



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
(CAMPO CONOCIMIENTO: MECÁNICA)
(CAMPO DISCIPLINARIO: MECATRÓNICA)

INTUICIÓN ARTIFICIAL APLICADA A LA TELEOPERACIÓN

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR EN INGENIERÍA

PRESENTA:
M.I. OCTAVIO DÍAZ HERNÁNDEZ

TUTOR PRINCIPAL
DR. VÍCTOR JAVIER GONZÁLEZ VILLELA, FACULTAD DE INGENIERÍA
COMITÉ TUTORAL
DR. MARCELO LÓPEZ PARRA, FACULTAD DE INGENIERÍA
DR. ALEJANDRO C. RAMÍREZ REIVICH, FACULTAD DE INGENIERÍA
DR. FRANCISCO CUENCA JIMÉNEZ, FACULTAD DE INGENIERÍA
DR. JESÚS MANUEL DORADOR GONZÁLEZ, FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. (OCTUBRE) 2014

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Marcelo López Parra
Secretario: Dr. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich
1er Vocal: Dr. Víctor Javier González Villela
2 er. Vocal: Dr. Francisco Cuenca Jiménez
3 do. Vocal: Dr. Jesús Manuel Dorador González

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: **Facultad de Ingeniería**

TUTOR DE TESIS:

Dr. Víctor Javier González Villela

FIRMA

(Segunda hoja)

AGRADECIMIENTOS

A Dios

A mi esposa

A mi familia

A mis maestros y sinodales

A mis amigos y compañeros

A mis alumnos y exalumnos

Se agradece a la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo económico brindado a través de la Coordinación de Estudios de Posgrado para la realización de los estudios de doctorado.

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado para la realización de los estudios de doctorado y elaboración de tesis.

Se agradece el apoyo brindado por la DGAPA, UNAM, a través del proyecto PAPIIT IN115811, con título: "Investigación y desarrollo en sistemas mecatrónicos: robótica móvil, robótica paralela, robótica híbrida y teleoperación" durante la realización de este trabajo.

Se agradece el apoyo brindado por la DGAPA, UNAM, a través del proyecto PAPIIT IN117614, con título: "ROBÓTICA INTUITIVA, ADAPTABLE, REACTIVA, HÍBRIDA Y MÓVIL APLICADA AL SERVICIO, EL RESCATE Y LA MEDICINA" durante la realización de este trabajo.

Especialmente agradezco profunda y sinceramente a mi tutor, maestro y mentor que durante estos años me ha educado, apoyado, orientado y formado para servir y amar a mi universidad y al país. Asimismo, que me ha brindado no sólo conocimientos, sino disciplina y ejemplo de trabajo hombro con hombro. Gracias Dr. Víctor Javier González Villela por su paciencia, dedicación, atención y tiempo.

INTUICIÓN ARTIFICIAL APLICADA A LA TELEOPERACIÓN

*“The intuitive mind is a sacred gift and the rational mind is a faithful servant.
We have created a society that honors the servant and has forgotten the gift”.*

-Albert Einstein

Abstract. Artificial Intuition deals with unconscious-like processes of solution generation for robot's performance. In this work, we study human intuition and its mechanisms to get a model from the robotics point of view and apply them to a teleoperated system. The mechanisms are analyzed through observation and data collection (experiment design) in order to synthesize Artificial Intuition algorithms of transfer task and to avoid obstacles. Results show that human intuition can be modeled as subspaces of the task's workspace, and we named them as Intuitive Workspace of the Task and a Surface of Intuitive Solutions. We find and proved an Intuitive Workspace of the Task that assists a transfer task with a teleoperated robot and a Surface of Intuitive Solutions for obstacle avoidance. We find that algorithms of Artificial Intuition decreases error in the task, also they reduce execution time and avoid obstacles is achieved in real time without operator's intervention. Finally, Artificial Intuition is inserted to Artificial Intelligence as a kind of mechanism of artificial unconsciousness that will aid to generate semiautonomous and autonomous robots.

Index Terms— Artificial Intuition, Obstacle avoidance, Teleoperation, Transfer Task.

