

Estudio de caso de investigación de pregrado en mecatrónica: Contribuyendo a una mano robótica diestra

Michael A. Saliba*, David J. Cassar y María Axiak

Departamento de Ingeniería Industrial y de Manufactura

universidad de malta

Msida MSD 2080

Malta

*Autor correspondiente. Dirección de correo electrónico: michael.saliba@um.edu.mt

Abstracto

La importancia de implementar un fuerte enfoque basado en proyectos en la licenciatura educación en mecatrónica y la mejora adicional obtenida mediante la introducción En la literatura se ha destacado la importancia de un aspecto de investigación para estos proyectos. En este trabajo Documentamos nuestra experiencia en la inmersión del último año de pregrado en mecánica. estudiantes de ingeniería en el programa de investigación del Departamento de Industria y Ingeniería de Manufactura de la Universidad de Malta, a través de pregrado supervisado proyectos que se complementan año tras año y que eventualmente conducen a investigaciones válidas Publicaciones a nivel internacional. Nos centramos en la zona específica de las manos de los robots, y más tarde, un proyecto ampliado específico como estudio de caso. Primero describimos brevemente una selección

de proyectos de pregrado orientados a la investigación en esta área realizados durante los últimos doce años. Luego, el artículo se centra en un proyecto particular entre los descritos, que involucra el desarrollo de una mano robótica antropomórfica de ocho grados de libertad que se basa sobre observaciones tanto de los atributos como de las limitaciones de la mano humana. El robot La mano está destinada a ser utilizada como un dispositivo esclavo teleoperado, y un objetivo particular es Reducir tamaño y peso mediante la ubicación remota de todos los actuadores y sensores. El artículo ofrece una justificación detallada del diseño de la mano, seguida de descripciones del mismo. Sistemas cinemáticos, mecánicos, de actuación, detección y control de la construcción. prototipo. A esto le sigue una descripción de los procedimientos y resultados de calibración del sensor. El artículo concluye con una breve discusión sobre la importancia de este trabajo, abordando tanto en el aspecto educativo como en el de investigación, como en las direcciones futuras a seguir.

Palabras clave: educación mecatrónica, manos robóticas, teleoperación.

Introducción

La importancia de implementar un sólido aspecto de aprendizaje basado en proyectos en la licenciatura Varios autores han destacado la educación en mecatrónica (por ejemplo, [1, 2, 3, 4, 5]). Por lo general, la parte del proyecto de un programa de grado en Mecatrónica, o de un programa de Mecatrónica unidad de estudio, implica el diseño y fabricación de un sistema que incorpora mecánica Partes móviles controladas a través de circuitos electrónicos y que normalmente involucran sensores retroalimentación y/o interfaz con un controlador basado en computadora (es decir, un sistema mecatrónico). Algunas instituciones educativas han llevado el desafío un paso más allá y han Incorporó un elemento sustancial de investigación en los proyectos de los estudiantes de pregrado, ya sea

en un entorno de laboratorio (por ejemplo, [6]), o en un entorno industrial (por ejemplo, [7]). De hecho, la tendencia a

En otras áreas también se ha enfatizado la exposición de los estudiantes universitarios a un entorno de investigación.

de ingeniería mecánica (por ejemplo, [8, 9]), y se sabe que mejora en gran medida el aprendizaje

proceso.

El programa de licenciatura en Ingeniería de la Universidad de Malta, mientras

experimentando numerosos cambios a lo largo de los años, siempre ha incorporado un importante proyecto

que realiza el estudiante durante el último año de estudios. Cada proyecto es único,

y las diversas áreas temáticas cubiertas y los títulos de los proyectos han dependido del estudiante

intereses, experiencia del personal académico y recursos disponibles. Durante los últimos quince años, un

Un porcentaje sustancial de los proyectos de último año (cuarto) han implicado una sólida investigación.

elemento que a menudo conduce directamente a publicaciones de investigación a nivel internacional. En esto

trabajo documentamos algunos de los resultados logrados utilizando este enfoque en la Robótica y

Laboratorio de Automatización Industrial (RIAL, antes Laboratorio de Automatización Industrial,

IAL) del Departamento de Ingeniería Industrial y de Manufactura (DIME) de la

Universidad de Malta (UM). Nos centramos en un área de investigación específica dentro del campo de

Mecatrónica, y luego se centrará más en un proyecto ampliado como estudio de caso específico.

Nuestros resultados muestran que este enfoque sirve no sólo para mejorar la experiencia educativa

de los estudiantes, sino también para darles una ventaja en la realización de contribuciones de investigación válidas.

en su campo de interés recién elegido.

Durante los últimos doce años, una de las principales actividades de investigación en curso dentro de la RIAL

ha involucrado estudios relacionados con manos de robots. La investigación ha involucrado principalmente a los

identificación e investigación de conceptos novedosos que se pueden aplicar a esta clase de dispositivos. Al mismo tiempo se han desarrollado varios prototipos manuales en el laboratorio, principalmente para probar estos conceptos. Estos proyectos de investigación han contado con la aportación de miembros del personal académico, investigadores dedicados, estudiantes de posgrado y, a menudo, también estudiantes de último año de ingeniería. La participación de los estudiantes de pregrado. estudiantes ha significado que este trabajo, si bien proporciona resultados de investigación válidos por derecho propio, también ha sido una piedra angular de la educación universitaria en mecatrónica dentro del departamento departamento Hemos seleccionado un pequeño número de proyectos en este ámbito para personas mayores. Los estudiantes de pregrado dieron la mayor contribución, y primero describimos estos proyectos. brevemente y mostrar los resultados obtenidos. A continuación, el artículo se centra con más detalle en uno de estos proyectos, que implican el desarrollo de una diestra mano robótica con distancia actuadores y sensores ubicados.

Este trabajo tiene un doble objetivo: presentar los resultados del trabajo realizado para desarrollar el mano robótica; y resaltar la contribución de esta actividad investigadora y de otras similares. proyectos a la educación en mecatrónica dentro de DIME.

Una breve introducción a las diestras manos de los robots

A nivel mundial, el trabajo de investigación apunta al desarrollo de una mano robótica verdaderamente diestra, y en particular la emulación de la mano humana, ha estado en marcha durante más de un siglo. un cuarto de siglo. Se considera ampliamente que los trabajos fundamentales a este respecto han sido los llevados a cabo en la Universidad de Stanford (la "mano Stanford/JPL" [10]), y en el La Universidad de Utah culmina con el desarrollo de la "mano diestra de Utah/MIT"

(UMDH) [11], a principios y mediados de los años 1980. Incluso en la versión inicial del diseño reportada en [11],

La UMDH ya tenía un grado relativamente alto de similitud geométrica y funcional con

la mano humana (es decir, antropomorfismo), e incluía tres dedos y un opuesto

pulgar con 16 articulaciones en total, así como sensores de tacto, fuerza y posición de las articulaciones. En

En particular, los actuadores UMDH se ubicaron de forma remota, para reducir el peso y liberar

espacio en la propia mano.

En los años siguientes, se ha ido investigando el desarrollo de diestras manos robóticas.

prolífico, y un gran número de modelos, con diferentes características y propiedades, y

Utilizando varias tecnologías diferentes, se han desarrollado en numerosas instituciones.

en todo el mundo (por ejemplo, [12, 13, 14]). El objetivo primordial en la mayoría de estos casos ha seguido siendo

reproducción de las características y funciones de la mano humana, la razón principal de esto

siendo el potencial para una mejor compatibilidad con la multitud de objetos que

Originalmente fue diseñado para la manipulación humana, y con multitud de tareas.

que originalmente habría estado destinado a la implementación humana.

Muestra de proyectos de investigación de pregrado: Hacia una mano robótica diestra

En la RIAL se llevan a cabo investigaciones en este campo desde hace más de una década, muchas veces

involucrando, en diversos grados, estudiantes de último año de ingeniería. En muchos casos,

Los proyectos específicos asignados a estudiantes universitarios se basan en los resultados de proyectos anteriores.

proyectos, y de esta manera los estudiantes tienen un claro sentido de contribución a una creciente

Programa de I+D dentro del laboratorio. Siempre que hay resultados que alcanzan un

estándar adecuado, se anima a los estudiantes a liderar o contribuir activamente a,

una publicación de investigación basada en el proyecto. Por lo tanto, estos proyectos combinan una parte importante de la educación universitaria en mecatrónica dentro del departamento, tanto en los niveles teórico y práctico, con un aporte válido a la investigación productiva actividad. En esta sección revisamos algunos de los logros alcanzados bajo este programa.programa.

