

# PROYECTOS DE MÁQUINAS: EN LA INDUSTRIA Y LA ACADEMIA

MAX SUELL DUTRA\*  
OMAR LENGERKE PÉREZ\*\*

## Resumen:

*El presente documento, pretende dar a conocer el desarrollo de proyectos del grupo del Laboratorio de Robótica (LabRob) de la Universidad Federal de Rio de Janeiro (UFRJ) y las áreas de investigación que envuelven al grupo. De igual manera, se presentan algunos proyectos que relacionan la academia y la industria, generando recursos humanos especializados, desarrollando tecnología de punta con la colaboración de instituciones de investigación nacional e internacional y la realización de proyectos en conjunto con sectores productivos.*

## INTRODUCCIÓN

**E**l desarrollo de proyectos de máquinas, de automatización y de robótica, es una nueva tendencia económica que está alcanzando niveles altos de integración tecnológica en los procesos productivos. Esto significa una mayor demanda para sistemas de control y automatización aliados a un conocimiento por parte de la ingeniería Mecánica.

El agrupamiento de conocimientos de diversas áreas como mecánica, electrónica, sistemas de control y sistemas de computación ha ido evolucionando a pasos acelerados en todo el mundo. Hoy en día, se puede notar el interés de profesionales en las áreas industriales en retomar conocimientos y adoptar nuevos conceptos en áreas multidisciplinarias, con el fin de obtener las competencias para entrar a las nuevas áreas del conocimiento, que han sido revolucionadas por la microelectrónica, robótica, técnicas de programación y desarrollos, que se impusieron en el área de la producción, con equipos cada vez más poderosos, tomando en cuenta procesos completos, interconexiones y formando redes interconectadas que ayudan a la toma de decisiones de los gestores de las empresas.

El grupo del Laboratorio de Robótica de la Universidad Federal de Rio de Janeiro (LabRob-UFRJ), busca dar soluciones a problemas científicos y de aplicaciones industriales, con la integración de profesionales en áreas multidisciplinarias y conformando un equipo técnico-científico con cerca de 25 profesionales. En el presente documento, se realiza una descripción de la conformación del grupo de investigación y de proyectos científicos y de algunas aplicaciones industriales diseñadas y fabricadas por el LabRob.

## INTEGRACIÓN UNIVERSIDAD E INDUSTRIA

Para el desarrollo de un país, se hacen necesarios procesos de integración entre la universidad y la empresa, ciencia y tecnología. Por tanto, es importante buscar el acercamiento de la universidad y la empresa, entre el mundo donde se generan

\* Ingeniero mecánico de la Universidad Federal Fluminense (1987), magíster en ciencias en ingeniería mecánica de la Universidad Federal de Rio de Janeiro (1990), doctorado en ingeniería mecánica de Universität Duisburg-Essen - Alemania (1995), dos pos-doctorados de Technische Universität Hamburg-Harburg, TUHH, Alemania. Actualmente Profesor Adjunto IV de la Universidad Federal de Rio de Janeiro - Brasil. Director de un número considerable de Tesis de Maestría y Doctorado. Experiencia en el área de ingeniería mecánica, con énfasis en robótica, actuando principalmente en lo temas: proyectos mecatrónicos, dinámica no-lineal, biomecánica, robótica, control, proyectos mecánicos. Con más de 100 trabajos publicados en libros, revistas, congresos nacionales e internacionales en los últimos 5 años.

\*\* Ingeniero de sistemas computacionales de la Universidad Autónoma de Bucaramanga - Colombia (1999), magíster en ciencias en control y automatización de sistemas flexibles de manufactura del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Estado de México (2002), doctorado en ciencias en ingeniería mecánica de la Universidad Federal de Rio de Janeiro - Brasil (e.c). Experiencia en el área de la mecatrónica, control y automatización, actuando principalmente en temas de: sistemas flexibles de manufactura, proyecto mecatrónico, robótica, AGV móviles, automatización industrial y Control Automático.

los conocimientos y el mundo de la producción, de acuerdo a los objetivos generales alrededor de las investigaciones, con el fin de establecer determinantes del proceso social, que permita tomar la producción científica y la generación de nuevas tecnologías, en una proyección hacia el crecimiento económico y social de un país.

