



Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado
Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado

SISTEMA DE INFORMACION DE CIENCIA Y
TECNOLOGIA (SICyT)

FORMULARIO PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Código del Proyecto: AMUTICO0007819TC

1. Unidad Científico-Tecnológica

FR Córdoba - CIII: CENTRO DE INVESTIGACION EN INFORMATICA PARA INGENIERÍA

2. Denominación del PID

Diseño de metamateriales programables utilizando Teoría de Helicoides y actuación electromagnética

3. Resumen Técnico del PID

Los metamateriales son materiales diseñados por el hombre para satisfacer necesidades específicas, en general, propiedades que no pueden obtenerse de materiales obtenidos por mezcla de componentes formando un continuo. Así como los materiales compuestos y reforzados por fibras han tenido su gran impacto, por su resistencia en direcciones predilectas y su bajo peso, los metamateriales están teniendo un gran impacto en las áreas más diversas de la industria y la biomedicina, por lograrse bajo peso, alta rigidez y propiedades poco intuitivas como, por ejemplo, módulo de Poisson negativo. En este proyecto se propone aplicar el formalismo del álgebra de helicoides para diseñar submecanismos de volúmenes elementales representativos (VER) de metamateriales periódicos, es decir, con estructura repetitiva. La propuesta basada en helicoides permite conocer, al igual que en los mecanismos flexibles de precisión, la dimensión del espacio de movimiento de ciertos cuerpos guiados. A la vez se propone incorporar actuadores electromagnéticos en ciertos elementos del VER para deformarlos localizadamente y en forma programada para lograr una tarea cinemática específica para el conjunto. Para proceder a resolver la combinatoria de los posibles elementos se utilizará una representación de grafos para las estructuras y para las restricciones impuestas por los elementos flexores. Con este enfoque se espera obtener una gran cantidad de soluciones intuitivas y simples que deben explorarse antes de proceder con complejos métodos de optimización topológica. Entre otras posibles aplicaciones de impacto social, se experimentará en el diseño de superficies deformables de actuación electromagnética para paneles táctiles programables con código Braille para personas no videntes. Para ello será necesario también iniciar estudios que contemplen normativas de riesgo eléctrico sobre personas.

4. Programa

Aplicaciones Mecánicas y Mecatrónica

5. Proyecto

Tipo de Proyecto: UTN (PID UTN) CON INCORPORACION EN PROGRAMA INCENTIVOS

Tipo de Actividad: Investigación Básica

Campos de Aplicación:

Rubro	Descrip. Actividad	Otra (especificada)
INDUSTRIAL (Producción y tecnología)	Otros - Industrial (Especificar)	Smart Materials / Materiales inteligentes

INDUSTRIAL (Producción y tecnología)	Productos metálicos (excepto maquinarias y equipos)
--------------------------------------	---

Disciplinas Científicas:

Rubro	Disciplina Científica	Otras Disciplinas Científicas
MATEMÁTICA	Otras - Matemática (Especificar)	Screw Theory / Teoría de Helicoides
INGENIERIA ELÉCTRICA	Automatización y control	-
INGENIERÍA MECANICA	Mecánica de materiales	-
CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA	Otras (Especificar)	Mecánica Computacional

Palabras Clave

METAMATERIALES / TEORÍA DE HELICOIDES / MECANISMOS / ACTUACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

6. Fechas de realización

Inicio	Fin	Duración	Fecha de Homologación
01/01/2020	31/12/2022	36 meses	-

7. Aprobación/ Acreditación / Homologación / Reconocimiento (para ser completado por la SCTyP - Rectorado)**7.1 Aprobación / Acreditación / Reconocimiento (para ser completado por la FR cuando se posea N° Resolución)**

N° de Resolución de aprobación de la FR:

7.2 Homologación (para ser completado por la SCTyP - Rectorado)

Código SCTyP: AMUTICO0007819TC

Disposición SCTyP:

Código Ministerio:

8. Estado (para ser completado por la SCTyP - Rectorado)

EN TRÁMITE

9. Avals (presentación obligatoria de avals)**10. Personal Científico Tecnológico que participa en el PID**

Apellido y Nombre	Cargo	Hs/Sem	Fecha Alta	Fecha Baja	Otros Cargos
STEINER, GUILLERMO MAX	INVESTIGADOR FORMADO	20	01/01/2020	31/12/2022	-
GAYDOU, DAVID ALEJANDRO	CO-DIRECTOR	10	01/01/2020	31/12/2022	
PUCHETA, MARTÍN ALEJO	DIRECTOR	20	01/01/2020	31/12/2022	
GALLARDO, ALEJANDRO GASTÓN	BECARIO POSGRADO - DOCTORAL EN EL PAÍS	20	01/01/2020	31/12/2022	
QUISPE CASTILLO, RENZO ALEXANDER	BECARIO BINID	20	01/01/2020	31/12/2022	-
GONZÁLEZ, RODRIGO TOMÁS	BECARIO ALUMNO UTN-SCYT	6	01/01/2020	31/12/2022	
BELLAVIA, CRISTIAN GABRIEL	BECARIO ALUMNO UTN-SAE	6	01/01/2020	31/12/2022	

11. Datos de la investigación**Estado actual de concimiento del tema**

En el diseño sistemático de sistemas mecatrónicos complejos es necesario tener dominio y control de los grados de libertad deseados en el sistema, esto es, permitirlos y restringirlos con exactitud desde la etapa preliminar, en

donde la mayor cantidad de los requerimientos estructurales y funcionales deben ser satisfechos y tenidos en cuenta en base al conocimiento del diseñador.