En 2000, se desarrolló una pinza de tres dedos y nueve articulaciones, equipada con una resistencia sensible a la fuerza (FSR). sensores de fuerza en las yemas de los dedos e incorpora un sensor fotoeléctrico difuso de proximidad de la palma, Fue desarrollado para su uso en operaciones de ensamblaje automatizadas [15]. Un objetivo importante de Este trabajo pretendía demostrar que se podía lograr un grado considerable de versatilidad. incluso usando un solo actuador para toda la mano, mediante el uso de ingeniosamente diseñados Sistemas mecánicos, de transmisión y sensoriales. Entre 2001 y 2005, esta pinza fue Integrado en un sistema de transferencia de material flexible, basado en visión y robot, que podría reconocer, localizar y recoger diferentes elementos colocados aleatoriamente en una cinta plana en movimiento transportador [16]. La figura 1 muestra la pinza versátil y su aplicación flexible. sistema de automatización.

[Tome la Figura 1]

En 2001, se diseñó y desarrolló un nuevo sistema robótico de mano y muñeca, más antropomórfico. construido. La mano tenía dos dedos y un pulgar opuesto, y cada dedo constaba de dos Articulaciones acopladas pasivamente y accionadas por un motor independiente. La muñeca constaba por separado. Juntas accionadas de cabeceo y balanceo, de modo que en total el sistema tenía cinco grados de libertad. El

El trabajo se centró en replicar lo más fielmente posible la forma, el tamaño, los movimientos naturales y fuerzas aplicadas de la mano humana, manteniendo la complejidad de la mano del robot y muñeca al mínimo. Los requisitos de fuerza de diseño se obtuvieron a través de una extensa serie de experimentos para medir las fuerzas de agarre humanas, y las articulaciones de cada robot eran dígitos Acoplado para moverse en sucesión mediante un novedoso mecanismo de conmutación pasiva. El original El modelo fue impulsado por cinco motores paso a paso ubicados remotamente y teleoperados en modo abierto. Modo de bucle a través de una consola de entrada basada en perillas y usando las entradas analógicas y digitales. salidas de una tarjeta de adquisición de datos montada en un PC. Durante 2002 y 2003 una mano entera El dispositivo de entrada de posición (guante) [17] fue desarrollado para teleoperar la mano del robot. El guante incorporó una serie de características nuevas que no se encontraban previamente en la literatura, incluyendo medición de la posición de balanceo del antebrazo humano y una novedosa capacidad de ajuste para adaptarse a una amplia gama de tamaños de manos humanas. En 2005, el accionamiento manual se convirtió en servo. control, y los resultados de este proyecto manual completo se publicaron en [18]. El robot La mano y el dispositivo de entrada del guante se muestran en la Figura 2.

[Tome la Figura 2]

Durante 2004 y 2005 se desarrolló un nuevo dedo robótico antropomórfico, accionado mediante Se desarrollaron motores CC en miniatura [19]. Este dedo se basó estrechamente en el humano. contraparte, e incorporó una articulación de abducción/aducción (guiñada) y tres articulaciones de flexión/ juntas de extensión (paso). La junta de guiñada y las dos primeras juntas de cabeceo se accionaron usando motores independientes, mientras que la junta de paso más externa estaba acoplada mecánicamente a la articulación media de manera que reproduzca la relación de movimiento del equivalente humano. El

El dedo del robot se muestra en la Figura 3. Este proyecto también incluyó un análisis cinemático completo. (incluidos análisis de posición, velocidad y fuerza y planificación de trayectoria de movimiento) y simulación del nuevo dedo robot. El artículo también propuso una relación ideal de longitud de falange (enlace) para Maximice el volumen del espacio de trabajo para un dedo antropomórfico con esta estructura de articulación.

[Tome la Figura 3]

En 2006, se llevó a cabo una serie de experimentos para medir la destreza manual humana mientras se Se llevó a cabo la restricción de ciertos rasgos de la mano, con el fin de deducir la contribución de las características seleccionadas a la destreza manual general [20]. Más experimentos se llevaron a cabo en 2008 [21]. Estos experimentos estaban destinados a proporcionar directrices sobre Priorización y selección de características al diseñar manos de robots antropomórficos.

La última mano robótica antropomorfa de RIAL, que es el tema principal de este artículo, fue desarrollado entre 2006 y 2009. El enfoque principal en este modelo era mover todos los actuadores y sensores lejos del dispositivo principal, para eventualmente minimizar el peso de la mano y maximizar las características de destreza y rendimiento relacionadas con el espacio.

El diseño preliminar y la primera versión del prototipo se han presentado en [22].

En el resto de este trabajo, la filosofía detallada detrás del diseño de la mano y la

Se proporcionan detalles de la última versión de diseño y prototipo, junto con un informe sobre el

Calibración de los sensores de posición y fuerza y el enfoque de control a utilizar para el mano.

Justificación del diseño de la mano.

Un objetivo principal en el diseño de esta mano RIAL fue maximizar el parecido con

características de la mano humana minimizando al mismo tiempo la complejidad y el coste del dispositivo. Este

Se abordó el objetivo realizando una revisión objetiva de la mano humana, para

Entendemos no sólo las características de este órgano natural, sino también las muchas veces descuidadas

Restricciones y limitaciones en su estructura y funcionamiento. Estas limitaciones claramente tienen

poco efecto perjudicial sobre la destreza de la mano humana, pero pueden tener profundos

Implicaciones para la simplificación del diseño en una mano robótica.

Uno de los primeros puntos a tener en cuenta es que la mayoría de los músculos que afectan el dedo humano

En realidad, los movimientos se localizan en el antebrazo y no en la mano misma. la mano humana

Por lo tanto, se utilizan principalmente actuadores ubicados remotamente. Así, dondequiera que haya estado una mano robótica

construido utilizando actuadores incorporados, sus creadores de hecho han intentado lograr algo

que ni siquiera la mano natural ha logrado o elegido realizar. Básicamente, al permitir

la concesión para localizar los fuertes (y grandes) actuadores (músculos) en el antebrazo, el

El ser humano ha logrado desarrollar una mano pequeña y ágil, pero fuerte.

Una segunda nota es que, si bien se puede modelar la mano humana en términos generales para que tenga 21

grados de libertad intrínsecos (por ejemplo, [23]), estos movimientos están de hecho sujetos a una cantidad considerable

número de restricciones. De particular interés son las limitaciones de la posición de las articulaciones de los dedos en

flexión y en movimiento lateral (abducción/aducción), y el movimiento acoplado de los dos

articulaciones más externas de cada dedo [24]. Al tomar conocimiento de algunos de estos movimientos

restricciones y traducirlas en relajaciones de diseño, se observa que la destreza de un

La mano del robot puede no reducirse significativamente si (i) las articulaciones de los dedos solo se permiten de forma limitada. movimiento como en la mano humana; (ii) las articulaciones más externas no están diseñadas para moverse de forma independiente y (iii) las formas laterales de movimiento de los dedos son limitadas. Además, puede ser posible omitir el dedo meñique por completo con poca penalización en la destreza, como se indica en [20].

Un tercer punto a destacar es que la detección de fuerza significativa en el cuerpo humano se proporciona por sensores especializados (órganos tendinosos de Golgi) que se encuentran en la interfaz entre el músculos y tendones [25]. Así, cuando un ser humano agarra un objeto con la mano, Parte de la sensación y evaluación de la fuerza aplicada proviene de una sensación de tensión del tendón en el antebrazo. Por tanto, la mano humana está equipada de forma remota. Se encuentran sensores de fuerza basados en la tensión, y este concepto también se puede aplicar en un entorno artificial. mano, contribuyendo así a una estructura de la mano más ligera y sencilla. Además, el Justo La diferencia notable (JND) en la detección de la fuerza de agarre por parte de la mano humana es de aproximadamente el 7% [26], es decir, la resolución de la fuerza de agarre es significativamente baja.

Un cuarto punto está relacionado con la detección de la posición articular en la mano humana, en ausencia de retroalimentación visual. Los autores observan que con los ojos cerrados resulta difícil mover el articulaciones de los dedos en pequeños incrementos angulares o para volver con precisión a los ajustes previos. posiciones. Además, tras unos segundos sin movimiento, la sensación del dedo La posición se pierde y puede resultar difícil incluso determinar si el dedo está flexionado. O no. Las imprecisiones en la detección de la posición de los dedos en ausencia de visión han sido bien documentado en la literatura (por ejemplo, [27, 28]). Así, la mano humana parece depender en gran medida

en gran medida en la detección visual para la retroalimentación de la posición de las articulaciones. La JND para los cargos de la

Se ha descubierto que las dos articulaciones más internas del dedo humano miden aproximadamente 2,5o [26].

Además de depender de los ojos humanos para la retroalimentación visual, la mano humana depende

casi exclusivamente en el cerebro humano para su control. En el contexto de estas dos grandes

dependencias, se puede considerar que la mano humana funciona en gran medida como un

¡Teleoperado, más que un dispositivo autónomo! Así, las manos robóticas en la literatura que

Centrarse en el control autónomo mediante la instalación de sensores de alta resolución y

Los controladores avanzados montados en la propia mano pueden, de hecho, establecer objetivos que superan

Las especificaciones de diseño marcadas por la mano anatómica humana.

