



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: AMUTNCO0004839

### 1. Unidad Científico-Tecnológica

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

### 2. Denominación del PID

Métodos Geométricos Avanzados para el Diseño de Mecanismos, Metamateriales y Robots

### 3. Resumen Técnico del PID

La utilización de métodos geométricos avanzados como la Teoría de Helicoides y la representación del grupo de los desplazamientos espaciales  $SE(3)$  ha adquirido gran importancia en el diseño, simulación y control de sistemas mecánicos complejos con tarea fija (mecanismos y metamateriales) o flexible (robots). En este proyecto se persigue integrar metodologías de diseño conceptual de mecanismos, materiales y robots, con metodologías para el análisis, el control y su simulación computacional: (i) En el diseño conceptual se propone hacer uso de sistemas de helicoides infinitesimales aplicado al diseño de mecanismos flexibles basado en restricciones impuestas por flexores de vigas. El diseño de mecanismos flexibles se puede sistematizar manipulando estos sistemas con álgebra lineal. Las operaciones de unión e intersección entre sistemas permiten generar mecanismos y el agregado de restricciones de diseño y de la tarea cinemática permiten dimensionarlos. (ii) Utilizando principios cinemáticos, se propone generar mecanismos para un volumen elemental representativo de un material y obtener así metamateriales mecánicos. (iii) Estos sistemas de helicoides se pueden utilizar también para describir el espacio de trabajo de robots de cadenas abiertas y de cadena cerradas, para estos últimos se estudiarán los conocidos como robots paralelos. (iv) A futuro, se espera utilizar estos métodos geométricos tanto para resolver el dimensionamiento como para describir y resolver numéricamente las ecuaciones del movimiento y el control de estos sistemas mecánicos, incluyendo la cinemática y dinámica inversa. Como aplicación práctica, estos métodos se utilizarán para diseñar instrumental de medición de precisión, metamateriales, micro y nanomanipuladores robóticos.

### 4. Programa

Aplicaciones Mecánicas y Mecatrónica

### 5. Proyecto

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

Tipo de Actividad: Investigación Aplicada

### Campos de Aplicación:

Rubro	Descrip. Actividad	Otra (especificada)
ESPACIO (Exploración y explotación)	Vehículos y proyectos	
INDUSTRIAL (Producción y tecnología)	Equipos e instrumentos científicos de medición y control	
PROMOCION GENERAL DEL CONOCIMIENTO	Ciencias de la ingeniería y arquitectura	

### Disciplinas Científicas:

Rubro	Disciplina Científica	Otras Disciplinas Científicas
MATEMÁTICA	Geometría	-
MATEMÁTICA	Métodos numéricos y computación	-

INGENIERÍA EN COMUNICACIONES ELECTRÓNICA Y CONTROL	Electrónica	-
INGENIERÍA MECÁNICA	Instrumentación y control	-
CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA	Robótica	-

**Palabras Clave**

Mecánica Mecanismos Vehículos Cinemática Estática Dinámica Control

**6. Fechas de realización**

Inicio	Fin	Duración	Fecha de Homologación
01/01/2018	31/12/2019	24 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 Nº Resolución)**

Nº de Resolución de aprobación de la FR:

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

Código SCTyP : AMUTNCO0004839

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
GAYDOU, DAVID ALEJANDRO	CO-DIRECTOR	10	01/01/2018	31/12/2019	-
PUCHETA, MARTÍN ALEJO	DIRECTOR	20	01/01/2018	31/12/2019	
NEMER PELLIZA, KARIM ALEJANDRA	INVESTIGADOR FORMADO	20	01/01/2018	31/12/2019	
GALLARDO, ALEJANDRO GASTÓN	BECARIO POSGRADO - DOCTORAL EN EL PAÍS	20	01/01/2018	31/12/2019	-
BERNAD, JUAN AUGUSTO	BECARIO BINID	20	01/01/2018	31/12/2019	
MARTÍNEZ, FERNANDO JAVIER	BECARIO ALUMNO UTN-SCYT	6	01/01/2018	31/12/2019	-
QUISPE CASTILLO, RENZO ALEXANDER	BECARIO ALUMNO UTN-SAE	6	01/01/2018	31/12/2019	-

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

El correcto modelado estático y dinámico de un sistema mecánico es de gran importancia para lograr el control de objetos en reposo relativo o en movimiento. El modelado requiere de elecciones adecuadas de las ternas de referencia y de la representación cinemática, con ellas se define a la representación de la cinética del móvil o mecanismo y se realiza la formulación matemática para el controlador de los actuadores y, principalmente, define al conjunto de algoritmos de cálculo a aplicar si el problema de diseño se resuelve por computadora.

