 70 |
| THRFA25 | Hormigón con fibras | 25 | |
| THRFA30 | Hormigón con fibras | 30 | |

Proceso de fabricación de tubos

La factibilidad tecnológica de estos tubos está dada en el proceso de prefabricación. Según relevamientos realizados, en la fabricación de tubos de hormigón son utilizados los sistemas de “giro-compresión o compresión radial” y “giro-vibración”, empleándose el primero de ellos para los tubos de este trabajo. En el sistema de giro-compresión se colocan en posición vertical el molde externo metálico del tubo a llenar y el eje rotatorio eléctrico interno. Este eje tiene un sistema hidráulico de rodillos dispuestos al tresbolillo que originan un movimiento de rotación que comprime al hormigón contra el molde externo, conformándose así el tubo, como se muestra en las Figuras 3 y 4. La dosificación para el hormigón utilizado se presenta en la Tabla 4, resultando una mezcla “seca” debido a la baja relación agua/cemento. Sin embargo, se logró una adecuada cohesión de la mezcla con el proceso mencionado.

Tabla 4. Dosificación utilizada para el hormigón.

| Material | Cantidad |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Arena de trituración 0-6 | 860 kg/m ³ |
| Arena silícea | 125 kg/m ³ |
| Agregado grueso de trituración 6-12 | 800 kg/m ³ |
| Cemento CFF40 | 400 kg/m ³ |
| Agua | 110 kg/m ³ |
| Relación agua/cemento | 0,28 |

El hormigón se prepara en una mezcladora de eje horizontal, que alimenta a una cinta transportadora que lo vuelca en el molde, Figura 3. Las fibras se incorporaron en las dosis especificadas y se mezclaron durante 2 minutos. Finalizado el llenado del tubo, éste se retira de la máquina y se lo traslada al lugar de disposición de curado durante las primeras horas de fragüe. El desmolde se realiza casi instantáneamente a la finalización del llenado, lo cual muestra que el tubo adquiere rápidamente la capacidad de autosustentarse, como se ilustra en la Figura 4. Esto se debe a la elevada compacidad de la mezcla y a su reducida relación agua/cemento. Simultáneamente, se moldearon probetas cilíndricas de 15 cm por 30 cm para caracterizar el material utilizado en el moldeo de los tubos. Debido a la consistencia seca de la mezcla, el moldeo se realizó en tres capas por medio de una mesa vibradora.



Figura 3. Disposición de equipos en el proceso de fabricación de los tubos.



Figura 4. Proceso de llenado molde, traslado y desmolde.

Predicción numérica de la carga de rotura

Se realizaron ensayos numéricos para estimar la carga de rotura de tubos de hormigón simple. Estos ensayos se efectuaron por medio de un software que emplea el Método de los Elementos Finitos [20]. Se consideró un modelo material tipo “Reinforced Concrete”, ya que es capaz de representar el comportamiento tanto a tracción como a compresión del hormigón. Investigaciones recientes plantean modelos de



cálculo [23]. Según el art. 9.5.2.3 del Reglamento CIRSOC 201/05, la resistencia a tracción del hormigón de calidad H-35 es $0,625\sqrt{f'_c} = 3,7$ MPa. La Figura 5 ilustra el comportamiento a tracción y compresión del modelo material empleado en las simulaciones numéricas. En la Tabla 5 se muestran los datos ingresados para los modelos numéricos de tubos.

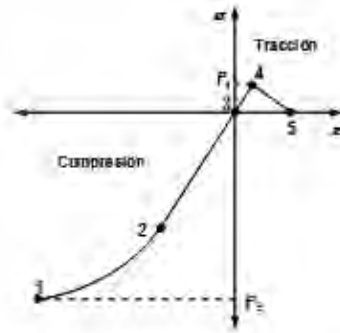


Figura 5. Curva tensión-deformación del modelo numérico material.

Tabla 5. Datos para el modelo material hormigón.

| | |
|-----------------------------|---|
| Resistencia a la tracción | 3,7 MPa (punto 4, Figura 5) |
| Resistencia a la compresión | 35 MPa (punto 1, Figura 5) |
| Módulo de elasticidad | 27805 MPa (pendiente de los puntos 2, 3 y 4, Figura 5) |
| Densidad | 2400 kg/m ³ |
| Módulo de Poisson | 0,2 |
| Energía de fractura | 46125 J/m ² (área encerrada por los puntos 3, 4 y 5, Figura 5) |

La curva de tensión-deformación se determinó con la expresión de Thorenfeld, [21,22], Ecuación 1.

$$\frac{f'_c}{f'_c} = \frac{n \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \right)}{n-1 + \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \right)^{nk}} \quad (1)$$

donde n puede expresarse como una función aproximada de la resistencia a la compresión de un hormigón normal, dada por la Ecuación 2 y k es un factor que depende de la relación de deformaciones, Ecuación 3.

$$k = 1 \text{ si } \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \right) < 1; \quad k > 1 \text{ si } \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \right) > 1 \quad (2)$$

$$n = 0,4 \cdot 10^{-3} f'_c \text{ (psi)} + 1 \quad (3)$$

donde f'_c es la tensión de compresión del hormigón, f'_c es la resistencia del hormigón a la compresión, ϵ_c es la deformación de compresión del hormigón y ϵ_{cc} es la deformación en rotura ($\epsilon_{cc} = 0,002$). Los resultados obtenidos de los modelos numéricos indican que la carga

de fisuración es de 35 kN/m y que la carga de rotura es 50 kN/m, experimental 54 kN/m, con muy buena concordancia. La Figura 6 muestra los estados tensionales resultantes.



Figura 6: Tensiones máximas de tracción y compresión de THS, en N/m². Software Algor.

Ejecución de ensayos estructurales

Los tubos y las probetas se ensayaron luego de 28 días en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería. Los resultados de ensayos de compresión de las probetas permitieron identificar al hormigón como H-35 ($f'_c = 35$ MPa). Para la ejecución de los ensayos se confeccionaron una viga de apoyo con la separación exigida por la Norma IRAM 11503, una viga de reparto en la parte superior para lograr carga uniformemente distribuida y un soporte para flexímetro ubicado en el interior del tubo, como se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Ensayos realizados en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería

Resultados y discusión

El ensayo del tubo de hormigón simple (THS) permitió obtener una rotura frágil y súbita, como se muestra en la Figura 8. La carga experimental concuerda con la predicha por el modelo numérico computacional desarrollado, según Figuras 5 y 6.



Figura 8. Modo de rotura de THS.

Las Figuras 9 y 10 muestran que las fisuras que provocaron la falla de los tubos con fibras de acero se encuentran en las partes superior, inferior y en los laterales de cada tubo. No se observaron desprendimientos de partes de la pieza y cada tubo permaneció armado. Esto se corresponde con un tipo de rotura dúctil. Durante la aplicación de las cargas, entre la fisuración y la rotura se observó un retardo en la aparición, propagación y apertura de fisuras, lo cual se explica con la energía de deformación almacenada por las fibras y la consecuente ductilidad desarrollada. La Figura 11 ilustra la carga aplicada en función del desplazamiento vertical del tubo, donde se grafican los comportamientos estructurales de THRFA25 y THRFA30 y las cargas mínimas de fisuración y de rotura requeridas por la norma IRAM 11503 para tubos de hormigón de clase resistente II. La Figura 10 muestra que las fibras se orientaron preferentemente en la dirección tangencial al diámetro del tubo, es decir, siguiendo la trayectoria de las tensiones de tracción. Esta orientación contribuyó a mejorar la eficiencia de las fibras, lográndose aumentar tanto la capacidad resistente como la ductilidad de los tubos, como se muestra en la Figura 11 y en la Tabla 6.

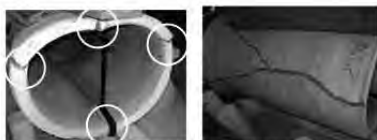


Figura 9. Modo de rotura de THRFA25.



Figura 10. Distribución de fisuras en los laterales y fibras cortadas en THRFA30.

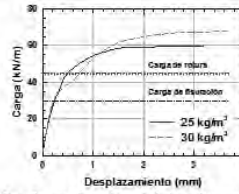


Figura 11. Carga aplicada en función del desplazamiento vertical del tubo.

En la Figura 11 se indican además las líneas correspondientes a cargas de fisuración y rotura según la Norma IRAM 11503, y los resultados comparativos se muestran en Tabla 6. Los tubos ensayados se corresponden con la clase resistente III. Desde el punto de vista de los requerimientos de armadura de acero para tubos de Clase III, según IRAM 11503 corresponde colocar 5,2 kg de acero de diámetro 6 mm, para tubos de 600 mm de diámetro. En este desarrollo se han reemplazado por fibras de acero, resultando 4,7 kg de fibras de acero para tubo de HRFA con 25 kg/m³, y en el caso de incorporar 30 kg/m³, resultan 5,7 kg de fibras de acero.

Tabla 6: Resultados de cargas de fisuración y rotura y exigencias mínimas de IRAM 11503.

| Tubo | Carga experimental (kN/m) | | Cargas mínimas exigidas por IRAM 11503 (kN/m) | | | | | |
|---------|---------------------------|------|---|------|-----------|------|----------|------|
| | | | Clase II | | Clase III | | Clase IV | |
| | Fis | Rot. | Fis | Rot. | Fis | Rot. | Fis | Rot. |
| THRFA25 | 40,6 | 60,0 | 30 | 45 | 39 | 60 | 60 | 90 |
| THRFA30 | 40,7 | 68,2 | | | | | | |

Conclusiones

En este trabajo se demostró la factibilidad técnica de fabricación de tubos de HRFA con dosis de 25 y 30 kg/m³, con la tecnología y materiales empleados en la industria del prefabricado en nuestro país.

La fabricación de tubos de hormigón por el sistema de giro-compresión presenta la dificultad de colocar malla de acero convencional en los tubos. Sin embargo, para las dosis indicadas, este proceso no presentó inconvenientes en el llenado y desmolde de los tubos con HRFA. El ahorro de cuantías de armadura de barras de acero influye en la manipulación y montaje de las mallas de armado, disminuyendo los tiempos, el personal y los recursos económicos involucrados y asegurando el cumplimiento de separaciones y recubrimientos mínimos fijados por los códigos.

Durante el proceso de fraguado no se detectaron aparición de fisuras superficiales, lo cual

puede atribuirse al reparto homogéneo de fibras que favorece el proceso de autoprotección por hidratación de las partículas del cemento, mejorándose así las propiedades de estanqueidad, durabilidad y resistencia a la fatiga. Los tubos presentaron muy buena terminación superficial, sin presencia visible de fibras en la superficie.

El ensayo de tres aristas instrumentado en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad permitió evaluar el comportamiento estructural de los tubos de HRFA. La carga de fisuración se determinó por inspección visual de aparición de fisuras y resultó similar para los prototipos, independientemente de la cuantía de fibras incorporada. La primera fisura apareció para todos los especímenes ensayados en la cara interna de la clave del tubo.

Se observó que el ensayo continuo con medición de los desplazamientos mediante el sistema instrumentado, en reemplazo del cíclico establecido en la normativa, conduce a resultados representativos del comportamiento mecánico hasta la rotura.

Existieron diferencias en la forma de rotura y en el proceso de fisuración respecto al tubo de hormigón simple, según las dosis de fibras incorporadas. Los tubos con fibras presentaron cierto endurecimiento en la curva de carga-desplazamiento y retraso en el crecimiento de las fisuras, lo cual se traduce en una mejor respuesta en régimen de servicio.

De acuerdo con las cargas de fisuración y de rotura establecidas en la norma IRAM 11503, todos los tubos ensayados alcanzaron al menos la clase resistente III. Desde el punto de vista de los requerimientos de armadura de acero para tubos de Clase III, según IRAM 11503 corresponde colocar 5,2 kg de acero de diámetro 6 mm, para tubos de 600 mm de diámetro. El consumo de fibras de acero, resulta 4,7 kg de fibras de acero para tubo de HRFA con 25 kg/m³, y en el caso de incorporar 30 kg/m³, resultan 5,7 kg de fibras de acero.

Finalizado el ensayo hasta la rotura y debido a la naturaleza del proceso de fabricación de los tubos, se comprobó que las fibras se orientan mayoritariamente paralelas al flujo de tensiones normales que aparecen en servicio en este tipo de estructuras. Esto mejora notablemente la efi-

ciencia de la fibra en el comportamiento estructural, aumentando globalmente la capacidad resistente y la ductilidad del tubo.

Desarrollos a futuro

Los autores continúan realizando nuevas experiencias, para contar con mayor cantidad de datos surgidos de la propia experimentación, a fin de contrastar y ajustar el modelo numérico representativo de la respuesta estructural. Por otro lado, es necesario profundizar el estudio de métodos de cálculo para secciones con HRFA, disponibles en las normativas que contemplan este material. Con ello se pretende aportar conocimiento sobre el tema y contribuir a la difusión y adopción de estas innovaciones para la industria del prefabricado.

Referencias

- [1] De la Fuente A.; Armengou Orús, J. (2007). Aplicaciones estructurales del HRF: tubos de saneamiento, paneles de cerramiento y placas de suelo reforzado. Cátedra BMB, Universidad Politécnica de Cataluña.
- [2] Mohamed, Soliman, Nehdi. (2014). Full-scale pipes using dry-cast steel fibre reinforced concrete. *Constructions and Buildings Materials* 72: 411-422.
- [3] Ramos, M.F.; Júnior, N.O.P.; Franco, B.L.M. (2007). Avaliação de tubos de concreto reforçado com fibras de aço submetidos ao ensaio de compressão diametral. *Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto, CBC. IBRACON*.
- [4] Zerbino, R. (2004). Hormigón reforzado con fibras. *Hormigones especiales. Seminario de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Santa Fe. E. F. Irassar (Ed.), 143 y ss.*
- [5] Torrijos, M.C.; Zerbino, R.; Barragán, B. (2008). Estudio de la orientación y distribución de fibras de acero en hormigón autocompactante. *1er Congreso Español sobre Hormigón Autocompactante, Publicado en Comunicaciones, Pág. 555, Valencia.*
- [6] Tobes, J.M.; Monetti, D.; López, A.; Giacchio, G.; Zerbino, R. (2007). Hormigones autocompactables reforzados con fibras. *Revista Ciencia y Tecnología del Hormigón, LEMIT, Nº 14.*
- [7] Ercoli, N.; Peralta, M.; Negrette, A. (2011). Análisis del comportamiento estructural de vi-

gas de hormigón armado con incorporación de fibras de acero. IV Congreso Internacional y 18ª Reunión Técnica AATH 2010, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Cabrera, O.; Sota, J. (Eds.). ISBN 978-987-21660-4-5.

[8] Ercoli, N.; Peralta, M. (2011). Comportamiento estructural de vigas de hormigón armado con incorporación de fibras de acero. V Congreso Internacional ACHE, España.

[9] CIRSOC 201-05. (2005). Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. INTI-CIRSOC y Comentarios.

[10] ACI 318-08. (2008). Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. Farmington Hills, Michigan. American Concrete Institute, Committee 318.

[11] ACI Committee 544. (1982). State of the art report on fiber reinforced concrete.

[12] Norma Española UNE-EN1916:2003. (2003). Tubos y piezas complementarias en masa, de hormigón con fibra de acero y de hormigón armado. AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación.

[13] Norma ASTM C14-14. (2014). Standard Specification for Nonreinforced Concrete Sewer, Storm Drain, and Culvert Pipe.

[14] Norma ASTM C76-14. (2014). Standard Specification for Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.

[15] Norma Española UNE 127916. (2004). Tubos y piezas complementarias en masa, de hormigón con fibra de acero y de hormigón armado. Complemento nacional a la Norma UNE-EN1916:2003. AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación.

[16] Norma Brasileña NBR 8890. "Tubos de hormigón de sección circular de aguas pluviales y alcantarillado sanitario. Requisitos y métodos de ensayo" (2007).

[17] Norma Argentina IRAM 11503. "Caños de hormigón armado no pretensado destinados a la conducción de líquidos sin presión" (1986).

[18] Norma Argentina IRAM 11513 (1994). Caños y piezas de conexión de mortero de cemento pórtland y de hormigón simple, destinados a obras de desagüe pluvial y cloacal.

[19] Maccaferri, Manual Técnico. (2009). Fibras como elemento estructural para el refuerzo de hormigón. Manual Técnico: 256 y ss.

[20] Algor Software (2008). Analysis by the Finite Element Method.

[21] Popovics, S. (1973). A numerical approach to the complete stress-strain curves of concrete. *Cement and Concrete Research*, 3(5): 583-599.

[22] Thorenfeldt, E.; Tomaszewicz, A.; Jensen, J.J. (1987). Mechanical properties of high-strength concrete and application in design. *Proc. of the Symposium on Utilization of High-Strength Concrete*, Tapir, Trondheim, Norway: 149-159.

[23] De la Fuente, A.; Escariz, R.; Figueiredo, A.; Aguado, A. (2012). A new design method for steel fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 30: 547-555.

Agradecimientos

Los autores agradecen por sus contribuciones a la realización de este trabajo:

A la empresa de prefabricados "Premoldeados Len", Planta PYME, Olavarría, por la fabricación, donación y transporte de tubos y materiales al Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería, U.N.C.P.B.A.

A la empresa "Maccaferri S.A." de Argentina, por la donación de las fibras utilizadas.

Al Dr. Ing. Oscar A. Cabrera, Laboratorio de Materiales, Facultad de Ingeniería, U.N.C.P.B.A., por su asesoramiento y aportes en la fabricación de los tubos.

Patología en una vivienda unifamiliar de tres plantas construida sobre una ladera

Sandra Graciela Orlandi¹ y María Alejandra Espelet²

Resumen

El empleo de óptimos materiales de construcción si no es acompañado de una eficiente supervisión, puede conducir a patologías importantes en las construcciones. Ese es el caso de una vivienda unifamiliar construida en tres plantas sobre un faldeo compuesto por una secuencia de lutitas y areniscas. Apoyada en terreno natural la vivienda poseía un contrapiso en una de sus plantas, el mismo requirió el empleo de material de relleno. La mala supervisión trajo como consecuencia la rotura de varios elementos constructivos.

Employment of high quality construction materials isn't enough if an efficient supervision isn't present during the construction. Sometimes pathologies could be important. In the study case the house was a three-flat one and was based on an irregular land. In one of these flats, part of the floor needed the employment of selected refilling materials. In this part there were problems with walls and roofs, and big settlements were present. At the end all the falls were consequence of a bad supervision.

Key words: pathology, refilling material, supervision

Introducción

Durante la construcción de una vivienda, el empleo de materiales de buena calidad es fundamental si el resultado que se espera obtener debe perdurar en el tiempo. Pero el empleo de los mejores materiales no asegura los mejores resultados si no se acompaña al proceso de una eficiente inspección y control en obra. En toda obra la documentación técnica deberá ser resguardada y deberá acompañar a la misma en todas sus etapas.

Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería UNPSJB

1. Maestra en Ingeniería (Geotecnia) (UNAM- México); Ingeniera Civil e Ingeniera en Construcciones (UNPSJB). sandra.orlandi@gmail.com

2. Ingeniera Civil e Ingeniera en Construcciones (UNPSJB). aespelet@ing.unp.edu.ar.

El caso a desarrollar es la patología presentada en una vivienda construida en una de las zonas de mayor costo por metro cuadrado de Argentina, con un proyecto cuidado en todos sus detalles pero que adoleció de una correcta inspección. La patología consistió en la rotura de paredes y deformación de solados en algunos sectores coincidentes con zonas de relleno. La inexistencia de documentación de obra o la pérdida de la misma hizo de la reconstrucción de la secuencia constructiva un hecho casi imposible.

A lo largo del presente artículo se describirá la secuencia de las fallas descritas por el propietario, los estudios de suelos recomendados por personal del LISHA, los resultados obtenidos, el análisis de los mismos y las conclusiones a las que se llegó luego del análisis pormenorizado. Cabe destacar que no se tuvo acceso en ningún momento a los estudios de suelos previos, ni a la memoria constructiva, ni a los planos arquitectónicos y/o estructurales, ni a los cálculos de estructuras. Toda la información con que se pudo contar fue oral, parte del proceso previo consistió principalmente en entrevistas personales. Por ello no se adjuntarán secciones de planos.

Descripción, secuencia e indicios de los daños en proceso

Durante el mes de junio del año 2014 un estudio de suelos fue solicitado al Laboratorio de Suelos, Hormigón y Asfaltos, en adelante LISHA, por un asesor legal contratado por el propietario de una vivienda de la localidad de Rada Tilly. La misma presentaba patologías en su construcción. El estudio de suelos consistía de un simple ensayo de determinación de densidad y humedad in situ cuyo objetivo era la verificación de las condiciones de compactación del material de relleno debajo de un sector de los pisos y contrapisos.

Puesto que la descripción de los daños ocurridos no guardaba relación con la magnitud de los trabajos solicitados (una única determinación de densidad y humedad in situ) se solicitó la inspección ocular del sitio previo a la realización del trabajo encomendado.

Con anterioridad a la inspección de la vivienda en cuestión, se realizó un recorrido por la zona a los fines de identificar la presencia de suelos expansivos, cuya actividad suele ser la causa de la mayoría de las patologías que se presentan en la zona. En taludes con cortes desnudos en las cercanías de la construcción pudo identificarse parte de una secuencia de origen marino, fuertemente fisurada, constituida por arcilitas, limolitas y areniscas y un espesor de suelo meteorizado de espesor variable entre 0,5 a 1,5m (Fig.1). La vivienda estaba emplazada sobre la ladera de un cerro cuya pendiente se presentaba muy pronunciada (no pudo determinarse la topografía exacta original por no hallarse información previa, pero el simple recorrido y observación dio cuenta de ello). Parte de la edificación está ubicada sobre terreno al que se le había desmontado el espesor de suelo fértil (parte de los horizontes A y B y quizás hasta buena parte del horizonte C) y parte construida en "voladizo" en la que había sido necesario realizar un relleno de espesor importante previo a la materialización de uno de los contrapisos.



Fig.1. Secuencia estratigráfica en cercanías de la vivienda

De la entrevista realizada al propietario surgieron diferentes y suficientes indicios previos que anunciaban algunas de las fallas que habrían de presentarse.

Habilitada la vivienda para su uso y una vez habitada, algunos años después del final de obra, comenzaron a percibirse fuertes olores provenientes de las rejillas de piso y cámaras de inspección ubicadas tanto dentro como fuera de la vivienda. La presencia de corrientes de aire provenientes de las mismas en días de viento y alimañas que emergían de las mismas eran parte de la cotidianeidad.

La vivienda con franca orientación este-oeste linda con un terreno baldío en su muro orientado al sur. Dada la topografía abrupta en la que fue construida, el desnivel existente con dicho terreno era al momento de la inspección de alrededor de entre tres y cuatro metros (Fig.2). Al poco tiempo que los fuertes olores provenientes de las cámaras habían comenzado a presentarse, en el terreno baldío lindero, la vegetación comenzó a ser de un color verde más intenso y mucho más frondosa. Una de las paredes apoyada sobre un contrapiso construido sobre material de relleno presentó fallas importantes acompañadas de desplazamientos con rotación (Fig.3)



Fig.2. Terreno baldío lindero



Fig.5. Rotura del contrapiso realizada para verificar la condición de las instalaciones sanitarias (en esta fotografía la instalación ya había sido reparada).



Fig.3. Falla presentada en muro interno

El piso de uno de los ambientes construido sobre material de relleno había presentado un desplazamiento vertical de alrededor de 3cm en superficie (Fig.4) en uno de sus bordes coincidente con el muro con roturas.



Fig.4. Deformación en piso de porcelanato (cada unidad de 1mx1m) y asentamiento en la pared apoyada en él.

Ante estos indicios el propietario decidió llamar a un profesional para que destapase las cámaras e inspeccionara el sistema. Fue allí que se detectó la rotura y pérdida de continuidad y correspondiente pérdida de estanqueidad en la instalación sanitaria. La rotura no tenía razón técnica fácilmente deducible, aunque el desplazamiento era de casi veinte centímetros (Fig.5).

Es necesario destacar que ningún elemento estructural presentaba deformaciones y/o rotur

Una vez solucionado el problema de la instalación sanitaria los problemas no cesaron. Los asentamientos de los pisos se sucedieron y la apertura en las fisuras continuó aunque los asientos poseían características instantáneas y no del tipo constante en el tiempo.

Las veredas perimetrales se deformaron irregularmente y las juntas de ellas se abrieron progresivamente (Fig.6).



Fig.6. Veredas perimetrales que cumplen con Código de Edificación Municipal de la ciudad de Comodoro Rivadavia (el ejido de Rada Tilly no cuenta aún con Código de Edificación propio)

La principal sospecha siempre se centró en una piscina lindera a la construcción que en reiteradas oportunidades había sufrido de problemas de falta de estanqueidad. El propietario decidió realizar reparaciones pero aun así las deformaciones continuaban incrementándose.

En ese momento el propietario decidió consultar a un especialista en patologías radicado en la ciudad de bahía Blanca quien recomendó, luego de una inspección ocular del lugar, el control del material de relleno debajo de un sector de los contrapisos. Como consecuencia de ello fueron encomendadas las determinaciones de la densidad y humedad in situ.

Estudios de suelos realizados

Habiendo realizado una cronología de los daños ocurridos y previendo la posibilidad de que a futuro el propietario iniciase un juicio al estudio responsable de la construcción y diseño de la vivienda se tomó la decisión de realizar estudios adicionales.

Para poder realizar el muestreo, se procedió al levantamiento del piso afectado y a la rotura del contrapiso en dos puntos seleccionados diagonalmente opuestos. Al dejar al descubierto el relleno, se descubrió un huelgo entre el contrapiso y el mencionado relleno. Dicho espacio variaba en espesor entre los 5cm y los 12cm. No debe olvidarse que el conjunto de piso y contrapiso había cedido en algunos sectores alrededor de 3cm.

Se tomaron muestras en los primeros treinta centímetros de relleno, en diferentes puntos de la planta, para analizar en laboratorio. Se obtuvieron los valores de humedad óptima y densidad seca que surgieron del ensayo Proctor. Se determinó así la insuficiente compactación de dicho material. Por desconocerse la profundidad hasta la cual dicho material de relleno había sido colocado y dadas las condiciones en las que el mismo podía presumirse, se encontraba, se decidió continuar muestreando después de retirar todo el piso y el contrapiso hasta alrededor de 3m para luego volver a colocarlo en capas correctamente compactadas cada 15cm.

Muestreo cada metro de avance en la excavación, determinaciones de humedad, clasificación del material de relleno, pruebas de compactación PROCTOR, fueron realizadas hasta alcanzar una profundidad en la que el material encontrado cambiase sus propiedades. Para proceder al muestreo a partir de los 3m se utilizó un sistema de dovelas cilíndricas como sistema de entibación.



Fig. 7. Muestreo manual a 6m de profundidad utilizando un sistema de dovelas para el entibado.

A los fines de documentar y certificar el proceso de toma de muestras el mismo se llevó a cabo en presencia de un escribano.

Al alcanzar la profundidad en la que el material de relleno se encontraba en contacto con terreno natural se procedió a muestrear y realizar un ensayo SPT manual con trípode, dada la imposibilidad de acceder a la zona con un equipo de muestreo mecánico por rotación.

Resultados obtenidos

Del análisis de la granulometría del material de relleno surge que el mismo es apto para la función para la cual fue concebido. Clasificado como arena limosa con gravas en los primeros centímetros (Fig.8) y como grava mal graduada con limos (Fig.9) a mayor profundidad su humedad natural varió entre un mínimo de 3,6% en superficie (los primeros 50cm aproximadamente) hasta una humedad que se mantuvo prácticamente constante cercana al 10,5% (Tabla 1).

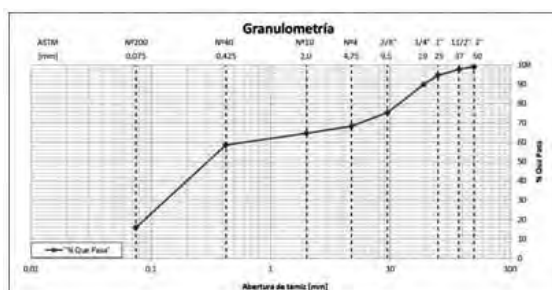


Fig. 8. Curva granulométrica del material muestreado en los primeros 50cm de relleno

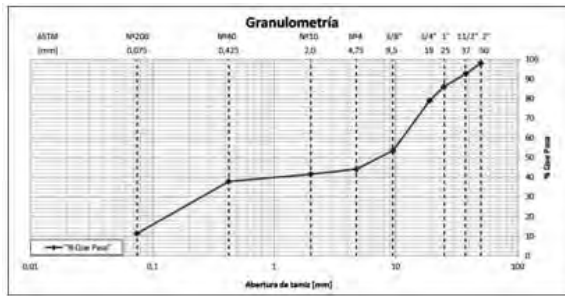


Fig.9. Curva granulométrica del material muestreado a partir de los 50cm de profundidad y hasta los 3,5m aproximadamente.

| Muestra | Límite Líquido IRAM 10501 | Límite Plástico IRAM 10502 | Índice de Plasticidad IRAM 10502 | Clasificación Unificada IRAM 10509 |
|--|---------------------------|----------------------------|----------------------------------|--|
| Muestra 1 Material de relleno. Prof. 0,30m M. 227/14 | No presenta | No presenta | No plástico | SM (Arena limosa con gravas) |
| Muestra 13 Material de relleno. Prof. 3,20m M. 252/14 | No presenta | No presenta | No plástico | GP-GM (Grava mal graduada con limo) |

Tabla 1. Resumen resultados obtenidos en la clasificación del relleno

La humedad menor en los primeros centímetros se infiere disminuyó como consecuencia de las corrientes de aire que se producían por debajo del contrapiso y por encima del relleno, la misma que se establecía entre cámaras de inspección internas y externas. Otro factor que contribuyó fue el calor transmitido por el sistema de calefacción por losa radiante. La inexistencia de un manto aislante térmico entre el contrapiso y el relleno contribuyó también a la pérdida de humedad en el espesor superior del material granular utilizado.