Los hechos anteriores han sido utilizados como principios rectores en el diseño de la RIAL.

mano diestra. La mano está destinada a ser utilizada únicamente como dispositivo esclavo teleoperado,

Guiado por un humano que usaría un dispositivo de entrada/salida tipo guante maestro y que

Actúa como controlador con la ayuda de la visión y la retroalimentación de fuerza. Sensores de posición en el

El dispositivo de guante proporcionará las señales de referencia para el control de la posición bruta del robot.

mano, con el control fino de la posición que se obtiene a través de la retroalimentación visual. Este

La estrategia reduce en gran medida las demandas sobre el sistema de detección de posición inherente del robot.

mano.mano. Se prevé que la retroalimentación de fuerza en el dispositivo del guante se efectúe a través de un

Sistema de actuador y cable que proporciona resistencia al movimiento del dedo humano.

mediante la aplicación de una tensión de cable adecuada, como se describe en [29] y [30], y

como también suele ser el caso en otros guantes hápticos (por ejemplo, [31, 32]). Así, en la RIAL

mano del robot, basta con detectar únicamente las tensiones del cable para obtener retroalimentación de fuerza durante el agarre,

Con el objetivo de utilizar estas lecturas para controlar las tensiones análogas del cable en el Sistema de actuación por retroalimentación del guante maestro. Se prevé que mientras se lleva puesto el guante háptico, el controlador humano aprenderá rápidamente a interpretar la resistencia al dedo El movimiento como fuerza de agarre.

Estructura cinemática y mecánica de la mano.

La Mano Robot RIAL se basa en un diseño exoesquelético con cable interno y polea sistemas, y tiene tres dedos y un pulgar oponible. Las articulaciones están ubicadas en posiciones Similares a los que se encuentran en la mano humana. Cada uno de los dedos tiene tres articulaciones de flexión, con los dos interiores accionados independientemente, y con la junta exterior acoplada pasivamente a la junta media utilizando una versión mejorada del acoplamiento introducido en [19] con un relación de acoplamiento de $1:\frac{2}{3}$ (ver figura 4). El pulgar tiene dos articulaciones de flexión acopladas de la misma forma. manera como arriba y accionado por un actuador, así como una junta giratoria para llevarlo hacia y a oposición a los dedos, accionado por un actuador independiente (figura 5).

[Tome la Figura 4]

[Tome la Figura 5]

El actual prototipo de mano robótica, destinado a experimentación preliminar y prueba de concepto, emplea una estructura de acero inoxidable y pesa 1,48 kg. Está diseñado para velocidades articulares de aproximadamente 90°/s y fuerzas de agarre con la punta de los dedos de 15 N. Es ligeramente más grande que

el tamaño promedio de la mano de un hombre humano, con una longitud total (palma más media dedo) de 210 mm. En la figura 6 se muestra un dibujo CAD y una fotografía de la mano.

[Tome la Figura 6]

Un sistema de actuación y detección remoto e integrado

El sistema de accionamiento de la mano se compone de ocho motores DC ubicados remotamente, uno para cada grado de libertad. Cada motor está vinculado a una caja reductora y a un husillo, y está conectado a una junta de dedo a través de un sistema de transmisión de cable enfundado de doble efecto. Este sistema de transmisión por cable es análogo al sistema de tendones que se encuentra en el ser humano. mano.

La mano está además equipada con sensores de posición y fuerza que también se controlan de forma remota. ubicados y que estén integrados con el sistema de transmisión por cable. Hay una posición y un sensor de fuerza para cada uno de los ocho DOF. Ambos tipos de sensores se basan en lineales. potenciómetros, como se ilustra en la figura 7. Un esquema del accionamiento integrado y El sistema de detección está incluido en la figura. El movimiento articular se logra mediante la posición. Control de los motores DC.

[Tome la Figura 7]

Interfaz de computadora

El sistema utiliza dos DAQ NI USB-6009 con ocho canales de entrada analógica cada uno, y

El software requerido y la interfaz gráfica se diseñaron utilizando LabVIEW Ver. 7.1

[33]. La Figura 8 muestra el panel frontal del software de detección de posición. el angular

Las posiciones de las juntas se calculan a partir de los voltajes de entrada utilizando diferentes ecuaciones que se obtuvieron mediante la calibración individual y separada de cada sensor de posición.

Los resultados calculados se muestran en contadores y estos valores representan la estimación.

Posición angular de cada articulación. El sistema de detección de fuerza utiliza un diseño de software similar, donde la tensión del cable se calcula a partir del voltaje de salida del circuito del sensor de fuerza.

[Tome la Figura 8]

El programa de demostración también permite al usuario mover todas las articulaciones de los dedos para posiciones especificadas según sea necesario. El usuario introduce las posiciones articulares deseadas y tres

Los LED para cada junta en el panel frontal le indican al usuario si las juntas se están cerrando o apertura, o que las juntas estén dentro de dos grados de la posición deseada.

Calibración de los sensores de posición y fuerza.

Para transformar las lecturas de voltaje del circuito del sensor de posición en las respectivas

ángulos, era esencial encontrar una relación para cada unión entre la lectura de voltaje

y la posición angular real de la articulación. Estas relaciones se obtuvieron por curva

Adaptación a extensos datos de calibración experimental, obtenidos utilizando un ángulo de articulación personalizado dispositivos de medición (ver figura 9). Las ecuaciones para todas las uniones se utilizaron luego en el

desarrollo del sistema de medición de posición basado en computadora descrito en el
sección previa.

[Tome la Figura 9]

Un gráfico típico de calibración de posición de articulación, basado en tres conjuntos de lecturas de quince valores
cada uno, se muestra en la figura 10. En la siguiente etapa, se realizó una medición de precisión para cada articulación.
realizado. Aquí, se tomaron quince lecturas de posiciones aleatorias para cada articulación, y el
El ángulo verdadero (medido físicamente) se comparó con el mostrado por el software, como
calculado a través de las ecuaciones obtenidas por calibración. Un resumen de los resultados de
Estos experimentos se pueden ver en la tabla 1.

[Tome la Figura 10]

[Tomar en la Tabla 1]

Como puede verse, los resultados obtenidos son bastante satisfactorios. Un error promedio global de sólo
Se obtuvo $1,85^\circ$ y un error máximo promedio de $3,9^\circ$. También se puede ver que el
La articulación de flexión del pulgar tiene un error promedio de sólo $0,6^\circ$ y un error máximo de 2° . Estos
Los errores se pueden mejorar utilizando dispositivos sensores de posición lineal de mayor calidad. En el contexto
de la justificación del diseño de la mano descrito anteriormente, estos resultados indican que hasta ahora
De hecho, la detección de posición se puede realizar con el método utilizado.

El sistema de detección de fuerza, o medición de la tensión del cable, fue calibrado para cada uno de los Ocho grados de libertad de la mano del robot. Esto se hizo cargando cada sensor en incrementos de 0,91 kg en un equipo de calibración, hasta una masa máxima de aproximadamente 20 kg. Cinco Se realizaron dichos ciclos para cada sensor, algunos de los cuales involucraron la descarga de pesos en lugar de la carga para comprobar la histéresis. El resultado positivo de este La etapa se puede ver en la figura 11, donde todos los puntos del gráfico se encuentran muy cerca de la curva de mejor ajuste. Las salidas de los circuitos del potenciómetro del sensor de fuerza se convierten para forzar lecturas usando LabVIEW, de una manera similar a la utilizada en el sensor de posición sistema.

[Tome la Figura 11]

Aspecto de educación integradora de este proyecto.

El enfoque adoptado en este proyecto ha sido involucrar con éxito a dos estudiantes universitarios estudiantes de último año. El primer estudiante (MA) trabajó en el desarrollo de los conceptos básicos. sistema mecatrónico y en el primer prototipo. Posteriormente, el segundo estudiante (DJC) trabajó en la actualización y perfeccionamiento del sistema, así como en la adquisición, Interpretación e implementación de los resultados de la calibración. Ambos estudiantes trabajaron bajo la orientación cercana y detallada de su supervisor (MAS) como asesor y para la Formulación detallada de la justificación y objetivos. Un dispositivo tan complejo como un La mano robótica mórfica presentaría un gran desafío antropomórfico para cualquier investigador, pero más Entonces, cuando participan estudiantes universitarios, hemos descubierto que tal desafío Proporciona una oportunidad única para que estos estudiantes apliquen sus diversos conocimientos pedagógicos.

adquirido habilidades de manera integrada y, al mismo tiempo, colocó considerables exigencias a su creatividad e ingenio. De hecho, el informe resumido presentado Aquí no se hace justicia al esfuerzo realizado por estos estudiantes en la extensa lluvia de ideas; revisión de literatura; discusión de investigación; generación de concepto de diseño, evaluación y selección; realización y desarrollo del diseño detallado del sistema integrado sistema mecatrónico; y la construcción, prueba, evaluación y calibración del producto final. sistema. Estos desafíos constituyen una excelente preparación para los estudiantes, ya sea para una carrera industrial o académica, particularmente cuando la atención se centra en la investigación y desarrollo.