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.

Para la simulación por computadora de sistemas de cuerpos en movimiento e interactuando entre sí, es crucial definir una representación cinemática adecuada que abarque todos los procesos de diseño, la de mayor importancia será la que sea más intuitiva para el diseñador, la que facilite la implementación computacional y la que contenga un correcto significado físico.

A continuación, se resumen las representaciones cinemáticas modernas más relevantes en problemas de ingeniería:

1. En el diseño y simulación de mecanismos, robots y vehículos se han utilizado representaciones muy diversas de traslación y orientación tridimensional. En aeronáutica e ingeniería aeroespacial hubo una notable tendencia a utilizar números hipercomplejos o Álgebras de Clifford: (i) vectorial para traslación y cuaterniones para orientación; (ii) cuaterniones duales para traslación y orientación. Los seis grados de libertad de un cuerpo rígido se deben representar por un conjunto mínimo de seis componentes, sin embargo, estas representaciones son redundantes, involucrando 7 componentes la (i) y 8 componentes la (ii). Su costo de mayor almacenamiento se compensa por la eficiencia en el cómputo y el hecho de que evita singularidades para la representación de la orientación. Una ventaja adicional, es que permiten emplear un álgebra lineal matricial en su implementación numérica (Selig, 2005).
2. Otra representación popular en robótica, visión por computadora y realidad virtual (Corke, 2011) son las matrices de las transformaciones homogéneas, y forman un grupo de Lie en el grupo de desplazamientos espacial Euclideo  $SE(3)$ , por lo que también se las conoce como matrices del grupo de Lie en  $SE(3)$  (McCarthy, 1990; Murray et al. 1994; Selig, 2005). En robótica y en mecanismos, existe un gran número de cuerpos restringidos y con movimiento relativo complejo entre ellos, estas matrices sistematizan la construcción de las ecuaciones de síntesis de mecanismo y del análisis del movimiento (Ángeles, 2002; McCarthy & Soh, 2011).
3. Existe una tercera representación relevante en ingeniería que es la denominada Teoría de Helicoides (en inglés, "Screw Theory"), está implícita en las anteriores (Ángeles, 2002) y adquirió un auge reciente en la comunidad científica (Summer Screws, 2009-2016). Esta es más adecuada para la etapa de diseño, ya sea de mecanismos o robots, debido a que 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 (Kong & Gosselin, 2007). 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 espera aplicar la metodología FACT para diseñar mecanismos flexibles para metamateriales (Spadaccini, 2016), implementar la integración de las ecuaciones del movimiento e integrarlas a un esquema de control de los actuadores de los mecanismos (Murray et al., 1994). Para el esquema de control, se debe definir una función del error de posicionamiento en traslación y rotación simultáneamente. Además, se deben obtener las expresiones de la cinemática y dinámica inversa.

Existen desarrollos recientes (Mahony et al., 2012; Zhou et al., 2017) de esquemas de control en  $SE(3)$  aplicados a cuatrirrotores en donde se pretende innovar en colaboración con otros miembros del CIII. 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, Brüls y Cardona en Sonnevile (2015).

En los metamateriales, la actuación puede ubicarse en ciertos elementos específicos o en cada volumen elemental representativo, en una estructura repetitiva. Existen metamateriales actuados por temperatura, por efectos eléctricos, magnéticos, electromagnéticos, y piezoeléctricos, entre otros. En muchos casos recientemente publicados en la literatura se busca 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.

En los robots paralelos, los métodos geométricos también han tenido su auge en las últimas décadas, tanto en diseño conceptual de robots paralelos (Kong & Gosselin, 2007) como en la manipulación de objetos (Murray et al, 1994; Mason, 2001). En estos mecanismos la actuación se ubica generalmente en los pares cinemáticos conectados a la fundación. El movimiento coordinado de las cadenas abiertas paralelas para generar una tarea cinemática específica, requiere de la deducción de las ecuaciones de cinemática inversa y de la dinámica inversa. Estas ecuaciones determinan el grado de acople que habrá en el controlador (Merlet, 2006).