Resumen. En este trabajo se estudia la intuición humana, para modelarla y aplicarla a la robótica teleoperada en forma de Intuición Artificial. Se plantea la forma de obtener los patrones que genera la intuición humana en el traslado y la evasión en tareas de manipulación, para sintetizarla y aplicarla a la teleoperación como algoritmos de Intuición Artificial. Los resultados muestran, que la Intuición Humana, en el caso del traslado, puede modelarse por el espacio de trabajo generado por la tarea intuitiva de traslado realizada por el ser humano, llamado Espacio Intuitivo de la Tarea y en el caso de la evasión de obstáculos, por la superficie que rodea a un obstáculo y que se utiliza para restringir el movimiento del sistema teleoperado alrededor del objeto, llamada Superficie de Soluciones Intuitivas. Estos algoritmos de Intuición Artificial hacen que la retroalimentación al operario y el procesamiento de la información se reduzcan considerablemente durante el traslado y la evasión de obstáculos. En esta investigación se sintetizaron algoritmos de Intuición Artificial que disminuyen el error en la tarea de traslado y disminuyen el tiempo de ejecución. Finalmente, la Intuición Artificial se inserta en un sistema teleoperado como un mecanismo de inconsciencia artificial que ayudará a diseñar robots autónomos y semiautónomos.

Palabras clave: Intuición artificial, teleoperación, traslado, evasión.

Índice

INTUICIÓN ARTIFICIAL APLICADA A LA TELEOPERACIÓN	4
I. INTRODUCCIÓN	7
II. ANTECEDENTES	10
1. La mente humana: el consciente, el inconsciente.....	10
2. La intuición humana.....	18
3. La teleoperación	30
4. Robótica.....	37
III. INTUICIÓN ARTIFICIAL	43
IV. DISEÑO DEL EXPERIMENTO	47
V. TELEOPERACIÓN ASISTIDA POR INTUICIÓN ARTIFICIAL	72
VI. CONCLUSIONES	86
VII. APÉNDICES	93
Observación preliminar: Entrevista con un grupo de personas, sujeción, traslado y evasión.	93
Apéndice: Ingeniería y robótica para el sistema teleoperado y de captación. 99	
Apéndice: Artículo IMECE2011-63884.....	122
Apéndice: Toma de decisiones	131
Tabla de Figuras	132
VIII. REFERENCIAS	136

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la comunidad científica ha trabajado en mejorar la eficacia de los robots, particularmente aquellos que requieren de solucionar problemas por sí mismos y la inteligencia artificial ha sido la opción obvia [1]. Este enfoque es reportado en la literatura como la generación de consciencia artificial en máquinas, primordialmente a través de las herramientas conocidas para implementar inteligencia artificial [2, 3]. Otro enfoque es dotar a las máquinas con inconsciencia artificial, por ejemplo la automatización [4], Robótica basada en comportamientos (*Behavior Based Robotics*) con conductas reactivas y deliberativas [5-8], y más recientemente las emociones artificiales [9-12].

Un enfoque poco explorado para la implementación de la inconsciencia artificial es el uso de la Intuición como un mecanismo de la mente inconsciente para tomar decisiones rápidas y certeras. Cuando un agente artificial manifiesta propiedades de la intuición humana, entonces se puede decir que hay una Intuición Artificial. Hasta este momento, como se verá más adelante en la revisión de la literatura, la Intuición Artificial ha sido estudiada desde el punto de vista computacional [13-15], sin embargo, la Intuición Artificial necesita ser definida y modelada desde el punto de vista de la robótica con el fin de ser aplicada en sistemas robóticos teleoperados.

En este trabajo se propone que la intuición humana se pueda expresar en espacios de trabajo durante la ejecución de tareas. De tal forma que es de nuestro interés capturar habilidades intuitivas durante tareas de manipulación realizadas por humanos, con el fin de usar dicha información y expresarla en términos de robótica, por ejemplo, espacios de trabajo, lugares geométricos y superficies. En particular, la intuición será ligada con la robótica con el fin de estudiar a la Intuición Artificial y aplicarla directamente al campo de la teleoperación.