La humedad promedio por debajo de ese espesor más superficial resultó de un valor cercano a la humedad óptima. En tanto que la densidad seca obtenida in situ mediante el ensayo del cono de arena solo alcanzó un 85% de la densidad seca determinada con el ensayo Proctor para el material hallado como relleno (Tabla 2). Puede concluirse rápidamente que el grado de compactación era completamente insuficiente a pesar de haberse producido un asentamiento en el mismo que provocó el espacio vacío por debajo del contrapiso.

| Densidad Nº | Fecha | Hum. Nat. (%) | Dens. Seca (t/m ³) | Dens. Proctor Cor. (t/m ³) | Compactación (%) | Grado de saturación | Grado de sat. +5% | Grado de sat. -5% |
|-------------|------------|---------------|--------------------------------|--|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 01/07/2014 | 3,60 | 1,55 | 2,05 | 74 | 12,73 | 12,43 | 13,05 |
| 2 | 01/07/2014 | 4,00 | 1,35 | 2,04 | 67 | 10,55 | 10,75 | 11,18 |
| 3 | 01/07/2014 | 1,70 | 1,55 | 2,04 | 76 | 5,15 | 5,01 | 5,35 |
| 4 | 01/07/2014 | 1,40 | 1,55 | 2,10 | 75 | 5,20 | 5,08 | 5,34 |
| 5 | 01/07/2014 | 1,50 | 1,80 | 2,11 | 85 | 8,60 | 8,30 | 8,95 |
| 6 | 16/07/2014 | 11,20 | 1,50 | 2,05 | 73 | 37,63 | 36,80 | 38,54 |
| 7 | 16/07/2014 | 10,60 | 1,34 | 2,05 | 65 | 25,24 | 27,74 | 26,78 |
| 8 | 16/07/2014 | 10,10 | 1,35 | 2,04 | 67 | 27,50 | 27,10 | 28,13 |
| 9 | 25/07/2014 | 11,70 | 1,34 | 2,04 | 55 | 30,59 | 30,44 | 31,57 |
| 10 | 25/07/2014 | 10,50 | 1,41 | 2,05 | 65 | 30,75 | 30,16 | 31,40 |
| 11 | 25/07/2014 | 7,50 | 1,35 | 2,07 | 66 | 25,11 | 25,72 | 24,53 |
| 12 | 31/07/2014 | 7,30 | 2,05 | 2,15 | 95 | 69,33 | 60,25 | 67,59 |

Tabla 2. Resultados de los ensayos Proctor y densidades obtenidas mediante el ensayo in situ del cono de arena

Adicionalmente se decidió realizar un análisis de sensibilidad sobre los resultados obtenidos a los fines de considerar la posibilidad de error en la estimación de la densidad de sólidos. Puede observarse que un error de +/- 5% en la mencionada densidad únicamente introduce un pequeño error en el grado de saturación calculado del suelo.

Conclusiones

De los ensayos de clasificación realizados y del análisis de los mismos puede confirmarse la aptitud del relleno. Es claro que si se lo hubiese mezclado con una fracción de granulometría intermedia la curva granulométrica hubiese tenido un mejor tendido. Pero a pesar de ello no sería correcto decir que no es apto. Su humedad coincidía con la recomendada para alcanzar la densidad óptima pero el grado de compactación se encontraba muy por debajo del requerido. En un uso como para el que fue utilizado no es correcto aceptar un grado de compactación menor al 95%.

La razón del asentamiento del material de relleno se pudo concluir fue la siguiente:

Es sabido que materiales granulares se compactan más fácilmente bajo la acción de cargas dinámicas. En tanto que materiales finos se compactan correctamente bajo la acción de cargas estáticas. Si analizamos las curvas granulométricas es posible visualizar que estamos en presencia de materiales francamente granulares. La incorrecta colocación del mismo y la incorrecta compactación lo llevan a permanecer en las condiciones originales hasta que la acción

de una carga dinámica logra el reacomodamiento de las partículas. Dicha carga pudo tener su origen en la compactación del suelo en zonas aledañas durante la construcción de nuevas viviendas o inclusive como consecuencia de las vibraciones transmitidas por tránsito pesado. En las cercanías de la vivienda es común la circulación de tránsito pesado, los mismos transmiten vibraciones a los suelos por los que transitan. No hay forma de determinar el origen real de dichas cargas dinámicas.

Se destaca que otras opciones que se analizaron como posibles contribuciones al cambio en la compacidad del relleno pero que fueron descartadas hasta llegar a la informada fueron:

- Cambio en la humedad del relleno,
- Falta de estanqueidad del espacio en el que el mismo se encuentra contenido (el sector se encuentra rodeado parcialmente por muros impermeabilizados mediante la utilización de membranas y calculados para resistir los empujes del suelo de relleno)
- Establecimiento de una red de flujo con origen en la piscina colindante con la vivienda fue la única solución lógica que surgió del análisis integral de datos (fig. 8)

El anteriormente mencionado desplazamiento de un sector en la instalación sanitaria también fue como consecuencia del asiento del material de relleno. Al producirse el asiento del suelo, la tubería acompañó al movimiento desvinculándose del tramo al que se hallaba vinculado.



Fig.8. Levantamiento del deck en la zona de pileta para detectar fisuras, fugas o posibles roturas.

Por último, un hecho que contribuyó en forma negativa al comportamiento del conjunto

fue el diseño y construcción del contrapiso. La armadura con la que nos encontramos en el momento de romper el contrapiso se trataba, apenas, de una armadura constructiva: malla Sima de 4,2 mm de diámetro de barra. Una losa de esas características sin anclaje a las vigas portamuros perimetrales y/o a los muros de contención diseñados para soportar la carga transmitida por el material de relleno, debería poseer una armadura correctamente calculada para soportar las cargas de diseño así como también para redistribuirlas sobre el material de relleno. En caso de hallarse anclada a los elementos estructurales con los que se encontraba relacionada, la armadura requiere también de su correspondiente cálculo. En el caso en estudio la losa no puede ser denominada como tal, siendo solamente un contrapiso, y no correspondiendo a ninguna de las dos opciones siguientes: dotado insuficientemente de armadura para tratarse de una losa flotante y carente de anclajes para ser un elemento que trabaja como parte del conjunto estructural.

Remediación

El principal inconveniente para las recomendaciones presentadas a los fines de encarar la remediación radicaba en el hecho de que el sector afectado estaba rodeado de paredes vidriadas y ubicado en el corazón mismo de la construcción. La imposibilidad de acceder con maquinaria de gran porte requirió la extracción del material de relleno de forma manual. La colocación en capas de quince centímetros para su posterior compactación con equipo también manual hizo que el proceso fuera lento y prolongado en el tiempo (Fig.9).



Fig.9. Equipo manual de compactación utilizado para compactar el relleno

La remediación de la losa y su cimentación, corrieron por cuenta del propietario, puesto que al realizar el ensayo SPT se detectó una capa de espesor no definido de arena fina en estado suelto con humedad natural superior a la del material de relleno. El profesional contratado por el propietario sugirió la utilización de una zapata central apoyada en esa capa de arena, sin necesidad de vincular la losa a los elementos perimetrales existentes. La inexistencia de una memoria de cálculo y diseño estructural, o planos estructurales imposibilitaba verificar los cálculos previos y vincular la losa a los mismos de forma técnicamente segura. Y dada la imposibilidad de acceso a los estudios de suelos y planos de cimentación realizados no era posible analizar la interacción entre los bulbos de cargas transmitidos al suelo de cimentación. La premura con la que contaba el propietario para remediar los daños y habilitar la vivienda, llevó al mismo a encarar la remediación bajo su propia responsabilidad.

Habiendo realizado un minucioso análisis de los datos obtenidos, de los daños observados y del recorrido de las zonas aledañas, se realizaron las siguientes recomendaciones técnicas al solicitante:

- Retiro del material de relleno en un espesor de entre 3 a 3,5m para ser colocado posteriormente en capas no mayores a los 15cm, convenientemente compactadas hasta la densidad seca máxima Proctor y con humedad óptima, no involucrando bajo ningún concepto el terreno afectado por las cimentaciones (esta recomendación surgió de la imposibilidad de acceder al estudio de suelos). En rigor de verdad se prefería alcanzar los 6m de profundidad pero analizando el bulbo de cargas transmitido por la losa y la posibilidad de afectar los bulbos de cimentación cuya profundidad se desconoce se opta por alcanzar los tres y medio metros.

- Dada la ubicación dentro de la vivienda del sector afectado y la necesidad de no generar daños en la estructura ni en la construcción en general, no se consideró conveniente la utilización de equipos de gran porte para la etapa de compactación, pudiéndose recurrir al mejoramiento del material de relleno con cemento o en su defecto cal. Se mencionó la posibilidad de

recurrir al empleo de geosintéticos como materiales estructurales y de separación debiendo ser colocados los mismos en forma horizontal, disminuyendo su espaciamiento en la medida que se alcanzase la cota de fondo.

- Materialización de un contrapiso diseñado y calculado como elemento estructural independiente del resto de las estructuras, a los efectos de no introducir alteraciones en los estados de carga de las mismas. El mismo debería contar con armadura tal que pudiese ser considerado una losa de cimentación en sí mismo.

- Colocación de un sistema térmicamente aislante entre el relleno y el contrapiso, para que por efecto del calor las condiciones del material de relleno no se viesen afectadas.

Bibliografía

Orlandi S., Espelet A.; Informes 392/14 y 393/14 LISHA (Laboratorio de Suelos Hormigón y Asfaltos), UNPSJB.

“Fundamentos de Mecánica de Suelos”

Roy Whitlow. CECSA.

Geotecnia y Cimientos I.

Jimenez Salas & Alpañez. Editorial Rueda.

La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres.

Volumen 1.

Rico & Del Castillo. Editorial Limusa.

Mecánica de Suelos. Tomo 1.

Juarez Badillo & Rico Rodríguez. Editorial Limusa Noriega.

“Patología de las cimentaciones”

Fructuoso Mañá – Editorial Blume. 1978

“Fallas en Fundaciones”

Romualdo Trujillo – Editora Tecniciencia. 1964

Método analítico de detección de fisuras en vigas vibrantes

Javier L. Raffo y Marcos R. Carrizo

Facultad Regional Delta – Universidad Tecnológica Nacional . jraffo@frd.utn.edu.ar

Resumen

El desarrollo de métodos de detección de fisura es de un gran interés en ingeniería. En particular, el estudio del problema inverso de detección de fisuras en vigas a partir de valores de frecuencias naturales de vibración obtenidas experimentalmente en análisis dinámicos.

En este trabajo se presenta un análisis de sensibilidad de un método analítico de detección de fisura en una viga Euler-Bernoulli a partir de valores de frecuencias naturales obtenidas previamente. También se realizan propuestas de mejoras del método de detección.

Por otra parte, se realizan análisis de detección de fisura en vigas a partir de valores de frecuencias naturales obtenidas previamente con: un método analítico, mediciones experimentales con acelerómetros y con el programa Abaqus de elementos finitos.

El modelo analítico propuesto se desarrolla obteniendo el problema de contorno y transición a partir de realizar el cálculo de variaciones al funcional energético de la viga en estudio para finalmente obtener la ecuación de frecuencias que es resuelta en forma exacta. Las mediciones experimentales se realizan con acelerómetros y equipamiento adecuado para obtener la respuesta en frecuencia de las vibraciones libres de la viga analizada con técnicas de análisis de vibraciones mecánicas. Por otra parte, se realizan modelos de elementos finitos con el programa Abaqus y se obtienen los valores numéricos de las frecuencias naturales.

Se presentan resultados de análisis de sensibilidad de la metodología analítica propuesta para detectar una fisura, a partir de valores previos de frecuencias naturales obtenidos con la solución exacta. Se presentan valores obtenidos con el método inverso a partir de valores de fre-

cuencias naturales determinadas experimentalmente, con el programa Abaqus y obtenidos en forma exacta.

Palabras Claves: Vibraciones de vigas, Detección de fisuras, Frecuencias naturales, Análisis de sensibilidad.

Referencias

[1] Javier L. Raffo - Marcos R. Carrizo, XX Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones (ENIEF 2013), "Vibraciones de vigas y pórticos ante la presencia de fisuras. Implementación del problema inverso", *Mecánica Computacional Vol XXXII* págs. 1715-1735, Mendoza, 2013.

1. Introducción

El desarrollo de métodos de detección de fisura es de un gran interés en ingeniería. En particular, el estudio del problema inverso de detección de fisuras en vigas a partir de valores de frecuencias naturales de vibración. Especialmente para el área de mantenimiento predictivo, preventivo e integridad estructural.

Sin la intención de realizar un análisis exhaustivo, a continuación se presentan algunos de los trabajos de temática relacionada realizados al momento. En cuanto al estudio del problema inverso, Lele y Maiti (2002) [2] realizaron un estudio de ingeniería inversa, para vigas cortas, luego Lin et al. (2002) [3] extendió el estudio a múltiples fisuras y más adelante Khaji et al. (2009) [4] implementó un método para identificar fisuras analíticamente para algunos casos particulares de vigas Timoshenko, a partir de resultados previos obtenidos mediante análisis con el método

de elementos finitos. En estos trabajos, la fisura es implementada mediante un modelo de rótula con una restricción elástica rotacional.

Por otra parte, la obtención rigurosa del problema de contorno y transición para el caso de restricciones generales en los extremos y en un punto intermedio para el caso de una viga Euler-Bernoulli fue obtenido por Grossi y Quintana (2008) [5].

El problema inverso para el caso de vigas Euler-Bernoulli con restricciones elásticas generales en los extremos y en puntos intermedios fue tratado por Raffo y Carrizo (2013) [1], donde se propuso un método de detección de fisuras a partir de valores de frecuencias naturales obtenidos en forma directa con la solución exacta, con valores medidos experimentalmente y con valores obtenidos con el programa Abaqus de elementos finitos.

En este trabajo, se propone extender el estudio realizado por Raffo y Carrizo (2013) [1] incluyendo un análisis de sensibilidad. Específicamente, se proponen diferentes procedimientos sistematizados para la implementación del problema inverso y se realiza una comparación de los resultados obtenidos con dichos procedimientos. Se realiza además, un estudio paramétrico para el caso en que la fisura se encuentra ubicada alrededor de puntos de inflexión o nodos de las diferentes formas modales de la viga con fisura.

Se presentan resultados de la posición y profundidad de fisura obtenidas con el problema inverso a partir de los valores de frecuencias naturales obtenidas con mediciones experimentales, con el programa Abaqus y con la solución exacta

2. Expresiones del Problema de Contorno y Transición de una Viga Euler-Bernoulli

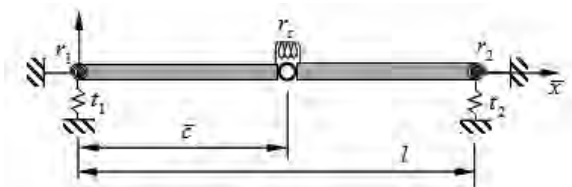


Figura 1: Viga de tres tramos analizada.

Sea una viga de longitud l , de dimensiones uniformes a lo largo de su eje, que tiene sus ex-

tremos restringidos elásticamente y tiene una rótula restringida elásticamente contra rotación ubicada en $\bar{x} = \bar{c}$, como se muestra en la Figura . La viga está compuesta por dos tramos, que corresponden a los intervalos $[0, \bar{c}]$ y $[\bar{c}, l]$ y respectivamente. Se asume que los extremos y las rótulas intermedias están restringidos elásticamente contra rotación y traslación. Las restricciones rotacionales están definidas por los parámetros r_1, r_2 y r_c , y las restricciones traslacionales por t_1, t_2 y t_c . Adoptando valores adecuados de r_1, r_2 y t_1, t_2 se pueden generar todas las combinaciones posibles de restricciones de apoyo clásicas (empotrado, simplemente apoyado, libre). Utilizando valores adecuados de r_c se puede considerar los efectos de una fisura en el punto intermedio $\bar{x} = \bar{c}$.

Para analizar el desplazamiento transversal de la viga en estudio, suponemos que la posición vertical de la viga en cualquier instante de tiempo t está descrita por la función $w = w(\bar{x}, t)$, $\bar{x} \in [0, l]$

Por lo tanto, la ecuación diferencial y el problema de contorno y transición de la viga analizada cuando se analiza el problema de vibraciones libres es ([5,6,1]):

$$I w^{(4)}(\bar{x}) + \frac{d^3 w}{d\bar{x}^3}(\bar{x}) = 0, \quad \bar{x} \in G_i, i = 1, 2, \bar{x} \in \bar{0} \tag{1}$$

$$R_1 \frac{dw}{d\bar{x}}(0) = \frac{d^2 w}{d\bar{x}^2}(0) \tag{2}$$

$$T_1 w(0) = -\frac{d^2 w}{d\bar{x}^2}(0) \tag{3}$$

$$w(\bar{c}^-) = w(\bar{c}^+) \tag{4}$$

$$R_c \frac{\partial w}{\partial \bar{x}}(\bar{c}^+) - \frac{dw}{d\bar{x}}(\bar{c}^-) \frac{\partial}{\partial \bar{c}} = \frac{d^2 w}{d\bar{x}^2}(\bar{c}^-) \tag{5}$$

$$R_c \frac{\partial w}{\partial \bar{x}}(\bar{c}^-) - \frac{dw}{d\bar{x}}(\bar{c}^+) \frac{\partial}{\partial \bar{c}} = \frac{d^2 w}{d\bar{x}^2}(\bar{c}^+) \tag{6}$$

$$\frac{d^3 w}{d\bar{x}^3}(\bar{c}^-) = \frac{d^3 w}{d\bar{x}^3}(\bar{c}^+) \tag{7}$$

$$R_2 \frac{dw}{d\bar{x}}(l) = -\frac{d^2 w}{d\bar{x}^2}(l) \tag{8}$$

$$T_2 w(l) = \frac{d^2 w}{d\bar{x}^2}(l) \tag{9}$$

donde se introdujo el cambio de variables

$$x = \bar{x} / l, \quad c = \bar{c} / l, \quad \text{con } T_i = \frac{t_i l^3}{EI}, \quad R_i = \frac{r_i l}{EI}, \quad i = 1, 2, \text{ y } R_c = \frac{r_c l}{EI}$$

E es el módulo de Young del material de la viga,

$$I = bh^3 / 12$$

es el momento de inercia de la sección, b y h son la profundidad y la altura de la sección rectangular.

La (1) a (9) se obtiene luego de realizar el cálculo de variaciones y de implementar el método de separación de variables para realizar un análisis de autovalores.

Como el dominio del sistema con el cambio de variables considerado es $(0,1)$, que es un intervalo abierto j , en el borde está dado por dos puntos, $\{0,1\}$.

En consecuencia, c es un punto interior y $()$ a $()$ son las condiciones en las transiciones. Por lo tanto $()$, $()$, $()$ y $()$ corresponden a las condiciones de contorno.

Para simular una fisura con una restricción rotacional interna, se adopta $0 < r_c < \pi$. Mas precisamente, para una fisura simple abierta como la de la Figura, se la puede modelar como una rótula elástica cuyo valor es (Ostachowicz y Krawczuk, 1991) [6]

$$r_c^{(s)} = \frac{Ebh^3}{72pl^2f(h)} \tag{10}$$

donde $h = a / h$ es la relación entre la profundidad de la fisura a y la altura de la viga. La función $f(h)$ para una fisura abierta a un solo lado de la viga es (ver Figura).

$$f(h) = 0.6384 - 1.035h + 3.7201h^2 - 5.1773h^3 + 7.553h^4 - 7.332h^5 + 2.4909h^6, \tag{11}$$

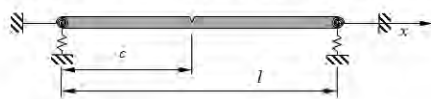


Figura 2: Viga con una fisura superficial a un solo lado.

La solución exacta del problema presentado por las expresiones (1) a (9) está dada por:

$$w_{1n}(x) = A_1 \cosh l_n x + A_2 \sinh l_n x + A_3 \cos l_n x + A_4 \sin l_n x, \tag{12}$$

$$w_{2n}(x) = A_5 \cosh l_n x + A_6 \sinh l_n x + A_7 \cos l_n x + A_8 \sin l_n x, \tag{13}$$

donde $l_n^4 = \frac{rA}{EI} \omega_n^4$, y w_n es el n -ésimo modo de vibrar de la viga analizada

Al reemplazar (12) y (13) en (2) a (9), y al buscar una solución no trivial, el determinante del sistema de los coeficientes A_i debe ser igual a cero, por lo tanto se obtiene la ecuación de

frecuencias

$$G(T_1, R_1, T_2, R_2, R_c, c, l_n) = 0, \tag{14}$$

3. Método Analítico de Detección de Fisuras (MADF)

Se propone resolver el problema inverso de determinación de posición y profundidad de la fisura a partir de conocer los primeros valores del coeficiente de frecuencias l_n .

El procedimiento del método inverso consiste en conocer los valores de las restricciones elásticas de los extremos de la viga T_1, R_1, T_2, R_2 . Tener en forma directa dos o más valores de l_n . Luego, se introducen los valores de T_1, R_1, T_2, R_2 y l_n antes descriptos en (14) y se obtiene

$$H(R_c, c) = 0. \tag{15}$$

Luego, de (15) se obtienen los valores de R_c en función de c que se presentan graficados en la Figura 3a, para los valores de l_n con

$$n = 1, 2, K, 6.$$

Para ejemplificar el procedimiento, se analiza el caso de una viga articulada en ambos extremos con una fisura ubicada en $c = 0.29$, con $h = 0.25$, que se obtuvieron con la solución exacta los primeros seis valores de l .

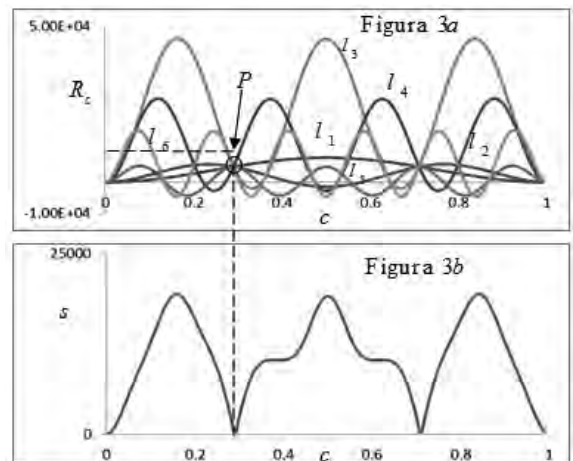


Figura 3: a) Gráfico de R_c en función c con $c \in [0,1]$ para los primeros seis valores de l obtenidos con la expresión (15); b) Gráfico de s en función de c con $c \in [0,1]$ obtenido con la expresión (16).

En la Figura 3a, se grafican los valores de R_c en función c con $c \in [0,1]$ para los primeros seis valores de l obtenidos con la expresión (15). Se

observa que al realizar el procedimiento descrito, en el punto P coinciden las seis gráficas, por lo cual este punto es solución de (15), de donde se obtiene en forma directa la posición de la fisura c y con el valor de R_c y (10) se obtiene la profundidad de la fisura h .

Para asegurar la posición del punto P en la Figura 3b se grafica el valor de la desviación estándar de la muestra s para los valores de R_c representados en la Figura 3a, siendo desvío estándar

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (R_c^i - \bar{R}_c)^2}{(n - 1)} \tag{16}$$

donde R_c^i denota el valor de R_c para el i -ésimo modo, \bar{R}_c denota el valor medio de los R_c para $n = 6$.

En la Figura 3b se grafican los valores s de en función de los valores supuestos de c con $c \in [0, 1]$. Se observa que s tiene dos valores casi nulos en los extremos de la viga, en $c = 0.29$ y en $c = 0.71$ por ser una viga de condiciones de contorno simétrica. Por lo tanto, presuponiendo el lado en que se encuentra la fisura, se obtiene que $c = 0.29$ y $Rc = 5025.527$. Finalmente de (10) resulta $h = 0.249$.

3.1. Optimización propuesta del MADF

En los casos en que la fisura se encuentra en un punto de inflexión de las formas modales, de la solución propuesta (12) y (13) se observa que el momento correspondiente al punto mencionado es nulo, por lo tanto, la forma modal de la viga no se ve afectado por el valor de R_c . Por esto, cuando se predice el valor de c y R_c , el MADF no logra evidenciar con valores razonables a R_c , y se procede a descartar la forma modal en cuestión.

En función de lo mencionado, se proponen cuatro metodologías para optimizar el MADF: La primera es considerar los seis primeros modos en el MADF (6 modos), la segunda es considerar solamente los primeros tres modos impares (modos impares), la tercera es considerar los primeros tres modos pares (modos pares) y la cuarta metodología propuesta de optimización consiste en descartar los modos que presentan valores de R_c evidentemente mayores respecto a los obtenidos con los otros modos (propues-

to). Los valores de R_c que se descartan son del orden de 8 órdenes de magnitud mayor al resto de los modos.

4. Resultados

Para establecer las distintas condiciones de apoyo clásicas en los extremos de la viga, se adopta la notación donde E denota que el extremo está empotrado, A denota que el extremo está articulado y L denota que el extremo está libre. Como ejemplo, si se indica la condición de borde de una viga E-A, denota que el primer tramo, en $x = 0$, el extremo se encuentra empotrado, mientras que en el segundo tramo, en $x = 1$ el extremo se encuentra articulado.

Se presentan los valores del coeficiente de frecuencia I , determinados con la solución exacta, por el método de elementos finitos o en forma experimental, donde:

$$I^4 = \frac{r_d}{EI} \omega^2 l^4 \tag{17}$$

Se presentan los valores de c y h obtenidos con el MADF, y c_{MADF} y h_{MADF} respectivamente. También, los valores del error relativo porcentual en la determinación de c y de h , dados por

$$e_c = \frac{|c_{MADF} - c|}{c} 100\% \quad \text{y} \quad e_h = \frac{|h_{MADF} - h|}{h} 100\% \tag{18}$$

Para obtener los valores de I con el programa de elementos finitos Abaqus, se utilizó un modelo de sólido homogéneo en 2D con elementos rectangulares planos de 8 nodos, bi-cuadráticos de tensiones planas identificado como CPS8. Se dibujó en el plano el perfil de la viga, con la fisura como una discontinuidad con un semicírculo en el extremo. En la Figura se muestra la densidad de la malla en la zona afectada por la presencia de la fisura.

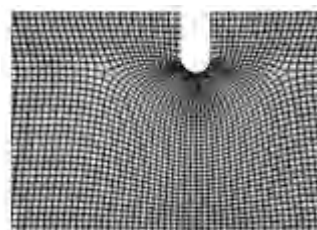


Figura 4: Detalle de la malla en la zona de la fisura.

Para obtener los valores de I experimental-

mente se utilizaron vigas con mecanizados que emulan fisuras abiertas superficiales soportadas con mordazas para representar diferentes condiciones de contorno clásicas. Se obtuvo la respuesta en frecuencia de las vibraciones libres de la viga analizada con técnicas de análisis de vibraciones mecánicas. El equipo empleado consta de un acelerómetro, marca Brüel & Kjær modelo 4374. Un preamplificador de carga Brüel & Kjær modelo NEXUS 2692-C de 4-canales. Una bornera National Instruments SCC-68 con una placa digitalizadora/adquisidora National Instruments PCI-6132 y el programa Signal Express de National Instruments para realizar el análisis de vibraciones mecánicas.

En la Tabla 1 se presentan los primeros seis valores de l , para una viga A-A obtenidos con la solución exacta para diferentes valores de c y h y los correspondientes valores de c , h , e_c y e_h

obtenidos con el MADF para los cuatro métodos de optimización descritos en el inciso 3.2.

Para la condición A-A, existe en $x = 0.25$ un punto de inflexión en la forma modal para el cuarto modo de vibración, en torno a este se propone realizar un análisis en la sensibilidad del MADF. En la Tabla 2 se analizan los casos en que $c = 0.22, 0.23, 0.25, 0.27$ y 0.29 , a su vez $h = 0.01, 0.25, 0.5, 0.75, 0.99$. Se presentan los primeros seis valores de l y los valores de c y de h terminados con el MADF propuesto.