La forma de interactuar el LabRob con las empresas, se dio inicio en 1995, con la investigación dentro del diseño de un proyecto, realizando y buscando un cuadro teórico y conceptual que permitió servir de base para los estudios y servicios propuestos, la cual fue complementado con una amplia búsqueda bibliográfica, que detectó que los trabajos sobre la interacción universidad – empresa han sido una tendencia creciente, desapareciendo las fronteras entre las áreas del conocimiento, donde están ocurriendo mudanzas profundas tanto en la forma de producir ciencia como en la incorporación del conocimiento a la producción de bienes y servicios. Esto ha llevado también, al surgimiento de nuevas áreas de estudio en el grupo que han sido capaces de producir visiones originales de los nuevos horizontes, donde las instituciones académicas han sido señaladas como las nuevas fuentes de innovación para las empresas.

### Repercusiones de los trabajos del grupo LABROB

Las actividades de investigación científica y tecnológica, de extensión y de consultoría y prestación de servicios especializados del grupo LabRob, están enfocadas en el desarrollo de proyectos científicos y de aplicaciones industriales relacionados a proyectos de máquinas, mecatrónica, automatización y biomédica. El equipo técnico-científico de alta calidad, está capacitado para realizar actividades de concepción, modelamiento, cinemática y dinámica, soporte de CAD/CAE, estudios de viabilidad técnica y económica, construcción y pruebas de sistemas mecánicos y mecatrónicos. Dispone de recursos computacionales y de experimentación en los laboratorios asociados – Robótica (LabRob) y tribología. Posee una celda de robótica KUKA KR-125/3 y está certificado como “KUKA Engineering Center”, para el desarrollo de soluciones de dispositivos robóticas y automatización para la KUKA Roboter do Brasil Ltda.

Los principales temas de desarrollo están relacionados a: tecnología submarina, automatización industrial, proyectos de garras y manipuladores, sistemas para entretenimiento de vehículos autónomos, biomecánica, programas para la automatización de proyectos, sellos dinámicos (radial y mecánico), transductores de carga y desplazamiento, proyectos de máquinas especiales y proyectos mecatrónicos. Algunas de las colaboraciones institucionales del LabRob son: Nacionales: REDE MANET (Manufacturing Automation Network – Red Nacional de Automatización de la Manufactura), Instituto Nacional de Traumato-Ortopedia (Min. Salud), SENAI y CENPES/Petrobras, entre otras. Internacionales: Technische

Universität Hamburgo-Harburg (tecnología submarina), Politécnico di Milano (robótica) y Hirosaki University (robótica), entre otras. El grupo contribuye continuamente en la formación de recursos humanos a nivel de graduación, maestría e doctorado.

El LabRob en los últimos años ha realizado proyectos de consultorías para empresas como Petrobras S.A., TV Globo Ltda., CSN, INFRAERO, Mattedi, Maquesonda y Tecnoflex Engenharia Ltda., entre otras. En los últimos años fueron construidos 14 prototipos.

### Mecatrónica y proyectos de máquinas especiales

El grupo de proyectos de máquinas viene trabajando en investigaciones y desarrollos de equipos y sistemas en las áreas de automatización de sistemas industriales, proyectos de máquinas especiales, robótica y tribología.

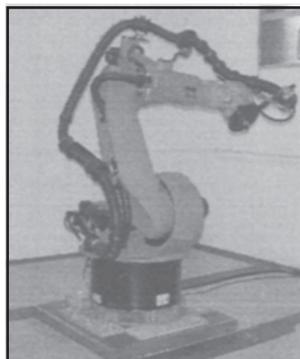


Fig. 1. El LabRob posee una celda de robótica KUKA KR-125/3 – certificado como “KUKA.

### Biomecánica, instrumentación y robótica médica

En las áreas de biomecánica, instrumentación y robótica médica, el grupo de proyecto de máquinas trabaja en el desarrollo de sistemas auxiliares para el análisis clínico, así como el modelamiento dinámico de fenómenos biológicos. Entre los diversos campos de actuación del grupo, se destacan, el análisis de marcha, el desarrollo de equipos para el análisis biomecánico y el proyecto de sistemas robóticos para el área médica.