Referencias

- Angeles, J., *Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Rheory, Methods, and Algorithms*, 2nd Edition, Springer, 2002.
- Corke, P., *Robotics, Vision and Control, Fundamental Algorithms in Matlab*, Springer, 2011.
- 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.
- Kong, X.-W., and Gosselin, C. *Type Synthesis of Parallel Mechanisms*. Vol. 33 of *Springer Tracts in Advanced Robotics*, Springer, 2007.
- 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*, MIT Press, London, 2001.
- McCarthy J. M. , and Soh, G. S., *Geometric Design of Linkages*, Vol. 11 of *Interdisciplinary Applied Mathematics*. 2nd Edition, Springer, 2011.
- Merlet, J.-P., *Parallel Robots*, Vol. 2, Springer, Netherlands, 2006.
- 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.
- 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.
- [www.summerscrews.org](http://www.summerscrews.org), *Seventh International Summer School on Screw-Theory Based Methods in Robotics*, IEEE-IFTToMM, Montreal, Quebec, Canadá, 28 agosto - 5 septiembre, 2016.
- 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

En un proyecto en curso y con finalización en diciembre de 2017, con código UTN PID3935, se ha logrado estudiar la teoría de helicoides y la metodología FACT para aplicarla al diseño de mecanismos flexibles tridimensionales y se la ha validado mediante simulaciones por elementos finitos (Pucheta et al., 2016a, Pucheta y Gallardo, 2017). Se tiene conocimiento en cómo diseñar mecanismos con propiedades específicas como ser las de energía de deformación y condiciones de biestabilidad (Pucheta & Cardona, 2010) o precisión en el centro instantáneo de precisión en flexores (Bottero et al., 2016). Se posee una base de datos de cadenas cinemáticas para distintos órdenes de movimientos: planos, esféricos, espaciales, etc. (Pucheta y Cardona, 2017), incluyendo las restricciones para manipulación de objetos (Tamimi et al., 2016).

En cuanto a la simulación de multicuerpos y de las ecuaciones del movimiento, se posee experiencia en el desarrollo de un simulador de trayectorias desarrollado para el cuatrorotor QAAA del CIII (Pucheta, 2016b) cuyas ecuaciones se adaptarán para utilizar métodos geométricos, helicoides y grupos de Lie en SE (3). En forma similar,

se ha utilizado una formulación para mecanismos con juegos en los pares cinemáticos, que está disponible para su utilización (Cavalieri et al., 2016).

En cuanto a la construcción de prototipos de mecanismos flexibles, se posee conocimiento en el desarrollo de drivers para actuadores rotativos para motores de robots móviles (de piso y aéreos) que se adaptarán para desplazamientos lineales. Con estos actuadores se pretende mover y medir a los desplazamientos utilizando instrumental del CEMETRO y detectando bordes en imágenes de filmaciones de los movimientos (Nemer et al., 2016). Cabe mencionar que se dispondrá de una máquina de medir de coordenadas tridimensional, que será ubicada en el CEMETRO (FRC-UTN), comprada mediante un subsidio ANPCyT FINSET 060/13 "Fortalecimiento de las Capacidades de Servicios Tecnológicos en UTN Fac. Reg. Córdoba en Tecnología Electrónica y Metrología Dimensional". Los prototipos que se pretende llegar a construir se imprimirán en 3D y se actuarán mediante motores de corriente continua con drivers desarrollados en el CIII.

Todos estos conocimientos previos conducirán al desarrollo de un proyecto en donde se maximizarán las contribuciones individuales y del grupo.