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------------|------|------|----|----------|
| 1 | 0.4 | 0.99 | 1.843 | 5.832 | 8.822 | 11.37 | 15.708 | 17.386 | 6 Modos | 0.4 | Ind. | <1 | 1.00E+02 |
| | | | | | | | | | Modos Impares | 0.4 | Ind. | <1 | 1.00E+02 |
| | | | | | | | | | Modos Pares | 0.4 | 0.99 | <1 | 2.39E-03 |
| | | | | | | | | | Propuesto | 0.4 | 0.99 | <1 | 1.43E-03 |
| 2 | 0.43 | 0.99 | 1.826 | 6.021 | 8.438 | 11.77 | 15.336 | 17.532 | 6 Modos | 0.43 | 0.99 | <1 | 3.42E-06 |
| | | | | | | | | | Modos Impares | 0.43 | 0.99 | <1 | 5.50E-06 |
| | | | | | | | | | Modos Pares | 0.43 | 0.99 | <1 | 1.33E-06 |
| | | | | | | | | | Propuesto | 0.43 | 0.99 | <1 | 3.42E-06 |
| 3 | 0.45 | 0.99 | 1.818 | 6.135 | 8.226 | 12.066 | 14.5 | 17.939 | 6 Modos | 0.45 | 0.99 | <1 | 9.70E-03 |
| | | | | | | | | | Modos Impares | 0.45 | 0.99 | <1 | 3.36E-05 |
| | | | | | | | | | Modos Pares | 0.45 | 0.99 | <1 | 1.94E-02 |
| | | | | | | | | | Propuesto | 0.45 | 0.99 | <1 | 9.70E-03 |
| 4 | 0.48 | 0.99 | 1.811 | 6.257 | 6.015 | 12.459 | 14.346 | 18.621 | 6 Modos | 0.48 | 0.99 | <1 | 1.47E-06 |
| | | | | | | | | | Modos Impares | 0.48 | 0.99 | <1 | 2.12E-06 |
| | | | | | | | | | Modos Pares | 0.48 | 0.99 | <1 | 8.16E-07 |
| | | | | | | | | | Propuesto | 0.48 | 0.99 | <1 | 1.47E-06 |
| 5 | 0.5 | 0.99 | 1.809 | 6.283 | 7.972 | 12.566 | 14.205 | 18.85 | 6 Modos | 0.5 | Ind. | <1 | 1.00E+02 |
| | | | | | | | | | Modos Impares | 0.5 | 0.99 | <1 | 1.33E-04 |
| | | | | | | | | | Modos Pares | 0.5 | Ind. | <1 | 1.00E+02 |
| | | | | | | | | | Propuesto | 0.5 | 0.99 | <1 | 1.33E-04 |
| 6 | 0.4 | 0.75 | 2.075 | 5.863 | 8.857 | 11.41 | 15.708 | 17.426 | 6 Modos | 0.4 | Ind. | <1 | 1.00E+02 |
| | | | | | | | | | Modos Impares | 0.4 | Ind. | <1 | 1.00E+02 |
| | | | | | | | | | Modos Pares | 0.4 | 0.75 | <1 | 2.80E-07 |
| | | | | | | | | | Propuesto | 0.4 | 0.75 | <1 | 1.50E-07 |
| 7 | 0.45 | 0.75 | 2.048 | 5.147 | 8.283 | 12.084 | 14.926 | 17.96 | 6 Modos | 0.45 | 0.75 | <1 | 8.67E-08 |
| | | | | | | | | | Modos Impares | 0.45 | 0.75 | <1 | 9.74E-08 |
| | | | | | | | | | Modos Pares | 0.45 | 0.75 | <1 | 2.71E-07 |
| | | | | | | | | | Propuesto | 0.45 | 0.75 | <1 | 8.67E-08 |
| 8 | 0.5 | 0.75 | 2.039 | 6.283 | 8.049 | 12.566 | 14.253 | 18.85 | 6 Modos | 0.5 | Ind. | <1 | 1.00E+02 |
| | | | | | | | | | Modos Impares | 0.5 | 0.75 | <1 | 5.47E-07 |
| | | | | | | | | | Modos Pares | 0.5 | Ind. | <1 | 1.00E+02 |
| | | | | | | | | | Propuesto | 0.5 | 0.75 | <1 | 5.47E-07 |

Tabla 1: Primeros seis valores de l obtenidos con la solución exacta para vigas A-A con diferentes valores de c y h y los correspondientes valores de c , h , e_c y e_h obtenidos con el MADF para los cuatro métodos de optimización propuestos.

Tabla 2: Primeros seis valores de l obtenidos con la solución exacta para vigas A-A con diferentes valores de c y h y los correspondientes valores de c , h , e_c y e_h obtenidos con el MADF propuesto.

| Caso | c | h | Método Directo | | | | | | MADF | | | |
|------|-------|-------|----------------|-------|--------|--------|--------|-------|------|-----|----------|-------|
| | | | l_1 | l_2 | l_3 | l_4 | l_5 | l_6 | c | h | e_c | e_h |
| 16 | 0.010 | 3.141 | 6.282 | 9.425 | 12.566 | 15.706 | 18.848 | 0.29 | 0.01 | <1 | 1.31E-04 | |
| 19 | 0.350 | 2.897 | 5.795 | 8.693 | 11.591 | 14.489 | 17.387 | 0.26 | <1 | <1 | 3.23E-07 | |
| 17 | 0.500 | 2.621 | 5.241 | 7.861 | 10.415 | 13.245 | 16.000 | 0.25 | <1 | <1 | 6.03E-06 | |
| 18 | 0.750 | 2.210 | 4.420 | 6.630 | 8.840 | 11.050 | 13.260 | 0.25 | 0.75 | <1 | 1.20E-07 | |
| 19 | 0.990 | 1.974 | 3.948 | 5.922 | 7.896 | 9.870 | 11.844 | 0.29 | 0.99 | <1 | 5.91E-06 | |
| 20 | 0.010 | 3.141 | 6.282 | 9.424 | 12.566 | 15.706 | 18.849 | 0.27 | 0.01 | <1 | 2.39E-04 | |
| 21 | 0.250 | 3.010 | 6.020 | 9.030 | 12.040 | 15.050 | 18.060 | 0.27 | 0.25 | <1 | 6.44E-07 | |
| 22 | 0.500 | 2.854 | 5.708 | 8.562 | 11.416 | 14.270 | 17.124 | 0.27 | 0.5 | <1 | 6.00E-07 | |
| 23 | 0.750 | 2.249 | 4.498 | 6.747 | 9.000 | 11.250 | 13.500 | 0.27 | 0.75 | <1 | 1.73E-07 | |
| 24 | 0.990 | 2.012 | 4.024 | 6.036 | 8.048 | 10.060 | 12.072 | 0.27 | 0.99 | <1 | 1.82E-06 | |
| 25 | 0.010 | 3.141 | 6.282 | 9.424 | 12.566 | 15.707 | 18.849 | 0.25 | 0.01 | <1 | 1.83E-06 | |
| 26 | 0.250 | 3.023 | 6.046 | 9.069 | 12.092 | 15.115 | 18.138 | 0.25 | 0.25 | <1 | 5.20E-07 | |
| 27 | 0.500 | 2.689 | 5.378 | 8.067 | 10.756 | 13.445 | 16.134 | 0.25 | 0.5 | <1 | 1.40E-07 | |
| 28 | 0.750 | 2.293 | 4.586 | 6.879 | 9.172 | 11.465 | 13.758 | 0.25 | 0.75 | <1 | 9.07E-07 | |
| 29 | 0.990 | 2.065 | 4.130 | 6.245 | 8.360 | 10.475 | 12.590 | 0.25 | 0.99 | <1 | 1.98E-06 | |
| 30 | 0.010 | 3.141 | 6.282 | 9.424 | 12.566 | 15.707 | 18.847 | 0.23 | 0.01 | <1 | 3.71E-04 | |
| 31 | 0.250 | 3.036 | 6.072 | 9.108 | 12.144 | 15.180 | 18.216 | 0.23 | 0.25 | <1 | 2.12E-06 | |
| 32 | 0.500 | 2.728 | 5.456 | 8.184 | 10.912 | 13.640 | 16.368 | 0.23 | 0.5 | <1 | 1.90E-07 | |
| 33 | 0.750 | 2.343 | 4.686 | 7.029 | 9.372 | 11.715 | 14.055 | 0.23 | 0.75 | <1 | 6.20E-07 | |
| 34 | 0.990 | 2.106 | 4.212 | 6.318 | 8.424 | 10.530 | 12.636 | 0.23 | 0.99 | <1 | 4.33E-06 | |
| 36 | 0.010 | 3.141 | 6.282 | 9.424 | 12.566 | 15.708 | 18.848 | 0.22 | 0.01 | <1 | 2.18E-05 | |
| 36 | 0.250 | 3.043 | 6.086 | 9.129 | 12.172 | 15.215 | 18.258 | 0.22 | 0.25 | <1 | 4.40E-07 | |
| 37 | 0.500 | 2.748 | 5.496 | 8.244 | 10.992 | 13.736 | 16.472 | 0.22 | 0.5 | <1 | 8.59E-07 | |
| 38 | 0.750 | 2.370 | 4.740 | 7.110 | 9.480 | 11.850 | 14.220 | 0.22 | 0.75 | <1 | 2.27E-06 | |
| 39 | 0.990 | 2.134 | 4.268 | 6.402 | 8.536 | 10.670 | 12.804 | 0.22 | 0.99 | <1 | 3.46E-06 | |

En la Tabla 3 se analiza la respuesta del MADF cuando se emplean como dato de entrada valores de l con determinado grado de error. A tal fin se determinó con la solución exacta los primeros seis valores de l para una viga con $c = 0.25$ y $h = 0.5$. Los casos de análisis consisten en variar estos valores de l en

$$e_l = \pm 1\%, \pm 2\%, \pm 3\%, \pm 4\%, \pm 5\%, \pm 7\%, \pm 10\%$$

donde

$$e_l = \frac{l_s - l}{l} 100\% \text{ y } l_s$$

son los valores de con el error indicado.

En la Tabla 4 y Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos con el MADF a partir de valores de l_n determinados por el método de elementos finitos y en forma experimental respectivamente.

Tabla 3: Análisis de sensibilidad del MADF con optimización cuando hay un error en la determinación de los primeros seis valores de l para una viga con $c = 0.25$ y $h = 0.5$

| Caso | e_l | l_{s1} | l_{s2} | l_{s3} | l_{s4} | l_{s5} | l_{s6} | c | h | e_c | e_h |
|------|-------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------|--------|-------|-------|
| 50 | -10% | 2.42035717 | 4.84071434 | 7.26107151 | 9.68142868 | 12.10178585 | 14.52214302 | 0.2130 | 0.8382 | 14.80 | 67.26 |
| 51 | -7% | 2.60103676 | 5.20207352 | 7.80311028 | 10.40414694 | 13.00517490 | 15.80674316 | 0.2290 | 0.7035 | 8.40 | 40.71 |
| 52 | -5% | 2.65482146 | 5.30964292 | 7.96446438 | 10.61914050 | 13.83217400 | 16.41622871 | 0.2360 | 0.6361 | 5.60 | 27.22 |
| 53 | -4% | 2.68171432 | 5.36342864 | 8.03714296 | 10.71685728 | 13.95211779 | 16.5681673 | 0.2400 | 0.2976 | 4.00 | 40.49 |
| 54 | -3% | 2.69807071 | 5.39614142 | 8.07821214 | 10.79642282 | 14.0442028 | 16.6344607 | 0.2440 | 0.6753 | 2.40 | 15.06 |
| 55 | -2% | 2.70560003 | 5.41120006 | 8.11680012 | 10.83360024 | 14.10560019 | 16.6799751 | 0.2520 | 0.2976 | 0.80 | 40.49 |
| 56 | -1% | 2.70939299 | 5.41878598 | 8.12558197 | 10.84716394 | 14.11636391 | 16.68840415 | 0.2310 | 0.8072 | 7.80 | 61.44 |
| 57 | 0 | 2.69928675 | 5.39857350 | 8.09770125 | 10.80028500 | 14.06683125 | 16.6293408 | 0.2500 | 0.5000 | 0.00 | 0.00 |
| 58 | 1% | 2.71617861 | 5.43235722 | 8.14851642 | 10.88135504 | 14.14538134 | 16.7249343 | 0.2530 | 0.5912 | 1.20 | 0.24 |
| 59 | 2% | 2.74307148 | 5.48614296 | 8.21228592 | 10.95171424 | 14.20892115 | 16.8069278 | 0.2590 | 0.2976 | 2.40 | 40.49 |
| 60 | 3% | 2.76996432 | 5.54000000 | 8.27666667 | 11.01800000 | 14.26666667 | 16.8777778 | 0.2610 | 0.3137 | 4.40 | 37.27 |
| 61 | 4% | 2.79685718 | 5.59388571 | 8.33234286 | 11.07619048 | 14.31904762 | 16.9357143 | 0.2680 | 0.2976 | 43.20 | 40.49 |
| 62 | 5% | 2.82375003 | 5.64777143 | 8.38333333 | 11.12500000 | 14.36666667 | 16.9888889 | 0.2700 | 0.3709 | 38.00 | 25.83 |
| 63 | 7% | 2.87753675 | 5.75507350 | 8.51142857 | 11.35000000 | 14.80000000 | 18.0000000 | 0.1760 | 0.3800 | 29.60 | 23.99 |
| 64 | 10% | 2.95821432 | 5.91642864 | 8.86914286 | 11.81428571 | 15.71428571 | 19.1428571 | 0.3620 | 0.2976 | 44.80 | 40.49 |

Tabla 4: Primeros seis valores de l obtenidos con el Método Elementos Finitos para vigas E-E con diferentes valores de c y h , y los correspondientes valores de c , h , e_c y e_h obtenidos con el MADF propuesto.

| Caso | c | h | Método Elementos Finitos | | | | | | MADF | | | |
|------|-------|-------|--------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|----------|----------|
| | | | l_1 | l_2 | l_3 | l_4 | l_5 | l_6 | c | h | e_c | e_h |
| 40 | 0.099 | 0.305 | 4.709 | 7.840 | 10.973 | 14.069 | 17.124 | 20.180 | 0.110 | 0.121 | 1.15E+01 | 6.01E+01 |
| 41 | 0.187 | 0.286 | 4.717 | 7.812 | 10.890 | 13.984 | 17.106 | 20.189 | 0.160 | 0.135 | 1.89E+01 | 4.92E+01 |
| 42 | 0.296 | 0.296 | 4.723 | 7.791 | 10.834 | 14.063 | 17.066 | 20.129 | 0.230 | 0.115 | 1.69E+00 | 6.12E+01 |
| 43 | 0.400 | 0.403 | 4.690 | 7.788 | 10.827 | 13.882 | 17.152 | 20.016 | 0.380 | 0.150 | 2.60E+00 | 6.27E+01 |
| 44 | 0.500 | 0.296 | 4.701 | 7.840 | 10.880 | 14.067 | 17.036 | 20.224 | 0.450 | 0.104 | 1.00E+01 | 8.48E+01 |

Tabla 5: Primeros seis valores de l obtenidos experimentalmente para vigas E-E con diferentes valores de c y h , y los correspondientes valores de c , h , e_c y e_h obtenidos con el MADF propuesto.

| Caso | c | h | Experimentalmente | | | | | | MADF | | | |
|------|-------|-------|-------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|----------|----------|
| | | | l_1 | l_2 | l_3 | l_4 | l_5 | l_6 | c | h | e_c | e_h |
| 45 | 0.099 | 0.305 | 4.735 | 7.787 | 10.881 | 13.886 | 16.816 | 20.051 | 0.080 | 0.348 | 8.74E+00 | 1.43E+01 |
| 46 | 0.197 | 0.266 | 4.708 | 7.726 | 10.770 | 13.758 | 16.748 | 20.142 | 0.160 | 0.231 | 1.89E+01 | 1.39E+01 |
| 47 | 0.296 | 0.296 | 4.742 | 7.738 | 10.876 | 13.894 | 16.960 | 20.103 | 0.230 | 0.190 | 1.69E+00 | 3.57E+01 |
| 48 | 0.400 | 0.403 | 4.646 | 7.837 | 10.704 | 13.542 | 16.628 | 18.735 | 0.140 | 0.363 | 6.50E+01 | 9.94E+00 |
| 49 | 0.600 | 0.296 | 4.627 | 7.680 | 10.635 | 13.681 | 16.509 | 19.854 | 0.140 | 0.354 | 7.20E+01 | 1.99E+01 |

En la Figura 5 se presentan los valores de e_h presentados en la Tabla. 1

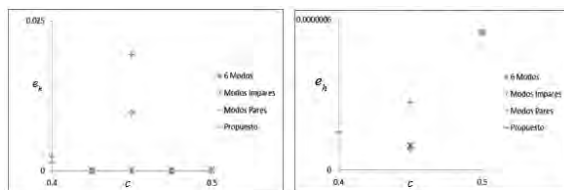


Figura 5: a) Izq. e_h vs c para $h = 0.99$ b) Der. e_h vs c para $h = 0.75$

En la Figura 6a se muestran los resultados presentados en la Tabla 2. En la Figura 6b y en la Figura 7a se presentan los valores de \bar{e}_h que es el promedio el e_h para los distintos casos de la Tabla 2 agrupados según tengan el mismo valor de c o de h .

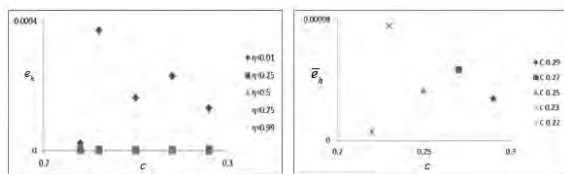


Figura 6: a) Izq. \bar{e}_h vs c b) Der. \bar{e}_h vs h

En la gráfica de la Figura 7b se comparará el e_c según el error en la determinación de l para los datos presentado en la Tabla 3.



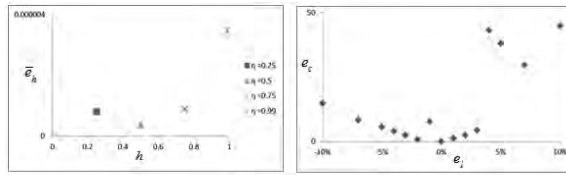


Figura 7: a) $|\varepsilon_c|$ vs c b) Der. promedio ε_c vs c

Si bien algunos de los resultados crea dispersión se puede observar, como es de esperar, que a medida que crece el error en la determinación de l , lo hace el error en la determinación de c .

4 Conclusiones

Se propuso un método analítico de detección de fisura (MADF) a partir de la ecuación de frecuencias obtenida del problema de contorno de una viga Euler-Bernoulli con restricciones elásticas generales en los extremos y en puntos intermedios. El MADF fue optimizado con herramientas estadísticas y analíticas y se verificó su funcionalidad en un estudio paramétrico para el caso en que la fisura se encuentra ubicada alrededor de puntos de inflexión o nodos de las diferentes formas modales de la viga con fisura. Además se realizó un análisis de sensibilidad que consiste en variar los valores exactos de las frecuencias naturales para observar la respuesta del MADF.

Se presentaron resultados de la posición y profundidad de fisura obtenidas con el MADF a partir de los valores de frecuencias naturales obtenidas con mediciones experimentales, con el programa Abaqus y con la solución exacta.

5. Referencias

- [1] Javier L. Raffo, Marcos R. Carrizo, XX Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones (ENIEF 2013), Vibraciones de vigas y pórticos ante la presencia de fisuras. Implementación del problema inverso, Mecánica Computacional Vol XXXII págs. 1715-1735, Mendoza, 2013.
- [2] S. P. Lele, S. K. Maiti, Journal of Sound and Vibration, modelling of transverse vibration of short beams for crack detection and measurement of crack extension, 2002.
- [3] H. P. Lin, S. C. Chang and J. D. Wu, Journal of Sound and Vibration, Beam vibrations with an arbitrary number of cracks, 2002.
- [4] N. Khaji, M. Shafiei, M. Jalalpour, Interna-

tional Journal of Mechanical Sciences, Closed-form solutions for crack detection problem of Timoshenko beams with various boundary conditions, 2009.

[5] Ricardo Oscar Grossi - María Virginia Quintana, Journal of Sound and Vibration, The transition conditions in the dynamics of elastically restrained beams, 2008.

[6] Ostachowicz y Krawczuk, Journal of Sound and Vibration, Analysis of the effect of cracks on the natural frequencies of a cantilever beam, 1991.

Análisis termoeconómico de un reformador a vapor

María Isabel Sosa¹

Resumen

En el presente trabajo se comentan resultados obtenidos para el sistema propuesto para un reformador a vapor para alimentar a una celda de combustible. Desde el punto de vista técnico, la variable más importante en la determinación del costo de producción de hidrógeno resulta ser el costo de compra tanto del recurso primario, gas natural, como del combustible utilizado en la caldera o vaporizador para la generación del vapor. Se consideran los costos de compra del gas natural en Argentina.

El costo de producción de hidrógeno in situ a partir de reformado de gas natural presenta valores similares a los de gasificación de carbón y/o biomasa.

Se analiza la viabilidad económica considerando diversos factores técnicos y operativos, resultando el costo de producción de hidrógeno dependiente del costo de compra de gas natural y del combustible utilizado en la caldera, presentando valores similares a los de gasificación de carbón y/o biomasa. El costo de producción de hidrógeno resulta una buena alternativa.

Palabras Claves: hidrógeno, micropower, análisis exergético, viabilidad termoeconómica

1. Introducción

El hidrógeno juega un rol importante en una sociedad que busca desarrollar fuentes de energía limpia y preocupada por la evolución del medio ambiente y el calentamiento global del planeta, Dado que el principal producto de una combustión controlada de hidrógeno es agua, no ocasiona daños al medio ambiente.

Las celdas de combustible [1] juegan un rol decisivo en la generación descentralizada y emergen como una de las tecnologías de conversión de energía más prometedoras del

1. GECCU, Departamento de Mecánica - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de la Plata
misosa@ing.unlp.edu.ar

presente siglo, siendo el hidrógeno primordial para su funcionamiento. Las celdas se utilizan en distinto grado de desarrollo tecnológico en aplicaciones móviles, como ser el transporte terrestre, marítimo o aéreo, o estacionarias como ser la generación eléctrica centralizada en grandes centrales de potencia, la distribuida en áreas urbanas, la descentralizada en sistemas pequeños para áreas remotas.

El hidrógeno constituye una fuente de energía limpia y muy versátil. No esta disponible como fuente de energía primaria, pero puede ser obtenido de combustibles fósiles, a decir los hidrocarburos, o de combustibles no-fósiles, la biomasa o el agua [1;2]. En la actualidad se desarrollan continuamente nuevas tecnologías de procesamiento de combustible, pero la de reforma a vapor sigue siendo una de las más utilizadas en la actualidad [3]. El gas natural tiene gran potencial como productor de hidrógeno [4]; se considera que no constituye la fuente más adecuada de producción de hidrógeno desde el punto de vista medioambiental dado que proviene de un recurso no-renovable, sin embargo puesto que esta tecnología es conocida y desarrollada a gran escala, permite desarrollar en un corto plazo sistemas energéticos a base de hidrógeno. Por esta razón se ha elegido este recurso como generador de hidrógeno.

El objetivo de este trabajo es discutir resultados del análisis termoeconómico de un reformador a vapor de gas natural, pensado para la alimentación in situ de una celda de combustible.

3. Reformador a vapor

En busca de dimensionar un reformador a vapor para la producción de hidrógeno de forma de alimentar una celda de combustible, se confeccionó un modelo computacional que simulara bajo determinadas condiciones operativas el funcionamiento del reformador. Para ello se confeccionó el modelo en planilla de cálculo y a través del mismo se analizaron los diagramas energéticos y exergéticos del proceso, calculando el rendimiento térmico del dispositivo.

El modelo se basa en el planteo de balances termodinámicos, másico, entálpico y exergético, considerando como variables el caudal entrante y la temperatura y presión de operación. Introduciendo como condicionante el grado de avance teórico de las reacciones involucradas en condiciones de equilibrio, el programa calcula el caudal de cada componente en las reacciones involucradas, las funciones termodinámicas para cada estado termodinámico. Se calculan los valores específicos de la entalpía, entropía y exergía, así como también los valores totales.

A través del análisis de la eficiencia termodinámica del reformador como función de las condiciones de operación se evalúa la prefactibilidad técnica del reformador propuesto y la calidad termodinámica del mismo a través del análisis exergético. El método permite la simulación del proceso de reformado bajo las condiciones operativas planteadas y determinar el caudal másico de metano requerido para la demanda de la celda de combustible seleccionada. La utilización de la planilla de cálculo para la modelización resulta muy útil pues es versátil y permite adecuarse a las condiciones operativas planteadas.

La modelización se basa en un esquema presentado en trabajos anteriores [3; 5] y se comenta brevemente a continuación.



Figura 1 Esquema básico del reformador

El reformador (Figura 1) es el dispositivo central en la conversión de gas natural GN en hidrógeno H₂ por un mecanismo de reacción en dos pasos. Esquemáticamente se presenta por dos secciones, la de reforma propiamente dicha, y la sección de intercambio. En presencia de un catalizador, cuando el GN reacciona endotérmicamente con vapor de agua H₂O produciendo principalmente H₂ y como subproducto una mezcla gaseosa de dióxido de carbono CO₂ con alto porcentaje de monóxido de carbono CO.

En la sección primaria del reformador, sección de reforma primaria, el GN se convierte en H₂ con la generación de CO, indicada por Ecuación (1),



Dado que el CO es nocivo para la celda, debe removerse. Una de las técnicas más utilizadas es la de intercambio agua-gas, reacción SHIFT, por la cual el CO se transforma en CO₂ [3]. En la sección secundaria denominada de intercambio, mediante el uso de un catalizador de níquel a alta temperatura se convierte el CO en CO₂ con producción extra de hidrógeno, Ecuación (2).



La reacción global del sistema es la dada por Ecuación (3)



4. Análisis termoexergético

Se desarrolló el programa SIMUREFGN en planilla de cálculo. Se introducen las condiciones operativas del reformador: temperatura y presión de operación, así como también caudal de hidrógeno requerido a la salida del mismo. El programa calcula los flujos entrantes GN y H₂O, y los salientes, H₂, CO, CO₂ y carga no convertida, determinados por el balance másico, basándose en la constante de equilibrio K y el grado de conversión α de las reacciones mencionadas, Ecuación (1), Ecuación (2), Ecuación (3), como función de la temperatura de operación y a diferentes presiones. En condiciones de equilibrio químico se calculan los flujos másicos de cada

una de las componentes y tanto el valor específico como el total de la entalpía, entropía, energía libre y exergía para cada compuesto químico i en cada estado del sistema termodinámico. Se visualizan los flujos entálpicos en un diagrama tipo Sankey.

Se han considerado en primera instancia como presión operativa la atmosférica, aumentado posteriormente en el rango 0,101 - 0,303 MPa. La Figura 2 presenta el grado de conversión o de avance como función de la temperatura a las tres presiones operativas indicadas, indicando que el proceso es factible a temperaturas superiores a 622 K. pero tornándose de interés práctico a partir de los 900 K con un rendimiento de conversión superior al 50% para las tres presiones. No obstante se torna de interés práctico para conversiones superiores al 80%, para lo cual se requiere temperaturas del orden de 950 K a 0,101 MPa, de 1000 K a 0,202 MPa y 1100 K a 0,303 MPa. Si se aumenta aún más la temperatura se alcanzarían conversiones cercanas al 100%, pero trae aparejado la aparición de reacciones secundarias.

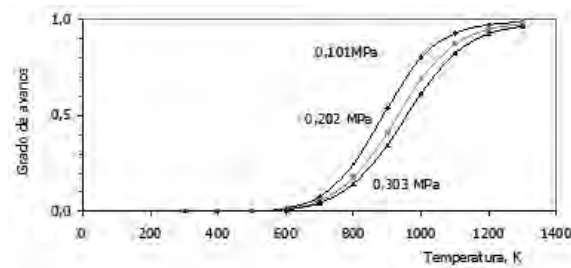


Figura 2- Grado de avance en función de la temperatura a diferentes presiones en el rango 0,101- 0,303 MPa

Las contribuciones a la exergía de la componente i son la exergía termodinámica ex_{TD} , la química ex_{CH} , la cinética ex_C y la potencial ex_p según la Ecuación (4).

$$ex_i = ex_{TD} + ex_C + ex_p + ex_{CH} \quad (4)$$

donde ex_{TD} es la exergía termodinámica en base a la entalpía y entropía de la componente i, Ecuación (5)

$$ex_{TD} = (h_i - h_{i0}) - T_0(s_i - s_{i0}) \quad (5)$$

La exergía química está dada por la Ecuación (6)

$$ex_{CH} = ex_{CH}^0 + RT_0 \ln\left(\frac{P_i}{P_0}\right) \quad (6)$$

La exergía cinética ex_C y potencial ex_p indicadas por la Ecuación (7) y Ecuación (8) no se consideraron ya que no hay diferencias significativas entre los estados inicial y final

$$ex_C = \frac{V_i^2}{2} \quad (7)$$

$$ex_p = g z \quad (8)$$

Considerando estas contribuciones la exergía ex de la componente i ex_i se indica en Ecuación (9)

$$ex_i = h_i - h_{i0} - T_0(s_i - s_{i0}) + ex_{CH} + RT_0 \ln\left(\frac{P_i}{P_0}\right) \quad (9)$$

donde el 0 indica las condiciones operativas del Punto Muerto.

Considerando el flujo másico se calculó el flujo exergético de cada componente i, Ecuación (10),

$$\dot{E}x_i = \dot{m}_i ex_i \quad (10)$$

El flujo de irreversibilidad total considerando las contribuciones de todas las componentes en juego y la eficiencia exergética o de 2ª Ley se calcularon mediante las siguientes ecuaciones, Ecuación (11) y Ecuación (12)

$$I = \sum \dot{E}x_{in}^* - \sum \dot{E}x_{out}^* \quad (11)$$

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}x_{H_2}}{\sum \dot{E}x_{in}^* - \dot{E}x_{CO_2}^*} \quad (12)$$

De esta forma, el análisis exergético permite determinar las condiciones óptimas para el funcionamiento operativo del reformador. La Figura 3 muestra el flujo de irreversibilidad en función de la temperatura a las tres presiones operativas consideradas.

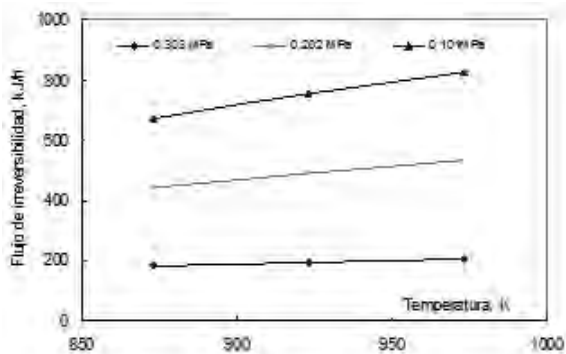


Figura 3 – Flujo de irreversibilidad en función de la temperatura a tres presiones en el rango 0,101-0,303 MPa

El análisis exergético indica que las irreversibilidades del sistema son mayores a medida que la presión aumenta, considerándose que la que minimiza este valor es la presión atmosférica.