En primer lugar, este trabajo presenta los antecedentes de la literatura relacionada

a los temas que se conjuntarán, como son la Intuición, la teleoperación, la robótica. Posteriormente se define a la Intuición Artificial y se describe la metodología empleada para captar la intuición experimentalmente. Con la información obtenida se sintetizan algoritmos de Intuición Artificial que asisten al operador durante una tarea teleoperada. Particularmente se ha acotado el estudio a la tarea de traslado y la evasión de obstáculos, los cuales son elementos más comunes en cualquier tarea de manipulación. Finalmente se programan los algoritmos sintetizados en el sistema robótico teleoperado para observar sus efectos.

El trabajo de investigación

i. Objetivo

Estudiar la intuición humana en tareas de manipulación y modelarla como Intuición Artificial, desde el punto de vista de la robótica, para incluirla en sistemas teleoperados.

ii. Hipótesis

Existe la Intuición Artificial en forma de **espacios de trabajo, lugares geométricos, o trayectorias** que representen o modelen la intuición humana en la ejecución de tareas y que es transferible a un robot teleoperado.

iii. Metas

Captar patrones de la intuición manifestada en la ejecución de tareas de manipulación por humanos. Modelar e implementar dichos patrones en un sistema teleoperado. En particular se acotará el ejercicio al traslado y la evasión de las tareas de manipulación.

iv. Sinopsis del trabajo

Se describen brevemente algunas teorías requeridas sobre intuición, teleoperación, robótica y en particular los espacios de configuración, tipos de

espacios de trabajo, lugares geométricos y trayectorias. Posteriormente se establecen las bases de la teoría sobre Intuición Artificial, junto con su definición y clasificación. Con el fin de establecer el diseño del experimento para la extracción de patrones de habilidades intuitivas de personas durante una tarea de traslado, de lo que surge un espacio de trabajo denominado Espacio Intuitivo de la Tarea. De la misma forma se observa la Superficie de Soluciones Intuitivas para la evasión de obstáculos. Con estos elementos se sintetizan algoritmos de Intuición Artificial con el fin de resolver actividades de manipulación (traslado y evasión), durante un ejercicio de teleoperación. Se realizaron experimentos para comparar la presencia y ausencia de la Intuición Artificial implementada en un sistema teleoperado compuesto por un dispositivo maestro y un robot esclavo con cinco grados de libertad. Finalmente, en las conclusiones se evalúa la Intuición Artificial planteada a la luz de los resultados tanto del modelado del fenómeno, como de la experimentación con el sistema teleoperado.

II. ANTECEDENTES

1. La mente humana: el consciente, el inconsciente

La **mente** es la responsable del entendimiento, la capacidad de crear pensamientos, la creatividad, el aprendizaje, el raciocinio, la percepción, la emoción, la memoria, la imaginación, la voluntad, la **intuición**, y otras habilidades cognitivas. La mente incluye diversas facultades que le permiten integrar sistemas de recolección de información, procesamiento de información y de ejecución, que responden acorde al dictamen del sistema de procesamiento. Estos sistemas se involucran en la regulación interna de las funciones corporales y la adaptación al medio externo [16, 17].

Desde una perspectiva cognitiva, se considera que la mente funciona por dos vías principales e interrelacionadas: Por un lado, está la mente **consciente** o explícita, discursiva, secuencial, racional, y que requiere un esfuerzo para que funcione. Y por el otro lado, existe una mente **inconsciente** u oculta, implícita, asociativa, rápida y no requiere de esfuerzo. Sobre esta última influyen dos elementos, por un lado está una serie de atajos mentales heurísticos, desarrollados a lo largo de la evolución, que son los que capacitan a los seres humanos para los juicios rápidos y frugales (y que, en ocasiones, generan indicios perceptivos que pueden formar ilusiones o falsas percepciones). Por otro lado, están ciertas asociaciones aprendidas a lo largo de una historia vital, que se constituyen en sentimientos que guían nuestros juicios [18, 19].

El consciente tiende a ser analítico y convergente; tiende a operar con reglas y, en ese sentido, es preciso, pero sufre las limitaciones características de la baja capacidad de la conciencia, por lo que "cuando se ve desbordado" tiende a exagerar el peso de algunos atributos, en detrimento del resto y, por ello, a deteriorarse con la complejidad. Por su parte, el inconsciente tiende a ser más asociativo y divergente; tiende a generar elecciones de calidad inferior, debido a su modo de operar más abierto y desregulado, pero apenas se deteriora con la

complejidad, por cuanto no sufre las limitaciones de capacidad que caracterizan al consciente (más memoria de trabajo, errores por prejuicio, atención a pocas variables al mismo tiempo).