Fig. 2. Dispositivo Auxiliar para la locomoción de Amputados de Miembros Inferiores: Prótesis para Miembro Inferior.

## Robótica submarina, diseño de vehículos autónomos y remotos

En las áreas de robótica submarina, proyectos de vehículos autónomos y maridados, el grupo de proyecto de máquinas trabaja en las siguientes áreas: diseño de ROV's (Remotely Operated Vehicles) y AUVs (Autonomous Underwater Vehicles); diseño de vehículos para inspección de ductos PIG (Pipeline Inspection Guided).

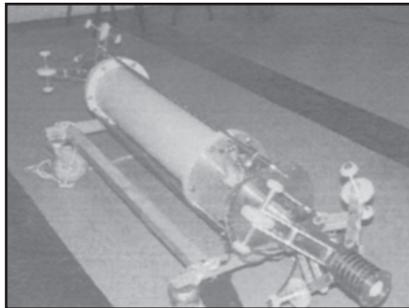


Fig. 3. Diseño mecánico de un sistema para control y evaluación de la espesura de tintas en ductos.



Fig. 4. Diseño mecatrónico de robots para transmisión de TV.

### PUBLICACIONES E INVESTIGACIONES DESARROLLADAS

#### Control por modos deslizantes de sistemas dinámicos con zona muerta aplicado al posicionamiento de ROV's

Debido al grande avance tecnológico en las últimas décadas, se tomó posible la utilización de vehículos robóticos para la exploración submarina. Estos vehículos, frecuentemente llamados ROV (Remotely Operated underwater Vehicle), están sustituyendo a los sumergibles en la realización de tareas que ofrecen riesgo de vidas humanas. Durante la ejecución de una determinada tarea con un vehículo submarino, el operador necesita monitorear y controlar una serie de parámetros. Si alguno de los parámetros, como por ejemplo, la posición y la orientación del vehículo, son manipulados automáticamente por un sistema de control, la teleoperación del ROV, puede ser increíblemente facilitada.

A partir de la evaluación experimental, se verifico, que el sistema de propulsión de un ROV puede presentar no linealidades del

tipo zona muerta. Este proyecto describe el desarrollo de una estrategia de control robusto y adaptativo para sistemas no lineales inciertos con zona muerta desconocida. La estabilidad del sistema en lazo cerrado fue demostrada a través de la teoría de estabilidad de Liapunov y con la ayuda del lema de Barbalat [2].

La metodología propuesta fue aplicada también a problemas de posicionamiento dinámico de ROV's y los resultados fueron presentados con el fin de comprobar el rendimiento y desempeño del sistema de control.

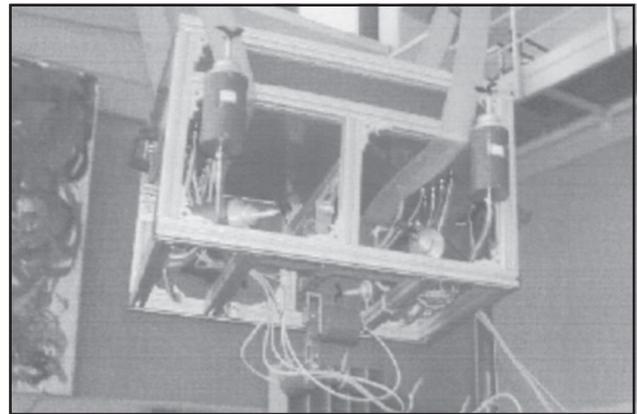


Fig. 5. Vehículo submarino de operación remota AEGIR (An Experimental General-purpose Internet-based underwater Robot).