Los metamateriales son materiales diseñados por el hombre para satisfacer necesidades específicas, en general, propiedades que no pueden obtenerse de materiales obtenidos por mezcla de componentes formando un continuo. Así como los materiales compuestos y reforzados por fibras han tenido su gran impacto, por su resistencia en direcciones predilectas y su bajo peso, los metamateriales están teniendo un gran impacto en las áreas más diversas de la industria y la biomedicina, por lograse bajo peso, alta rigidez y propiedades poco intuitivas como, por ejemplo, módulo de Poisson negativo o coeficiente de dilatación térmica negativo (Hopkins et al. 2013).

En este proyecto se propone aplicar el formalismo del álgebra de helicoides para diseñar submecanismos flexibles o subestructuras de volúmenes elementales representativos (VER) de metamateriales periódicos, es decir, con estructura repetitiva. Los metamateriales actuados electromagnéticamente corresponden al tipo de metamateriales mecánicos (Spadaccini, 2016; Valdevit et al., 2018) programables.

La representación acoplada de los movimientos tridimensionales denominada Teoría de Helicoides (en inglés, "Screw Theory") ha tenido gran auge en robótica (Ángeles, 2002; Mason, 2001), luego en diseño de mecanismos flexibles (Pucheta & Gallardo, 2018; Gallardo & Pucheta, 2018). Está cobrando importancia para diseñar metamateriales. Un helicoides es un elemento del álgebra del grupo de Lie en $se(3)$. Un conjunto de helicoides forma un espacio vectorial y puede manipularse con álgebra lineal (Selig, 2005). El estudio de los espacios y subespacios de sistemas de helicoides son muy utilizados para diseñar mecanismos paralelos tridimensionales y facilitan su enumeración. Una metodología reciente desarrollada en el M.I.T. (USA) permite enumerar mecanismos flexibles de precisión y seleccionar la actuación óptima (Hopkins & Culppeper, 2010a, 2010b; Su et al., 2013).

Para el presente proyecto se pretende aplicar la metodología FACT para diseñar para metamateriales (Hopkins et al. 2013; Spadaccini, 2016), implementar la integración de las ecuaciones del movimiento e incorporarlas a un esquema de control de los actuadores de los mecanismos y de las estructuras flexibles (Murray et al., 1994).

Para el esquema de control, se debe definir una función del error de posicionamiento en traslación y rotación simultáneamente. Gallardo y Pucheta (2019) recientemente desarrollaron una medida de error basada autovalores de la matriz de rigidez de un mecanismo paralelo flexible. Además, para controlar una estructura se deben obtener las expresiones de la cinemática y dinámica inversa de los cuerpos de salida. Existen desarrollos recientes (Mahony et al., 2012; Zhu et al., 2017) de esquemas de control en $SE(3)$ aplicados a cuatrirrotores pero existe poca literatura relacionada al control de mecanismos flexibles y metamateriales en esta representación. En los mecanismos, metamateriales y robots paralelos, los principios que controlan su movimiento son diferentes pero tienen además puntos en común. Principalmente, las ecuaciones de la estática y las ecuaciones del movimiento se pueden integrar numéricamente en forma más eficiente utilizando grupos de Lie en $SE(3)$, ver citas de Sonnevile, Bröls y Cardona en Sonnevile (2015). Este formalismo es útil para el modelado numérico de la planta a controlar y un esquema integrado a los otros bloques.

En los metamateriales, la actuación puede ubicarse en ciertos elementos específicos o en cada volumen elemental representativo que conforma una estructura repetitiva. Existen metamateriales actuados por temperatura, por efectos eléctricos, magnéticos, electromagnéticos, y piezoeléctricos, entre otros. Un objetivo muy común en la literatura es diseñar materiales con alta rigidez y baja densidad (livianos y fuertes). En ellos, la importancia del diseño mecánico y geométrico incluyendo la actuación es de vital importancia para el éxito del diseño. Para la simulación computacional, el desafío de simular en forma integrada la estructura y la actuación pertenece al ámbito de la multifísica, en donde los diversos campos (desplazamiento, eléctrico, magnético, etc) se acoplan. Luego de que se logra la actuación de un VER, se debe diseñar el control y los algoritmos necesarios para cumplir una determinada tarea. Estos desafíos son el objetivo del presente proyecto, en particular, como se menciona en el título se experimentará con actuación electromagnética.