La Figura 4 presenta el rendimiento exergético en función de la temperatura a las tres presiones operativas consideradas. Los valores oscilan entre 91% y 95%, siendo mayor para la presión atmosférica y con una dependencia ascendente con el aumento de la temperatura.

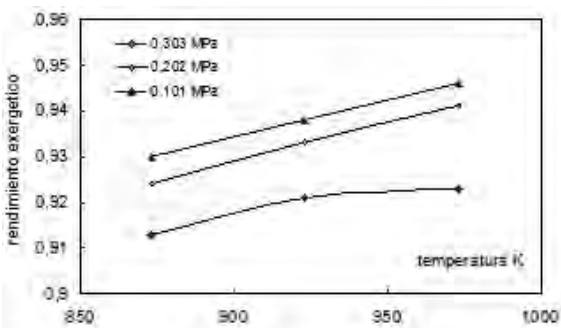


Figura 4 – Rendimiento exergético en función de la temperatura a tres presiones en el rango 0,101-0,303 MPa

No obstante puede concluirse que el aumento de la temperatura operativa no contribuye fuertemente al aumento de las irreversibilidades. El rendimiento exergético es mayor cuanto menor sea la presión y aumenta asimismo con la temperatura.

5. Análisis económico

El cálculo del costo de generación se realizó sobre la base del esquema presentado en la Figura 5, teniendo en cuenta las condiciones ope-

rativas impuestas por SIMUREFGN.

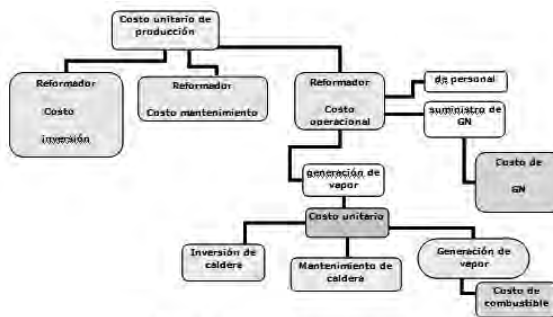


Figura 5 – Esquema del modelo de costos

El costo unitario de producción de hidrógeno C_{H_2} involucra la compra e instalación del reformador, operación y mantenimiento, Ecuación (13), expresado en u\$s por kWh de hidrógeno producido.

$$C_{H_2} = C_{INV}^{ref} + C_{OP}^{ref} + C_{MT}^{ref} \quad (\text{u}\$/\text{kWh}_{H_2}) \quad (13)$$

El costo de inversión por compra e instalación C_{INV}^{ref} está dado por el costo de inversión del equipamiento propiamente dicho, el factor de anualidad, el tiempo de operación del sistema en horas por año y el flujo de energía disponible en el hidrógeno producido en kW de hidrógeno.

El costo de mantenimiento C_{MT}^{ref} se estimó en un 10% del de inversión del reformador. El costo de operación C_{OP}^{ref} depende de los gastos generados por operarios, los costos de suministro de gas natural y de producción de vapor. El costo de operación debido al personal involucra los sueldos de empleados encargados de actividades directivas, administrativas, de supervisión y control, los salarios del personal en actividades productivas directamente y las prestaciones de los empleados y asalariados. El costo de operación por suministro de gas natural se calcula a partir del costo de compra del gas natural y de la potencia o flujo de energía disponible en GN, El suministro de gas natural se realiza directamente de la red por compra directa a través de contrato al Mercado de Gas Natural, pudiéndose utilizar tanques de almacenamiento en zonas alejadas de la misma.

El costo de operación de vapor C_{OP}^{vap} se indica en la Ecuación (14)



$$C_{\text{vap}}^{\text{inv}} = \frac{C_{\text{inv}} \cdot \dot{E}_{\text{vap}}}{\dot{E}_{\text{H}_2}} \quad (\text{u}\$/\text{kWh}_{\text{H}_2}) \quad (14)$$

donde \dot{E}_{vap} la potencia o flujo de energía disponible en el vapor en kW_{vap} , C_{vap} es el costo del vapor propiamente dicho. Ecuación (15) involucra el costo de inversión por la instalación de un generador de vapor (caldera y equipos auxiliares), el costo de generación de vapor, así como también el costo de mantenimiento de la caldera.

$$C_{\text{vap}} = C_{\text{INV}}^{\text{cald}} + C_{\text{GEN}}^{\text{vap}} + C_{\text{MT}}^{\text{cald}} \quad (\text{u}\$/\text{kWh}_{\text{vap}}) \quad (15)$$

El costo de inversión $C_{\text{INV}}^{\text{cald}}$ depende del capital invertido propiamente dicho, del tiempo de operación de la misma, del factor de anualidad y de la potencia disponible en el vapor. El costo de generación de vapor en caldera dependerá tanto del tipo y costo unitario del combustible seleccionado, de la eficiencia de la caldera, de las horas de operación de la misma, como también de la temperatura y presión de salida del vapor. El costo de mantenimiento se estimó en un 10% del costo de inversión de caldera.

Tabla 1 Poder calorífico inferior PCI_{comb} y costo unitario de compra de combustible C_{comb} .

| Combustible | | PCI_{comb} | C_{comb} |
|-------------------------|-----|----------------------------|-------------------------|
| | | kJ/kg | $\text{u}\$/\text{ton}$ |
| Gas natural | GN | 50.177 | 100 |
| Gas licuado de Petróleo | GLP | 49.455 | 300 |
| Fuel Oil | FO | 40.612 | 70 |

En la Tabla 1 se indican los combustibles utilizados para alimentar a la caldera, a saber, GN, Gas Licuado de Petróleo GLP y Fuel Oil FO. Se indican además los valores de poder calorífico inferior PCI_{comb} y del costo de compra C_{comb} unitaria.

Por decisión impuesta por la Secretaria de Energía de Argentina durante los meses de invierno rigen restricciones a la disponibilidad de gas natural, por lo cual en el costo de generación de vapor en caldera se consideraron tres alternativas utilizando FO fuel oil, GLP gas licuado de

petróleo o una combinación de ambos.

El costo de financiación, correspondiente al pago de intereses originados por préstamos otorgados por las instituciones financieras o los fabricantes de equipo para realizar las inversiones del proyecto y para el capital de trabajo, se calculó mediante el factor de anualidad f en 1/año y k el período de amortización estimado en 5 años.

6. Discusión

La eficiencia de la conversión másico de gas natural en hidrógeno resulta aproximadamente del 25 ms% y la del reformador cercana al 50%. Se observa que no debe sobrepasarse la temperatura de 1000° C ya que se favorece la deposición de carbono, disminuyendo la conversión [3].

El costo de producción de hidrógeno se calcula para los tres combustibles seleccionados para diferentes tiempos de operación, depende del costo de compra de gas natural y de combustible para la generación del vapor en caldera. El costo energético de generación de vapor en caldera convencional resulta 7 u\$/ton para GN, 20 u\$/ton para GLP y 5 u\$/ton vapor para FO.

El costo de producción para un tiempo de operación de 5000 horas por año y un rendimiento de caldera del 90%, resulta 0,091 u\$/kWh para GN, 0,103 u\$/kWh para GLP y 0,089 u\$/kWh para FO. La vida útil ha sido estimada en diez años y se ha considerado un periodo de amortización de 5 años. El costo de compra del fuel oil es notoriamente inferior al del gas natural pero debido a la diferencia de poderes caloríficos entre ambos combustibles, el costo de producción de hidrógeno resulta similar en ambos casos. El gas licuado de petróleo presenta el mayor costo de producción.

Tabla 2 - Costos típicos de producción de hidrógeno en u\$/kWh

| Método | | Costo u\$/kWh |
|--------------|------------------------------|---------------|
| Reformado | GN | 0,09 - 0,11 |
| | Eólica | 0,25 - 0,32 |
| Electrolisis | Hidráulica | 0,12 |
| | Solar fotovoltaica / térmica | 0,39 - 1,02 |
| Gasificación | Carbón / biomasa | 0,11 - 0,13 |

La Tabla 2 indica que el costo de reformado a vapor de GN presenta el menor costo. Debe señalarse que es una tecnología conocida y ampliamente desarrollada a gran escala. El uso de fuentes renovables presenta actualmente costos superiores. Seguramente esta tendencia se revertirá en la medida que se desarrollen equipamientos de producción masiva. Cabe señalar que es difícil comparar estos valores pues en muchos casos no se indica el esquema de costos utilizado ni las condiciones operativas utilizadas. Los costos típicos de producción de hidrógeno resultan en el rango de 0,10 a 1 u\$s/kWh según el método de obtención. En general la producción de hidrógeno por electrolisis es más elevado que por reformado de GN, siendo la solar fotovoltaica y la térmica los mas costosos. El método de gasificación ya sea por carbón o biomasa tiene costos similares al de reformado.

Por otro lado deberá considerarse en el futuro añadir al estudio el calculo del rendimiento ecológico, teniendo en cuenta que los recursos fósiles están en peligrosa disminución. A la actualidad no se ha descubierto un método de generación calórica con recursos no fósiles que satisfaga al medio productivo desde el punto de vista de su poder calorífico, de obtención/uso y costo económico. Los hidrocarburos tanto líquidos como gaseosos son generadores de gases de efecto invernadero en su proceso de combustión, afectando directamente la capa de ozono. La valoración del medio ambiente debe ser tomada en cuenta como una herramienta numérica, a la hora de tomar decisiones sobre la elección del sistema térmico a implementar.

7. Conclusiones

La producción de hidrógeno es termodinámicamente viable con un reformador a vapor utilizando gas natural como combustible con el objetivo de alimentar una celda de combustible, si se adoptando adecuadamente las condiciones operativas.

La irreversibilidad disminuye al aumentar la temperatura, mejorando la calidad termodinámica del reformador. El rendimiento exergético aumenta con la temperatura y permite definir las condiciones operativas de temperatura y presión.

El modelo de costos planteado en este trabajo conduce a valores del costo de producción similares a los indicados en la literatura. El costo de generación de hidrógeno varía entre 0,090 a 0,103 u\$s/kWh dependiendo del número de horas de operación y del combustible utilizado en el generador de vapor.

8. Referencias

- [1] M. I. Sosa, J. L. Silveira y A. Fushimi, Proceedings of the 9th Brazilian Congress of Engineering and Thermal Sciences (ENCIT 2002), Thermodynamic Balance in Fuel Cell Hydrogen Production from Natural Gas Reforming, Artículo CIT02-0386, pp.1-12 (CD ROM), ABCM, Caxambú, Brasil, 2002.
- [2] M. I. Sosa, y A. Fushimi, La Cogeneración en el Contexto de las Tecnologías de Conversión Energética del Futuro, AVERMA, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4, Nº II, pp. 07.01- 07.06, ASADIT, Argentina, 2000.
- [3] M. I. Sosa, J. L. Silveira y A. Fushimi, Natural Gas Steam Reforming for Hydrogen Production - An Energetic Approach, COBEM 2003 - Proceedings of the 17th International Congress of Mechanical Engineering, Paper 0431, pp. 1-10, São Paulo, Brazil, 2003.
- [4] S. Ahmed and M. Krumpelt, Hydrogen from Hydrocarbon Fuels for Fuel Cells, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 26, pp. 291 - 301, USA, 2001.
- [5] M. I. Sosa, J. L. Silveira y A. Fushimi, Natural Gas Steam Reforming for Hydrogen Production - An Exergetic Approach, CLAGTEE 2003 - Proceedings of 5th Latin-American Congress of Electricity Generation and Transmission, Paper B-150, pp. 1-10, São Pedro, Brasil, 2003

Estudio de concentradores de tensiones en árboles de máquinas, sometidos tensiones torsionales y combinadas

Sandra I. Robles¹, Daniela Alessio¹, Néstor F. Ortega¹ y Alberto P. Romeo²

Resumen

Los árboles de máquina de sección circular en servicio, para transmitir la potencia a otros órganos, llevan calados distintos elementos de transmisión, que a los efectos de fijar su posición, requieren que en el diseño y proyecto se dispongan inevitables discontinuidades geométricas. Las mismas conllevan variaciones en las secciones transversales resultando árboles no lisos, debido a resaltos, radios de acuerdo, muescas, orificios, y otras entallas, las cuales causan concentración e incremento de las tensiones variables que los solicitan, favoreciendo la ocurrencia de fallas por fatiga. Al modificar el diseño y proyecto de este elemento de transmisión, se procura encontrar formas racionales y disposiciones favorables para actuar sobre las causas que generan estas tensiones resultantes y minimizar el coeficiente geométrico del concentrador de tensiones. En este trabajo, se presentan los resultados obtenidos a través del análisis de tensiones, realizado por el Método de los Elementos Finitos, de modelos de árboles circulares no lisos con diferencia de diámetros en secciones contiguas y una entalla circular en zona previa al resalto, siendo los parámetros relevantes de estudio, el radio de acuerdo en la zona de vínculo de secciones de diámetros diferentes, la profundidad de la entalla circular y la ubicación de la misma.

Palabras Claves: Concentrador de tensiones, árbol de máquina, atenuación de efectos de fatiga.

1. Introducción

1. Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur. ingsandrarobles@gmail.com
2. Facultad Regional Rosario, Universidad Tecnológica Nacional . apromeoing@gmail.com

Causan concentración de tensiones los cambios bruscos de sección, los radios de acuerdo, marcas de mecanizado que implican imperfecciones superficiales, ajustes con apriete entre partes, o el resultado de tratamientos tecnológicos, que hacen que se incremente localmente la intensidad de las tensiones nominales.

En los árboles sometidos a sollicitaciones externas, particularmente cuando las mismas originan tensiones variables, tanto en su magnitud como en su signo, y se producen esfuerzos de torsión, de flexión, o de flexión y torsión combinadas, como la transmisión de la potencia se realiza a través de los elementos montados sobre el árbol, que requieren estar vinculados al mismo y posicionados axialmente, en el diseño y proyecto inevitablemente se introducen discontinuidades en las secciones y entallas diversas, para satisfacer adecuadamente esta necesidad, que determina un árbol perfilado con concentradores de tensión.

Budynas [1] indica en el caso de ejes y árboles, la realización de diferentes diseños, con la finalidad de disminuir la concentración de esfuerzos en la garganta del resalto, tales como el corte de penetración de radio de acuerdo grande en la pared vertical del resalto; la incorporación de una ranura rebajada de radio grande en

el encuentro del resalto, o de una ranura rebajada de radio grande en la parte superior en la cercanía del resalto.

La primera de las propuestas, cuenta con otros autores que la sustentan históricamente; Cazaud [2] Orlov [3] y Pilkey [4] entre otros, pero la misma requiere un mecanizado del rebaje en la pared vertical del resalto que se dificulta materializar. Una ranura rebajada de radio grande en el encuentro de resalto, que además permite la salida de herramienta de rectificar, debilita la sección de menor diámetro, por lo que esta opción puede llevar a que haya que aumentar el radio del árbol, y por ende el tamaño del rodamiento, para compensar esta disminución. No obstante si en el diámetro menor irá calado un anillo montado a presión, esta solución, conlleva una atenuación de los efectos de fatiga entre el 13 y 16 % [2]. La tercera propuesta, tallar una ranura semicircular en la parte superior del resalto [5-6] resulta una solución conveniente, desde el punto de vista técnico y tecnológico, dado que la misma suaviza las líneas de flujo del esfuerzo, atenuando el efecto de la concentración de tensiones y no reviste dificultades para el mecanizado. Por ello se adopta este diseño para este estudio como el más racional, para evaluar la influencia de esta entalla adicional sobre el estado tensional resultante en los modelos de árboles considerados. Debemos destacar que la bibliografía que atiende el análisis de la influencia producida por esfuerzos de flexión y de torsión, asume similitud en algunos casos con las concentraciones debidas a los esfuerzos de torsión por falta de datos experimentales, en particular el coeficiente de tamaño [6], aunque por otro lado falta desarrollo de la influencia combinada debida a la acumulación de los concentradores de tensión. En consecuencia, este estudio es una continuación del trabajo de la referencia [7] y se presenta una primera parte con el análisis debido a esfuerzos solo de torsión constante.

Se conoce que el incremento de las tensiones reales máximas, pueden alcanzar valores muy significativos en ejes y árboles sometidos a esfuerzos de flexión. Los factores teóricos de incremento para la tensión máxima pueden llegar valores del orden de 3 y más veces, mientras que en árboles sometidos a esfuerzos de tor-

sión, este incremento de tensiones suele estar en el orden de 2 ó 3, dependiendo de las distintas relaciones geométricas y del carácter de las discontinuidades. La zona afectada por el o los concentradores acumulados, resultan trascendentes para el comportamiento a fatiga de los elementos de máquinas y en consecuencia es de suma importancia, el disponer de datos actualizados [8], que permitan realizar consideraciones de diseño y análisis más ajustados, actuando sobre la causa desde el diseño.

Cabe acotar además, que en la literatura actual, se encuentran publicaciones [9-10], sobre el diagnóstico de fallas prematuras de elementos mecánicos, que evidencian las deficiencias de diseño en la consideración de los concentradores de tensiones.

2. Objetivo

El objetivo del presente estudio es analizar los efectos combinados en la valoración del factor teórico o geométrico de concentración de tensiones, K_T , del radio de acuerdo " r " en el cambio de sección debido al resalto (u hombro) que sirve de tope a un rodamiento en un árbol perfilado y la incorporación de una ranura de radio " R " en una ubicación previa al resalto, en la búsqueda de obtener la condición más favorable en la atenuación de los efectos de la fatiga.

Para ello, se consideraron diferentes diámetros de cambio de sección, radios de acuerdo entre el resalto y el cabo del árbol, radios en la ranura, la posición relativa de la misma respecto del ancho del resalto y la relación de diámetros D/d .

Al modificar el diseño y proyecto de este elemento de transmisión, se procura encontrar formas racionales y disposiciones favorables para actuar sobre las causas que generan estas tensiones resultantes y minimizar el coeficiente geométrico del concentrador de tensiones ya que si bien la bibliografía especializada en el tema menciona que la incorporación de una ranura semicircular suaviza las líneas de flujo del esfuerzo, no suministra información en cuanto a la ubicación y dimensiones de la misma.

3. Metodología

En este trabajo, se presentan los resultados obtenidos a través del análisis estático lineal de tensiones, y la consideración de los incrementos de tensiones localizados sobre la tensión nominal, de modelos de árboles circulares no lisos con diferencia de diámetros en secciones contiguas, una ranura circular en zona previa al resalto, siendo los parámetros relevantes de estudio, el radio de acuerdo "r" en la zona de vínculo de secciones de diámetros diferentes, la profundidad de la entalla circular, de radio "R" de incidencia y la ubicación de la misma, y la influencia de la altura $[(D-d)/2]$ y el ancho "L" del resalto.

El análisis lineal de tensiones se efectuó con un software basado en el Método de los Elementos Finitos, comercialmente conocido como Algor 23 [11]

4. Descripción de los modelos

El modelo de análisis propuesto corresponde a la geometría de un árbol de 2800 mm de longitud total, constituido por tres tramos de sección circular. El tramo central es de 2000 mm de longitud y diámetro D y dos tramos extremos de longitud 400 mm cada uno y diámetro $d = 200$ mm. Por la simetría de esta pieza, el modelo analizado se simplificó a un tramo de diámetro D como primera variable, de 1000 mm de longitud y otro de diámetro $d = 200$ mm = constante y 400 mm de longitud. Se considera con todos los grados de libertad restringidos (empotrado) en el extremo de mayor diámetro (D), y con radio de acuerdo circular r, como segunda variable, en el punto de discontinuidad de la sección transversal (Figura 1) y radio de ranura $R = [(D-d)/2]$, como variables relacionadas.

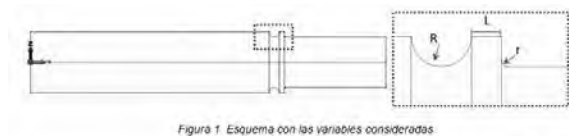


Figura 2 Geometría del modelo con ranura, con restricciones y carga aplicada en el extremo no empotrado

Las propiedades del material utilizado son módulo elástico a corte $G = 8 \cdot 10^{10}$ N/m², Coeficiente de Poisson 0,29; módulo de elasticidad $E = 2 \cdot 10^{11}$ N/m², tensión de fluencia $3,10 \cdot 10^8$ N/m² y tensión de rotura $5,65 \cdot 10^8$ N/m². El valor de las tensiones y desplazamientos, se obtuvieron adoptando como estado de carga, un momento torsor de 40000 Nm, aplicado en el extremo libre del árbol, al tomar como referencia el árbol de un tambor de elevador de cangilones con motor aplicado de 400 CV y con giro de 50 r.p.m, de donde también se tomaron las dimensiones utilizadas en los modelos geométricos. La aplicación de la cupla se modeló como carga remota.

En la sección de menor diámetro, va montado un rodamiento oscilante de rótulas, de diámetro de pista interior de 200 mm, que respalda con el resalto.

Se dibujaron y analizaron, modelos con igual geometría y dimensiones que el árbol mostrado en la Figura 1 y Figura 2., a los que se les incorporó la ranura circular de alivio, de radio R, sobre la sección de mayor diámetro (D), a una distancia L del resalto. En este estudio se estableció L como variable, a partir de un L min, contemplando el caso en que la pista del rodamiento apoye bajo carga sobre el resalto, a fin de asegurar una adecuada resistencia y por otra parte, posicionada de manera tal que le permita minimizar, al suavizar las líneas de flujo de los esfuerzos, las máximas tensiones generadas en la zona del cambio de sección.

Las dimensiones del radio de acuerdo (r), el ancho del resalto (L) y $(D-d)/2$ del árbol se fueron variando a los efectos de un proyecto más racional, considerando la eventual aplicación de un aro de apoyo entre el resalto y el rodamiento como mejora del diseño, si fuera necesario por si el resalto supera la altura de la pista interior del rodamiento, para permitir la aplicación de la herramienta extractora correspondiente, y posibilitar el desmontaje apropiado del mismo.

Para la obtención del valor de la tensión de referencia o tensión nominal, se construye y analizó el modelo de un árbol, de sección circular constante de diámetro $d = 200$ mm, longitud 1400 mm, empotrado en un extremo y sometido a un momento torsor de 40000 Nm., y se

obtuvo como valor de referencia o nominal de $4,29 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$.

Teniendo en cuenta las consideraciones expresadas en el punto anterior se construyeron y analizaron un total de 62 modelos con diámetros de sección mayor (D) de valores: 220, 230, 240 y 270 mm y radios de acuerdo (r) de valores 2 y 4 mm y relaciones entre el ancho de resalto y la altura del mismo, $L/[(D-2)/2]$, presentadas en la tabla 1

Tabla 1 – Valores de las relaciones utilizadas en los modelos analizados

| d = 200 mm | | | | | | | |
|---|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| Relación entre radio de la ranura circular y altura del resalto $R / [(D-d) / 2] = 1$ | | | | | | | |
| D = 220 mm | | D = 230 mm | | D = 240 mm | | D = 270 mm | |
| Relación entre diámetros | | | | | | | |
| D/d = 1,10 | | D/d = 1,15 | | D/d = 1,20 | | D/d = 1,35 | |
| Radios de acuerdo zona de transición entre D y d | | | | | | | |
| r = 2 mm | r = 4 mm | r = 2 mm | r = 4 mm | r = 2 mm | r = 4 mm | r = 2 mm | r = 4 mm |
| Relación entre Distancia del inicio de la ranura al resalto y la altura del resalto $L / [(D-d) / 2]$ | | | | | | | |
| 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,14 | 0,14 |
| 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,29 | 0,29 |
| 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,43 | 0,43 |
| 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,57 | 0,57 |
| 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,50 | 2,50 | 1,00 | 1,00 |
| 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 5,00 | 5,00 | 1,43 | 1,43 |
| 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 7,50 | 7,50 | 2,00 | 2,00 |
| 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 2,86 | 2,86 |
| | | | | | | 4,29 | 4,29 |
| | | | | | | 7,00 | 7,00 |
| | | | | | | 10,00 | 10,00 |

El cálculo del KT mediante la aplicación de la Ecuación (1) se realizó considerando las tensiones de Von Mises, obteniéndose iguales resultados con el uso de las tensiones de Tresca.

$$K_t = \frac{\sigma_{m\acute{a}xima}}{\sigma_{nominal}} \quad \acute{o} \quad K_t = \frac{\tau_{m\acute{a}xima}}{\tau_{nominal}} \quad (1)$$

Este factor de concentración de tensiones, se lo determina considerando un comportamiento elástico lineal del material, por eso se lo conoce como *factor teórico* o *factor geométrico* que depende solo de la geometría de la pieza considerada y del tipo de sollicitación, siempre que el estado de cargas analizado sea estático, manteniéndose las tensiones dentro del límite elástico del material.

5. Análisis de los resultados obtenidos

Los valores de referencia del factor de concentración de tensiones para los modelos sin ranura, Figura 3, fueron tomados de la bibliografía [7] que corresponde al primer trabajo sobre la temática presentado por los autores, con la incorporación de los valores de KT para la relación $D/d = 1,35$. Cabe mencionar que las diferencias

porcentuales entre los valores de esta gráfica y los publicados en la literatura [1] son menores al 5 %.

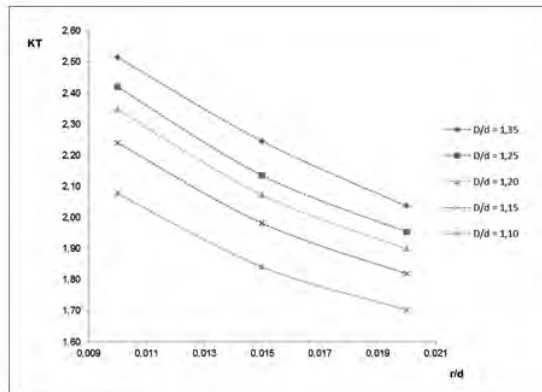


Figura 3 Kt en función de r/d y D/d

Se dispuso un modelo tipo para el análisis, de acuerdo a Figura 4, y se registraron los valores de las tensiones de Von Mises en la zona del acuerdo y del fondo de la ranura, con el objetivo de estimar los correspondientes valores del coeficiente de concentración de tensiones.

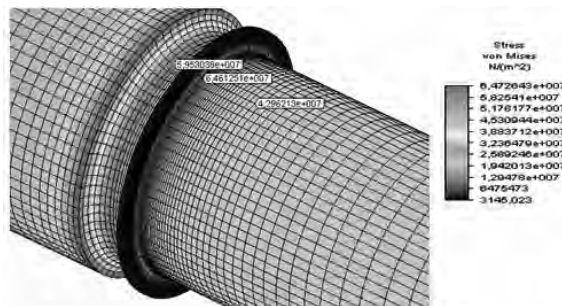


Figura 4 Tensiones de Von Mises para el modelo con $D/d = 1,20$; $r = 4$ [mm]; $R = 20$ [mm]; $L/[(D-d)/2] = 0,25$

Se agrega la Tabla 2, demostrativa de algunos de los valores obtenidos

Tabla 2– Valores de las tensiones de Von Mises en los modelos analizados con $D/d = 1,10$

| TVM* Liso | 42730138 | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| r (mm) | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 |
| a (mm) | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| D (mm) | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| MODELOS CON RESALTO SIN RANURA | | | | | | | | |
| TVM s/ranura con resalto | 80347007 | | 20737447 | | | | | |
| KT | 2,09 | | 1,71 | | | | | |
| MODELOS CON RANURA Y RESALTO | | | | | | | | |
| TVM Resalto | 09881008 | 00859382 | 74581113 | 63971582 | 82036349 | 68294001 | 88110935 | 72084163 |
| TVM Ranura | 63457742 | 63652070 | 65190745 | 64900625 | 67158709 | 67430201 | 70071022 | 70232315 |
| r/d | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 |
| D/d | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| KT resalto | 1,64 | 1,42 | 1,74 | 1,50 | 1,92 | 1,60 | 2,06 | 1,69 |
| KT ranura | 1,97 | 1,98 | 2,02 | 2,02 | 2,09 | 2,04 | 2,16 | 2,16 |
| L (mm) | 5 | | 10 | | 20 | | 50 | |
| L/Resalto | 0,5 | | 1 | | 2 | | 5 | |
| TVM* | Tensiones de Von Mises en N/m² | | | | | | | |



Tomando en cuenta los valores que surgen del análisis de los distintos modelos, se construyeron las gráficas que se presentan a continuación. En la Figura 5, se observan las curvas que representan el factor teórico de concentración de tensiones en el radio de acuerdo, KT , para diferentes relaciones entre el ancho (L) y la altura $[(D-d)/2]$ del resalto.