Conclusión

Como se analizó anteriormente en la sección que trata sobre los fundamentos del diseño de la mano, el objetivo principal de este trabajo ha sido demostrar que centrándose tanto en las limitaciones como en las características de la mano humana, se podría desarrollar una mano artificial que potencialmente ser capaz de igualar el rendimiento del órgano natural en una medida significativa, Siempre y cuando las manos artificiales y naturales se aplicaran de manera similar y se compararan de manera igualdad de condiciones. En este trabajo se ha argumentado que la mano humana se considera distal en la muñeca, tiene las características de un dispositivo teleoperado, ya que depende en gran medida en el cerebro humano y en la retroalimentación visual para el control. Esta y otras observaciones hechas en la sección de fundamentos de este documento mitigar hacia requisitos menos estrictos para la sistemas de detección de posición y fuerza de una mano robótica, siempre que esté destinado a ser utilizado sólo en modo teleoperado, y más aún si el dispositivo maestro va a ser de toda la mano tipo de entrada/salida.

Un requisito necesario para el diseño de una mano artificial que se utilizará bajo estas condiciones, sigue siendo la replicación de la estructura mecánica y cinemática de la mano humana en la mayor medida posible, con el fin de permitir mejor la ejecución de la Muchas tareas complejas que pueden ser realizadas manualmente por humanos. En esto no puede haber atajo. Sin embargo, al replicar la mecánica de la mano humana, el físico Las limitaciones del órgano natural deben tenerse en cuenta y replicarse también, con el objetivo de de evitar el diseño excesivo de la mano del robot.

El modelo actual de la mano RIAL aún carece de una serie de elementos clave, relacionados con su Potencial para replicar el desempeño humano en un entorno remoto a través de la teleoperación. Uno de ellos es la retroalimentación táctil, un elemento sensorial que es crucial para el éxito. actuación por manos teleoperadas. Un segundo elemento que falta es la abducción/aducción. función, que a pesar de la observación hecha en la sección de fundamentos anterior aún puede ser ser fundamental para determinadas tareas. En tercer lugar, el número de grados de libertad independientes del El pulgar de la mano del robot es menor que el de la mano humana. Un cuarto desaparecido El elemento es el exterior suave y elástico de las yemas de los dedos, que se encuentra en la mano humana. puede contribuir enormemente al cumplimiento, la conformidad y la manipulación generales capacidad del órgano. Además, el uso de materiales más avanzados puede servir para reducir significativamente aún más el peso total de la mano, al tiempo que lo mejora El sistema de transmisión de cable enfundado puede apuntar a la reducción de la resistencia a la fricción en el sistema de actuación.

Muchas de estas cuestiones específicas relativas a la mano de la RIAL deberán abordarse principalmente por investigadores de posgrado/postdoctorado en el laboratorio. Sin embargo, al mismo tiempo, esta línea de investigación seguirá ofreciendo muchas oportunidades para estudiantes universitarios a participar en emocionantes, desafiantes y altamente educativos. proyectos de nicho, enriqueciendo la experiencia de aprendizaje mientras continúa brindando una contribución a la actividad de I+D del departamento.

Reconocimiento

Este trabajo ha sido financiado en parte por la Universidad de Malta mediante una subvención de investigación. números 73-528 y 31-353.

Referencias

- [1] CF Bergh, A. Kita e IC Ume, "Curso de desarrollo de mecatrónica en el Escuela de Ingeniería Mecánica de Georgia Tech", Actas de la Conferencia Internacional sobre Mecatrónica Inteligente Avanzada (AIM'99), Atlanta, Georgia, septiembre de 1999, pág. 459–465.
- [2] WR Murray y JL Garbini, "Proyectos de diseño final de mecatrónica en el Universidad de Washington", Actas de la Conferencia Internacional sobre Mecatrónica inteligente avanzada (AIM'99), Atlanta, Georgia, septiembre de 1999, p. 598–604.
- [3] Y. Altintas y EA Croft, "Ingeniería de diseño electromecánico: un progreso Informe y direcciones futuras para la educación en mecatrónica", Revista Internacional de Educación en ingeniería mecánica, 30/4 (2002), 325–339.

- [4] R. M. Parkin, "Un paradigma basado en proyectos para el aprendizaje en mecatrónica",
Actas de la Conferencia Internacional IEEE sobre Tecnología Industrial,
Maribor, Eslovenia, diciembre de 2003, pág. 808–812.
- [5] A. Price, R. Rimington, MT Chew y S. Demidenko, "Aprendizaje basado en proyectos en
Robótica y electrónica en el entorno de programas de pregrado en ingeniería",
Actas del Simposio Internacional IEEE sobre Diseño Electrónico, Pruebas y
Applications, Ciudad Ho Chi Minh, Vietnam, enero de 2010, págs. 188–193.
- [6] M. Acar y RM Parkin, "Educación en ingeniería para mecatrónica", IEEE
Transacciones de electrónica industrial 43/1 (1996), 106–112.
- [7] DJ Cox y A. Schönning, "Educación en ingeniería a través de la robótica y la mecatrónica,
y proyectos de automatización", Congreso Mundial de Automatización (WAC), Budapest, Hungría,
Julio de 2006.
- [8] D. Schaefer y JH Panchal, "Incorporación de la investigación en el diseño de pregrado
cursos: un enfoque centrado en patentes", Revista Internacional de Mecánica
Educación en ingeniería, 37/2 (2009), 98–110.
- [9] B. Stappenbelt, "Proyecto de investigación de pregrado en ingeniería mecánica en un
Entorno de aprendizaje activo", Revista Internacional de Ingeniería Mecánica.
Educación, 37/4 (2009), 326–340.
- [10] KS Salisbury y B. Roth, "Cinemática y análisis de fuerza de articulaciones".
manos mecánicas", Revista de Mecanismos, Transmisiones y Actuación en Diseño,
105 (1983), 35–41.

- [11] SC Jacobsen, JE Wood, DF Knutti y KB Biggers, "The Utah-MIT mano diestra: trabajo en progreso", *Revista Internacional de Investigación en Robótica*, 3/4 (1984), 21–50.
- [12] T. Mouri, H. Kawasaki, K. Yoshikawa, J. Takai y S. Ito, "Antropomórfico mano robot: mano Gifu III", *Actas de la conferencia internacional sobre control, automatización y sistemas (ICCAS2002)*, Jeonbuk, Corea del Sur, 2002, págs. 1288-1293.
- [13] Shadow Robot Company, "Diseño de una mano diestra para CLAWAR avanzado Aplicaciones", *Actas de la sexta conferencia internacional sobre escalada y robots andantes y tecnologías de soporte para máquinas móviles (CLAWAR 2003)*, Catania, Italia, 17-19 de septiembre de 2003.
- [14] H. Liu, P. Meusel, N. Seitz, B. Willberg, G. Hirzinger, MH Jin, YW Liu, R. Wei y ZW Xie, "La mano modular multisensorial HIT-DLR", *Mecanismo y Teoría de las máquinas*, 42/5 (2007), 612–625.
- [15] CM Seguna y MA Saliba, "El diseño del sistema mecánico y de control de un pinza robótica diestra", *Actas de la Conferencia Internacional IEEE sobre Electrónica, circuitos y sistemas (ICECS 2001)*, Malta, septiembre de 2001.
- [16] MA Saliba, G. Spiteri, B. Grech Sollars y K. Farrugia, "Un sistema altamente flexible, sistema automatizado de clasificación y transferencia de piezas", *Actas del 18º I.Mech.E. Conferencia internacional sobre automatización flexible y fabricación inteligente (FAIM 2008)*, Skövde, Suecia, junio de 2008, págs. 428–435.
- [17] MA Saliba, F. Farrugia y A. Giordmaina, "Un dispositivo de entrada de guante compacto para Mida las posiciones de las articulaciones de la mano, la muñeca y el antebrazo humanos para teleoperación

aplicaciones”, Actas de la Conferencia Internacional IEEE/APS sobre Mecatrónica y Robótica (MechRob 2004), Aquisgrán, Alemania, septiembre de 2004.

[18] MA Saliba, D. Camilleri y MJ Farrugia, “Desarrollo de una Mano y muñeca de robot antropomórfico para aplicaciones de teleoperación”, Actas de la Conferencia Internacional IEEE sobre Información y Automatización (ICIA 2005), Colombo, Sri Lanka, diciembre de 2005.

[19] N. Mifsud, A. M. Grech, M. A. Saliba y S. G. Fabri, “Desarrollo de una Dedo de robot antropomórfico: aspectos mecánicos y cinemáticos”, Actas de el 37º Simposio Internacional de Robótica IFR (ISR 2006), Munich, Alemania, Mayo de 2006.