#### Referencias:

- F. Bottero, M.A. Pucheta y C.A. Schurrer, "Diseño de un Flexor de Precisión para un Dispositivo Generador de Ángulos Pequeños para Aplicaciones de Calibración en Metrología", ENIEF 2016, Mecánica Computacional Vol. XXXIV (39) Modeling of Multibody Systems (A):2689-2714, 2016 (presentado por F. Bottero en Concurso de Pósteres de Alumnos de Grado, ganador de 3er puesto).
- F.J. Cavalieri, M. A. Pucheta y A. Cardona, "Modelado de juntas cilíndricas tridimensionales con juego en sistemas dinámicos multicuerpos", ENIEF 2016, Mecánica Computacional Vol. XXXIV (39) Modeling of Multibody Systems (A): 2715-2728, 2016 (presentado por F. Cavalieri).
- K.A. Nemer, M.A. Pucheta, and A. G. Flesia. Unsupervised fuzzy-wavelet framework for coastal polynya detection in synthetic aperture radar images, Cogent Engineering, 1(1216725):1-21, 2016, Open Access.
- M.A. Pucheta y A. Cardona, Design of Bistable Compliant Mechanisms using Precision-Position and Rigidbody Replacement Methods. Mechanism and Machine Theory, Editorial Elsevier, United Kingdom, 45(2):304- 326, 2010.
- M.A. Pucheta and A. Cardona, Enumeration of Non-fractionated Kinematic Chains for any Screw Order, Mechanism and Machine Theory (in review).
- M. Pucheta, A. Gallardo. Synthesis of precision flexible mechanisms using screw theory with a finite elements validation, submitted to the 4th MUSME 2017, Florianópolis, Brasil (in review).
- M.A. Pucheta, A. Cardona, "Tendencias en el empleo de matemáticas discretas para el diseño conceptual de mecanismos", VI Congreso de Matemática Aplicada y Computacional - MACI 2017, Comodoro Rivadavia, Argentina, 2-5 May, 2017 (presentado por M. Pucheta).
- M.A. Pucheta, A. Gallardo y J. Bernad, "Empleo de teoría de helicoides para el diseño de mecanismos flexibles de precisión tridimensionales", XXII Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones, ENIEF 2016, 8 al 11 de noviembre, Córdoba, Argentina, Mecánica Computacional Vol. XXXIV (40) Modeling of Multibody Systems (B):2825-2845, 2016a (presentado por M. Pucheta).
- M.A. Pucheta, N. Alberto, C.J. Paz, G. Perez-Paina, "Trajectory Planning for an Unmanned Quadrotor", ENIEF 2016, Mecánica Computacional Vol. XXXIV (40) Modeling of Multibody Systems (B):2809- 2824, 2016b (presentado por M. Pucheta).
- A. Tamimi, A. Pérez-Gracia, and M. Pucheta, Structural Synthesis of Hands for Grasping and Manipulation Tasks, Advances in Robot Kinematics, ARK 2016, 27–30 June 2016, Grasse, France (presentado por A. Pérez-Gracia).

#### Objetivos de la investigación

Objetivo general:

El objetivo a largo plazo es investigar sobre técnicas sistemáticas que conduzcan a formular, desarrollar e implementar computacionalmente un método general de diseño de mecanismos flexibles, metamateriales y

estructuras mecánicas de robots. Además, se pretende desarrollar un entorno de diseño asistido por computadora para la creación de mecanismos incluyendo su actuación y control.

Objetivos particulares:

1. Implementar un entorno computacional y de visualización para de sistemas de helicoides para libertad, actuación y restricción.
2. Desarrollar un álgebra de los sistemas de helicoides abarcando uniones (robots de cadenas abiertas) e intersecciones (mecanismos, metamateriales y robots de cadenas cerradas).
3. Desarrollar técnicas para codificar a los mecanismos flexibles, interpretados como sistemas multicuerpo, utilizando Teoría de Grafos.
4. Desarrollar técnicas automáticas de análisis de los mecanismos flexibles mediante simulaciones numéricas de elasticidad con el método de los elementos finitos.
5. Desarrollar configuraciones automáticas de problemas de optimización de diseños, incluyendo variables y sus fronteras, objetivos y restricciones, minimizando la intervención del usuario.
6. Prototipar y medir diseños prometedores para resolver problemas de validación, de interés industrial y tendencias nuevas como el diseño de volúmenes elementales representativos de metamateriales mecánicos.
7. Estudiar 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.

### Descripción de la metodología

Para cumplir con los objetivos particulares se llevarán a cabo las siguientes tareas de I&D documentando y publicando los resultados innovadores cuando sea propicio:

1. Para visualizar los sistemas de helicoides se escribirán códigos en Matlab, Python, C++ o similares con bibliotecas de gráficos a determinar y usando métodos geométricos basados en álgebra de líneas.
2. 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.
3. Los mecanismos 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.
4. 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 escritos en los lenguajes mencionados.
5. 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.
6. Los prototipos se imprimirán en modelos 3D de plásticos especiales con propiedades conocidas con los fines de establecer la forma más adecuada de medirlos. Luego se seleccionarán los candidatos más prometedores para su construcción con materiales metálicos.
7. 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.

Referencias:

*Code Aster* – *Salomé Meca*, Électricité de France (EDF), <http://code-aster.org/>, 2017.

*Open Modelica*, Linköping University, Sweden, <https://openmodelica.org/>, 2017.

## 12. Contribuciones del Proyecto

### Contribuciones al avance científico, tecnológico, transferencia al medio

La importancia de estos métodos geométricos, la teoría de helicoides y los grupos de matrices Lie en  $SE(3)$ , en las áreas de la ciencia de los mecanismos y la robótica es reconocida en todo el mundo. Poseer 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. El alcance del proyecto no se limita al diseño de mecanismos y robots, sino que se extiende al diseño de metamateriales.