Referencias

- Angeles, J., *Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Rtheory, Methods, and Algorithms*, 2nd Edition, Springer, 2002.
- A.G. Gallardo; M.A. Pucheta. “Análisis de los movimientos parasitarios en función de la ubicación de los elementos flexores de un mecanismo flexible paralelo”. MACI 2019, VII Congreso de Matemática Aplicada, Computacional e Industrial. Lugar: Córdoba; Año: 2019.
- A.G. Gallardo; M.A. Pucheta. “Synthesis of precision flexible mechanisms using screw theory and beam constraints”. *International Journal of Mechanisms and Robotic Systems*; Lugar: Olney; Año: 2018 vol. 4 p. 277 – 304.
- M. A. Pucheta; A.G. Gallardo. “Synthesis of Precision Flexible Mechanisms Using Screw Theory with a Finite Elements Validation”. *Multibody Mechatronic Systems*. Lugar: Cham; Año: 2018; p. 3 – 14.
- Hopkins, J.B., *Design of Flexure-based Motion Stages for Mechatronic Systems via Freedom, Actuation and Constraints Topologies (FACT)*, PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, September 2010.
- Hopkins, J.B., Culpepper, M.L., *Synthesis of Multi-degree of Freedom, Parallel Flexure System Concepts via Freedom and Constraint Topology (FACT) – Part I: Principles*. *Precision Engineering* 34: 259–270, 2010a.
- Hopkins, J.B., Culpepper, M.L., *Synthesis of Multi-degree of Freedom, Parallel Flexure System Concepts via Freedom and Constraint Topology (FACT) – Part II: Practice*. *Precision Engineering* 34: 271–278, 2010b.
- Hopkins, J. B.; Lange, K. J.; Spadaccini, C. M. *Designing Microstructural Architectures With Thermally Actuated Properties Using Freedom, Actuation, and Constraint Topologies*. *J. Mech. Des* 135(6), 061004 (May 09, 2013) (10 pages). DOI: 10.1115/1.4024122.
- Mahony, R., Kumar, V. and Corke, P., *Multicopter aerial vehicles: Modeling, estimation and control of quadrotor*, *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 19, no. 3, pp. 20–32, September 2012.
- Mason, M. T., *Mechanics of Robotic Manipulation*, MITPress, London, 2001.
- Murray, R. M., Li, Z.-X., and Sastry, S. S., *A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation*, CRC press, 1994.
- Selig, J. M., *Geometric Fundamentals of Robotics*, 2nd Edition, Springer, 2005.
- Shaw, L. A. et al. *Computationally efficient design of directionally compliant metamaterials*. November 2019 *Nature Communications* 10(1). DOI: 10.1038/s41467-018-08049-1.
- Sonneville, V. *A geometric local frame approach for flexible multibody systems*, Tesis doctoral, Université de Liège, 2015.
- Spadaccini, C., *Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2015 Symposium*, chapter *Mechanical Metamaterials: Design, Fabrication, and Performance*, pages 82–162. National Academies Press: OpenBook, 2016.
- Su, H.-J., Zhou, L.-F., and Zhang, Y., *Mobility Analysis and Type Synthesis with Screw Theory: From Rigid Body Linkages to Compliant Mechanisms*, Chapter 6 in V. Kumar et al. (Eds.) *Advances in Mechanisms, Robotics, and Design Education and Research*, *Mech. and Mach. Science* 14, pp. 55-66, 2013.
- Valdevit, L.; K. Bertoldi; J. Guest, C. Spadaccini. *Architected Materials: Synthesis, Characterization, Modeling and Optimal Design*. *Journal of Materials Research* 33 (2018) 241-246. Publication year: 2018.

Zhu, Y., Chen, X. and Li, C. Some Discussions about the Error Functions on $SO(3)$ and $SE(3)$ for the Guidance of a UAV Using the Screw Algebra Theory, *Advances in Mathematical Physics*, Vol. 2017, Article ID 1016530, 11 pages, 2017.

Grado de Avance

El presente proyecto tiene antecedentes en otros dos PID desarrollados en la UTN. En el proyecto PID 3935 "Empleo de Teoría de Helicoides en el Diseño de Mecanismos de Precisión" se estudió en profundidad la teoría de helicoides y se la aplicó al diseño de mecanismos de precisión. Se logró diseñar mecanismos con 1, 2, y 3 grados de libertad y diversas combinaciones de tipos de movimientos de traslación y rotación, verificando la solución por el método de los elementos finitos mediante análisis estático lineal.

Referencias PID 3935:

A.G. Gallardo; M.A. Pucheta. "Diseño de mecanismos flexibles paralelos basado en teoría de helicoides". ENIEF 2017 - XXIII Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones. Lugar: La Plata; Año: 2017.

M. A. Pucheta; A.G. Gallardo. "Clasificación de sistemas de helicoides para el diseño de mecanismos tridimensionales y robots". ENIEF 2017 - XXIII Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones. Lugar: La Plata; Año: 2017.

M. A. Pucheta; A.G. Gallardo; J.A. Bernard. "Empleo de teoría de helicoides para el diseño de mecanismos flexibles de precisión tridimensionales". ENIEF 2016- XXII Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones. Lugar: Córdoba; Año: 2016.

En un proyecto actual, denominado PID 4839 "Métodos Geométricos Avanzados para el Diseño de Mecanismos, Metamateriales y Robots", se continuó desarrollando la misma metodología basada en helicoides para diseñar mecanismos flexibles buscando caracterizar y reducir a los movimientos parasitarios mediante compensación. Para caracterizar estos movimientos se diseñó una métrica de comparación de movimientos tridimensionales basada en autovalores de la matriz de rigidez combinada con helicoides de fuerza y desplazamientos unitarios.