#### Monitorización de un robot de inspección interna de oleoductos GIRINO

Uno de los mayores desafíos en el área de la operación de oleoductos submarinos es la presencia de bloqueos procedentes de la acumulación de hidratos y parafinas. Las técnicas de mantenimiento e inspección interna de tuberías, practicadas hasta hoy, implican en procesos difíciles de riesgo para con las personas y equipos envueltos en las actividades diarias de operación. El G.I.R.I.N.O. (Gabarito Interno Robotizado de Incidencia Normal al Oleoducto) es un robot desarrollado por el Laboratorio de Robótica del área de Tecnología Submarina del Centro de Investigaciones de Petrobras, que pretende buscar las vías con menos riesgos en el proceso de inspección interna de ductos, cuyos movimientos de desplazamiento son generados por la energía hidráulica. Para cumplir las funciones de desplazamiento e inspección, fueron realizados mediante una monitorización constante de los movimientos internos del robot y el estudio de la acción que ejerce en diversos procesos. En la Figura 3 es presentada una herramienta que será transportada por el GIRINO para inspección de la espesura de tintas en ductos.

El proyecto se centra en el monitoreo de la operación del GIRINO obteniendo informaciones sobre sus partes, con el fin de

certificar el funcionamiento normal del robot y el reconocimiento de posibles fallas en la operación. Por tanto, se realiza un análisis de los componentes de captación, procesamiento y visualización de señales disponibles en la industria que completan los requisitos básicos de desempeño del robot.

### Estudio de osciladores no-lineales mutuamente acoplados, aplicados en la locomoción de un robot bípedo

El objetivo principal de este trabajo, es la simulación de los patrones de locomoción bípeda, usando un generador central de patrones, formado por un conjunto de osciladores no-lineales mutuamente acoplados. Fue analizado un modelo locomotor bidimensional con los tres determinantes más importantes del modo de andar, que ejecuta movimientos paralelos al plano sagital. Usando osciladores con razón entera de frecuencia, fueron determinados ciclos límites para el acoplamiento formado por tres osciladores (Fig. 7), simulando el comportamiento de los ángulos de las rodillas y la cadera [3, 4, 5]. Fue también realizado un análisis del comportamiento dinámico de los osciladores acoplados, usando conceptos de la teoría del caos. Considerando los análisis y gráficos generados, el sistema muestra resultados promisorios cuando es comparado a los análisis experimentales y de Fourier.

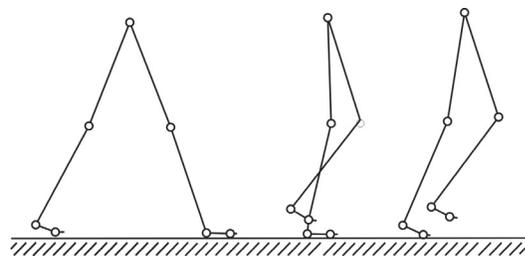


Fig. 6. Movimiento de las piernas, mostrando las fases de soporte doble y simple.

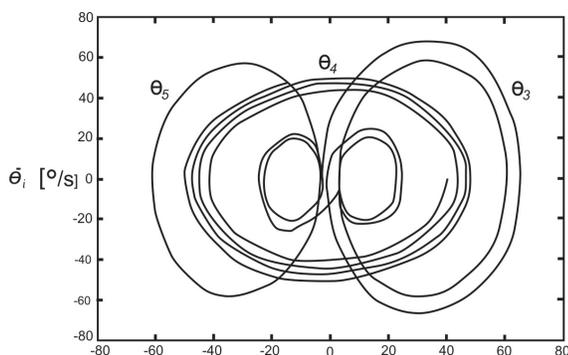


Fig. 7. Ciclos Límites dos 3 osciladores no lineales mutuamente acoplados.

Basado en los resultados de este estudio, se llegó a la conclusión que el uso de osciladores no-lineales mutuamente acoplados, puede representar una forma excelente para la generación de señales padrones de locomoción, permitiendo su aplicación en el

control de un robot bípedo. Este trabajo también representa una referencia para proyectos complejos, como el análisis tridimensional del mecanismo, adicionando nuevos grados de libertad al sistema estudiado, buscando aumentar la red de osciladores acoplados.

### Accidente estructural con descargador minero causado por fuerzas debidas al viento

Los descargadores mineros, son equipos con estructuras de acero de grandes dimensiones, sometidos a acciones operacionales cíclicas y a fuerzas impulsivas. Además de las acciones operacionales, la acción del viento debe ser considerada como una de las cargas variables principales en este tipo de estructura, considerando que el descargador debe no solo operar en condiciones seguras en cuanto a la estabilidad estructural, a las tensiones y desplazamientos inducidos, pero también debe estar apto para permanecer estacionado e inmovilizado sobre su base durante la ocurrencia de los vientos mas desfavorables.