[20] MJ Farrugia y MA Saliba, “Optimización de la mano del robot antropomórfico diseño a través de pruebas de destreza manual humana ”, Actas de la 37ª IFR Simposio Internacional de Robótica (ISR 2006), Munich, Alemania, mayo de 2006.

[21] MA Saliba, A. Chetcuti y MJ Farrugia, inédito.

[22] MA Saliba y M. Axiak, “Diseño de una mano robótica compacta y diestra con Actuadores y sensores ubicados remotamente”, Actas del 15º IEEE Conferencia Mediterránea sobre Control y Automatización (MED'07), Atenas, Grecia, Junio de 2007.

[23] WB Griffin, RP Findley, ML Turner y MR Cutkosky, “Calibración y Mapeo de una mano humana para telemanipulación diestra”, Actas de la Congreso y Exposición Internacional de Ingeniería Mecánica ASME; Dinámica Sistemas y controles, 69, 1145-1152.

- [24] J. Lin, Y. Wu y T. S. Huang, "Modelado de las limitaciones del movimiento de la mano humana",
Actas del Taller sobre movimiento humano (HUMO2000), Austin, Texas,
Diciembre de 2000.
- [25] B. Abernethy, S. Hanrahan, V. Kippers y LT Mackinnon, "La biofísica
fundamentos del movimiento humano", 2ª edición, Human Kinetics Europe Ltd., 2004.
- [26] HZ Tan, B. Eberman, MA Srinivasan y B. Cheng, "Factores humanos para el
diseño de interfaces hápticas que reflejan la fuerza", Actas del tercer congreso internacional
simposio sobre interfaces hápticas para entornos virtuales y sistemas de teleoperadores;
División de control y sistemas dinámicos ASME, DSC-Vol. 55-1 (1994), 353–359.
- [27] JP Wann y SF Ibrahim, "¿La propiocepción de las extremidades deriva?", Experimental
Investigación del cerebro, 91 (1992), 162–166.
- [28] FJ Clark, KJ Larwood, ME Davis y KA Deffenbacher, "Una métrica para
Evaluación de la agudeza en el posicionamiento de articulaciones y extremidades", Experimental Brain Research, 107.
(1995), 73–79.
- [29] DJ Cassar y MA Saliba, "Un guante de retroalimentación de fuerza basado en
Fluido magnetorreológico: cuestiones de diseño preliminares", Actas del 15º IEEE
Conferencia Electrotécnica del Mediterráneo (MELECON 2010), La Valeta, Malta,
Abril de 2010.
- [30] DJ Cassar y MA Saliba, "Un guante de retroalimentación de fuerza basado en
fluido magnetorreológico: desarrollo y evaluación de prototipos", Actas de
la 1ra Conferencia Internacional IEEE sobre Biónica y Biomecánica Aplicadas
(ICABB-2010), Venecia, Italia, octubre de 2010.

[31] Lógica VR, Cybergrasp, <http://www.vrlogic.com/html/immersion/cybergrasp.html>,

consultado el 15 de julio de 2011.

[32] S. Nakagawara, H. Kajimoto, N. Kawakami, S. Tachi e I. Kawabuchi, "An

mano maestra de múltiples dedos tipo encuentro que utiliza uniones tortuosas", Actas de

Conferencia Internacional IEEE sobre Robótica y Automatización, Barcelona, España,

Abril de 2005, págs. 2667–2672.

[33] Página web de NI Labview, <http://www.ni.com/labview/>, consultada el 15 de julio de 2011.

Tabla 1. Resumen de los resultados de la medición de la precisión de la posición de las articulaciones

Unirse	Error medio	Error máximo
rotación del pulgar	0,9€	2 ^{ah}
Flexión del pulgar	0,6€	2 ^{ah}
Articulación 1 del dedo índice ("MCP")	3.1o	6 ^{ah}
Articulación 2 del dedo índice ("PIP")	1,4€	3 ^{ah}
Articulación del dedo medio 1 ("MCP")	2,4€	4 ^{ah}
Articulación 2 del dedo medio ("PIP")	3.0o	5 ^{ah}
Articulación del dedo anular 1 ("MCP")	1,7€	4 ^{ah}
Articulación 2 del dedo anular ("PIP")	1,6€	5 ^{ah}

Leyendas de figuras

Figura 1. El sistema de automatización flexible; Recuadro: la pinza versátil.

Figura 2. La mano teleoperada y el dispositivo de entrada del guante; Recuadro: medición de fuerzas de agarre humanas.

Figura 3. El dedo del robot antropomórfico. Izquierda: extendida, con movimiento de guiñada;

Derecha: completamente flexionada.

Figura 4. El mecanismo de acoplamiento de cable y polea entre la junta 2 y la junta 3 del cable.

Dedo del robot, mostrado en configuraciones extendidas y parcialmente flexionadas.

Figura 5. Arriba: ángulo de giro natural del pulgar humano (aproximado); Abajo a la izquierda:

solapa de fijación del pulgar y mecanismo de rotación en la mano del robot; Abajo

derecha: unión del pulgar a la solapa, mostrando el giro de 20° del pulgar

Con respecto al eje de rotación del pulgar.

Figura 6. La nueva mano antropomorfa de la RIAL. Izquierda: dibujo CAD; Mano derecha

prototipo.

Figura 7. Esquemas de los sistemas de actuación y sensado de un dedo de la mano.

Arriba a la izquierda: sensor de posición del cable; Arriba a la derecha: sensor de fuerza del cable; Abajo: doble

Sistema de actuación de doble efecto, que muestra las ubicaciones de la posición y la fuerza.

sensores. El sistema de accionamiento/detección está ubicado de forma remota desde la mano, y

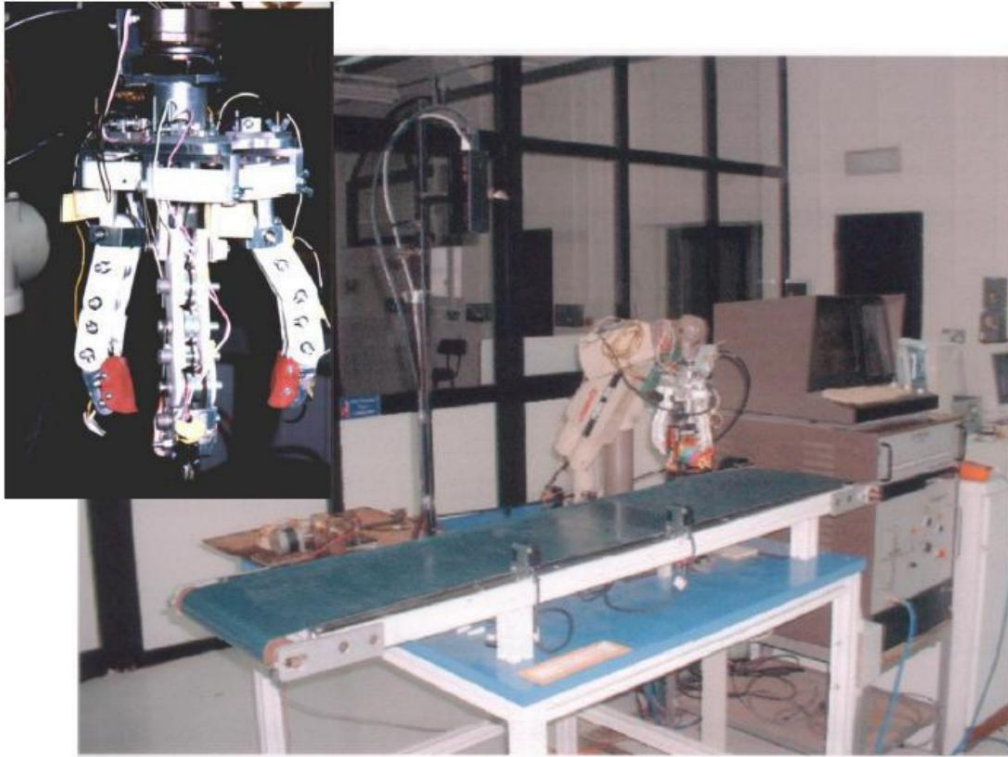
La transmisión se produce a través de cables enfundados flexibles.

Figura 8. Programa de detección de posición de LabVIEW: pantalla del panel frontal.