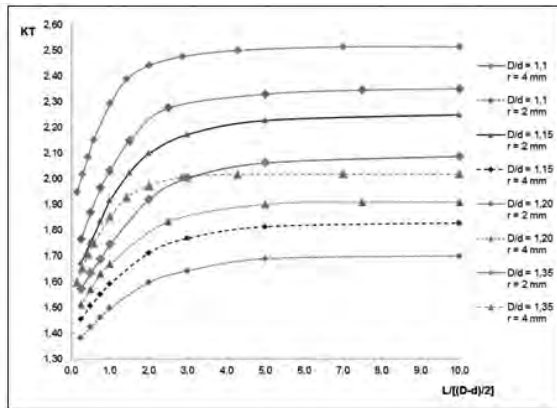


Figura 5 KT en función de la ubicación de la ranura, para $r = 2$ y 4 mm, $R = (D-d)/2$ y diferentes relaciones D/d

Cada una de estas curvas corresponde a una relación de diámetros (D/d) y un valor dado de radio de entalla (r), en todos los casos el radio de la ranura se consideró igual a la altura del resalto. Para los radios de acuerdo considerados, $r = 2$ y 4 mm y para todas las relaciones D/d estudiadas, las curvas presentan un incremento aproximadamente lineal del valor de KT hasta valores de la relación $L/[(D-d)/2]$ menores a 2, a partir del cual tiende al valor del KT del árbol sin ranura.

En la Figura 6 se representa la zona de variación lineal del KT para las relaciones D/d analizadas y radio de acuerdo de 2 mm, en la gráfica izquierda, en función de la ubicación de la ranura, representada con la relación entre el alto y ancho del resalto y, en la gráfica derecha, del ancho del resalto. En la grafica izquierda, se observa que la pendiente se incrementa con la relación D/d , ello se justifica en razón de la mayor diferencia en la ubicación el fondo de la ranura respecto del resalto, al variar la ubicación de la ranura. En la gráfica de la derecha la pendiente disminuye con la relación entre diámetros D/d , igual tendencia muestran las curvas para $r = 4$

mm. Ambas gráficas marcan la influencia de la ubicación de la ranura en la disminución del valor de KT en el acuerdo.

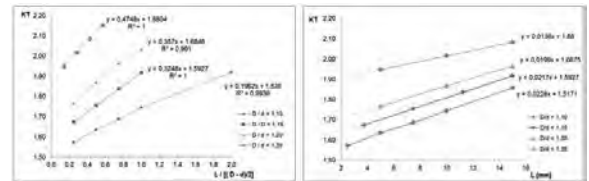


Figura 6. Variación del KT para radio de acuerdo igual a 2 mm en función de la ubicación de la ranura

Es de hacer notar, que el comportamiento observado en la variación del KT , correspondiente al fondo de la ranura, es similar al del concentrador en el acuerdo.

Con los datos obtenidos y con el objeto de poder cuantificar el efecto de introducir en el diseño y proyecto una ranura adyacente al resalto, se generó un gráfico, Figura 7, que valoriza la variación porcentual del KT , vinculando los valores obtenidos para los modelos con ambos concentradores, entalla y ranura, con los valores del factor teórico de concentración de tensiones para el caso de la geometría sin ranura, en función de la relación $L/[(D-d)/2]$. Se observa que la gráfica presenta una tendencia decreciente para todas las relaciones D/d a medida que se incrementa el valor de la relación $L/[(D-d)/2]$.

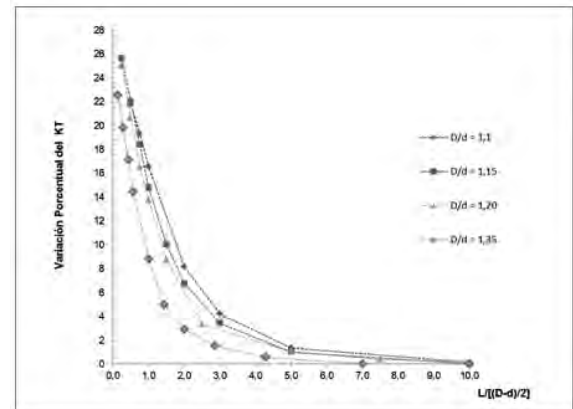


Figura 8 Variación porcentual del KT en la zona del acuerdo para radio de acuerdo 2mm

Se puede inferir que la influencia de la ranura de alivio sobre la disminución de las tensiones máximas, hasta valores de relaciones de ancho de resalto igual a la mitad de la altura del mismo $L/[(D-d)/2] = 0,5$, es significativa para todas

las relaciones D/d estudiadas, variando entre el 14% al 26%. A medida que incrementamos el valor del ancho del resalto, es decir a mayores valores de la relación $L/[(D-d)/2]$, lo que implica que la ranura estará más alejada de la zona donde se ubica el otro concentrador de tensiones, se minimiza la influencia acumulada de ambos concentradores sobre el estado tensional en dicha zona.

6. Conclusiones

La metodología de análisis que se presenta intenta colaborar con el diseño de concentradores de tensiones cuantificando la influencia que poseen las ranuras de alivio en árboles perfilados. Si bien durante años, se han realizado múltiples estudios para determinar ecuaciones y ábacos que permitan colaborar con el diseño de estos elementos [1,3-4]. No obstante, estas ecuaciones y ábacos, que se presentan en la bibliografía especializada, no cubren las situaciones de combinación de concentradores de tensiones, por cuanto las consideraciones realizadas tienen utilidad en el diseño práctico de estos elementos mecánicos.

Los resultados a los que se arribó en este trabajo indican que el efecto acoplado de discontinuidades geométricas, en la configuración estudiada, no incrementa los valores del factor de concentración de tensiones respecto del que cada uno de ellos produce actuando en forma independiente. Este comportamiento, en estudios realizados sobre placas planas con discontinuidades geométricas combinadas, ya fue observado por otros autores [8].

Asimismo se muestra que la influencia en la disminución del concentrador de tensiones, al incorporar una ranura, depende fuertemente de la ubicación y el tamaño de la misma.

Este es el segundo trabajo realizado sobre este tema por los autores y se continuará investigando con el objetivo de considerar la influencia de otras variables por cuanto se entiende que un análisis detallado resulta de gran interés para la prevención, desde el diseño, de fallas prematuras, vinculadas con la fatiga así como a los efectos de la re-ingeniería de piezas colapsadas.

7. Referencias

- [1] Budynas R.G. and Nisbett J.K. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Novena Edición en Español, Mac Graw Hill, México, 2012.
- [2] Cazaud, R. La fatiga de los metales, primera edición en español, Aguilar, España, 1957
- [3] Orlov P., *Ingeniería de Diseño, Tomo 8*, segunda edición en español, M.I.R., URSS, 1986
- [4] Pilkey W, Pilkey D, Peterson R. Peterson's stress concentration factors. Second edition; John Wiley & Sons; USA; 1997.
- [5] Decker, Manual del Ingeniero Técnico: Elementos de Máquinas Vol. XIII, primera edición en español, Urmo, 1979
- [6] Stiopin P.A., *Resistencia de materiales*, Segunda edición en español, M.I.R., 1976
- [7] Robles S. I. y Ortega N. F., Diseño de concentradores de tensiones en elementos mecánicos, mediante las tensiones y desplazamientos superficiales; ENIEF: Noviembre 2013
- [8] Amé R.M., Dasso G.M. and Lezama D. Tensiones localizadas producidas por discontinuidades geométricas combinadas: *Revista Cubana de Ingeniería*, 2(2):43-48, 2011.
- [9] Van Zyl G. and Al-Sahli A. *Failure analysis of conveyor pulley shaft Case Studies: Engineering Failure Analysis*, 1:144–155, 2013.
- [10] Pavan, A., Vikrant K., Swamy M. and Jayaraman G. Root cause analysis of bowl-mill pinion shaft failures, *Case Studies: Engineering Failure Analysis*, 1:103–109, 2013.
- [11] ALGOR 23, Profesional Mech/VE. *Docu-tech, linear stress and dynamics, reference Division*. Pittsburgh. Pennsylvania, 2010.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Departamento de Ingeniería y a la SGCyT de la UNS y a la UTN FRRo, por el apoyo brindado para el desarrollo de estas investigaciones.

Rendimiento de insertos de metal duro no recubiertos, en operaciones de torneado. La influencia de la lubricación

Germán Abate^{1,2}, Gustavo Maceira^{2,3}, Daniela Pérez², Daniel Martínez Krahmer^{1,2}

Resumen

En todo proceso de mecanizado, existen varios factores que influyen sobre el desgaste de la herramienta. Entre los principales podemos mencionar: el material a mecanizar, el material de la herramienta, las condiciones de corte, la lubricación, la forma y fijación del material a mecanizar, el tipo de máquina-herramienta y su estado de uso. Por todos estos motivos, la maquinabilidad de los materiales ha sido y es investigada por diferentes autores.

En este trabajo en particular, se ha evaluado la incidencia de la lubricación, sobre el desgaste de insertos, aplicados a operaciones de torneado sobre barras trefiladas.

En tal sentido, resultó apropiado evaluar el rendimiento de insertos no recubiertos, en el torneado de un acero de corte libre SAE 12L14, utilizando un criterio de desgaste sobre la superficie de incidencia de $VB=0,5\text{mm}$ con y sin lubricación.

Las barras de 38mm de diámetro, fueron fijadas entre plato y contrapunta, con un largo expuesto de 320mm.

A partir de fijar unas condiciones de corte que garantizaron la rotura de viruta, se emplearon, una profundidad de pasada de 1,25 mm en combinación con un avance de 0,125 mm/rev, y velocidades de corte en el rango de 150 a 240 m/min. Como herramienta de corte, se usaron insertos de metal duro no recubierto, designados como CNMG 120408 de calidad ISO P40.

Los resultados de los ensayos realizados, arrojaron en el torneado en seco una velocidad

1. Laboratorio de Control Numérico y Metrología, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora

2. Centro de Investigación y Desarrollo en Mecánica, Instituto Nacional de Tecnología Industrial,

3. Cátedra Tecnología Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora. mkrahmer@inti.gob.ar

V15' de 278,8m/min, es decir, un valor mayor en un 12,0% al obtenido mecanizando en húmedo.

Palabras claves: insertos, metal duro, no recubiertos, desgaste en incidencia, torneado, lubricación.

1. Introducción

A diferencia de lo que sucede en un taller de mecanizado, que tiene siempre entre sus objetivos disminuir los tiempos de fabricación, y por ese motivo utiliza insertos recubiertos, un laboratorio de ensayo, que desea evaluar como un material a mecanizar desgasta un inserto, o como resulta la influencia en el desgaste de emplear o no lubricante de corte, utiliza insertos no recubiertos para realizar estas pruebas.

Básicamente, las razones obedecen a tres motivos: 1) dado que estos ensayos de duración de filo demandan mucho tiempo de máquina y material, una manera de reducir los costos radica en emplear insertos que se desgastan fácil-



mente, como es el caso de los no recubiertos, 2) porque usar un inserto con recubrimiento significa que dos materiales conforman la herramienta de corte, cada uno con una tasa de desgaste propia [1], situación que no hace otra cosa que dificultar la evaluación dimensional de la zona desgastada, y 3) seguramente, en razón de lo comentado antes, la Norma ISO 3685 sobre "Ensayos de vida para herramientas monocortantes de torneado" [2], establece exclusivamente realizar evaluaciones de duración, empleando calidades de insertos no recubiertos.

La situación comentada al principio hace que los grandes fabricantes de herramientas de metal duro orienten sus insertos a calidades con recubrimiento [3,4,5], en detrimento de las que no lo poseen, de manera que se hace muy difícil para los laboratorios de ensayo, poder cumplir la condición de la Norma sobre usar insertos no recubiertos.

Específicamente, en relación a la lubricación, Trent [6] enumera sus objetivos: 1) prevenir sobrecalentamientos y distorsiones geométricas sobre la pieza, máquina, y herramienta; 2) incrementar la duración de los filos de las herramientas; 3) mejorar la terminación superficial; y 4) remover la viruta de la zona de corte.

Esta claro que, desde el punto de vista de la producción y sus costos, la utilización de lubricantes de corte, traerá aparejado, no sólo un aumento de los mismos, sino también la necesidad de disponer de un amplio espacio en la fábrica, tanto para su almacenamiento y deposición, esto más allá de la afectación ambiental que genera.

Incluso, su incidencia en los costos, según el tipo de empresa, se sitúa habitualmente entre un 7,5% a 15% [7]

Por todas estas razones, su empleo deberá justificarse plenamente.

Por otra parte, una extensa revisión de la bibliografía nos muestra que la mayoría de los trabajos de investigación realizados sobre duración de filo de herramientas en operaciones de torneado, se orientan a comparar el rendimiento de varias calidades recubiertas entre sí, o a lo sumo, de una calidad no recubierta con varias recubiertas (antes de seguir avanzando, queremos recordar que se denomina vida o duración

de una herramienta, al tiempo de corte total obtenido hasta alcanzar un desgaste predeterminado. Es por esta razón que muchas veces cuando se habla de duración y desgaste, pudiera parecer que fueran sinónimos).

Dando mayores precisiones, C. Haron [8] comparó en pruebas de torneado de un acero de herramientas denominado 95MnCrW1 con una dureza HRC23, la duración de insertos romboidales del tipo V de 35° con y sin recubrimiento, efectuando el mecanizando tanto en seco como en húmedo (con lubricación). Los resultados obtenidos mostraron que los insertos recubiertos presentaron una tasa de desgaste mucho menor que los no recubiertos. Adicionalmente se observó que, en condiciones húmedas, las duraciones alcanzadas lo hicieron en el mismo sentido, aunque con un sensible incremento, respecto de los valores obtenidos en seco. Para dar una idea, los insertos no recubiertos duraron menos de 5 minutos a una velocidad de corte de 75m/min mientras que, los recubiertos llegaron a 7 minutos de duración a una velocidad de 350m/min, en ambos casos sin usar lubricación. De estos resultados se desprende que, la velocidad de 75m/min resultó un valor límite para el inserto no recubierto. Por el contrario, un rango de velocidades entre 250 a 350m/min, resultaría una condición de corte adecuada en el caso de emplear los insertos recubiertos.

Por otra parte, R. Yigit [9] evaluó la evolución del desgaste de insertos recubiertos y no, en el torneado en seco de una fundición nodular de dureza HB 258, a cuatro diferentes velocidades de corte (rango empleado de 125 a 200m/min). Se utilizaron insertos con sustrato de metal duro (WC+Co) y geometría SNMA 120408 de tres diferentes tipos: sin recubrimiento, con una capa exterior de TiN de 7,5mm y con recubrimiento exterior de TiN de 10,5mm de espesor.

En todos los casos analizados, el inserto recubierto de TiN de 10,5mm fue aquel que presentó el mejor comportamiento frente al desgaste, si bien las diferencias a su favor, no resultaron muy significativas.

Habitualmente los estudios de desgaste de herramientas se realizan en condiciones estables de corte. Por el contrario, M. Kayhan [10] se propuso entender la duración de los filos de

corte, en el caso de encontrarse sometidos a vibraciones autoexcitadas (chatter).

La investigación del chatter ha mostrado que la profundidad de pasada, es el factor de corte más crítico que afecta la estabilidad del proceso, y su aparición durante el mecanizado es una de las limitaciones más importantes en la producción de piezas.

En este trabajo, los datos fueron recolectados en procesos de torneado, utilizando insertos de metal duro sin recubrimiento, mecanizando un acero AISI 1040, tanto en condiciones estables como de chatter. También fueron analizadas la influencia de las condiciones de corte, y la severidad del chatter. Los resultados obtenidos mostraron una reducción de la vida útil con el chatter, tanto mayor cuanto más severo resultó ser. La disminución de la duración fue del orden del 50%, incrementándose a 80% en el caso de un chatter más severo, e incluso, su efecto fue más negativo a medida que se aumentaba la velocidad de corte. Resulta evidente entonces que, un sistema de mecanizado más rígido puede proveer una solución eficaz para disminuir las vibraciones autoinducidas.

Por su lado, M. Khan [11] estudió la incidencia del sistema de lubricación (MQL=Minimum Quantity Lubricant, húmedo, y seco), aplicando un aceite vegetal, en el desgaste de insertos de metal duro no recubiertos del tipo SNMG 120408, durante el torneado de acero AISI 9310 con una dureza HB 257. De los tres métodos de lubricación evaluados, el sistema MQL fue aquel que produjo los menores valores para el desgaste a igual tiempo de corte, mientras que el corte en seco resultó el de peor performance.

En el caso de M. Rogante [12], se propuso evaluar el desgaste de insertos de metal duro tipo TNMG 220408 con y sin recubrimiento, aplicados al torneado de semiterminación en seco de un acero SAE 1045 de dureza HB 191, utilizando un torno de control numérico. Los resultados obtenidos mostraron que empleando insertos recubiertos pudieron alcanzarse tiempos de mecanizado de al menos un 50% mayor, que en el caso de usar no recubiertos.

Con el objeto de considerar la influencia de un tratamiento criogénico aplicado a insertos de metal duro no recubiertos, S. Gill [13] realizó

ensayos de torneado en seco y húmedo sobre un acero SAE 1060, utilizando cuatro velocidades de corte en el rango de 110 a 180m/min, midiendo en todos los casos la evolución del desgaste en la superficie de incidencia (criterio de interrupción de los ensayos $VB=0,6\text{mm}$).

Los resultados obtenidos mostraron que, los insertos con tratamiento criogénico rindieron de mejor modo cuando se trabajó en húmedo, y que incluso esta tendencia se acentuó a mayores velocidades de corte.

Trabajando sobre Inconel 718 de dureza HRC 32, A. Bhatt [14] midió el desgaste en insertos tipo RCMT 1204, tanto recubiertos como no, en operaciones de torneado en terminación. Las tres velocidades de corte utilizadas se encontraron en el rango de 50 a 100m/min.

Llamativamente, a la menor velocidad de corte de 50m/min, los insertos sin recubrimiento produjeron el mejor rendimiento, en tanto que a la velocidad intermedia de 75m/min esta situación se alcanzó con el inserto recubierto con TiAl PVD. Para finalizar, a la velocidad de 100m/min, el inserto con triple capa TiCN+Al₂O₃+TiN CVD resultó aquel que mejor se comportó.

Ensayando un par de materiales relativamente modernos, como el Ti6Al4V y otro similar de maquinabilidad mejorada, el TIMETAL, ambos con una dureza en el entorno de los HB 240, M. Armendia [15], usando insertos no recubiertos del tipo CNMG 120408 en operaciones de torneado húmedo (aceite emulsionable al 7% con caudal de 12 l/min), y a velocidades de corte en el rango de 50 a 100m/min, midió el desgaste sobre la superficie de incidencia. Los resultados alcanzados mostraron que hasta los 80m/min no hubo diferencia entre los materiales mecanizados, en tanto que a 90m/min y 100m/min, la maquinabilidad del TIMETAL fue significativamente superior.

Asimismo, A. Sahoo [16] en el torneado de terminación en duro de un acero AISI 4340 de dureza HRC 47, midió el desgaste en incidencia sobre insertos del tipo CNMG 120408 recubiertos y no recubiertos, a una velocidad de 150m/min y en seco. En estas condiciones, los insertos recubiertos con TiN produjeron una duración de filo de 19 minutos, en tanto que los de ZrCN de 8 minutos, mientras que los no recubiertos no

llegaron al minuto de duración.

Por último, D. Martínez Krahmer [17], realizando pruebas de torneado, comparó la duración de tres calidades de insertos de metal duro no recubiertos, resultando aquellos designados como ISO P10 superiores en al menos un 11% en relación a otros de menor resistencia al desgaste, como fueron aquellos de calidades ISO P20 e ISO P40.

Siendo entonces que, una amplia revisión de la bibliografía nos muestra pocos antecedentes en cuanto a la evaluación de la incidencia de la lubricación, sobre el desgaste de las herramientas de corte, y con el objeto de evidenciar, que no siempre es necesario el uso de lubricantes de corte, sino que debiera efectuarse un análisis en cada caso, en este trabajo nos propusimos analizar el rendimiento de insertos no recubiertos, en el torneado con y sin lubricación de un acero de corte libre SAE 12L14.

2. Procedimiento experimental

2.1 Materiales y equipos

2.1.1 Material de trabajo

El material evaluado fueron barras de acero trefilado grado SAE 12L14, de 38,1mm de diámetro cortadas a una longitud de 350mm, cuya composición química se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del acero SAE 12L14

| Material | %C | %Mn | %P | %S | %Si | %Pb |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|-----------|
| SAE 12L14 | 0,05-0,09 | 0,90-1,15 | 0,04-0,09 | 0,26-0,35 | 0,02 | 0,20-0,35 |

Se prepararon probetas metalográficas, conteniendo una sección longitudinal y otra transversal de la barra.

Las probetas fueron atacadas empleando nital 2%. Las inclusiones se clasificaron de acuerdo con la Norma ASTM E45, mientras que el tamaño de grano lo fue según la Norma ASTM E 112.

Las observaciones, se hicieron con un microscopio óptico marca ZEISS, AXIOTECH, mientras que la microdureza fue determinada con un microdurómetro Vickers, marca Shimadzu HMV 2000.

2.1.2 Máquina y herramienta empleadas

Para efectuar los ensayos de rendimiento, se

utilizó un torno de control numérico Promecor SMT 19.

Las herramientas de corte usadas, fueron insertos no recubiertos del tipo CNMG120408 de calidad ISO P40, con montaje en portainsero MCLNR-2525M12.

2.2. Condiciones operativas del proceso de torneado

En primer lugar, se realizaron pruebas tendientes a establecer un valor de avance que, en combinación con una profundidad de pasada de 1,25mm, produjese la rotura de viruta. Este avance resultó ser de 0,125mm/v.

Para fijar las velocidades de corte, se tomaron como referencia valores indicados por los principales fabricantes de insertos de metal duro, resultando así un rango de 150 a 240m/min.

Las barras de 38mm de diámetro, fueron fijadas entre plato y contrapunta, con un largo expuesto de 320mm.

Lubricante: aceite emulsionable sintético al 5%. Caudal = 10 l/min.

2.3 Medición de desgaste

El desgaste VB sobre la superficie de incidencia de los insertos, fue determinado usando un banco de medición óptico marca Dormer. A pesar que la Norma ISO 3685 establece un criterio de interrupción de ensayo de VB = 0,3mm este desgaste fue fijado en un valor de 0,5mm dado que la calidad ISO P40 es de reducida resistencia al desgaste.

3. Resultados y discusión

3.1 Material a mecanizar

Sobre el material a ensayar, se realizaron mediciones de microdureza Vickers, según la Norma ASTM E 384, empleando 500X y una carga de 1000 gf, sobre una sección transversal, resultando un valor HV de 200 ± 5 .

El análisis metalográfico reveló que, el material presenta una microestructura laminada en caliente, constituida por una matriz de granos equiaxiales de ferrita, con una menor proporción de perlita distribuida en bandas y de forma heterogénea en la matriz; correspondiéndole un tamaño de grano equivalente al N° 6.5 (ver Fi-

gura 1).

Las inclusiones corresponden al tipo A (sulfuro), serie fina N° 2 ½ y serie gruesa N° 2, y tipo D (óxido), serie fina N° ½ (ver Figura 2).

La microestructura del borde correspondiente a la superficie exterior de la muestra es similar a la del núcleo, observándose granos deformados plásticamente, provenientes del trabajo de deformación plástica en frío (trefilado).

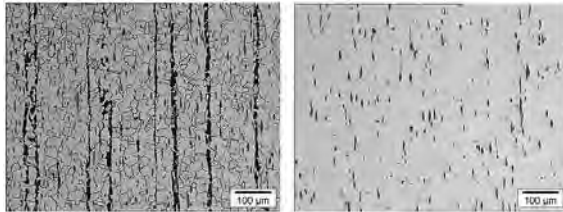


Figura 1. Microestructura (100x) Figura 2. Inclusiones (100x)

3.2 Resultados del mecanizado

A continuación presentaremos los valores obtenidos, diferenciados según se haya utilizado o no, lubricante de corte.

3.0.1 Torneado en seco

En las figuras 3, 4, y 5 se presentan los valores medidos para las curvas de desgaste, así como las curvas de ajuste cuadrático y su ecuación correspondiente, para las velocidades de 240, 180 y 150m/min respectivamente.

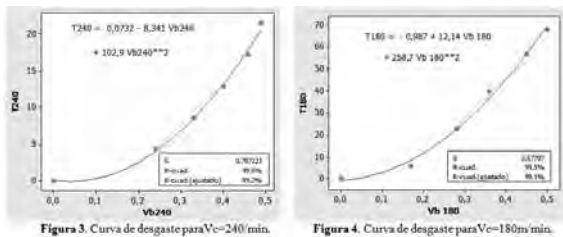


Figura 3. Curva de desgaste para Vc=240/min. Figura 4. Curva de desgaste para Vc=180m/min.

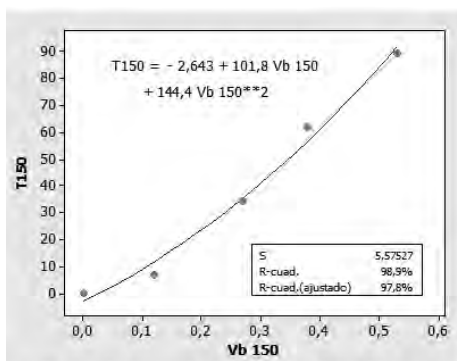


Figura 5. Curva de desgaste para Vc=150/min.

3.0.2 Torneado en húmedo

En las figuras 6, 7, y 8 se presentan los valores medidos para las curvas de desgaste, así como las curvas de ajuste cuadrático y su ecuación correspondiente, para las velocidades de 240, 180 y 150m/min respectivamente.

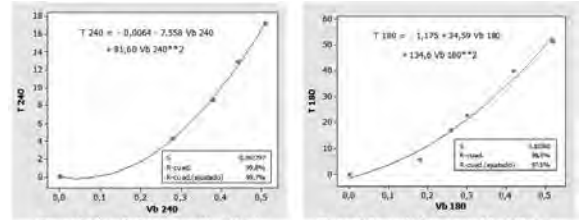


Figura 6. Curva de desgaste para Vc=240 min. Figura 7. Curva de desgaste para Vc=180m/min.

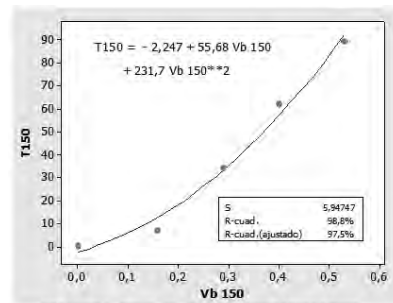


Figura 8. Curva de desgaste para Vc=150/min.

3.3 Tipo de viruta

En lo que respecta a las virutas generadas durante las pruebas, se pudo apreciar que la forma predominante en todos los casos correspondieron al tipo 6.2 (viruta en arco corto), según el anexo G: Chip Characteristics, Table G.1- Chip forms, de la Norma ISO 3685:1993(E). Esta viruta es típica en el torneado de aceros de corte libre, dado que tanto los sulfuros de manganeso, como el plomo que se mantiene en solución sólida, producen una discontinuidad en la microestructura que favorece el corte de viruta, independientemente de las condiciones de corte y del filo del inserto.

3.4 Curva de Taylor

A partir de las distintas curvas de desgaste obtenidas (ver figuras 3 a 8 inclusive), se determinaron los puntos necesarios para poder ajustar la curva de Taylor, para ambos ensayos. Estos valores se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 2. Valores Vc vs T para las distintas calidades ensayadas

| Velocidad de corte (m/min) | Lubricación | Duración de filo T (min) |
|----------------------------|-------------|--------------------------|
| 150 | No / Si | 84,4 / 83,5 |
| 180 | | 69,8 / 49,8 |
| 240 | | 21,6 / 16,6 |

Finalmente, al realizar el análisis de estos últimos valores según de la Norma ISO 3685, se obtuvieron los parámetros calculados siguientes, tal como lo indican los anexos D y F, de la citada Norma (ver tabla 3).

Tabla 3. Parámetros de la curva de Taylor:

| Material | Lubricación | Exponente | Constante (m.min) | V ₁ (m/min) | Incremento V ₂ (%) | Coefficiente de Correlación R ² |
|-----------------|-------------|-----------|-------------------|------------------------|-------------------------------|--|
| Acero SAE 12L14 | No | 0,23 | 686,5 | 278,8 | — | 0,931 |
| | Si | 0,29 | 543,5 | 249,1 | + 12,0 | 0,994 |

Examinando la Tabla 2, se desprende que, las duraciones mínimas de filo alcanzadas fueron de mayores a 15 minutos en todos los casos. Se desprende entonces que, las V15' obtenidas (ver tabla 3), se encontraron por encima del intervalo específico de velocidades usado durante las pruebas.

Con información la información de las tablas 2 y 3, se construyó a partir de las ecuaciones de Taylor correspondientes, un diagrama que incluye a las dos curvas en forma superpuestas, tal como se muestra en la figura siguiente:

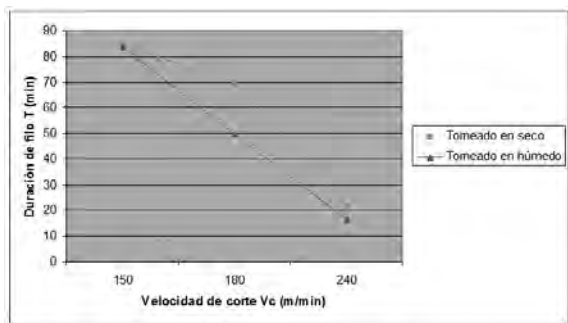


Figura 9. Curvas de Taylor superpuestas

De la observación de este gráfico se puede concluir que, efectuar el torneado en seco repercutió positivamente en la duración del filo del inserto, principalmente en la velocidad de corte intermedia (180m/min).

4. Conclusiones

- Contrariamente a lo esperado, el torneado en seco produjo una mejora en la duración del filo de las herramientas usadas en el mecanizan-

do de acero SAE 12L14, en todas las velocidades de corte testeadas. Esto puede deberse a una acción ineficiente de la lubricación (poco caudal y/o presión), ya que las oscilaciones de temperatura resultantes de estas faltas, podrían inducir fatiga térmica sobre el filo, aumentando así su tasa de desgaste. Por el contrario, en el mecanizado en seco siempre hay una mayor estabilidad térmica.