Referencias PID 4839:

A.G. Gallardo; M.A. Pucheta. "Análisis de los movimientos parasitarios en función de la ubicación de los elementos flexores de un mecanismo flexible paralelo". MACI 2019, VII Congreso de Matemática Aplicada, Computacional e Industrial. Lugar: Córdoba; Año: 2019.

A.G. Gallardo; M.A. Pucheta. "Synthesis of precision flexible mechanisms using screw theory and beam constraints". International Journal of Mechanisms and Robotic Systems; Lugar: Olney; Año: 2018 vol. 4 p. 277 – 304.

M. A. Pucheta; A.G. Gallardo. "Synthesis of Precision Flexible Mechanisms Using Screw Theory with a Finite Elements Validation". Multibody Mechatronic Systems. Lugar: Cham; Año: 2018; p. 3 – 14.

M. A. Pucheta; A.G. Gallardo. "Synthesis of Precision Flexible Mechanisms Using Screw Theory with a Finite Elements Validation". 4th MUSME, Lugar: Florianópolis, Brasil.

M. A. Pucheta; A.G. Gallardo. "Synthesis of Precision Flexible Mechanisms Using Screw Theory with a Finite Elements Validation". Multibody Mechatronic Systems. Lugar: Cham; Año: 2018; p. 3 – 14.

Además, están aceptados los siguientes resúmenes a ser presentados en el ENEF 2019, a realizarse en noviembre de 2019:

A.G. Gallardo; M.A. Pucheta. "Análisis dinámico de mecanismos flexibles utilizando Teoría de Helicoides". ENIEF 2019, XXIV Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones. Lugar: Santa Fe.

M. A. Pucheta; A.G. Gallardo. "Graph Representation of Flexure Precision Stages and Their Applications". ENIEF 2019, XXIV Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones. Lugar: Santa Fe.

Estos antecedentes en diseño mecánico junto con los numerosos antecedentes del codirector, Dr. David Gaydou, en el diseño de motores rotativos brushless con imanes permanentes (Gaydou, 2018) y los antecedentes del investigador formado, Dr. Guillermo Steiner, en el desarrollo de lógica digital, su experiencia en programación de bajo y alto nivel, su experticia en control (Perez Paina et al., 2014a; 2014b), configuran una sólida base inicial para lograr construir metamateriales programables actuados electromagnéticamente. Además, para aplicaciones en que el metamaterial se utilice en una interacción humano-máquina se contemplarán normas que consideren los efectos electromagnéticos en los seres humanos. Para ello se contará con la experticia del Dr. Steiner quien es el director del Laboratorio de compatibilidad electromagnética, en construcción en la UTN-FRC.

Referencias:

Gaydou, D.; Dipré, I.; Olmedo, M.; González Dondo, D.; and Araguás G. "Implementación de un driver de control para motores BLDC sin sensores". En Congreso Argentino de Sistemas Embebidos CASE 2018: libro de trabajos en modalidad foro tecnológico y resumen, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba Córdoba, Argentina, Agosto 2018.

Perez Paina, G.; Araguás, G.; Gaydou, D.; Steiner, G. and Canali, L. "RoMAA-II, an Open Architecture Mobile Robot" IEEE Latin America Transactions, vol. 15, issue 5, pp. 915-921, Aug. 2014. ISSN: 1548-0992.

Perez Paina, G.; Araguás, G.; Gaydou, D.; Steiner, G. and Canali, L. "Robot Móvil de Arquitectura Abierta, RoMAA-II" IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), pp.537-542, ISBN: 978-1-4799-4270-. Bariloche, Argentina, Junio 2014.

Objetivos de la investigación

En el proyecto se proponen los siguientes objetivos generales y particulares.

Objetivos generales:

- A. Iniciar el estudio de metodologías de diseño de metamateriales mecánicos.
- B. Desarrollar una metodología de diseño de metamateriales mecánicos que optimice una característica determinada.
- C. Desarrollar la capacidad de construir, validar, y probar elementos representativos en modelos virtuales y reales.
- D. Modelar matemáticamente metamateriales con actuación electromagnética e implementarlos en prototipos virtuales y reales.
- E. Resolver problemas sociales críticos y mejorar la calidad de vida de personas, con discapacidad o en rehabilitación médica, para la interacción humano-máquina o humano-dispositivo y así mejorar el acceso a información y a nuevas tecnologías.

Objetivos específicos:

Aplicar el formalismo del álgebra de helicoides para diseñar submecanismos de volúmenes elementales representativos (VER) de metamateriales periódicos, con estructura repetitiva en arreglos planos y

tridimensionales. En relación al comportamiento individual de un VER, los objetivos específicos son:

1. Usando un enfoque de síntesis, se requiere determinar los grados de restricción y de libertad para un movimiento prescrito requerido para el VER. Para esto se realizará una implementación computacional utilizando Teoría de Grafos, Teoría de Helicoides y restricciones empleando dicho formalismo.
2. Determinar con exactitud el espacio de trabajo (espacio de configuración o workspace) y la rigidez de cada elemento guiado en el metamaterial. Con este método se espera obtener una gran cantidad de soluciones intuitivas y simples.
3. Modelar matemáticamente la cinemática y dinámica del sistema multicuerpo flexible que compone al VER.
4. Incorporar el diseño de la actuación electromagnética, mediante un actuador lineal brushless, de imanes permanentes, bobinado esmaltado y control digital.
5. Determinar la controlabilidad, estabilidad, cinemática directa e inversa del VER.
6. Construir un VER con su actuación y realizar los ensayos correspondientes para determinar su comportamiento dinámico.