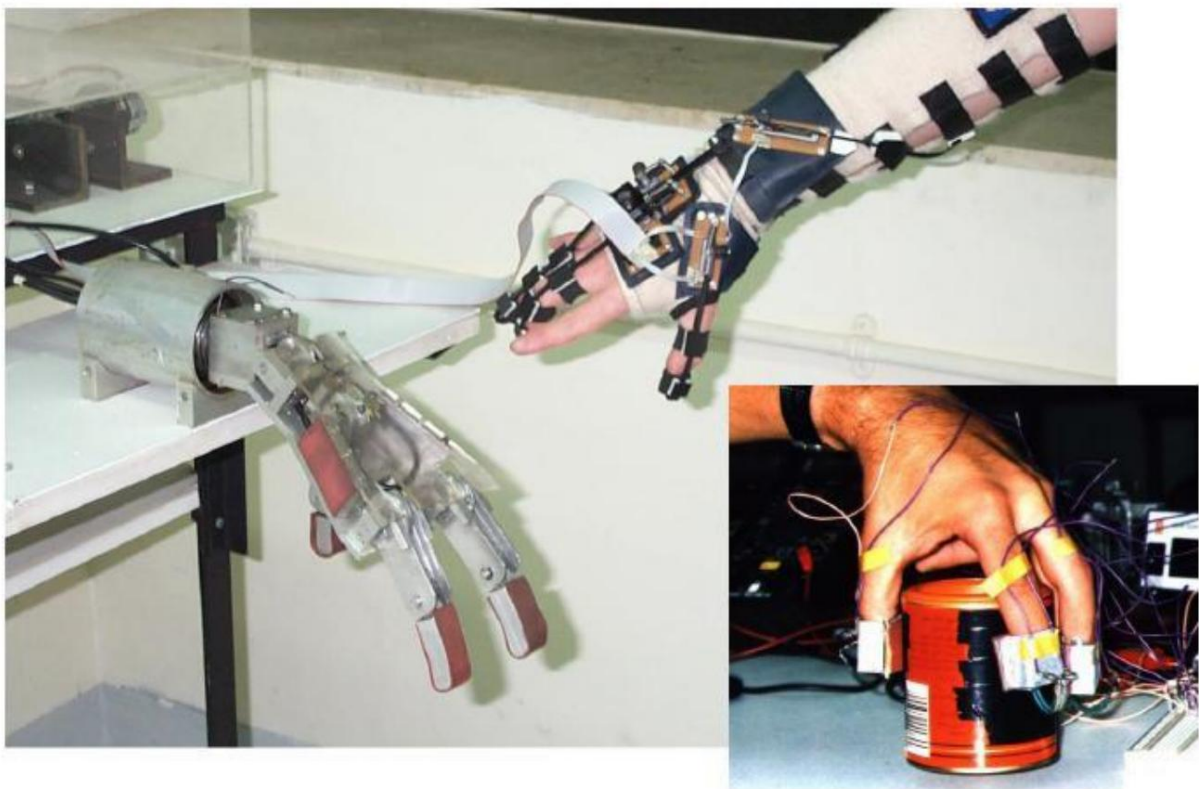
Figura 9. Dispositivos de medición de posición articular para calibración. Izquierda: más interior y articulaciones de flexión media del dedo; Derecha: articulación de rotación del pulgar.

Figura 10. Curva de calibración de posición para la articulación de flexión media del dedo medio.

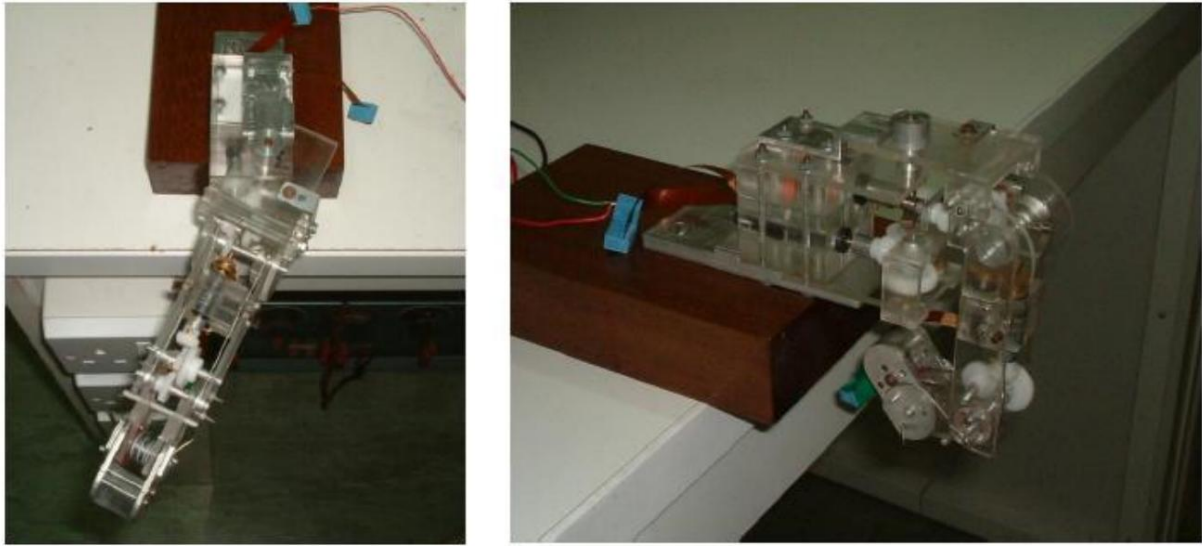
Figura 11. Curva de calibración del sensor de fuerza de la articulación de flexión media del dedo.



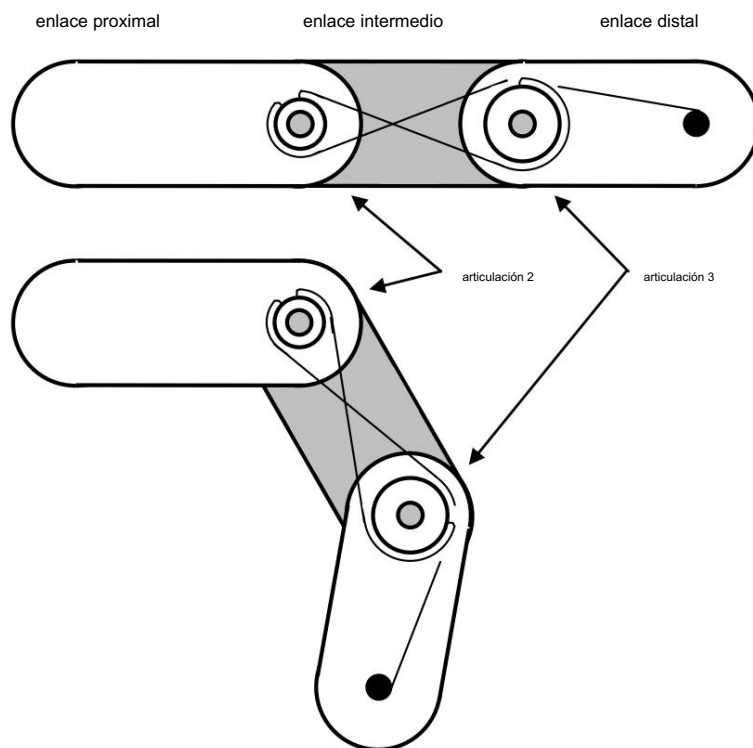
Higo. 1.



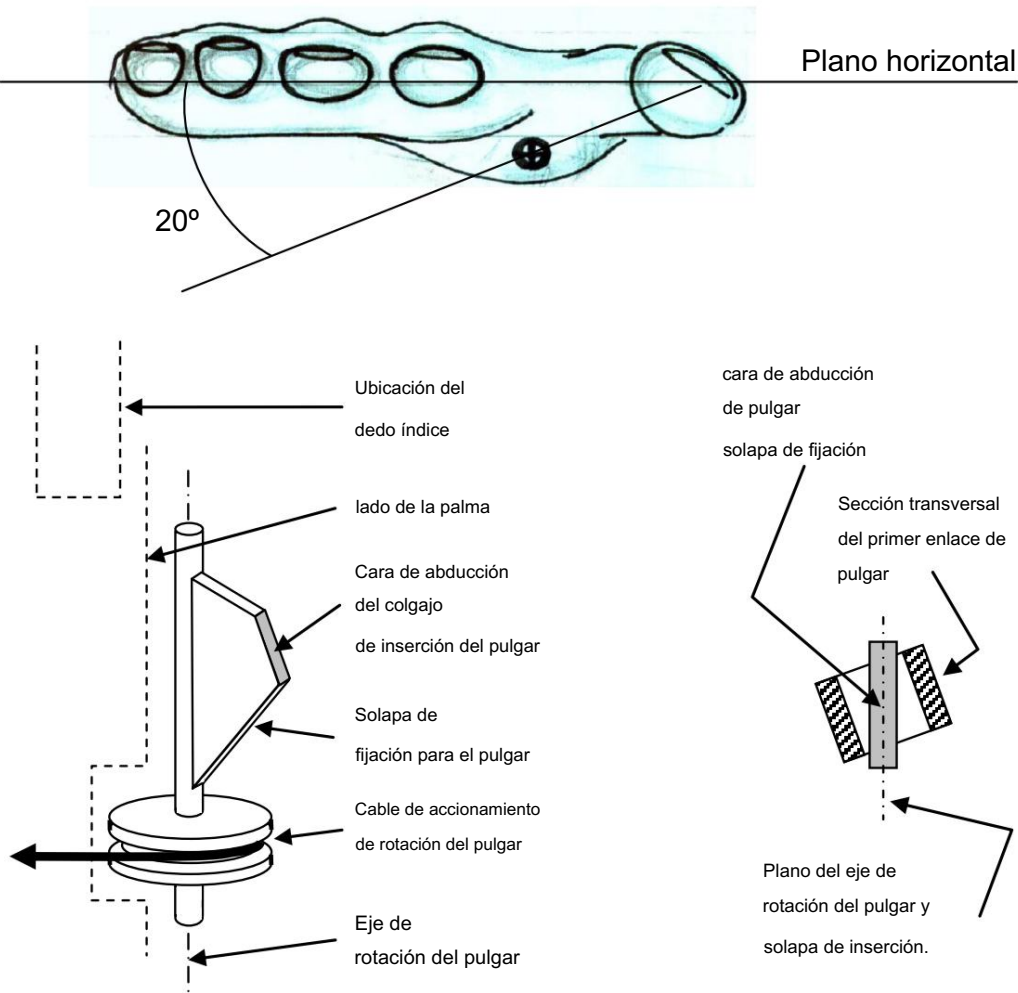
Higo. 2.