- Los resultados de los ensayos realizados, arrojaron con el torneado en seco una velocidad V15' de 278,8m/min, es decir, un valor mayor en un 12,0% al obtenido mecanizando en húmedo.

- Tal como lo indican los resultados de los ensayos realizados, la posibilidad de eliminar la utilización de lubricantes de corte, en casos como este, se traduciría en el ámbito de la producción, tanto en una disminución de los costos de producción, como de la afectación ambiental.

- Para el acero ensayado, una duración económica de los filos (mayores a 15 minutos), se podrían obtener a velocidades menores o iguales a unos 250 m/min.

- El tipo de viruta obtenida en todos los casos (conocida como arco corto), es ideal para el mecanizado en máquinas automáticas, dado que su reducido tamaño y longitud, no requiere de paradas de máquina, que tienen por objeto remover enredos de viruta.

Referencias

[1] C. Godoy y otros, Análise topográfica por perfilometría de desgaste de cratera en herramienta de metal duro revestida com TiN, Actas del Congreso CONAMET/SAM 2002, Santiago de Chile (paper).

[2] Norma ISO 3685:1993, Tool life testing, with single point turning tools (Norma).

[3] www.sandvik.coromant.com (página web).

[4] www.iscar.com (página web).

[5] www.kennametal.com (página web).

[6] E. Trent, Metal cutting, Butterworth-Heinemann, Cuarta edición, USA, 2000 (libro).

[7] D. Martinez Krahmer, Sobre algunos procesos de agujereado, Editorial Nueva Librería, Buenos Aires, Argentina, 2010 (libro).

[8] C. Haron y otros, Wear of coated and uncoated carbides in turning tool steel, Journal of



Materials Processing Technology, 2001 (paper).

[9] R. Yigit y otros, Effect of cutting speed on the performance of coated and uncoated cutting tools in turning nodular cast iron, Journal of Materials Processing Technology, 2008 (paper).

[10] M. Kayhan, An experimental investigation of chatter effects on tool life, Engineering Manufacture, 2009 (paper).

[11] M. Khan, Effects on minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oil-based cutting fluid, Journal of Materials Processing Technology, 2009 (paper).

[12] M. Rogante, Wear characterisation and tool performance of sintered carbide inserts during automatic machining of AISI 1045 steel, Journal of Materials Processing Technology, 2009 (paper).

[13] S. Gill y otros, Wear behaviour of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2009 (paper).

[14] A. Bhatt, Wear mechanisms of WC coated and uncoated tools in finish turning of Inconel 718, Tribology International, 2010 (paper).

[15] M. Armendia, Comparison of the machinabilities of Ti6Al4V and TIMETAL using uncoated WC-Co tools, Journal of Materials Processing Technology, 2010 (paper).

[16] A. Sahoo y otros, Experimental investigations on machinability aspects in finish hard turning of AISI 4340 steel using uncoated and multilayer coated carbide inserts, Measurement, 2012 (paper).

[17] D. Martinez Krahmer y otros, Rendimiento de insertos de metal duro no recubiertos en operaciones de torneado. La influencia de la calidad del inserto, Congreso SAM / CONAMET, Misiones, 2013 (paper).

Espaciadores amortiguadores de haces de conductores eléctricos. La necesidad de definir un plan de vida

Germán G. Keil, Américo Jurasics y
Damián F. Campos

Resumen

Los sistemas de protección antivibratoria de haces de conductores de líneas de transmisión en muy alta tensión, están compuestos por espaciadores amortiguadores. Una de sus funciones, es disipar parte de la energía que transfieren los fenómenos eólicos al haz de conductores, para reducir la amplitud de las vibraciones, que generan fenómenos de fatiga en estos.

El diseño de las líneas prevé generalmente, una vida útil de 50 años; los controles y eventuales intervenciones en el sistema de protección antivibratoria, deben sintonizar la misma. Debe señalarse, que las articulaciones elásticas de los espaciadores amortiguadores, constituidas por material polimérico, sufren en operación una alteración de sus propiedades elásticas y amortiguantes, pudiendo generar compromisos sobre la performance del sistema de protección.

A la fecha los operadores de sistemas de transmisión, aplican metodologías intuitivas, particulares, para el monitoreo de la evolución de los sistemas de protección, y también para el establecimiento de condiciones que generen la necesidad del reemplazo de espaciadores amortiguadores.

Dada la necesidad del mantenimiento de activos de forma sustentable, racional, económica, asegurando la confiabilidad operativa, la propuesta es establecer un plan de vida para el sistema de protección antivibratoria, basado en un proceso de mantenimiento con bases preventivas y predictivas. En el marco de dicho plan, se propone una serie de acciones armonizadas que contemplan inspecciones visuales,

Departamento de Mecánica Aplicada, Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Comahue
german.keil@fain.uncoma.edu.ar
americo.jurasics@fain.uncoma.edu.ar
damian.campos@fain.uncoma.edu.ar

termográficas, radiográficas, electro-magneto acústicas, medición de vibraciones eólicas, determinación de las características elásticas y amortiguantes de espaciadores amortiguadores, colocación en vanos tipo de espaciadores amortiguadores prefatigados con la realización de mediciones sistemáticas de vibraciones para hacer análisis de correlación con el fin de establecer márgenes de vida útil remanente, y dado el caso la promoción de reemplazos preventivos de espaciadores amortiguadores. Para las mencionadas sustituciones se propone la aplicación de la metodología de la reutilización, reemplazando las articulaciones elásticas.

Palabras Claves: Transmisión eléctrica, espaciadores amortiguadores, plan de vida.

1. Introducción

En la transmisión de energía eléctrica en sistemas de alta y muy alta tensión, se emplean para cada fase, haces múltiples de conductores. Se dispone en el mercado de una amplia gama de conductores, con variadas características geométricas y de materiales. En el diseño de una línea de transmisión, estas características se deben compatibilizar con el tipo de estructuras soporte y longitudes de los vanos, surgiendo la



selección de un análisis de tipo técnico económico [1].

Para lograr la geometría del haz, y mantenerla por la acción de los fenómenos eólicos y eléctricos, se dispone de una serie de espaciadores amortiguadores, dispuestos a lo largo de cada vano, con una determinada tabla de posicionamiento. En la Figura 1 se puede observar una imagen tipo, con tres fases, conformadas por haces de conductores cuádruples con los correspondientes espaciadores amortiguadores.



Figura 1 Espaciador amortiguador

Dicho conjunto de espaciadores amortiguadores, adecuadamente posicionados, definen el denominado sistema de protección antivibratoria de conductores. En esencia, la función del sistema mencionado es mantener la distancia de diseño entre los conductores de una fase, además de absorber y disipar parte de la energía transferida por el viento a los conductores, manteniendo a las vibraciones y oscilaciones, en niveles que no comprometan la seguridad de los diversos componentes de la línea. Sobre el particular, en cuanto a la dinámica de los conductores, debe destacarse que se tienen dos fenómenos característicos, que son las vibraciones eólicas y las denominadas oscilaciones de subvano.

Las vibraciones eólicas son aquellas generadas por los denominados vórtices de Von Karman. En la Figura 2, se pueden observar detalles sobre los desprendimientos de vórtices que inducen las vibraciones señaladas, que se manifiestan en el rango de 3 a 60 Hz, para velocidades de viento de 1 a 8 m/seg.

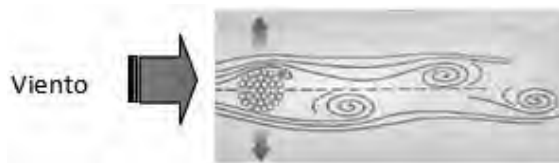


Figura 2 Generación de vórtices

Las vibraciones generadas en el conductor por dichos fenómenos eólicos, generan en los puntos de suspensión (pseudos empotramientos) por limitar el movimiento libre del conductor, fenómenos de fatiga en los hilos constituyentes del conductor, como se puede observar en la Figura 3.



Figura 3 Morsa de suspensión y fenómeno de fatiga

En haces de conductores, el subconductor de sotavento está influenciado por el despredimiento de sus propios vórtices y por los desprendidos del subconductor de barlovento. El subconductor de barlovento no está influenciado por el de sotavento. Como los subconductores están vinculados por los espaciadores amortiguadores, se genera un fenómeno de inestabilidad del haz, denominado oscilaciones de subvano. La forma más común de este fenómeno consiste en la oscilación de un par de conductores casi horizontales en movimiento antifase, donde cada conductor describe una trayectoria elíptica. El movimiento ocurre a frecuencias próximas a 1 Hz. La amplitud de las oscilaciones puede dar lugar a posibles choques entre pares de conductores.

Las oscilaciones de subvano no generan en primera instancia compromisos sobre el conductor, pero si en las articulaciones elásticas de los espaciadores amortiguadores, que a su vez tiene una influencia sobre el comportamiento asociado con las vibraciones eólicas. El mencionado compromiso se traduce en la degradación de las propiedades de rigidez y amortiguamiento, de las articulaciones elásticas. Esto implica que luego de varios años de operación, el sistema

de amortiguamiento puede tener un comportamiento no acorde con sus especificaciones técnicas y requieran de una intervención. En la Figura 4, se pueden observar las características de una articulación. Con cuatro insertos de goma cilíndricos.



Figura 4 Articulación elástica

En la línea de transmisión, para determinar el comportamiento del sistema de protección antivibratoria, se hacen mediciones de vibraciones eólicas como se puede observar en la Figura 5.



Figura 5 Medición de vibraciones eólicas

Al momento de la concepción, la vida útil de una línea de alta tensión, se estima en aproximadamente 50 años o más. Independientemente de lo señalado, las líneas de transmisión una vez en operación y habiendo alcanzado largos períodos de operación, no se abandonan, sino que se adaptan y reacondicionan. Para que esos 50 años previstos se concreten en los hechos, se deben implementar una serie de acciones, controles de componentes críticos, alguno de ellos con una vida útil inferior al período señalado, como sucede con los espaciadores amortiguadores.

El propósito del trabajo es plantear alternativas de monitoreo y de intervenciones puntuales de los sistemas de protección antivibratoria de conductores, en el marco de un plan de vida, para que dado determinados emergentes, permitan definir con racionalidad el cambio de espaciadores amortiguadores, bajo el esquema de una reutilización de los mismos [2]. En esencia es plantear situaciones de condición, como

complementarias y/o sustitutiva de acciones preventivas cíclicas.

2. Normas y especificaciones técnicas

La norma a IEC 61854 Overhead Lines – Requirements and tests for spacer [3], presenta recomendaciones de uso internacional para la elaboración de las especificaciones técnicas y los ensayos de tipo y de rutina recomendables para espaciadores amortiguadores.

Plantea que el espaciador amortiguador sea diseñado para que mantenga la configuración física del haz, previniendo el contacto entre conductores excepto para cortocircuito, con restauración para esta situación a la geometría normal. En operación no se deben detectar deformaciones permanentes inaceptables en componentes, aflojamientos y ruidos audibles críticos. Además el diseño debe presentar facilidades para la instalación y remoción de componentes en líneas energizadas. También se establecen pautas para los materiales no metálicos. La diferencia de potencial entre partes metálicas no deberán causar daños por descarga. Cualquier flujo de corriente entre subconductores, no deberá alterar los materiales del espaciador.

Las normativas señaladas también especifican ensayos de fatiga por vibraciones eólicas y oscilaciones de subvanos, pautando límites aceptables para las variaciones de las características elásticas y amortiguantes. Estos ensayos son, para garantizar una adecuada vida útil.

El comportamiento del sistema de protección antivibratoria se determina en la línea instalada, con la medición en determinados vanos convenientemente seleccionados, de vibraciones eólicas, oscilaciones de subvano, desplazamientos de los brazos de algunos espaciadores amortiguadores, temperatura ambiente y velocidad del viento normal a la línea.

En el primer caso se hace referencia a ensayos sobre componentes, y en el segundo al comportamiento del sistema. Sobre el particular debe señalarse que no siempre hay una adecuada sintonía entre las exigencias de los ensayos de componentes y las reales condiciones de operación de estos componentes en la línea [1].

3. Plan de vida de una unidad operativa

Debe señalarse que la vida útil en servicio de una unidad o equipo productivo, es el tiempo estimado y estudiado en forma racional, durante el cual se prevé que no aparecerán fallas técnicas que no puedan ser detectadas previamente por el plan de inspecciones y durante el cual el rendimiento productivo es elevado. Durante la vida útil tal lo definido, la performance del equipo se ajusta a las especificaciones técnicas, conforme a las cuales fue diseñado.

En un sistema en operación, las preguntas clásicas a formularse desde el punto de vista del mantenimiento, son ¿corrijo, y/o prevengo y/o mejoro? [4]. En respuesta a estas preguntas surgen como lo plantean por ejemplo los especialistas Gallará y Pontelli [5], distintas políticas de mantenimiento por ejemplo: a) Mantenimiento a rotura; b) Programado o planificado.

En la práctica seguramente será una combinación, en donde la respuesta más ajustada se centrará en la filosofía de mantenimiento tomada como base, entre las cuales se tienen el mantenimiento centrado en la confiabilidad, en el negocio, en los riesgos y otros.

El responsable de una unidad productiva con años en servicio, deberá estimar una pervivencia, que no es más que la explicitación de una vida útil remanente deseada para el equipamiento. En base a ello, se define lo que se puede denominar el plan de vida de una unidad o equipo productivo. El mismo estará asociado con el programa de inspecciones preventivas, predictivas y trabajos correctivos a llevar a cabo. En esencia el plan de vida, estará directamente vinculado a los objetivos de la empresa en relación a la planta y/o a un equipo en particular, influyendo en la misma los requerimientos de confiabilidad, longevidad, legislación vigente y requerimientos económico-financieros, y debe partir de un minucioso estudio de los componentes.

4. Antecedentes de intervenciones en sistemas de protección antivibratoria

En nuestro país se tienen sistemas de transmisión en muy alta tensión con más de 30 años de operación comercial. Conforme a lo que se puede visualizar, surgen diversas evidencias de deterioros importantes. Debe enfatizarse que

las situaciones planteadas, pueden generar un compromiso muy serio sobre la vida útil de los conductores.

En relación a lo señalado, se visualizan distintos criterios en cuanto al posicionamiento de los responsables de la operación de sistemas de transmisión en muy alta tensión [2]. Se tipifican a continuación algunos casos:

- En determinadas líneas de transmisión, como ser las puestas en marcha en la década del 70, con visualización de algunos daños en conductores, y con espaciadores amortiguadores sin respuesta elástica o reducida al mínimo *minimorum*, se está procediendo al recambio parcial del sistema de protección antivibratoria de algunos vanos, por uno de nuevas características.

- El operador de línea, ante indicios de una respuesta inadecuada del sistema de protección antivibratoria, o en el marco de una acción preventiva, no de condición, decide el recambio de los espaciadores amortiguadores, por el mismo tipo del instalado originalmente, dentro de una programación de reemplazos por tramos.

5. Propuesta de acción

En la República Argentina, las especificaciones técnicas de los contratos de provisión de los sistemas de protección antivibratoria de conductores para líneas de transmisión eléctrica en 500 kV, pautan entre otros, la performance relativa a límites máximos de vibraciones eólicas de los conductores, con determinación eventual de la vida útil estimada de los mismos en el marco de un proceso de fatiga acumulada, previo a la aceptación para su operación comercial. Para el caso de no cumplirse con los valores especificados, el contratista debe introducir las modificaciones en el diseño, con redistribución de espaciadores amortiguadores, o una densificación de los mismos. Complementariamente las especificaciones técnicas prevén una serie de ensayos mecánicos y eléctricos de los espaciadores amortiguadores. En particular contemplan, por un lado ensayos de relevamiento de características elásticas y amortiguantes, definiendo desviaciones máximas respecto a los valores garantizados, y ensayos de fatiga con limitaciones en cuanto a valores finales de elasticidad y amorti-

guamiento.

Una vez habilitada una línea nueva, es decir en operación comercial, y fuera del período de garantía, no hay metodologías consensuadas, para hacer un seguimiento de la evolución de los sistemas de protección antivibratoria, y las consecuencias emergentes sobre la integridad de los conductores.

En el apartado 4, se hace mención a las acciones implementadas por ciertos Comitentes en nuestro país, en relación a líneas de transmisión con varias décadas de operación. En dichos antecedentes no hay referencias explícitas de mediciones de vibraciones o de otro tipo.

Sin cuestionar los fundamentos que sustentan y/o sustentaron las decisiones que avalaron y avalan las acciones implementadas y señaladas precedentemente, se entiende que con la tecnología disponible, se pueden poner en práctica una serie de acciones que permitan nutrir adecuadamente y ampliar, la matriz de decisión sobre el tema.

Dada la necesidad del mantenimiento de activos de forma sustentable, racional, económica, asegurando la confiabilidad operativa, la propuesta es establecer en primera instancia, un plan de vida para el sistema de protección antivibratoria, basado en un proceso de mantenimiento preventivo y predictivo. En esencia, es avanzar en implementar prácticas de mantenimiento programado o planificado, lo que implica definir una serie de tareas a realizar, los tiempos asociados, actores que intervendrán y los medios y recursos necesarios.

A dicho propósito, se propone una serie combinada de acciones que se detallan a continuación, y que se entiende resultan válidas cualquiera sea la antigüedad del sistema de transmisión.

En primer lugar se debería realizar un mapeo, para la tipificación o reconocimiento de: a) Vanos típicos, longitudes, orientación, topografía, para distintos tipos de espaciadores amortiguadores y grapas de suspensión. b) Vanos particulares, que merecieron un tratamiento singular durante el diseño, y puesta en servicio, con mediciones y ajustes. En ambos casos corresponde hacer un análisis y evaluación de los años de operación y antecedentes de intervenciones.

Con las tipificaciones emergentes de la eta-

pa precedente, se sugiere que el operador de la línea de transmisión, establezca la pervivencia del conductor, y en base a ello diagrame el plan de vida asociado al sistema de protección antivibratoria, que tal lo señalado precedentemente tiene componentes elastoméricos que modifican sus propiedades elásticas y amortiguantes por las acciones dinámicas de los brazos vinculados con los subconductores. Para el sistema en análisis, se debe asegurar una adecuada performance en el tiempo. Para ello se deben desarrollar herramientas, instrumentos, que permitan detectar en tiempo y forma y/o predecir, cuando dicha performance por el deterioro señalado, perfore umbrales de mínima que generen compromisos sobre el conductor, a los fines de planificar las intervenciones necesarias.

El plan de vida debería contemplar, en función de lo señalado:

- Inspecciones visuales: Sistemáticas, e intensificadas en zonas donde surgen evidencias de vibraciones severas, o directamente de daños. Cabe señalar que estas no permiten detectar roturas en capas interiores o en el interior de morsas o de preformados.

- Medición sistemática de vibraciones en las líneas de mayor cantidad de años de servicio [6]. Sobre el particular y como referencia, se debe destacar que internacionalmente hay distintas técnicas para monitorear indirectamente el estado de los sistemas de protección antivibratoria, a través de la medición de vibraciones y que se pueden sintetizar en los siguientes criterios:

- a) IEEE (Institute Electrical and Electronics Engineers) 1966: Máxima deformación por flexión.

- b) EPRI (Electric Power Research Institute) & IEEE) 2006: Máxima amplitud de flexión admisible.

- c) CIGRE (Internacional Council on Large Electric Systems): Amplitud de tensión por flexión admisible, con cálculo de vida útil basado en la hipótesis de Miner, tomando como referencia una curva SN (Tensión – Número de Ciclos) denominada línea de borde segura.

De la información disponible, estas técnicas de seguimiento no son aplicadas sistemáticamente en nuestro país. Una de las causas

asociadas, es el costo de los instrumentos y la necesidad de disponer de recursos humanos calificados para las mediciones y procesamiento de la información.

Independientemente debe indicarse y destacarse, que no hay normativas o guías internacionales, para planificar el establecimiento de rutinas de estas mediciones. En el mismo sentido debe señalarse, si las mediciones de vibraciones señaladas, arrojan resultados superiores a ciertos límites, o bien estimaciones de vida útil muy acotadas, tampoco hay metodologías de acción o de intervención preestablecidas.

Simultáneamente, a las mediciones señaladas, se recomienda implementar inspecciones para determinar la integridad del conductor en la zona de grapas, especialmente para los casos del tipo abulonadas.

- Paralelamente a la medición de vibraciones, en los vanos señalados, culminado el período de medición se propone retirar, en casos previamente estudiados y evaluados, espaciadores amortiguadores y hacer una inspección detallada con determinación de las características elásticas y amortiguantes y comparar con los resultados obtenidos con los espaciadores nuevos (ensayos de tipo, y eventualmente de remesa).

La disponibilidad de niveles de vibraciones y estado de los espaciadores amortiguadores en cuanto a características elásticas y amortiguantes, permite hacer un análisis de correlación; es decir analizar el nivel de vibraciones considerando el estado del espaciador amortiguador. De tal manera que luego, con medición de vibraciones o relevamientos de características de espaciadores amortiguadores, en forma aislada, permitirán tomar decisiones en cuanto a eventuales intervenciones.

- En vanos, con elevados niveles vibracionales, corroborar el estado del conductor en puntos críticos [6], con inspecciones visuales intensivas y complementar con inspecciones termográficas, radiográficas o electro, magneto acústicas.

Las inspecciones termográficas pueden efectuarse desde el suelo. La experiencia demuestra que fallas con menos de tres hilos rotos no producen cambios apreciables de temperatura.

Las inspecciones radiográficas permiten detectar hilos rotos. Son costosas, complejas y no totalmente confiables.

Las inspecciones Electro, Magneto Acústicas, puede efectuarse en líneas energizadas.

- A los efectos de mejorar las predicciones de vida útil de los espaciadores, y sus consecuencias sobre la vida útil de los conductores, se propone como alternativa, colocar en vanos tipo, espaciadores amortiguadores prefatigados a diversos ciclos.

Se entiende que esta alternativa permite asociar comportamiento vibracional y estado del sistema de protección antivibratoria, para determinar la vida útil remanente y planificar las intervenciones.

- Con inferencias tempranas, o bien en el marco de un plan preventivo de instrumentación "slow" a largo plazo, en los vanos más críticos, reemplazar los espaciadores amortiguadores, y donde sea posible empleando el criterio de la reutilización de los mismos [2].

También en cuanto al recambio, sería conveniente hacer pequeñas reubicaciones de los espaciadores amortiguadores. La zona crítica por fatiga está en la sección límite de contacto externo entre la grapa y el conductor, donde hay un proceso de fatiga acumulada en lo que se denomina etapa I del fenómeno, reconocida como nucleación de la fisura.

Para el caso de vanos que hayan tenido un comportamiento vibracional desfavorable, estudio previo mediante, se podría densificar la cantidad de espaciadores amortiguadores.

El adecuado "mix" de tareas a implementar y explicitadas precedentemente, estará asociado con el horizonte de vida útil que se requiere, la confiabilidad deseada, el estado de la línea, y los recursos económicos financieros a disponer para la instrumentación correspondiente.

6. Conclusiones

Centrando la mirada en el aseguramiento de la integridad de los conductores, con una vida útil estimada, y asociada a la degradación del sistema de protección antivibratoria de los mismos, resulta imperioso establecer un plan de vida para cada línea de transmisión.

La propuesta de acción que se presentó si

bien es de aplicación general, hace hincapié en la situación de líneas con varias décadas de operación comercial.

Visto los antecedentes nacionales sobre el particular con evidencias de acciones puntuales, no sistemáticas, integrales, se considera que el plan de trabajo expuesto es de absoluta viabilidad, con acciones concretas, de aplicación flexible relacionada a la disponibilidad de recursos y el tipo de los mismos, con fundamento de racionalidad ingenieril a partir de una visión holística, minimizando riesgos, con reducción de costos incrementales a futuro.

El plan de vida, con una premisa preventiva de tiempo, condición y predictiva, debería contemplar un conjunto de acciones armoniosamente planificadas y ejecutadas a partir de un estado de situación a determinar, de los conductores y el sistema de protección antivibratoria. El mismo abarca mediciones de vibraciones con definición de límites de aceptación, medición de características elásticas y amortiguantes de espaciadores amortiguadores, inspecciones visuales, termográficas, radiográficas y electro, magneto acústicas, instalación de espaciadores amortiguadores prefatigados con visualización de performance en línea, y reutilización de espaciadores amortiguadores bajo el formato preventivo (por tiempo), sustituyendo las articulaciones elásticas.

Tal lo planteado por estos autores para líneas nuevas [2], la operación de recambio expuesta, se facilita si durante la fase de ingeniería de la provisión, se conciben diseños para facilitar el recambio de componentes poliméricos.

La propuesta que se presenta, está en directa sintonía y se complementa, con anteriores referidas a la adecuación de los ensayos de fatiga de espaciadores amortiguadores a su real performance en la línea y reutilización de espaciadores amortiguadores.

7. Referencias.

G. Keil, A. Jurasics, D. Maranghello, INTERCON 2010, Componentes de líneas eléctricas de muy alta tensión: Explorando nuevas pautas de provisión a partir de los requerimientos de las especificaciones técnicas actuales de los contratos, Puno, Perú, 2010.

G. Keil, A. Jurasics, D. Maranghello, III CAIM, Aplicación de la técnica de reutilización en el diseño de espaciadores amortiguadores de haces de conductores eléctricos, Buenos Aires, 2012.

CEI IEC 61854 - INTERNATIONAL STANDARD, Overhead lines – Requirement and tests for Spacers, First edition, 1998-09.

H. Bergero, I. Furlanetto, I. Machi, C. Mastroforti, I. Turconi, El Mantenimiento en Tenaris, Editorial Tenaris University, Buenos Aires 2008.

I. Gallará, D. Pontelli, Mantenimiento industrial, Editorial Universitas, Córdoba, 2005

U. Cosmai, Convenor CIGRE WG B2.25 Bangkok, Assesment of Aeolian vibration severity, 2009.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la empresa TRANSENER S.A., y en particular a sus Ingenieros Hugo Canay, Miguel Gariboglio y Enrique Brettschneider, por la permanente colaboración y asistencia que brindan al desarrollo del Laboratorio de Ensayos de Conductores del Departamento de Mecánica Aplicada – FAIN – UNCo.



Semejanza en la simulación de un proceso de dispersión para una fuente puntual en un túnel de viento

Gisela M. Alvarez y Alvarez y Adrián R. Wittwer

Resumen

La contaminación atmosférica constituye uno de los principales problemas mundiales. Los contaminantes presentes en la atmósfera afectan de manera adversa la salud de la población, la flora, la fauna y hasta provocan alteraciones en ciertos materiales. Los procesos de dispersión se ven ampliamente influenciado por la dinámica de la atmósfera y el entorno en que se encuentre la fuente de emisión, factores que hacen que el análisis del fenómeno sea más complejo. La realización de mediciones de concentraciones in situ implica un alto costo, por lo cual resulta conveniente el empleo de un modelo a escala reducida, que brindará además la posibilidad de analizar varias situaciones y alternativas para el diseño de la fuente emisora. Actualmente se emplean dos métodos para la simulación del proceso de dispersión de contaminantes la simulación numérica y la simulación física. Este trabajo se concentra en este último método, empleando para ello el túnel de viento de capa límite TV2 de la Facultad de ingeniería de la UNNE. La simulación del proceso de dispersión de contaminantes en el túnel de viento requiere de dos conjuntos de criterios de semejanza, el primero establece que el escurrimiento dentro del túnel de viento sea semejante al viento natural en la capa límite atmosférica y el segundo que las características de la fuente entre el modelo y prototipo sean semejantes [1]. El objetivo de este trabajo es el estudio estos criterios de semejanza del escurrimiento atmosférico y de la fuente de emisión para conseguir reproducir el proceso de dispersión [2]. Se presentan los resultados parciales de la simulación del viento

Departamento de Mecánica Aplicada, Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Comahue
german.keil@fain.uncoma.edu.ar
americo.jurasics@fain.uncoma.edu.ar
damian.campos@fain.uncoma.edu.ar

de capa límite y visualizaciones preliminares del proceso de dispersión. Finalmente, se puede establecer que en el túnel de viento de la UNNE será posible desarrollar estudio relacionados con la dispersión atmosférica de gases.

Palabras Claves: Semejanza, dispersión, túnel de viento.

Referencias

- [1] Cermak J,y Takeda K., Physical Modelling of Urban air-Pollutant Transport, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Elsevier scientific Publishing Company, v 21, p. 51-67,1985.
- [2] Poreh M, Kacherginsky A. Simulation of Plume rise Using Small Wind- tunnel Models. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Elsevier scientific Publishing Company, v 7, p. 1 -14,1981.

1. Introducción

La evacuación de residuos gaseosos provenientes de procesos industriales ha traído en los últimos años un deterioro progresivo del medio ambiente. Para obtener una adecuada dispersión de los mismos que nos conduzca a valores de concentraciones a nivel de suelo por debajo



de los admisibles por la legislación y tolerables por las personas, animales y plantas, es necesario el estudio las fuentes de emisión y del proceso de dispersión [1].

El túnel de viento posibilita el desarrollo de experimentos y modelos que permitan evaluar los procesos de dispersión de contaminantes descargados en la atmósfera. Para ello se requiere de la implementación de una adecuada técnica de simulación del escurrimiento del aire de la capa límite atmosférica y, posteriormente, simular la fuente y el proceso de emisión.

Simular la capa límite atmosférica en un túnel de viento consiste en desarrollar un modelo físico del flujo turbulento atmosférico de manera tal que los parámetros que lo caracterizan se reproduzcan lo más fielmente posible dentro del túnel. Esta técnica permite representar las condiciones que se darían en la realidad empleando modelos a escala reducida.