El presente trabajo, realiza la descripción de un accidente ocurrido en el año 2003 con un descargador minero en el puerto de Sepetiba en el estado de Rio de Janeiro Brasil, provocado por la acción del viento, llevando a la pérdida completa del equipo, cuya masa total es de aproximadamente 1200 t. De modo que al describir técnicamente la acción del viento, las fuerzas aerodinámicas fueron calculadas con base teórica y, adicionalmente, fueron realizados ensayos experimentales en túnel de viento considerando los datos del viento registrados en el momento del accidente. El sistema hidráulico de los frenos fue igualmente analizado, permitiendo la comparación entre las fuerzas de frenado movilizadas por el equipamiento y las fuerzas de arrastre provocadas por el viento. Los resultados obtenidos fueron utilizados para la identificación de las causas del accidente, sirviendo, todavía, para auxiliar en la toma de decisiones por parte de las autoridades responsables por la operación del terminal de mineros de Sepetiba, con el objetivo de evitar la repetición de este tipo de accidentes en el futuro.

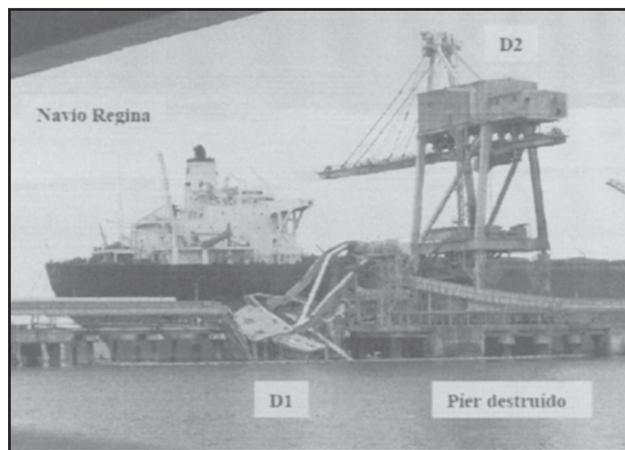


Fig. 8. Descargador D1 derrumbado en el mar después de destruir el deck de concreto de la base y provocar daños en el navío. El descargador D2 permanece en pie, averiado por el choque contra el D1 [6].

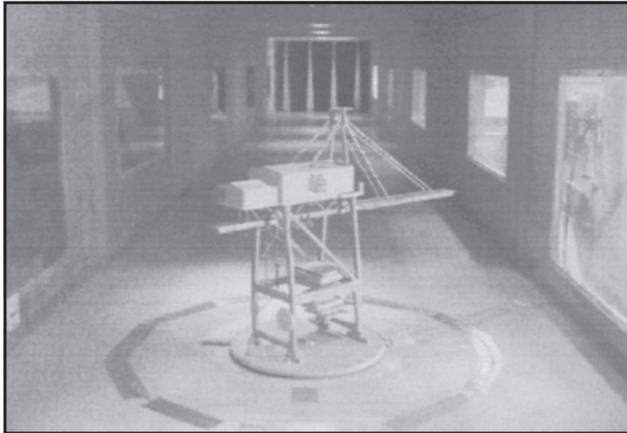


Fig. 9. Modelo reducido del descargador instalado para ensayos en el túnel de viento.

### Controladores fuzzy con aprendizaje aplicado en manipuladores hidráulicos submarinos

Manipuladores hidráulicos submarinos son generalmente sistemas difíciles de ser modelados y presentan diversas no-linealidades en su comportamiento dinámico. Estos tipos de manipuladores son operados, hoy en día, en una configuración maestro-esclavo con algoritmos de control tradicionales ejecutando tareas en ambientes peligrosos y no estructurados. En estas condiciones, pueden ser ejecutadas actividades simples y con poco desempeño. Este trabajo presenta la aplicación de un controlador fuzzy especial en un manipulador hidráulico utilizado en actividades offshore. Este controlador se muestra capaz de lidiar con variaciones en los parámetros del sistema manteniendo siempre un desempeño pre-establecido. Es desarrollado un modelo completo de la dinámica del manipulador y son presentados los análisis de los resultados obtenidos con el controlador fuzzy adaptativo, así como comparaciones con un controlador proporcional convencional [9].