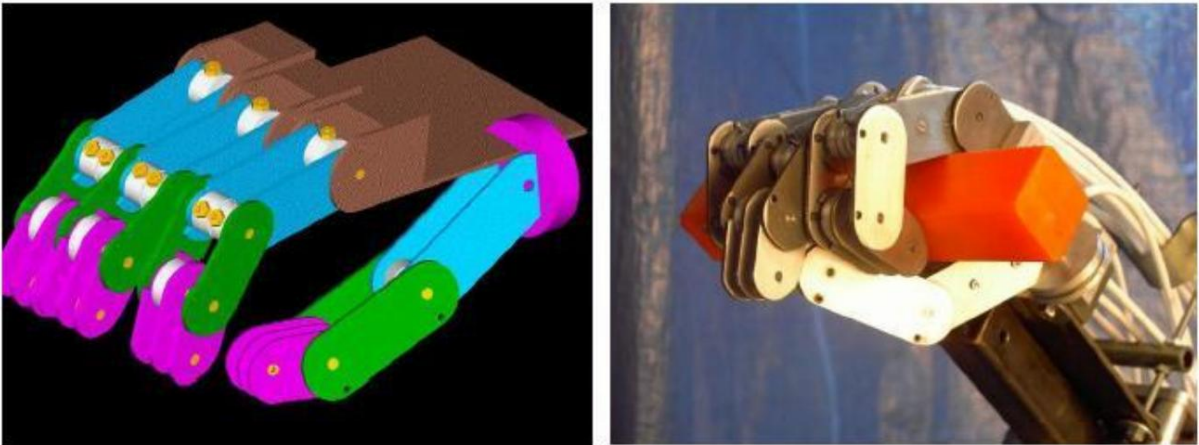
Higo. 3.



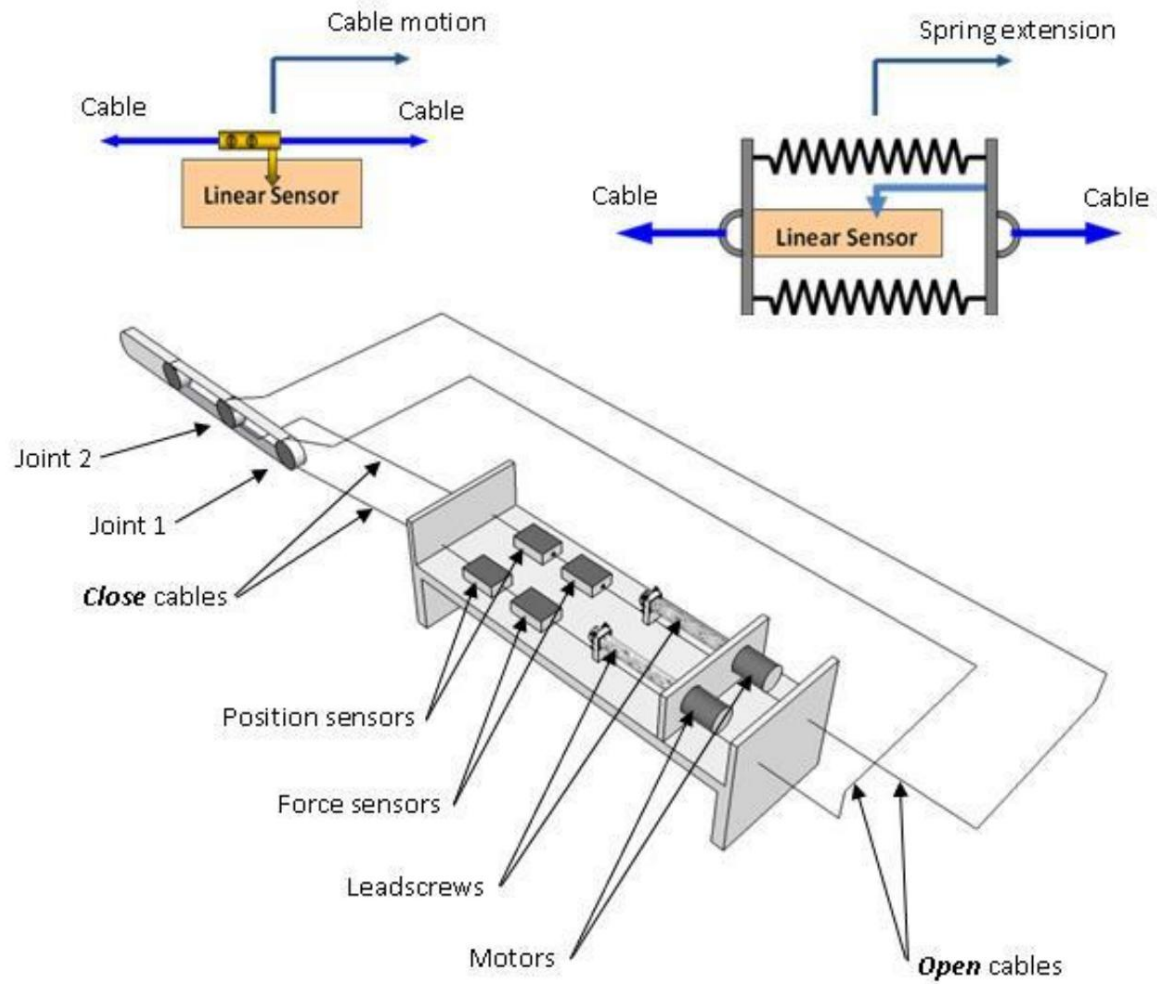
Higo. 4.



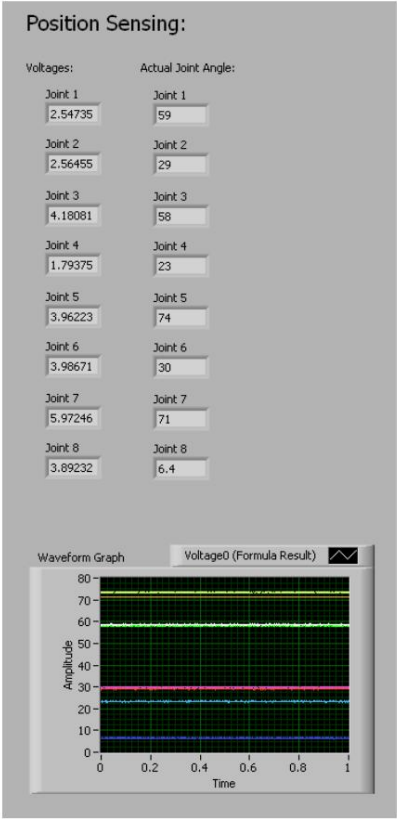
Higo. 5.