En relación a estructuras periódicas de VER plano y tridimensionales:

7. Construir un array de VER rectangular plano, con una traslación simple biestable perpendicular a dicho plano, correspondiente a la aplicación real de un array de dígito de código Braille y desarrollar la lógica de actuación para cada elemento (letra, números naturales y caracteres) del código.
8. Construir superficies y volúmenes deformables con características específicas no estándar.
9. Iniciar estudios que contemplen normativas de riesgo eléctrico sobre personas.

Cabe mencionar que en el CIII se cuenta con material necesario para imprimir modelos en 3D y para construir pequeños actuadores lineal, remanente de otros proyectos.

Descripción de la metodología

Para cumplir con los objetivos particulares relacionados a la metodología de diseño de un VER de un metamaterial, se llevarán a cabo las siguientes tareas de I&D:

- Para visualizar los sistemas de helicoides en un VER se escribirán códigos en Matlab, Python, C++ o similares con bibliotecas de gráficos a determinar y usando métodos geométricos basados en álgebra de líneas. Las operaciones de unión e intersección entre sistemas de helicoides se postularán utilizando álgebra lineal y álgebra de conjuntos, se implementarán computacionalmente en los lenguajes mencionados.
- Los VER se codificarán por sus propiedades topológicas e índices de performance en su capacidad para satisfacer requerimientos de diseño y funcionales. También se codificará la estructura, interpretada como un sistema multicuerpo, utilizando Teoría de Grafos.
- Para realizar simulaciones numéricas de elasticidad con el método de los elementos finitos se utilizará el código abierto CodeAster y los datos de entrada y de resultados se vincularán a rutinas escritas en los lenguajes mencionados.
- Se identificarán las variables de diseño y sus fronteras, los objetivos y restricciones, utilizando en entorno de optimización multiobjetivo sin derivadas. En principio, se utilizará un algoritmo genético y suma ponderada para considerar los múltiples objetivos y las múltiples restricciones. El problema se ordenará en cascada,

como secuencia de problemas de optimización, o en forma monolítica en una única optimización, según convenga.

- Los prototipos se imprimirán en modelos 3D de plásticos especiales con propiedades bien conocidas a los fines de establecer la forma más adecuada de medirlos. Luego se seleccionarán los candidatos más prometedores para su construcción con materiales metálicos.
- Se estudiará la integración sistemática de la teoría de helicoides en el desarrollo de un sistema de control a lazo cerrado para la actuación controlada de los mecanismos. Para ello se representarán las ecuaciones del movimiento mediante helicoides y métodos geométricos avanzados. Se utilizarán formas de modelado de sistemas dinámicos utilizando Matlab-Simulink y herramientas de simulación por Bond Graphs de código abierto como Open Modelica.

Para un metamaterial (arreglo de VER) la metodología será la siguiente:

- Se determinará la forma más adecuada de representar el arreglo de VER interpretada como un sistema multicuerpo utilizando Teoría de Grafos, las condiciones de borde de fijación y la actuación capacidad para satisfacer requerimientos de diseño y funcionales.
- Se realizarán simulaciones numéricas de elasticidad con el método de los elementos finitos.
- Se probarán tareas cinemáticas para el conjunto.
- Se imprimirán prototipos en modelos 3D.
- Se integrará la actuación electromagnética.
- Se medirá numérica y experimentalmente el cumplimiento de los requerimientos de diseño.

Referencias

Code Aster – Salomé Meca, Électricité de France (EDF), <http://code-aster.org/> , 2019.

Open Modelica, Linköping University, Sweden, <https://openmodelica.org/> , 2019.

Oportunamente, los resultados originales hallados se divulgarán y publicarán en revistas de acceso abierto. El CIII dispone de todo el equipamiento necesario para llevar a cabo todas las actividades descriptas.

12. Contribuciones del Proyecto

Contribuciones al avance científico, tecnológico, transferencia al medio

La importancia de la Teoría de Helicoides en las áreas de ciencia de los mecanismos y la robótica es reconocida en todo el mundo. La aplicación al diseño de metamateriales es incipiente. El enfoque que se propone basado en vincular subestructuras diseñadas como mecanismos permite obtener una gran cantidad de soluciones intuitivas y simples que deben explorarse antes de proceder con complejos métodos de optimización topológica. La propuesta basada en helicoides permite conocer, al igual que en los mecanismos flexibles, la dimensión del espacio de movimiento de ciertos cuerpos.

Poseer buen dominio del formalismo, geometría y álgebra de los helicoides nos va a posicionar en posibilidad de interactuar con grupos de investigación de primer nivel internacional.

Sin dudas, el desarrollo de una nueva metodología de diseño de metamateriales será de gran impacto para facilitar la transferencia de productos de alto valor tecnológico al ámbito industrial.