Este trabajo se centra en el análisis de los criterios de semejanza necesarios para el estudio de procesos de dispersión de gases en un túnel de viento. Con el objeto de realizar una primera aproximación al estudio experimental de este fenómeno se presentan; resultados obtenidos de ensayos de visualización de flujos realizados en el túnel de viento TV2 del Laboratorio de Aerodinámica de la Facultad de ingeniería de la Universidad Nacional; y algunos resultados preliminares de medición del campo de concentración en procesos de dispersión de gases para una fuente de emisión puntual realizados en el túnel de viento del Laboratorio de Aerodinámica de las Construcciones, de la Universidad Federal do Rio Grande do Sul.

2. Modelado de la capa límite atmosférica

La simulación de una pluma de dispersión en un túnel de viento requiere de un modelado representativo de las características de la capa límite atmosférica y de las propiedades dinámicas y térmicas de la pluma. Un modelado riguroso de la capa límite atmosférica requiere de la semejanza geométrica, la semejanza del campo de flujo, y la igualdad de los números adimensionales de Reynolds (Re), Richardson (Ri), Rossby (Ro), Prandtl (Pr) y Eckert (Ec) [4].

La semejanza geométrica implica el mode-

lado del entorno, incluyendo la rugosidad del terreno, relieve topográfico y temperatura de la superficie. El modelado del campo de flujo, contempla la semejanza de las velocidades medias y turbulentas y la temperatura de estratificación. La semejanza exacta es imposible de lograr en escalas reducidas, por lo que se plantean hipótesis con el objeto de lograr una semejanza aproximada.

La semejanza del número de Richardson está ligada a la semejanza de la estabilidad atmosférica; para una simulación de atmósfera neutra como la realizada en este trabajo el número de Richardson puede ser ignorado. La semejanza en el número de Prandtl se satisface siempre que el fluido con que se trabaje sea aire; y la igualdad del número de Eckert es de pequeña importancia en flujo compresible. El número de Rossby no es considerado debido a que la fuerza de Coriolis no puede ser simulada en túneles de viento. La semejanza del número de Reynolds se logra manteniendo las condiciones turbulentas en el flujo simulado.

La simulación aproximada del flujo, es representativa del viento natural para condiciones atmosférica neutralmente estable y levemente inestable. Esta condición resulta adecuada para el estudio de dispersión de plumas desde chimeneas altas [4].

3. Modelado de la pluma

Una vez establecida la simulación de la capa límite atmosférica en el túnel de viento, los requerimientos de semejanza para el modelado del levantamiento de la pluma y su dispersión demanda de la igualdad de parámetros adimensionales referidos a las características de la chimenea y de la pluma entre el modelo y prototipo. Para el modelado exacto del comportamiento de la pluma de emisión se debe verificar: la semejanza geométrica de la fuente, y la igualdad de los siguientes parámetros adimensionales; el número de Froude, la relación de densidad de la emisión y la del aire, la relación entre la velocidad de salida de la emisión y la velocidad del flujo atmosférico, y finalmente la igualdad del número de Reynolds [4]. Esta semejanza completa tampoco puede realizarse, y al igual que sucede con la simulación de la capa

límite atmosférica se debe aplicar el criterio de semejanza a algunos parámetros, buscando una semejanza aproximada [2]. Las simplificaciones propuestas son variadas y dependerán del caso a estudiar. Para simular la elevación de la pluma y la dispersión es importante que el número de Reynolds del flujo que sale de la chimenea se lo suficientemente grande, como para despreciar su efecto como así también el del número de Prandtl y el número de Schmidt. Además, la mayoría de los autores concuerdan que el efecto de la densidad en la simulación no es crítico y podría ocasionar como máximo el desplazamiento del origen virtual de la pluma en unos pocos diámetros de la chimenea. Melbourne y también Isumov et al propusieron que la semejanza de la elevación de una pluma se logra manteniendo la igualdad de un parámetro de flotación, un parámetro relacionado a la cantidad de movimiento del efluente, y la escala geométrica de la chimenea, que se observa en la Ecuación (1) [2].

$$\lambda \left(\frac{\rho_a U^2}{\Delta \rho g L} \right) = 1 ; \lambda \left(\frac{\rho_s W_s^2}{\rho_a U^2} \right) = 1 ; \lambda \left(\frac{d}{L} \right) = 1 \quad (1)$$

Skinner y Ludwig también emplean el parámetro adimensional de cantidad de movimiento, que aparece en la Ecuación 1, pero modificaron el parámetro de flotabilidad. Plantean que la pluma a sotavento es dominada por la flotabilidad, y sugieren que el parámetro de semejanza adecuado para describirla es la relación entre la cantidad de movimiento de la corriente y la cantidad de movimiento de flotabilidad en un pequeño volumen Δv , que asumen que es igual a $(1-C_s)\rho_a U^2 / C_s(\rho_a - \rho_s) L$, donde C_s es la concentración del gas emitido por la chimenea. Además, asumiendo que a una distancia alejada de la fuente a sotavento $C_s \ll 1$ y que C_s es directamente proporcional a la velocidad del efluente al salir de la chimenea W_s e inversamente proporcional a la velocidad del viento U , el parámetro de flotabilidad puede aproximarse con $\rho_a U^3 / (\Delta \rho g L W_s)$.

Finalmente, los parámetros para realizar una semejanza aproximada del proceso de dispersión serían los citados en la Ecuación (2).

$$\lambda \left(\frac{\rho_a U^3}{\Delta \rho g L W_s} \right) = 1 ; \lambda \left(\frac{\rho_s W_s^2}{\rho_a U^2} \right) = 1 ; \lambda \left(\frac{d}{L} \right) = 1 \quad (2)$$

El comportamiento de los efluentes a la salida de la chimenea depende del diámetro de salida de la chimenea D , de la velocidad de salida, V_s , de la velocidad del viento a la salida de la chimenea U , de la diferencia de la densidad existente entre el efluente expulsado y el aire atmosférico $\Delta \rho = \rho_a - \rho_s$. Mediante el análisis dimensional de estos parámetros se obtiene la sobre elevación DH de una pluma emitida desde una chimenea de altura H_0 .

$$\Delta H = f \left(\frac{V_s}{U}, \frac{g D_s \Delta \rho / \rho_a}{U^2}, \frac{D_s}{H_0} \right) \quad (3)$$

3. Ensayos de visualización

El estudio de la pluma simulada se puede realizar captando una serie de fotografías del proceso y realizando posteriormente un procesamiento digital de las imágenes obtenidas. Estudios de este tipo se han realizado en distintas partes del mundo con resultados satisfactorios como por los obtenidos por White y Stein [5] que determinaron la dispersión a sotavento producida por una chimenea de altura variable en un edificio, empleando humo con trazador y grabando con una video cámara el ensayo, para luego procesar las imágenes adquiridas. Gerdes y Olivari [6] también emplearon la técnica de visualización del flujo, midiendo la intensidad píxel a píxel de imágenes captadas con una cámara en el análisis de fenómenos de dispersión en cañones urbanos.

En este trabajo se buscó aplicar en el túnel de viento, TV2, de la UNNE, una técnica de visualización para el análisis de las concentraciones en una pluma, determinando las modificaciones que se necesitan implementar para mejorar los resultados obtenidos, para ello se examinó el comportamiento y la configuración de la pluma obtenida para diferentes números de Reynolds. La concentración del contaminante fue medida empleando humo como trazador y obteniendo fotografías del proceso; seguidamente estas imágenes fueron procesadas digitalmente.

Los experimentos se realizaron túnel de

viento (TV2) de la Universidad Nacional del Nordeste, Argentina. Es un túnel de circuito abierto cuya longitud total es de 7,50 m, su cámara de ensayos consiste en un conducto de sección cuadrada de 0,48 m de lado y de 4,45 m de longitud. La máxima velocidad del flujo en el canal vacío es aproximadamente 18 m/seg y emplea un ventilador centrífugo accionado por un motor trifásico de 1450 rpm y 10 CV de potencia.

La simulación de la capa límite atmosférica se efectuó empleando elementos de rugosidad y dispositivos de mezcla apropiados para reproducir una capa límite neutramente estable de espesor parcial. En la Figura 1 se pueden ver los elementos de rugosidad y las agujas que permitieron simular la capa límite superficial correspondiente a una categoría de exposición B del reglamento argentino CIRSOC 102. El análisis de la capa límite simulada fue presentada en trabajos previos [7].

Para la realización del ensayo se empleó humo producido por un generador que utiliza un líquido a base de glicerina, la velocidad de salida del humo fue aproximadamente 14,3 m/seg. La fuente del contaminante fue representada mediante un conducto metálico de 1,02 cm de diámetro interno y 10 cm de alto, ubicado en el centro de la cámara. Se prestó especial cuidado a la iluminación de la pluma, tratando que solo un haz lineal de luz la intercepte. Las imágenes fueron captadas por una cámara digital y luego transferidas a un ordenador.

3. 1. Resultados en ensayos de visualización

En una primera instancia se efectuó el ensayo a la máxima velocidad posible en el canal, 18 m/seg, en esta ocasión el número de Reynolds con respecto a la altura del canal fue de $Re = 5,7 \times 10^5$ y con respecto al diámetro de la chimenea $1,2 \times 10^4$. A continuación, se redujo la velocidad alcanzando el valor de 9,82 m/seg en la mitad de la altura de la cámara de ensayo y alcanzándose un número de Reynolds de $3,1 \times 10^5$ y $6,7 \times 10^3$ con respecto a la altura del canal y al diámetro de la pluma, respectivamente. Finalmente, se obtuvo la configuración de la pluma para una velocidad de 1,83 m/seg determinada en la mitad de la altura de la cámara de ensayo con un consiguiente

número de Reynolds de $5,8 \times 10^4$ con respecto a la altura del canal y de $1,2 \times 10^3$ con respecto al diámetro de la chimenea. En la Figura 2 se aprecia la configuración de la pluma para los tres casos citados.

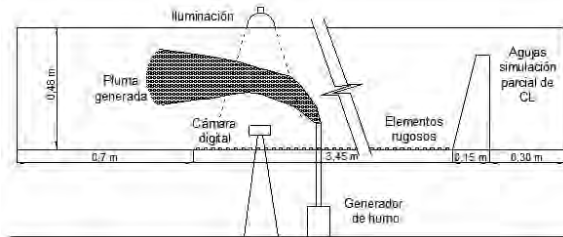


Figura 1. Disposición del instrumental durante el ensayo.

Las imágenes captadas con la cámara fueron de alta resolución, para que permitieran su posterior procesamiento. El mismo consistió en superponer a la fotografía una malla, y realizar una valoración en función de la intensidad del color que tuviese cada cuadro, comparando con un patrón realizado. El patrón empleado en la comparación, se determinó asignando el menor y mayor valor, a la menor y mayor intensidad encontrada en la imagen, respectivamente.

A continuación, se procedió al trazado, cada 0,1 m, de los perfiles longitudinales de concentración, en función de los valores asignados a cada cuadro de la malla. En la Figura 3 se aprecia el resultado del procesamiento correspondiente al ensayo realizado a una velocidad de 1,83 m/seg. Únicamente fueron procesados los resultados correspondientes a la menor velocidad y número de Reynolds, porque es la situación en que mejor se puede visualizar el proceso de difusión.

El levantamiento de la pluma por encima de la altura de la chimenea depende de factores meteorológicos y de la emisión. La mayoría de las fórmulas para determinar el levantamiento de la pluma ΔH , son empíricas debido a la complejidad de las relaciones entre las variables, como la Ecuación (4), denominada ecuación de Holland, la cual fue desarrollada a partir de datos experimentales.

$$\Delta H = \frac{W_s d}{U} \left(1,5 + 2,68 \cdot 10^{-3} p d \frac{T_s - T_a}{T_s} \right) \quad (4)$$

En esta expresión U (m/s) y W_s (m/s) son la

velocidad del viento y del efluente al salir de la chimenea, $T_a(^{\circ}K)$ y $T_s(^{\circ}K)$ la temperatura del aire y de la emisión, p (hPa) es la presión atmosférica y d (m) el diámetro interior de la chimenea.



Figura 2. Pluma de dispersión en la cámara del túnel de viento, correspondiente a $Re= 5,7 \times 10^5$, $Re= 3,1 \times 10^5$, $Re= 5,8 \times 10^4$.

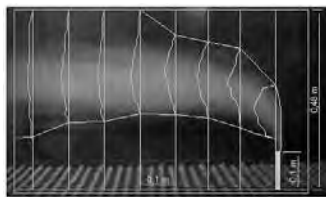


Figura 3. Desarrollo de la pluma en túnel, correspondiente una velocidad de 1,83 m/seg.

En la Tabla 1, se expresan los valores de levantamiento de pluma hallados en los ensayos, en función de las distintas velocidades, junto con los determinados empleando la expresión de Holland.

La determinación del levantamiento de la pluma es necesario para el cálculo de la altura efectiva de la chimenea, ésta se obtiene de la suma de la altura real de la chimenea más el levantamiento de la pluma. Esta altura interviene en las expresiones de los modelos matemáticos de difusión, como es el caso del modelo de Gauss.

Tabla1. Comparación de valores de la elevación de la pluma calculadas con la expresión de Holland y determinadas experimentalmente.

| U (m/seg) | U/ W_e | Δh Holland (m) | Δh experimental (m) |
|-----------|----------|------------------------|-----------------------------|
| 18,00 | 1,26 | 0,012 | 0,012 |
| 9,57 | 0,67 | 0,023 | 0,021 |
| 1,83 | 0,13 | 0,121 | 0,188 |

4. Mediciones del campo de concentración

Las mediciones de concentraciones fueron realizadas en el túnel de viento “Prof. Joaquim Blessmann” del Laboratorio de Aerodinámica de las Construcciones, de la Universidad Federal do Rio Grande do Sul. Para este ensayo se empleó una simulación de capa límite neutralmente es-

table correspondiente a un terreno suburbanos con un exponente de la ley potencial $\alpha = 0,23$ y una escala geométrica de 1:300. Para el modelado de la capa límite se emplearon en forma conjunta elementos de rugosidad dispuestos en el piso del túnel, barrera y dispositivos de mezcla [8].

La altura de la fuente de emisión modelada tiene una altura de 250 mm y 17 mm de diámetro, representando en la escala natural a una chimenea de aproximadamente 75 m de altura y 5 m de diámetro (Figura 4). El gas trazador emitido desde la fuente fue emitido helio puro. La emisión se realizó con caudales y fueron analizados dos casos diferentes; el caso 1 con una velocidad del escurrimiento a la altura de la chimenea $U = 2,3$ m/s y una velocidad de la emisión $W_s = 1,26$ m/s, y el caso 2 con $U = 0,7$ m/s y $W_s = 0,56$ m/s. En la tabla 2 se resumen las velocidades y los parámetros adimensionales que permiten caracterizar cada caso (relación de velocidades, cantidad de movimiento y número de Froude densimétrico).

Para la medición de las concentraciones, se utilizó un anemómetro de hilo caliente con una sonda aspirante que permite medir valores medios y flotantes. En cada punto de medición fue obtenido un registro con una frecuencia de adquisición de 1024 Hz y 60 segundos de duración.

4. 1. Resultados

En la Figura 5, se muestran los perfiles verticales de concentración másica de helio determinados a sotavento de la chimenea. Las distancias x_1 y x_2 indican la posición en que fueron obtenidos los perfiles para los casos 1 y 2, respectivamente, con relación a la chimenea. La concentración es calculada como la relación en la masa de helio respecto de la masa total. Son considerables las diferencias de los perfiles obtenidos en cada caso para el valor medio y para el valor RMS.



Figura 4. Fuente de emisión y elementos de simulación de la capa límite.

Tabla 2. Parámetros característicos de los experimentos.

| Casos | U (m/s) | W _s (m/s) | $\frac{W_s}{U}$ | $\frac{\rho_s W_s^2}{\rho_a U^2}$ | $\frac{\rho_a U^3}{(\rho_s - \rho_a) d g W_s}$ |
|-------|---------|----------------------|-----------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 2.3 | 1.26 | 0.56 | 0.043 | 52.632 |
| 2 | 0.7 | 0.80 | 0.80 | 0.089 | 3.559 |

Para el caso 1, se presentan los registros de las concentraciones fluctuantes, en forma parcial (5 segundos) en dos puntos de medición; en la posición central de la pluma y en el extremo superior (en los bordes de la pluma). Los valores pico tienen el mismo orden de magnitud, tanto que el proceso es altamente intermitente en el extremo de la pluma y de baja intermitencia en el centro de la pluma. Este comportamiento del campo de concentraciones es semejante al obtenido por Cheung & Melbourne [9].

5. Discusión de resultados y conclusiones

En este trabajo se analizaron los requerimientos de semejanza necesarios para poder realizar la simulación de un proceso de dispersión de contaminantes en un túnel de viento. Se estudió la necesidad de realizar simplificaciones en estos criterios, con el objeto de que sea factible su implementación en el túnel de viento, para el caso de dispersión de contaminantes provenientes de una fuente puntual aislada.

El ensayo de visualización de la dispersión de la pluma permitió hacer un análisis cualitativo y cuantitativo con las imágenes fotográficas captadas en el proceso. En la Figura 2, se aprecian las modificaciones generadas en la pluma simulada al variar el número de Reynolds. Se ve que únicamente para números de Reynolds bajos se produce un levantamiento significativo de la pluma.

En la comparación efectuada en la Tabla 1 se aprecia claramente que el levantamiento de las plumas generadas a distintas velocidades será mayor cuanto menor sea la velocidad y que en los dos primeros casos la situación simulada concuerda con los valores calculados con la ecuación de Holland. La disparidad que se presenta en el tercer caso entre el valor teórico y el experimental de Dh puede atribuirse a las con-

diciones de realización del ensayo. Es necesario señalar que la técnica empleada tiene sus limitaciones, ya que la iluminación y adquisición de imágenes, en principio, deben mejorarse. Debe apuntarse a generar un haz de luz uniforme que intercepte a la pluma linealmente, y esta no debe provenir de una fuente de luz puntual como la empleada en el ensayo que puede verse en la Figura 1. También se puede mejorar la toma de las fotografías si estas se hacen de acuerdo a una secuencia y siempre desde la misma posición, cuidando que sombras o luces exteriores alteren la imagen, como sucede en el tercer caso de la Figura 2.

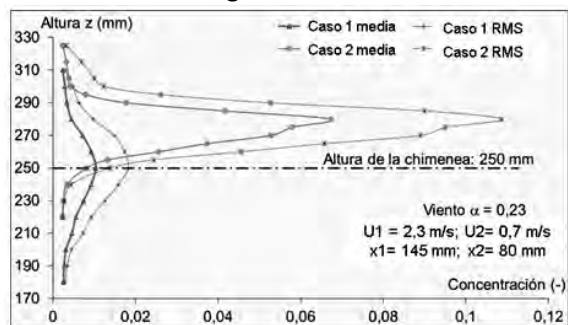


Figura 5. Perfiles de concentración de las plumas de emisión.

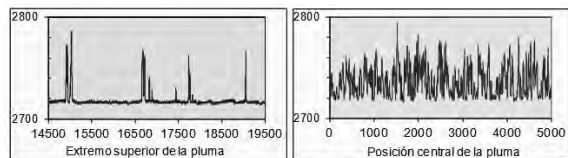


Figura 6. Registros de las concentraciones fluctuantes.

Con respecto a los resultados obtenidos del análisis de los campos de concentración en la región próxima a una fuente de emisión de un gas muy liviano, se observa que los dos casos analizados representan situaciones casi extremas. En el caso 1, se tiene una situación en la cual los efectos inerciales del escurrimiento incidente prevalecen sobre los efectos de empuje de la propia emisión; y en el segundo caso, son evidentes los efectos del empuje del gas emitido, en la elevación de la pluma, y la menor dilución en la concentración del gas. La intermitencia en las concentraciones será analizada a continuación utilizando distribuciones de probabilidad. Los resultados preliminares presentados son ejemplos de los múltiples perfiles verticales y horizontales que ya fueron medidos, y que per-



mitirán una caracterización más general del proceso de dispersión.

Los resultados obtenidos en este trabajo contribuirán al perfeccionamiento de técnicas de visualización, que como se describió tienen la ventaja de ser más sencillas económicas de realizar que los estudios de campo. Por otro lado, en estudios de este tipo, un primer análisis cualitativo significa una optimización de los posteriores ensayos de medición puntual de concentraciones.

6. Referencias

[1] Cermak J,y Takeda K., Physical Modelling of Urban air-Pollutant Transport, J.Wind Eng. Ind. Aerodyn., v 21, p. 51-67,1985.

[2] Poreh M, Kacherginsky A. Simulation of Plume rise Using Small Wind- tunnel Models. J.Wind Eng. Ind. Aerodyn., v 7, p. 1 -14, 1981.

[3] Espert Alemany, Vincent; Lopez Jiménez P. Amparo, Dispersión de Contaminantes en la atmósfera, Alfaomega grupo editor, Mexico, 2004

[4] Isymov, N., Tanaka, H. , “Wind tunnel modelling of stack gas dispersion – Difficulties and approximations”, Wind Engineering, Proceedings of the fifth International Conference, Fort Collins, Colorado, USA, Ed. by J. E. Cermak, Pergamon Press Ltd., 1980.

[5] White, B. y Stein, W., “Wind tunnel studies of variable stack heights for a low – profile building”, J.Wind Eng. Ind. Aerodyn., vol. 36, pp. 675-687, 1990.

[6] Gerdes, F, Olivari, D, “Analysis of pollutant dispersion in an urban street canyon”, J.Wind Eng. Ind. Aerodyn., vol. 82, pp. 105-125, 1999.

[7] Alvarez y Alvarez, Gisela M., Wittwer, Adrián R., Anais da 5a Escola de Primavera de Transição e Turbulência, “Análisis de los parámetros del perfil de viento en la CL simulada en un túnel de viento”, Paper ETT-06-0007, Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

[8] Wittwer, A. R., Loredou-Souza, A. M., Camacho Schettini, E. B., “Modelagem do vento atmosférico para estudos de dispersão em túnel de vento”, Ciência & Natura–III Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, 217-220, 2003.

[9] Cheung, J., Melbourne, W., “Probability distribution of dispersion from a model plume in turbulent wind”, J.Wind Eng. Ind. Aerodyn. 87, 271-285, 2000.

Cabezal óptico compacto aplicado a la medición de vibraciones sin contacto

Andrés D. Aguilar, Eneas N. Morel y Jorge R. Torga

Resumen

En este trabajo presentamos un cabezal óptico diseñado para medición de vibraciones basado en la señal de error de foco (SEF), la misma utilizada para leer datos en un cabezal láser de DVD o CD. El sistema fue diseñado con la motivación de obtener un dispositivo compacto y robusto, de bajo costo y pequeñas dimensiones, que pueda ser usado para medir múltiples puntos y sin contacto con la muestra.

El CO presentado en este trabajo mide la posición absoluta entre el plano focal del sistema óptico y el punto iluminado en la muestra. Dado que la SEF es dependiente de la reflectividad de la superficie muestra es necesaria una calibración previa, por eso el sistema incorpora un actuador piezoeléctrico que le permite realizar calibraciones in situ y obtener medidas temporales de la posición. Con este esquema se midieron vibraciones con una amplitud de hasta $10 \mu\text{m}$ y una frecuencia de hasta 1 KHz . con una resolución espacial mejor que 0.5 micrones . Se presentan resultados experimentales en vibraciones de una superficie generadas con un sistema controlado por un elemento piezoeléctrico y en vibraciones transversales generadas en una barra metálica.

Palabras Claves: Vibraciones, sistema óptico, ensayo no destructivo, láser, medición sin contacto.

1. Introducción

Para la detección de vibraciones sin contacto se utilizan frecuentemente técnicas ópticas [1]. Los métodos tradicionales como la interferometría de fase [2], la interferometría Doppler [3] y sus variantes más recientes o las técnicas basadas en fibras ópticas y redes de Bragg [4],

Laboratorio de Optoelectrónica y Metrología Aplicada – Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Delta
ad.agbur@yahoo.com / adaguilar@frd.utn.edu.ar

requieren comúnmente un procesamiento de señal complejo y sistemas experimentales sofisticados. En la industria son muy usados los vibrometros láser Doppler [5]. Se han desarrollado acelerómetros que utilizan en su interior sistemas ópticos, algunos incluso usando la misma técnica utilizada en este trabajo [6]. En este trabajo se presenta una técnica que hace uso de una tecnología establecida y probada, utilizada en los cabezales para lectores de discos ópticos (CDs o DVDs) y denominada comúnmente señal de error de foco (SEF) [6]. El sistema se presenta como una alternativa a las técnicas convencionales y fue diseñado con el objetivo de obtener un dispositivo compacto y robusto, de bajo costo y pequeñas dimensiones.

La técnica por SEF se basa en la medición del astigmatismo introducido en el sistema óptico empleado para enfocar el haz de luz en la superficie de la muestra [7]. Combinándola con una calibración previa la SEF provee una medida directa de la posición de la superficie muestra con respecto al cabezal óptico (CO) en función del tiempo, sin necesidad de un procesamiento extra de la señal. A partir de esta medida es posible obtener distintos parámetros como frecuencia, amplitud de vibración, velocidad y aceleración del punto muestreado. El método se ha utilizado exitosamente en diferentes aplicaciones con el objetivo de medir desplazamientos con alta re-

solución espacial (mejor que $1\ \mu\text{m}$), medición de velocidad y posición en un actuador lineal [7]; así como en microscopía de efecto túnel [8], litografía térmica y microfabricación [9].

2. Principio de funcionamiento

El esquema experimental básico se muestra en la figura 1, un haz de luz láser se enfoca sobre la superficie de interés con un sistema óptico que produce un haz astigmático. La luz reflejada en la muestra es detectada con un sistema de fotodiodos de cuatro cuadrantes [6]. La señal de salida de este dispositivo es la señal de error de foco (SEF) mencionada anteriormente, y es el resultado de la diferencia de las intensidades de los cuadrantes A y D, y B y C (figura 2). Esta señal depende de la distancia entre el punto iluminado en la muestra y un punto de referencia en el cabezal detector.

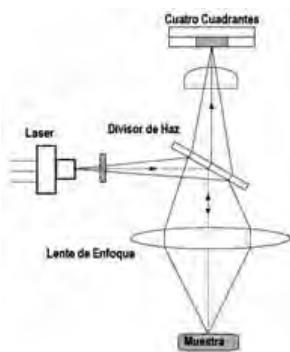


Figura 1 – Esquema experimental.

Cuando la muestra está a la distancia focal de la lente de enfoque, el spot (figura de intensidad) del haz de luz sobre el detector tiene forma circular, mientras que si la muestra se aleja o se acerca de este punto, la forma del spot es elíptica, con su eje mayor en el sentido de una de las diagonales del detector para el acercamiento y en el otro sentido para el alejamiento. (Figura 2). La misma figura muestra la curva de variación de la SEF en función de la distancia cabezal – muestra (curva-S).

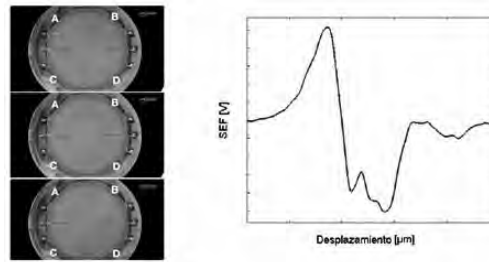


Figura 2 – Croquis del detector en tres estados diferentes y curva-S o señal de error de foco (SEF).

3. Calibración

Como la SEF depende de la reflectividad en la superficie muestra es necesaria una calibración previa. Para realizar la calibración se construyó un sistema que permite montar un espejo sobre un actuador piezoeléctrico con un puente de galgas extensiométricas (PZS001) y un sistema de control a lazo cerrado (Marca Thorlabs Modelo TPZ001). Para el proceso de calibración se realiza una secuencia de pasos que varían, en forma controlada, la distancia cabezal – muestra a lo largo del rango lineal del instrumento comprendido entre el pico y el valle de la curva-S (figura 2). Esto corresponde para nuestro sistema a un rango de 8 micrones. Para cada paso se mide con el sistema de galgas la distancia recorrida en forma simultánea con la SEF. Con esto se obtiene la curva de calibración. Entre cada paso se tomó un tiempo de varios segundos para estabilizar el actuador.

El proceso de calibración propuesto exige la caracterización de movimientos espurios del cabezal debidos a inestabilidades mecánicas. En la figura 3 se muestra un conjunto de curvas que muestran como estos movimientos se manifiestan a través de corrimientos entre las curvas correspondientes a distintos barridos. Este efecto se minimizó mejorando la estabilidad mecánica del cabezal y aumentando la velocidad del proceso de calibración. Un resultado con el sistema optimizado se muestra en la figura 4-a

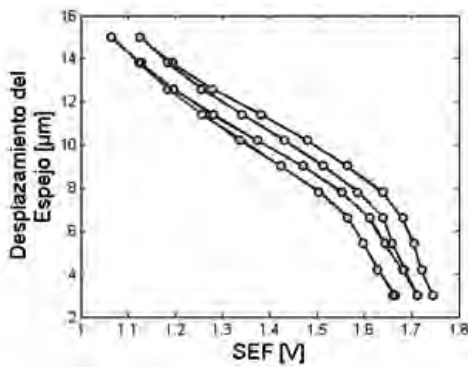


Figura 3 – Superposición de un movimiento aleatorio y los pasos del actuador piezoeléctrico.