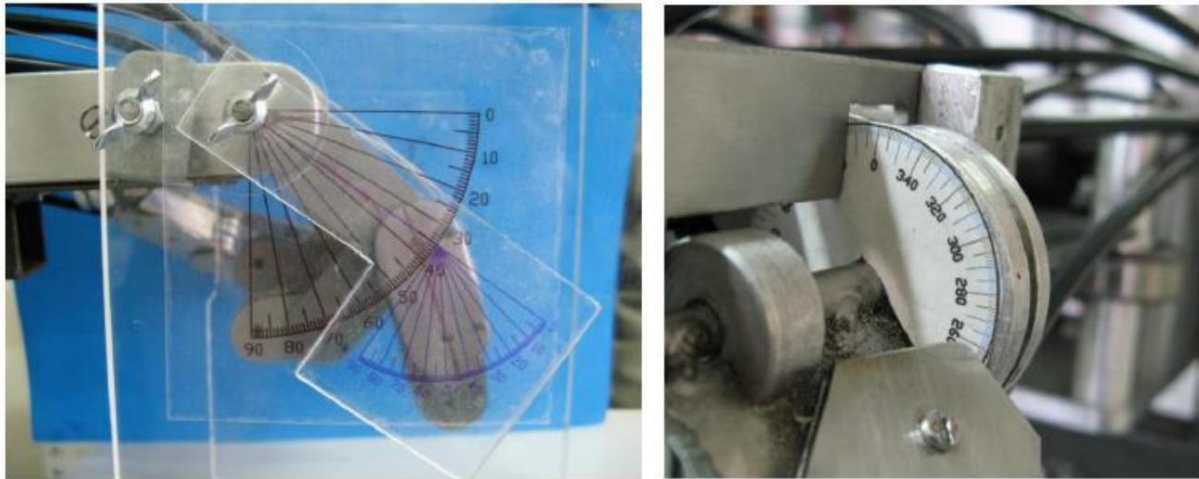
Higo. 6.



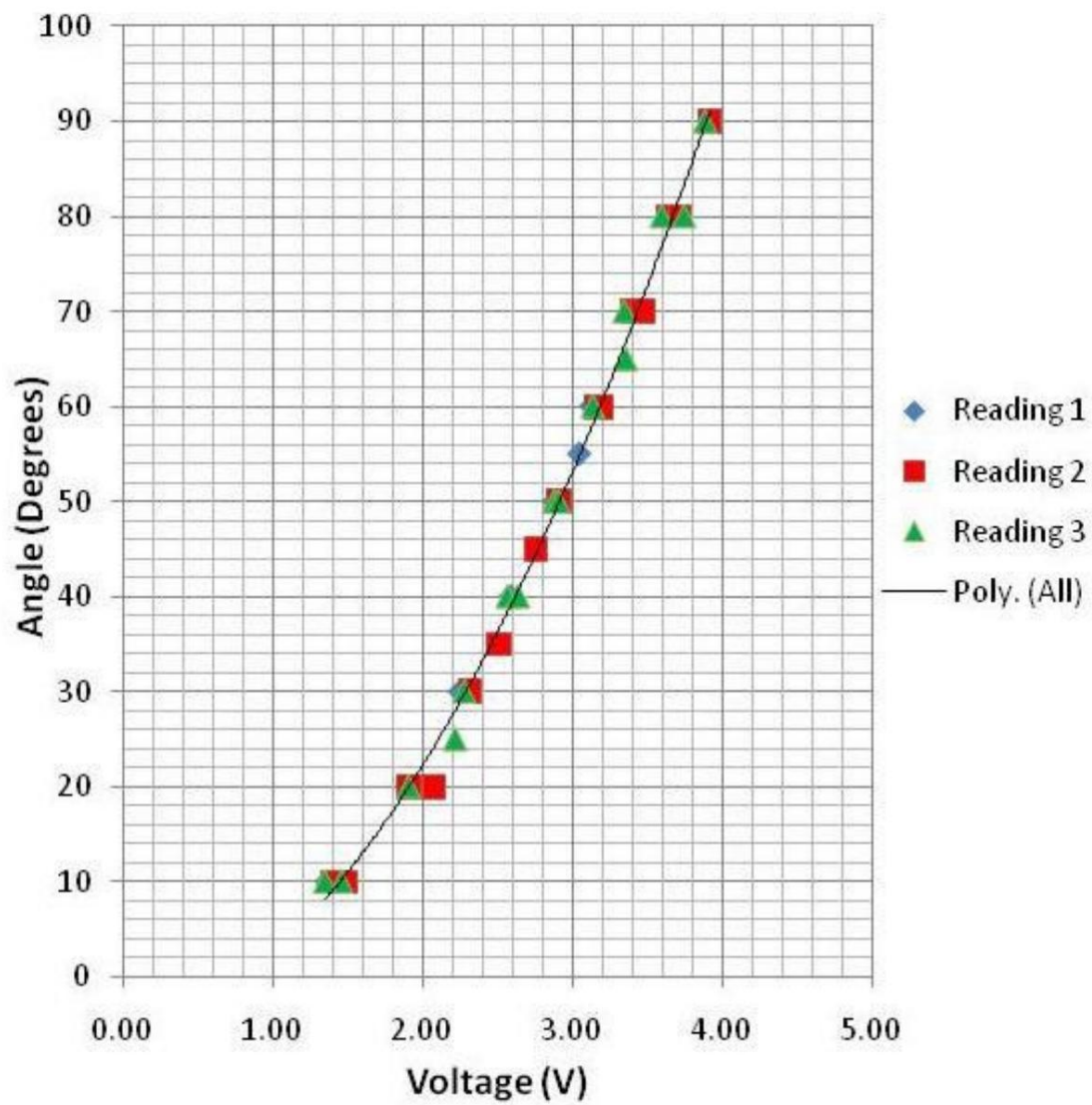
Higo. 7.



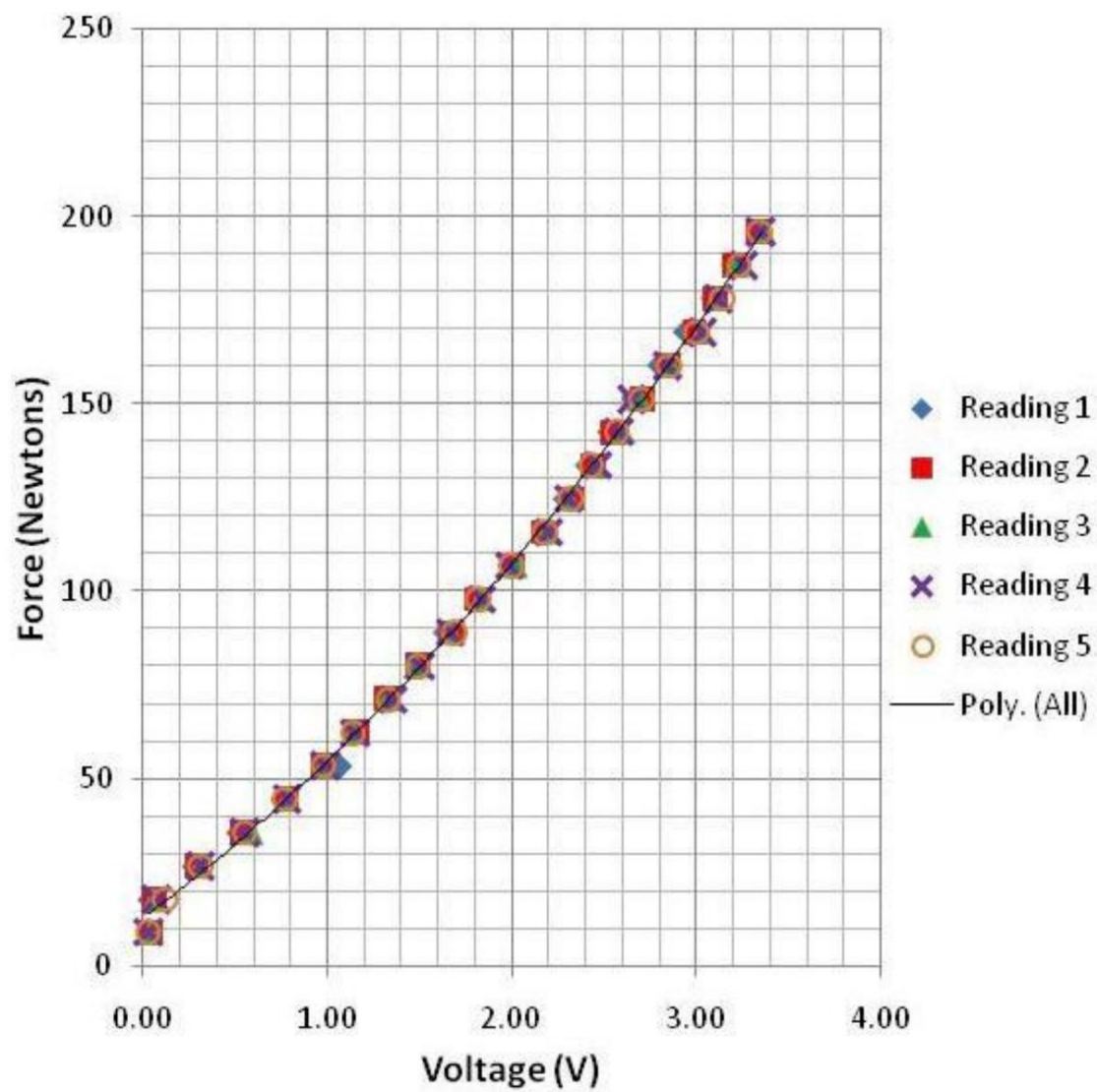
Higo. 8.



Higo. 9.



Higo. 10.



Higo. 11