Se espera generar unas bibliotecas de funciones y con modelos mecánicos virtuales de elementos representativos de volumen de los materiales para que estén disponibles para todos los miembros del CIII que quieran realizar optimizaciones y aportar mejoras, en particular con las posibles actuaciones electromagnética que pueden ser también del tipo piezoeléctrico.

Además, el conocimiento se hará público para la comunidad científica en general por medio de publicaciones científicas, charlas, y, en particular, en divulgaciones en el 7th International Symposium on Multibody Systems and Mechatronics - MuSMe 2020, que coordinará el Dr. Pucheta y tendrá sede en la UTN-FRC.

Como destinatarios posibles de transeferencias al medio, se buscará interesar a empresas locales de biomedicina e implantes, mostrando metamateriales impresos en material biocompatible.

Otra aplicación que se pretende implementar con la teoría desarrollada es fabricar una versión a escala de las superficies deformables para que los ciegos puedan leer código Braille en celulares, tablets y otras pantallas. Esta aplicación es reciente, está comercialmente disponible en Blitab (<http://blitab.com/>) y se vende en lectores como Kindle Braille.

Contribuciones a la formación de Recursos Humanos

El Ing. Alejandro Gastón Gallardo inició sus estudios de doctorado en 2017 bajo la dirección del Dr. Pucheta y tiene previsto terminar su tesis doctoral en diciembre de 2020. La tesis fue iniciada bajo el PID 3935 "Empleo de Teoría de Helicoides en el Diseño de Mecanismos de Precisión", actualmente bajo el PID 4839 "Métodos Geométricos Avanzados para el Diseño de Mecanismos, Metamateriales y Robots" y tendrá continuidad en el presente PID. El Dr. Pucheta y el Ing. Gallardo están formando al alumno Rodrigo González (becario alumno de Rectorado) en temas de diseño de metamateriales utilizando teoría de helicoides, con miras a presentarse a beca doctoral de CONICET en junio de 2020.

El diseño de metamateriales programables es una actividad multidisciplinaria que interesa a ingenieros en sistemas, electrónicos, mecánicos y eléctricos. La concreción de materiales impresos en 3D permitirá el desarrollo de proyectos finales complejos y también iniciar estudios de maestría y doctorado en temas de robótica, mecánica de precisión y materiales inteligentes. Se desea, entonces, incorporar los avances de este proyecto en cursos de grado y posgrado dictados y a dictar en la UTN-FRC.

Se buscará formar estudiantes de grado y posgrado para que se inicien en el área de I+D motivando la sinergia del trabajo en equipo. Se ofrecerá también posibilidad de realizar prácticas supervisadas en el área de diseño de metamateriales y continuar formando alumnos en temáticas de mecanismos de precisión y control de posicionamiento micrométrico.

13. Cronograma de Actividades

Año	Actividad	Inicio	Duración	Fin
1	Revisión del estado del arte de metamateriales mecánicos y de las aplicaciones de mayor impacto social.	01/01/2020	3 meses	31/03/2020
1	Desarrollar metodologías de síntesis de VER para requerimientos dados, representar el problema computacionalmente y automatizar la creación de los problemas de optimización, identificando variables, restricciones y funciones objetivo.	01/04/2020	5 meses	31/08/2020
1	Implementar la simulación por elementos finitos de un VER dentro de un lazo de optimización multiobjetivo para cumplir requerimientos de diseño y funcionales.	01/09/2020	4 meses	31/12/2020
2	Construir prototipos en impresión 3D de VER más prometedores.	01/01/2021	2 meses	28/02/2021
2	Diseñar la actuación electromagnética de un VER y evaluar su comportamiento.	01/03/2021	2 meses	30/04/2021
2	Realizar simulaciones de multifísica del VER incluyendo la actuación y su control. Validar el control y su comportamiento dinámico con el prototipo real.	01/05/2021	3 meses	31/07/2021
2	Representar numéricamente arreglos de metamateriales para cada VER desarrollado en las etapas anteriores y simularlo por elementos finitos.	01/08/2021	5 meses	31/12/2021

3	Imprimir metamateriales (arreglos de VER) planos y 3D diseñados con la actuación electromagnética.	01/01/2022	4 meses	30/04/2022
3	Desarrollar el control digital y algoritmos de control para el metamaterial (arreglo de VER) .	01/05/2022	4 meses	31/08/2022
3	Medir experimentalmente el cumplimiento de los requerimientos de diseño tanto en el array plano como en el array 3D elegido.	01/09/2022	4 meses	31/12/2022