### Cinemática de un robot Hexápodo

Este trabajo desarrolla el estudio de la cinemática de un robot hexápodo. El estudio es realizado en etapas, donde inicialmente es estudiada la cinemática de una única pierna, seguido de su posicionamiento en el cuerpo del robot y de la cinemática del conjunto pierna y cuerpo del robot en los dos posibles casos, en que una pierna se encuentra apoyada en el suelo y libre. Además de esto, son presentados algunos modelos de modo de andar y desarrollado un estudio de la estabilidad estática del robot hexápodo y de la trayectoria de una pierna [7, 8].

### Estudio y diseño de un equipo de bajo costo para análisis de la marcha de amputados

Este proyecto presenta el estudio y diseño de un equipo de bajo costo para análisis de la marcha de amputados (Fig. 2).

La multidisciplinariedad de este proyecto, hace que el trabajo trascienda en diversas áreas del conocimiento, como: fisiología y anatomía humana dinámica de sistemas multicuerpos, mecánica de los sólidos, instrumentación y procesamiento de señales.

Este trabajo es un estudio dinámico de la locomoción de pacientes con amputación tranfemorales y el diseño de un sistema para análisis dinámico de fuerzas y momentos de fuerza que pueda ser utilizado en el análisis de estos pacientes [1].

### ACTUALIDAD

A lo largo de los últimos años el grupo del LabRob de la UFRJ, ha construido y consolidado una historia que lo coloca en una posición destacada en el escenario de la investigación y el desarrollo científico en el área de proyectos de máquinas, participando activamente en su campo de actuación, en los distintos eventos y proyectos que le competen.

Es inequívoca la posición de liderazgo, como polo irradiador, en el campo de la enseñanza y de la investigación, formando recursos humanos, promoviendo entrenamiento y consultorías para empresas en el país y en el exterior, desarrollando proyectos de investigación en cooperación con empresas e instituciones manteniendo convenios y alianzas y la caracterización de la actuación en el amplio espectro de la Ingeniería Mecánica.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Raptopoulos, L. S. C.: Estudo e Desenvolvimento de Equipamentos de Baixo Custo para Análise da Marcha de Amputados, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.
- [2] Bessa, W. M.; Dutra, M.S.; Kreuzer, E.: Thruster Dynamics Compensation for the Positioning of Underwater Robotic Vehicles Through a Fuzzy Sliding Mode Based Approach, COBEM - 18th International Congress of Mechanical Engineering, Ouro Preto (Brasil), 2005,
- [3] Dutra, M.S.: Bewegungskoordination und Steuerung einer zweibeinigen Gehmaschine (Coordinación del Movimiento y Control de un Robo con dos Piernas), Shaker Verlag, Aachen (Alemania), 1995.
- [4] Dutra, M. S.; Modeling of a bipedal locomotor using coupled nonlinear oscillators of Van der Pol, Biological Cybernetics, Springer Verlag, 2003.
- [5] Modeling of a bipedal robot using mutually coupled Rayleigh oscillators, Biological Cybernetics, Springer Verlag, 2004.
- [6] Batista, E. M.; Dutra, M. S.; LOREDO-SOUZA, A. M.; De Oliveira, T. J. L., Ação do Vento sobre Estrutura de Descarregador de Minério: Análise das Causas de Acidente

Estrutural Seguindo de Perda Total do Equipamento, Revista Desastres Naturales, Puerto Rico, 2005.

- [7] Mello, V. C.: Simulação de um sistema de controle para robôs hexápodes, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.
- [8] Netto, S. M. C.: Estudo e Projeto de um Robô Hexápode com Atuadores Utilizando Materiais com Memória de Forma, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, 2001.
- [9] Testi, L. B.: Controlador Fuzzy com Aprendizado Aplicado em Manipuladores Hidráulicos Submarinos, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, 2005.