Para aplicar la metodología al diseño de metamateriales mecánicos se deben estudiar las condiciones periódicas que se repetirán en un volumen representativo y nuevos modos de actuación lo cual es el mayor desafío a afrontar. Se pretende tener impacto en el área de la ciencia de los materiales.

Se espera generar unas bibliotecas de funciones y con modelos mecánicos virtuales disponibles para todos los miembros del CIII que quieran realizar optimizaciones, aportar mejoras y principalmente utilizar los robots paralelos. Además, el conocimiento se hará público para la comunidad científica en general por medio de divulgaciones científicas y charlas.

El desarrollo de una nueva metodología de diseño de mecanismos, materiales y robots paralelos facilitará la transferencia de productos de alto valor tecnológico al ámbito industrial. Entre los potenciales beneficiarios se puede enumerar a los del sector de metrología, instrumental científico y espacial, posicionadores y mecanismos paralelos para simuladores virtuales, mecanismos hápticos para realidad virtual, mecanismos para rehabilitación clínica y otras aplicaciones de la robótica.

### Contribuciones a la formación de Recursos Humanos

En cuanto a los integrantes del proyecto, la Dra. K. Nemer desarrolla sus investigaciones en procesamiento de imágenes y detección de bordes que se puede aplicar a mediciones metrológicas desde imágenes o videos. La aplicación al movimiento de mecanismos es novedosa. El Ing. D. Gaydou está terminando su tesis doctoral en el modelado dinámico, control, y navegación autónoma de cuatrirrotores utilizando diversas representaciones cinemáticas. El Ing. A. G. Gallardo es becario del CONICET e inició su beca en abril de 2017 bajo la dirección del Dr. M.A. Pucheta y el Dr. S.M. Giusti, ambos de UTN-FRC y del CONICET. Su tema doctoral está íntimamente ligado a este proyecto, por lo que trabajará en un marco multidisciplinar de ingenieros mecánicos, electrónicos y una licenciada en sistemas de información. El Ing. J.A. Bernad fue becario del CIII y se ha iniciado en el empleo de teoría de helicoides, por lo que su participación como becario BINID será de fácil acople a los temas tratados y realizará aportes como proyectista de partes mecánicas.

Estos conocimientos de representaciones cinemáticas y dinámicas en SE(3) permitirán promover e interesar a ingenieros graduados en el desarrollo de proyectos finales aplicables a sistemas complejos, e iniciar estudios de maestría y doctorado en temas de robótica y mecánica de precisión. Se desea incorporar los avances de este proyecto en cursos de grado y posgrado dictados y a dictar en UTN-FRC. Se ofrecerá también posibilidad de realizar prácticas supervisadas en el área de diseño de mecanismos de precisión, metamateriales, robots y en microposicionamiento.

### 13. Cronograma de Actividades

Año	Actividad	Inicio	Duración	Fin
1	Desarrollo de entorno visual para mostrar sistemas de helicoides para el rango de 2 a 6 y de 1 a 6 grados de libertad.	01/01/2018	3 meses	31/03/2018
1	Programar algoritmos para calcular y visualizar operaciones de unión e intersección de helicoides.	01/04/2018	3 meses	30/06/2018
1	Desarrollar codificación de mecanismos y sus índices de performance.	01/07/2018	2 meses	31/08/2018
1	Simular estructuras flexibles de mecanismos utilizando el método de los elementos finitos y caracterizar los errores.	01/09/2018	4 meses	31/12/2018
2	Establecer variables, objetivos y restricciones para la optimización de los diseños.	01/01/2019	2 meses	28/02/2019
2	Construir prototipos físicos, sus actuaciones y realizar las mediciones reales.	01/03/2019	5 meses	31/07/2019
2	Desarrollar algoritmos de control para tareas complejas (curvas, trayectorias, etc.) de los mecanismos y robots.	01/08/2019	5 meses	31/12/2019

### 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
Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA)	Tommasini	Fabián	INVESTIGADOR FORMADO	UTN-FRC y CONICET	Córdoba	Participación en proyecto común de ANPCYT.	Desarrollo mecanismos de posicionamiento de orejas en cabeza de maniquí para estudios de acústica.
Centro de	Schurrer	Clemer	INVESTIGADOR	Universidad	Córdoba	Desarrollo de un	Empleo de síntesis y