14. Conexión del grupo de Trabajo con otros grupos de investigación en los últimos cinco años

Grupo Vinc.	Apellido	Nombre	Cargo	Institución	Ciudad	Objetivos	Descripción
Grupo de Investigación en Mecánica Aplicada (GIDMA)	Giusti	Sebastián Miguel	INVESTIGADOR FORMADO	UTN-FRC	Córdoba	Tener base de comparación de mecanismos y estructuras diseñadas con técnicas de Optimización Topológica y las diseñadas con Teoría de Helicoides.	El Dr. Giusti es codirector de la beca de CONICET del Ing. Gallardo. El Dr. Pucheta es codirector de la beca de CONICET del Ing. Augusto Romero Onco del GIDMA.
Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA)	Tommasini	Fabián	INVESTIGADOR FORMADO	UTN-FRC	Córdoba	Desarrollo de mecanismos para instrumental científico para mediciones acústicas	Se ha generado un PICT Grupo Joven entre el Dr. Pucheta, el Dr. Tommasini y el Dr. Ramiro Vergara de la Universidad Nacional de Quilmes, proyecto vigente desde 2018. Desde abril de 2019, el Dr. Pucheta es director de beca del CONICET del Ing. Ricardo Martín Guido, del CINTRA.
Centro de Investigación en Métodos Computacionales (CIMEC)	Cavaliere	Federico José	INVESTIGADOR FORMADO	Univ. Nacional del Litoral- CONICET y UTN-FRSantaFe	Santa Fe	Análisis de mecanismos y sistemas multicuerpo complejos.	Estudio de casos para el análisis computacional de mecanismos con huelgo y fricción.

15. Presupuesto

Total Estimado del Proyecto: \$ 0,00

15.1. Recursos Humanos - Inciso 1 e Inciso 5

Primer Año

Becarios Inciso 5	Cantidad	Pesos	Origen del financiamiento
1. Becario Alumno Fac.Reg.	0	\$ 0,00	-
2. Becario Alumno UTN-SAE	1	\$ 11266,92	Facultad Regional
3. Becario Alumno UTN-SCTyP	1	\$ 18288,00	UTN- SCTyP
4. Becario BINID	1	\$ 42291,00	UTN- SCTyP
5. Becario Posgrado-Doctoral en el país	1	\$ 160391,40	Organismos públicos nacionales (CONICET, Agencia, INTI, CONEA, etc.)
6. Becario Posgrado Doctoral en el extranjero	0	\$ 0,00	-

7. Becario Posgrado - Especialización	0	\$ 0,00	-	-
8. Becario Posgrado - Maestría en el país	0	\$ 0,00	-	-
9. Becario Posgrado - Maestría en el extranjero	0	\$ 0,00	-	-

Docentes Investigadores y Otros - Inciso 1	Cantidad	Pesos
1.Administrativo	0	\$ 0,00
2.CoDirector	1	\$ 117000,00
3.Director	1	\$ 287664,00
4.Investigador de apoyo	0	\$ 0,00
5.Investigador Formado	1	\$ 234000,00
6.Investigador Tesista	0	\$ 0,00
7.Otras	0	\$ 0,00
8.Técnico de Apoyo	0	\$ 0,00

Totales	Inciso 5	Inciso 1	Total
Primer Año	\$ 232237,32	\$ 638664,00	\$ 870901,32

Segundo Año

Becarios Inciso 5	Cantidad	Pesos	Origen del financiamiento
1. Becario Alumno Fac.Reg.	0	\$ 0,00	-
2. Becario Alumno UTN-SAE	1	\$ 11266,90	Facultad Regional
3. Becario Alumno UTN-SCTyP	1	\$ 18288,00	UTN- SCTyP
4. Becario BINID	1	\$ 42291,00	UTN- SCTyP
5. Becario Posgrado-Doctoral en el país	1	\$ 160391,40	Organismos públicos nacionales (CONICET, Agencia, INTI, CONEA, etc.)
6. Becario Posgrado Doctoral en el extranjero	0	\$ 0,00	-
7. Becario Posgrado - Especialización	0	\$ 0,00	-
8. Becario Posgrado - Maestría en el país	0	\$ 0,00	-
9. Becario Posgrado - Maestría en el extranjero	0	\$ 0,00	-

Docentes Investigadores y Otros - Inciso 1	Cantidad	Pesos
1.Administrativo	0	\$ 0,00
2.CoDirector	1	\$ 117000,00
3.Director	1	\$ 287664,00
4.Investigador de apoyo	0	\$ 0,00
5.Investigador Formado	1	\$ 234000,00
6.Investigador Tesista	0	\$ 0,00
7.Otras	0	\$ 0,00
8.Técnico de Apoyo	0	\$ 0,00

Totales	Inciso 5	Inciso 1	Total
Segundo Año	\$ 232237,30	\$ 638664,00	\$ 870901,30

Tercer Año

--	--	--	--

Becarios Inciso 5	Cantidad	Pesos	Origen del financiamiento
1. Becario Alumno Fac.Reg.	0	\$ 0,00	-
2. Becario Alumno UTN-SAE	1	\$ 11266,92	Facultad Regional
3. Becario Alumno UTN-SCTyP	1	\$ 18288,00	UTN- SCTyP
4. Becario BINID	1	\$ 42291,00	UTN- SCTyP
5. Becario Posgrado-Doctoral en el país	1	\$ 160391,40	Organismos públicos nacionales (CONICET, Agencia, INTI, CONEA, etc.)
6. Becario Posgrado Doctoral en el extranjero	0	\$ 0,00	-
7. Becario Posgrado - Especialización	0	\$ 0,00	-
8. Becario Posgrado - Maestría en el país	0	\$ 0,00	-
9. Becario Posgrado - Maestría en el extranjero	0	\$ 0,00	-