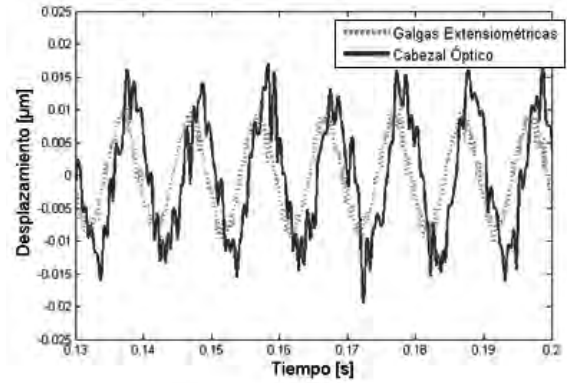


Figura 5 – Oscilación de la muestra a 100 Hz con un desplazamiento pico a pico de aprox 20 nm.

También se realizó un estudio para evaluar las magnitudes de los errores obtenidos en el proceso de calibración. Para esto se compararon las curvas de calibración para varias secuencias consecutivas. Una secuencia típica se puede apreciar en la figura 4-a, donde se muestran cuatro barridos consecutivos del actuador.

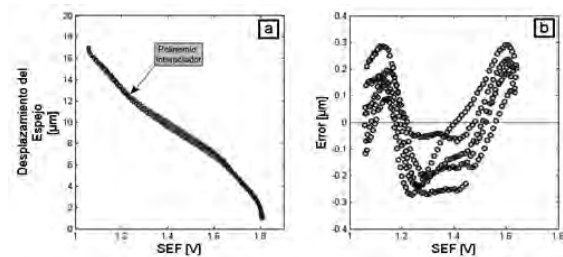


Figura 4 – a-Cuatro barridos consecutivos y la curva de calibración encontrada. b-Error entre los datos obtenidos y la curva de calibración.

Con estas curvas se realiza la calibración cuya curva se grafica en la misma figura. En la figura 4-b se muestra una estimación del error que produce cada punto medido respecto del polinomio interpolador.

3. Resultados

Se muestran los resultados obtenidos en dos casos. En el primero se midió la vibración de un espejo de primera superficie montado sobre un actuador piezoeléctrico excitado con una señal senoidal. Se realizaron varias mediciones a diferentes amplitudes y frecuencias. En la figura 5 se muestran las curvas obtenidas para una amplitud de 0.02 μm a 100 Hz.

En este caso se utilizó una nueva calibración para el espejo de muestra Figura 6, y la SEF se ajustó utilizando un polinomio interpolador de grado 3. Con el fin de obtener un mejor ajuste se excluyeron los puntos correspondientes a tensiones mayores que 1.7 V. Estos resultados se validaron con los datos obtenidos del sistema de control del actuador piezoeléctrico.

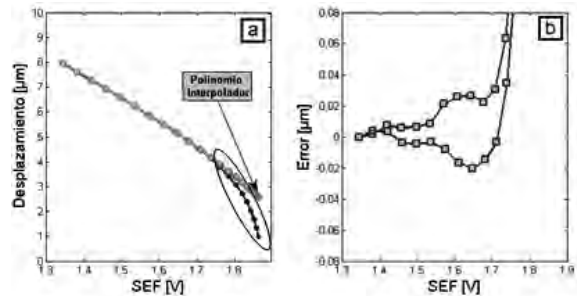


Figura 6 – a-Calibración para un espejo como muestra. Se excluyeron los puntos indicados dentro de la elipse para mejorar el ajuste. b-Error entre los datos obtenidos y la curva de calibración.

En un segundo experimento se posicionó el cabezal sobre una viga de acero en voladizo (fijo en un extremo y libre en el otro). A esta se le adosó un film reflectivo para mejorar la relación señal/ruido. Una vez posicionado el cabezal en el rango de medición, se midió la vibración al excitar la viga mediante un suave impulso mecánico aplicado en el extremo empotrado.

El movimiento del extremo de la viga medido con el cabezal astigmático se muestra en la Figura 7.

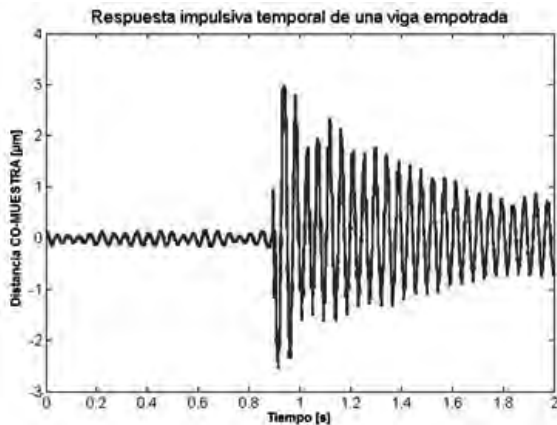


Figura 7 – Respuesta de una viga en voladizo a un impulso.

4. Conclusiones

Se presenta una nueva técnica para medir vibraciones, basada en la medición de la señal de foco obtenida de la luz reflejada en la muestra de estudio. Si bien este método permite una correlación directa entre la SEF y la distancia cabezal-muestra, es necesaria una calibración de la SEF para que esta sea realmente de utilidad. En el trabajo se ha hecho hincapié en el proceso de calibración que si bien en teoría no presenta un reto, requiere de un diseño mecánico cuidado para que los desplazamientos parásitos que se presentan durante la calibración impidan una rápida implementación para mediciones in situ. El camino a seguir consiste en mejorar el emplazamiento mecánico del cabezal detector para minimizar estos desplazamientos parásitos y mejorar el sistema con un diseño propio y específico para esta aplicación.

5. Referencias

- [1] A. L. Kachelmyer, K. 1. Schultz, "Laser Vibration Sensing", Vol. 8. N^o 1, The Lincoln Lab journal, 1995.
- [2] Depth-resolved dual-beamlet vibrometry based on Fourier domain low coherence interferometry. Subhash HM1, Choudhury N, Chen F, Wang RK, Jacques SL, Nuttall ALJ Biomed Opt. 2013 Mar;18(3):036003. doi: 10.1117/1.JBO.18.3.036003.
- [3] Akobuije Chijioke and John Lawall, "Laser Doppler vibrometer employing active frequency feedback," Appl. Opt. 47, 4952-4958 (2008)
- [4] Xueqing Gao, Yongjiao Wang, Bo Yuan,

Yinquan Yuan, Yawen Dai, and Gang Xu, "Low-cost vibration sensor based on dual fiber Bragg gratings and light intensity measurement," Appl. Opt. 52, 6782-6787 (2013).

[5] Polytec, Panfleto de productos, [En Línea], 2007 http://www.polytec.com/fileadmin/user_upload/Products/Vibrometers/LM_Vibrometer_Flyer/Documents/OM_BR_ProductFlyer_2007_12_ES.pdf [consultado en 29/07/2014]

[6] "Development of an optical accelerometer with a DVD pick-up head", Chih-Liang Chu and Cha-Hao Lin 2005 Meas. Sci. Technol. 16 2498

[6] S. Goldwasser, "Lasers in Consumer Electronics: The Optical Pickup," Optics & Photonics News 22(2), 12-13 (2011).

[7] A. Bartoli, P. Poggi, F. Quercioli, and B. Tiri-billi, "Fast One-Dimensional Profilometer with a Compact Disc Pickup," Appl. Opt. 40, 1044-1048 (2001)

[8] J. Friedt, "Realization of an optical profiler: Introduction to scanning probe microscopy", Am. J. Phys., Vol. 72, No. 8, (2004).

[9] Yuan-Chin Lee, Shih Chao, Chun-Chieh Huang, and Kuen-Chiuan Cheng, "A compact optical pickup head in blue wavelength with high horizontal stability for laser thermal lithography," Opt. Express 21, 23556-23567 (2013).

<http://www.polytec.com/us/news/product-literature/>

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la Facultad Regional Delta de la Universidad Tecnológica Nacional por el apoyo brindado y al Laboratorio de Mecánica Computacional por su colaboración en este trabajo.

Robo rubik, um projeto para o ensino interdisciplinar de engenharia

Ruan Leitão, Lucas E. P. Mizusaki ,
Felipe Ávlila Soares e Dante A. C.
Barone

Resumo

Uma grande falha no ensino de engenharia é a falta de trabalhos que envolvam projetos complexos, onde os alunos tenham que desenvolver projetos com limitações ambientais e que interajam com outros sistemas. As atividades pedagógicas são simples, concentrando-se em seus âmbitos específicos de conhecimento, e acabam não contemplando a complexidade que os futuros profissionais encontrarão. Fatores ambientais e a interação com outros sistemas, assim como a interação com outros profissionais, acabam sendo ignorados devido a complexidade de simulá-los, além da necessidade de requisitos de conhecimento prévios. O projeto Robo Rubik foi uma iniciativa do grupo PET Computação, que acreditamos ser um caso bem sucedido de construção de um desafio interdisciplinar para estudantes de graduação de ciências da computação e engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O objetivo foi construir um robô capaz de resolver o cubo de Rubik a partir de um outro projeto anterior. Contento aspectos mecânicos, mecatrônicos e computacionais, foi desenvolvido simultaneamente por diferentes equipes, utilizando uma estratégia modular a partir do estabelecimento de protocolos claros entre cada parte. Trabalhando tanto com tecnologias de código aberto e patenteadas, foi necessário buscar a ajuda de profissionais que já possuíam experiência de trabalho com as mesmas. Acreditamos que esse tipo de trabalho é um modelo de ensino que é consistente com uma formação profissional mais completa.

Palabras Claves: Robótica Educativa, Problem Based Learning, Educación en Ingeniería.

Instituto Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

rlnunes@inf.ufrgs.br, lepmizusaki@gmail.com,
fsoares@inf.ufrgs.br, dante.barone@gmail.com

1. Introdução

O grupo PET (Programa de Ensino Tutorial) Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul é um grupo de doze alunos que recebem bolsas para trabalhar com projetos de pesquisa, ensino e extensão, suas atividades são coordenadas por um professor tutor. Parte de um programa do governo federal brasileiro [1], o grupo foi criado em 1988, e tem desenvolvido uma série de atividades na área de robótica educativa desde o ano de 2006.

No ano de 2011, o Ministério Brasileiro de Ciência e Tecnologia criou uma parceria com o Instituto de Informática para construir um robô que deveria montar automaticamente cubos mágicos para exposição na Semana Nacional de Ciência e Tecnologia. Devido ao curto prazo para a realização, o projeto acabou incompleto, sendo concluídas apenas as etapas de descrição, compra dos equipamentos e programação de alguns componentes. Esses equipamentos foram então entregues ao grupo PET Computação, o qual deu continuidade ao projeto a partir do segundo semestre de 2013 vindo a concluí-lo no final do primeiro semestre de 2014.

A atividade tomou inspirações das próprias ações do grupo em Robótica Educativa dentro da linha de outros trabalhos publicados[2], e acredita-se que tenha contribuído para a formação dos alunos envolvidos através de um



caso muito bem sucedido de uma atividade de Problem Based Learning (PBL) [3], ou aprendizagem baseada em problemas. Os alunos tiveram que trabalhar com uma série de limitações impostas pelo projeto anterior e de uma forma sistêmica, pois esse incluía a necessidade de várias competências trabalhando em conjunto. Espera-se agora, utilizar o robô como plataforma para atividades que despertem estes mesmos valores e desafios utilizando-o em competições de programação e demonstrando seu funcionamento em apresentações didáticas.

1.1. Robótica Educativa

A Robótica Educativa é o uso de robôs como plataforma de ensino, um campo prolífico e diverso. Por um lado, robôs são usados como um artifício para chamar atenção do público. Mecanismos complexos atraem a atenção, e historicamente tem sido comercializados como artigos de luxo. Ainda hoje é comum empresas levarem grandes robôs para feiras de tecnologia com o interesse em atrair público. Da mesma forma, os estudantes de engenharia se sentem mais motivados em trabalhar com a tecnologia de ponta, já que, muitas vezes, este recurso é substituído em sala de aula por simulações computacionais por terem um custo mais baixo. Isto acaba por limitar o contato do aluno aos equipamentos e materiais que ele terá que utilizar após ingressar no mercado de trabalho. Outra limitação das simulações computacionais é a sua tendência a ignorar um panorama maior de interações vistas em uma situação real, pois costumam tratar de uma quantidade limitada de fenômenos e situações.

Além disso, robôs móveis constituem-se em uma plataforma tecnológica que está conquistando espaço. Seja em parte pelo seu barateamento, seja pela agilidade dos sistemas mais recentes, observa-se um crescente uso em aplicações de monitoramento e mapeamento. Constata-se a versatilidade do campo quando o seu desenvolvimento é impulsionado por competições de robótica diversas, tais como a ROBOCUP e a FIRA, que se focam em futebol de robôs, e a ROBOCUP Rescue, e a DARPA Robot Challenge, sendo que as duas últimas se focam no combate a diversos tipos de catástrofes.

Limitações ambientais levam a uma infinidade de diversidade de designs desenvolvidos, observando-se diversas categorias de robôs, tais como: “humanoides”, chassis com múltiplas rodas, chassis omnidirecionais e até com múltiplas pernas. Versatilidade e diversidade são as palavras-chave para a Robótica Educativa. O trabalho por desafios também permite o desenvolvimento em escala das soluções. Enquanto construir robôs maiores e capazes de manobrar maiores cargas é necessário para que eles tenham alguma aplicação verdadeira, são as soluções de design que são incentivadas.

Por fim, o trabalho com o desenvolvimento de projetos de robótica também aparece como uma forte ferramenta para o aprendizado em todas as idades. Em trabalhos com crianças e pré-adolescentes [4], normalmente usam-se kits com peças e mecanismos específicos para se construir um projeto. Esses jovens fazem uso dessas peças com a finalidade de montar projetos baseando-se nos materiais didáticos disponíveis. A construção na Robótica Educativa deve ser um processo gradual e de experimentação que, ao mesmo tempo, elucida o estudante sobre as características e capacidades de cada peça utilizada, como também ensina sobre as diferentes configurações e disposições que as peças podem assumir. Isso garante ao aluno embasamento técnico suficiente para começar a desenvolver seus próprios mecanismos. De maneira análoga, mas muito mais avançada, o engenheiro também precisa buscar mecanismos e soluções de design para resolver problemas. Sua busca é um processo ainda mais complexo, que envolve medidas, conjecturas e simulações, para definir quais materiais irá usar para que possa trabalhar de forma segura e em escala.

2. O projeto

O projeto do robô foi especificado em 2011 sendo composto por duas garras mecânicas perpendiculares que giram em planos independentes. Cada garra é rotacionada por um servo motor e por um atuador pneumático para que abram e fechem. As garras são controladas por um computador equipado com uma Webcam que identifica a distribuição das cores em cada face do cubo a partir de imagens e determina

a sequência de movimentos necessários para a sua resolução. Esses movimentos são então enviados sequencialmente para uma unidade de controle no robô responsável por comandar os movimentos dos motores e os acionamentos pneumáticos. A quantidade e disposição dos atuadores foi escolhida por sua simplicidade e por ela se assemelhar com os braços de um ser humano, há projetos mais eficientes por possuírem mais atuadores e serem capazes de movimentar mais faces, podendo resolver o cubo mágico em segundos. O robô não foi finalizado a tempo para a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia de 2011, não sendo concluída a sua montagem e nem a integração entre os motores e atuadores pneumáticos, acabando por ser guardado desmontado e sem muita documentação.



Figura 1 O Robo Rubik finalizado (esquerda), e o estado em que foi recebido pelo grupo PET Computação (direita)

Na metade de 2013, um dos integrantes do projeto inicial sugeriu que o grupo PET desse continuidade na confecção do robô. Composto por estudantes dos cursos de Ciências e Engenharia da Computação, com eventuais bolsistas de cursos de Engenharia Elétrica e Mecânica, houve um grande interesse, visto que o projeto apresentava oportunidades nas áreas de pesquisa ensino e extensão. O trabalho foi dividido em duas frentes principais, uma voltada para o desenvolvimento dos aspectos computacionais, e outra na qual foram enfocados aspectos mecânicos e mecatrônicos. Cada frente definiu um conjunto de módulos independentes que poderiam ser desenvolvidos de forma paralela. A saber, esses são, na área computacional: Processamento visual, algoritmo de solução, e sequenciador de solução, na área mecânica e mecatrônica: Placa de controle Arduino e sistema motor. Na figura 2 encontra-se

um esquemático dos módulos e da comunicação entre eles:

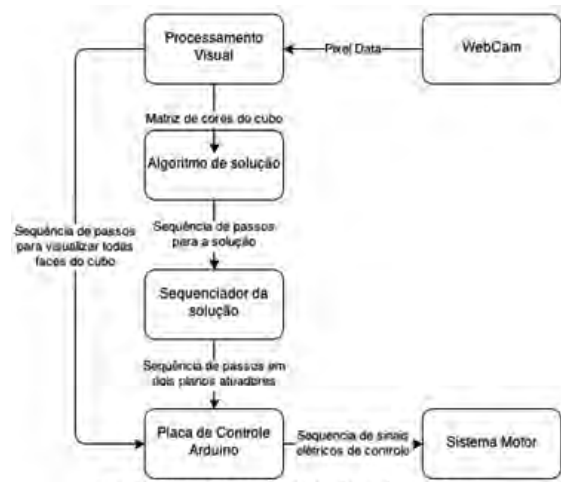


Figura 2 Diagrama esquemático dos módulos e sua respectiva comunicação

Figura 2 Diagrama esquemático dos módulos e sua respectiva comunicação

Cada módulo representado tem definido um protocolo próprio de recebimento de dados, o qual é utilizado pelos módulos que se comunicam com o mesmo. O desenvolvimento destes protocolos visa manter cada um dos módulos autocontido, possibilitando que os mesmos possam ser modificados e otimizados independentemente do restante do projeto. Entre as possíveis modificações, ressalta-se a substituição de bibliotecas de código por outras equivalentes, otimização dos algoritmos utilizados, utilização de sinais disponibilizados pelos drivers dos motores para sinalizar a finalização de um movimento, dentre outras.

O módulo de processamento visual foi desenvolvido com o auxílio da biblioteca open-source opencv [5] para auxiliar no tratamento de imagens. Seu funcionamento se resume ao reconhecimento de cada face do cubo independentemente, e a formação de uma sequência de caracteres na forma esperada pelo módulo de resolução. No seu desenvolvimento foram enfrentadas dificuldades ambientais diversas, como variação da iluminação local e ruído da imagem, exigindo algoritmos de calibragem em tempo real para o contorno das mesmas. Com a necessidade de visualizar todas as faces do cubo, este módulo se comunica também com o módulo de controle, para

qual envia os cubos para movimentar o cubo conforme sua necessidade e, após o término do reconhecimento, recoloca o cubo em sua posição inicial.

O algoritmo de solução do cubo mágico foi desenvolvido utilizando a biblioteca open-source disponibilizada com fins educacionais kociembaRubikSolver [6], que recebe uma sequência de caracteres que caracterizam o estado do cubo, e retorna uma sequência de caracteres representando a sequência de rotações necessárias para a resolução do cubo. Para sua utilização no projeto, a mesma foi refatorada e adaptada para respeitar os protocolos definidos e ser executada no ambiente de execução (sistema operacional Linux).

Não basta ter-se a sequência de passos necessários para a resolução do cubo, visto que o robô possui apenas dois motores dispostos perpendicularmente. Foi necessário criar um sequenciador para traduzir a solução em uma sequência de movimentos executados pelo robô. Foi necessário levar em conta uma série de limitações da estrutura física. Em primeiro lugar, há apenas dois planos que o robô pode girar o cubo, e os movimentos do algoritmo são realizados sobre as seis faces. Além disso, as garras não podem realizar rotações de mais de 180° e nunca podem fazer movimentos simultaneamente, ou corre-se o risco de choque que pode danificá-las. Aqui perde-se a característica da solução ótima do algoritmo. No entanto há a possibilidade de criar-se um sequenciador mais eficiente.

Por fim, a sequência de movimentos é passada para a placa de controle Arduino (Figura 3) como uma rotação do servo motor esquerdo ou direito em -90° , $+90^\circ$, girando o cubo inteiro ou apenas a face. Usamos a placa de controle desenvolvida pelo PET para fazer a comunicação com estes motores que, apesar de possuírem uma interface própria com o computador, eram de tecnologia proprietária, e faltavam manuais para sua programação. A interface com os atuadores foi feita de forma paralela, com sinais elétricos sendo enviados para cada motor assumir uma posição específica, assim como sinais independentes para cada uma das

garras pneumáticas abrir e fechar. Assim, caso se deseje fazer um giro de 90° do cubo com a garra esquerda, envia-se a sequência de sinais: abrir a garra direita, $+90^\circ$ para o atuador esquerdo e fechar a garra direita.

Há uma interessante limitação do projeto quanto às garras: como são acionadas pneumicamente, as mangueiras podem se enrolar e acabam limitando o giro que os motores podem fazer. A solução encontrada foi “desenrolar” as garras após cada movimento. Assim, o robô sempre volta à sua posição original após ter executado um comando. O controle de abertura e fechamento das garras está sendo feito apenas pelo tempo médio delas fecharem e abrirem; uma solução não muito adequada que será corrigida em trabalhos futuros sobre o robô.

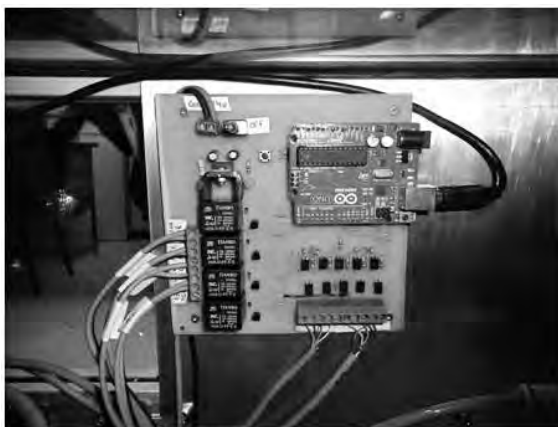


Figura 3 Placa de controle Arduino utilizada no projeto

2.1 Avaliação dos alunos

Os alunos envolvidos no desenvolvimento adquiriram diversas experiências que certamente serão úteis no futuro, durante sua ascensão no mercado de trabalho, quando lidarem com desafios pelos quais já passaram por situações semelhantes, abaixo segue o relato fornecido por dois dos alunos envolvidos no projeto:

Filipe Ávila Soares, graduando em Engenharia da Computação e bolsista no grupo PET Computação: “Quando o projeto do Robô Rubik foi apresentado ao grupo PET em 2013, fiquei bastante interessado em participar. Abracei a ideia e, junto de mais alguns colegas, começamos a tentar montar o quebra-cabeças que seria reconstruir o robô sem quase nenhum

material para referência. Inicialmente tivemos bastante dificuldades pois precisávamos primeiro compreender o funcionamento de cada componente para, então tentar descobrir onde ele deveria ser ligado. O projeto se mostrou bastante complexo no início e por isso foi necessário dividir as tarefas. Eu e mais um colega nos encarregamos da montagem mecânica do robô enquanto outra parte do grupo se dedicou aos algoritmos para resolução de cubos e de como os movimentos seriam passados para o robô. Ainda fui o responsável por refazer a placa de controle do Arduino que continha erros de projeto e não funcionava corretamente. Passei bastante tempo pesquisando para entender o funcionamento dos componentes, em especial os opto acopladores, que necessitavam de valores certos de resistências para que a corrente necessária passasse quando ligássemos nas tensões de operação que o robô utilizava. Os desafios não foram apenas na remontagem do robô e na confecção da placa pois, após isso passamos a enfrentar problemas que antes não haviam nem sequer sido atingidos pelos desenvolvedores antigos. Dentre estes problemas, os principais foram a troca de uma das fontes de alimentação do robô que não fornecia corrente suficiente para ativar o sistema pneumático e a troca dos cilindros de armazenamento de ar que eram muito pequenos e não eram capazes de manter a pressão necessária até o fim da resolução do cubo, fazendo com que o robô derrubasse o cubo.”

Ruan Leitão Nunes, graduando em Ciência da Computação e voluntário no grupo PET Computação: “Quando passei a integrar o grupo PET Computação, o projeto Robô Rubik já estava em andamento, tendo sua parte mecânica muito adiantada, então voltei a minha atenção para organizar e efetuar o desenvolvimento dos módulos em software. Durante o processo de desenvolvimento, com a aparição de diversos desafios, adquiri experiência na análise dos fatores externos que podem afetar o funcionamento de um determinado programa, como limites de espaço e memória disponíveis, limitação na taxa de transferência de dados entre dispositivos, excesso ou falta de luz ambiente,

entre outros.”

3. Problem based learning

O Problem Based Learning (PBL) é o ensino através da contextualização: o professor apresenta conteúdos aos alunos através de problemas que devem ser resolvidos. Trabalhando em equipes, a administração do tempo e dos recursos (como o conhecimento) de cada aluno se torna importante. Enquanto lidam com a aplicação de seu projeto, procura-se ativamente aprender os conteúdos necessários para atender adequadamente as tarefas complexas que tem diante de si, nota-se que a autonomia revela-se em característica importantíssima e valorizada pelos alunos [3].

O ensino de engenharia através de PBL é, no mínimo, custoso. Exige-se equipamentos como kits de peças e equipamentos, laboratórios e um planejamento criativo de desafios interessantes relacionados ao currículo. Nota-se que há um problema de conhecimentos pré-requisitos para se desenvolver o trabalho, pois os kits e equipamentos requerem certos conhecimentos prévios para serem lidos. Como linhas gerais, a atividade se desenvolveu através dos seguintes passos principais:

- Definição de um problema a ser resolvido - Término da construção de um robô que resolve cubos mágicos.
- Reconhecimento do problema - Entendimento do projeto original e montagem das peças.
- Pesquisa e Definição de competências para resolvê-lo - Definição de que partes faltavam e organização dos protocolos de comunicação.
- Divisão do trabalho - Desenvolvimento independente de partes.
- Aplicação - União das partes e teste de aplicação.
- Avaliação - Reflexões sobre o projeto original e preparo do robô para ser usado em outras atividades.

A experiência adquirida permitiu constatar que houve um trabalho de interdisciplinar em engenharia, pois houve uma necessidade de diferentes áreas de conhecimento se unirem para romper as limitações do projeto original, tais como a falta de documentação e o uso de

tecnologias proprietárias que não disponibilizam tutoriais e materiais para estudo. Também se vê que as limitações do projeto também tiveram que ser carregadas entre as diferentes equipes de trabalho. A mecânica levou a diferentes necessidades nos sistemas de programação. Esses foram os casos da disposição dos atuadores (que giravam em apenas dois planos) e a limitação dos sistemas pneumáticos (que requereram uma reprogramação no nível da placa de controle). Problemas como esse forçaram aos estudantes a trabalhar com o conceito de uma engenharia que se comunica com outras partes e precisa se adequar a necessidades ambientais, além de valorizar sobre maneira o trabalho em equipe, característica ímpar de atuação do grupo PET Computação.

Dispondo de tempo, os alunos puderam fazer um trabalho colaborativo, onde cada um trabalhou na sua área de conhecimento e pode buscar as soluções necessárias. Houve, inclusive, a necessidade de procurarem engenheiros formados que já haviam trabalhado no projeto anterior, afim de encontrar respostas para certas decisões de design.

4. Conclusão

Vemos que há uma grande disparidade entre o que seria o ensino tradicional e a modalidade PBL, em grande parte por essa não estar focada no domínio de certos conceitos pelos alunos. Enquanto há teorias novas de aprendizagem, que tentam quebrar com a ideia conteudista, o ensino na UFRGS (e acreditamos na maioria das faculdades de Engenharia e Ciência da Computação) ainda é bastante focado em disciplinas, o que torna o PBL um desafio. O projeto do Robô Rubik aparece como uma atividade extraclasse, muito bem avaliada pelos alunos e que entraria em uma disciplina de projetos em engenharia. A experiência obtida ainda aparece como uma formação complementar ao ensino tradicional, na qual os envolvidos tiveram que trabalhar com diferentes disciplinas da engenharia, com especial atenção a como as partes de um projeto são limitadas umas pelas outras.

Espera-se, agora que o robô se torne uma plataforma de Robótica Educativa. Seu uso

já está agendado nas mostras dos cursos de engenharia e planeja-se construir desafios de programação utilizando-se a plataforma robótica. Estão previstas competições de programação de algoritmos para solução do cubo mágico, de soluções para o processamento visual, programação de um simulador do robô (que resolve o cubo usando a mesma plataforma de software) e até ensino de microcontroladores, com desafios de reprogramação da placa de controle e a construção de um ciclo de feedback para os movimentos dos atuadores e o abrir e fechar das garras. A universidade também possui um programa chamado Portas Abertas, no qual grupos de alunos do ensino médio são convidados para visitar os laboratórios, e o grupo já agendou a apresentação do robô junto ao instituto para os visitantes.

5. Referências

- [1] Martins, Iguatemy L. "Educação tutorial no ensino presencial – uma análise sobre o PET". Ministério de Educação. Brasil, 2007
- [2] Cássio Klen de Azevedo; Cristian Adolfo; Dante Augusto Couto Barone; Felipe Augusto Chies; "Desarrollo del Proyecto Robótico del Instituto de Informática de la Universidad Federal do Rio Grande do Sul Atendido por una División de Ingeniería Mecánica" CAIM2010
- [3] Mills, Julie E.; Treagust, David F.; "Engineering Education - Is Problem-Based or Project-Based Learning the Answer?" Australasian Journal of Engineering Education, 2004.
- [4] Lopes, Daniel Q.; Fagundes, Lea da C.; "As Construções Microgenéticas e o Design em Robótica Educacional". Revista Novas Tecnologias na Educação, V. 4, Nº 2. 2006
- [5] Bradski, G. "The Opencv library". Doctor Dobbs Journal, 2000.
- [6] Rokicki, T. Kociemba, H. Davidson, M. Dethridge, J. "God's number is 20". Disponible em www.cube20.org. 2010