Docentes Investigadores y Otros - Inciso 1	Cantidad	Pesos
1.Administrativo	0	\$ 0,00
2.CoDirector	1	\$ 117000,00
3.Director	1	\$ 287664,00
4.Investigador de apoyo	0	\$ 0,00
5.Investigador Formado	1	\$ 234000,00
6.Investigador Tesista	0	\$ 0,00
7.Otras	0	\$ 0,00
8.Técnico de Apoyo	0	\$ 0,00

Totales	Inciso 5	Inciso 1	Total
Tercer Año	\$ 232237,32	\$ 638664,00	\$ 870901,32

TOTAL GENERAL	Inciso 5	Inciso 1	Total General
Todo el Proyecto	\$ 696711,94	\$ 1915992,00	\$ 2612703,94

15.2 Bienes de consumo - Inciso 2

Año del Proyecto	Financiación Anual	Solicitado a
3	\$ 22.000,00	Facultad Regional
Total en Bienes de Consumo		\$ 22.000,00

15.3 Servicios no personales - Inciso 3

Año	Descripción	Monto	Solicitado a
1	Inscripción a congresos nacionales y viáticos.	\$ 18.000,00	Facultad Regional
2	Inscripción a congresos nacionales y viáticos.	\$ 18.000,00	Facultad Regional
3	Inscripción a congresos nacionales y viáticos.	\$ 18.000,00	Facultad Regional
Total en Servicios no personales			\$ 54.000,00

15.4 Equipos - Inciso 4.3 - Disponible y/o necesario

Año	Disp/Nec	Origen	Descripción	Modelo	Otras Espec.	Cantidad.	Monto Unitario	Solicitado a

1	Necesario	Argentina	Computadora de escritorio	Placa ASUS Procesador Intel i7	16MB RAM	1,00	\$ 30.000,00	Facultad Regional	
2	Necesario	Argentina	Computadora de escritorio	Placa ASUS Procesador Intel i7	16MB RAM	1,00	\$ 30.000,00	Facultad Regional	
3	Necesario	Argentina	Monitor Led	23"	LG 23MP55	1,00	\$ 8.000,00	Facultad Regional	
Total en Equipos							\$ 68.000,00		

15.5 Bibliografía de colección - Inciso 4.5 - Disponible y/o necesario

Año	Disp/Nec	Origen	Descripción	Modelo	Otras Espc.	Cantidad	Monto Unitario	Solicitado a	
1	Necesario	USA	Libros de mecanismos flexibles, teoría de helicoides y metamateriales.	-	-	2,00	\$ 1.000,00	Facultad Regional	
2	Necesario	USA	Libros de mecanismos flexibles, teoría de helicoides y metamateriales.	-	-	2,00	\$ 1.000,00	Facultad Regional	
3	Necesario	USA	Libros de mecanismos flexibles, teoría de helicoides y metamateriales.	-	-	2,00	\$ 1.000,00	Facultad Regional	
Total en Bibliografía							\$ 6.000,00		

15.6 Software - Disponible y/o necesario

Año	Disp/Nec	Origen	Descripción	Modelo	Otras Espc.	Cantidad	Monto Unitario	Solicitado a	
1	Disponible	USA	SolidWorks CAD con módulos simulation FEM y Motion	2018	-	1,00	\$ 0,00	Facultad Regional	
2	Disponible	USA	SolidWorks CAD con módulos simulation FEM y Motion	2018	-	1,00	\$ 0,00	Facultad Regional	
3	Disponible	USA	SolidWorks CAD con módulos simulation FEM y Motion	2018	-	1,00	\$ 0,00	Facultad Regional	
Total en Software							\$ 0,00		

16. Co-Financiamiento

Año	RR.HH.	Bienes de Consumo	Equipamiento	Servicios no personales	Bibliografía	Software	Total
1	\$870.901,32	\$0,00	\$30.000,00	\$18.000,00	\$2.000,00	\$0,00	\$920.901,32
2	\$870.901,30	\$0,00	\$30.000,00	\$18.000,00	\$2.000,00	\$0,00	\$920.901,30
3	\$870.901,32	\$22.000,00	\$8.000,00	\$18.000,00	\$2.000,00	\$0,00	\$920.901,32
Total del Proyecto	\$2.612.703,94	\$22.000,00	\$68.000,00	\$54.000,00	\$6.000,00	\$0,00	\$2.762.703,94

Financiamiento de la Universidad

Universidad Tecnológica Nacional - SCyT	\$ 0,00
Facultad Regional	\$ 0,00

Financiamiento de Terceros

Organismos públicos nacionales (CONICET, Agencia, INTI, CONEA, etc.)	\$ 0,00
Organismos / Empresas Internacionales / Extranjeros	\$ 0,00
Entidades privadas nacionales (Empresas, Fundaciones, etc.)	\$ 0,00

Otros	\$ 0,00
Total	\$ 0,00

Avales de aprobación, Financiamiento y Otros

	Orden	Nombre de archivo	Tamaño
Descargar	1	FinanciamientoExternoCONICET_PuchetaGallardo.PDF	670745

Currículums (Currículums de los integrantes cargados en el sistema)[Imprimir](#)[Exportar a PDF](#)