De ahí que en situaciones complejas, en las que se manejan grandes cantidades de información, las elecciones realizadas mediante pensamiento inconsciente pueden resultar incluso más eficaces que las mediadas por deliberaciones conscientes, según se ilustra en el gráfico de la Figura 1. Se observa para el pensamiento consciente, que la calidad de la decisión varía en función de la complejidad, de forma que resulta alta en situaciones sencillas, fácilmente manejables por un sistema formal y preciso (pero de recursos limitados) que le restan eficacia en situaciones complejas. Por su parte, pese a su calidad en general moderada, no sucede lo mismo con el inconsciente, que apenas se entorpece a causa de la complejidad, dada su menor dependencia de los recursos disponibles [20].

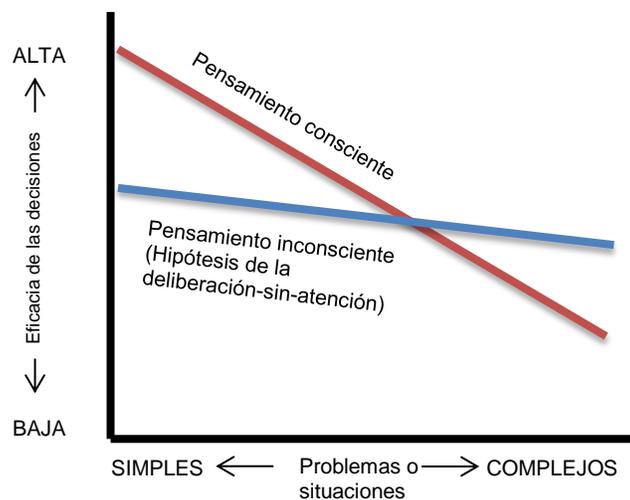


Figura 1. Relación entre complejidad y calidad de una decisión, según se afronte mediante el pensamiento consciente o inconsciente.

El inconsciente es la base de lo que emerge en la conciencia. El inconsciente puede procesar hasta 11,000,000 bits/s y necesita 100 ms para hacer todos los procesos pertinentes ante la información que recibe. En contraste con el consciente que procesa información a 50 bits/s y le toma 250 ms para tomar conciencia de la información recibida. El inconsciente no flaquea ante la

complejidad de una situación. El inconsciente libera a la conciencia y se ocupa de las cosas automáticamente. El inconsciente es asociativo y divergente. En contraste con el consciente que es analítico y convergente. En el inconsciente no existe grado de duda o certeza, sólo hay contenidos con mayor o menor intensidad. El consciente puede ser contradictorio. El inconsciente es un proceso primario y el consciente es un proceso secundario (donde están contenidas las funciones cognitivas como la inteligencia, el aprendizaje, la concentración, entre otras). El inconsciente es atemporal (no reconoce pasado ni futuro, sólo el presente) y el consciente está ordenado cronológicamente [21].

El consciente

El término “consciencia” se refiere la calidad o estado de ser consciente de estímulos externos o internos y responder. De esta manera, el **consciente** es el uso de los sentidos y facultades mentales para percibir, pensar y obrar con conocimiento de actos y su repercusión. El consciente proporciona una dimensión subjetiva y una objetiva de las percepciones, selecciona una porción relativamente pequeña de elementos y puede procesarla mediante el pensamiento, la memoria, el aprendizaje, etc. El consciente es capaz de distinguir el presente del pasado y el futuro [22]. Esto implica la posibilidad de retornar al pasado y repensarlo al igual que “prever” el futuro y organizarse según las expectativas del individuo. El consciente es descrito como un centro de mando de acciones, o un “sistema de control” que permite la actuación e inhibición selectivas, así como anticipar, simular y planificar mentalmente [23].

La “memoria de trabajo” o memoria de corto plazo contiene las piezas de información de lo que se está consciente en el momento. Los contenidos de la memoria de trabajo definen la experiencia consciente del organismo. El “conocimiento consciente” es por tanto una representación de la atención. Trabajar con esta información es costoso debido a que la memoria de trabajo tiene capacidad limitada, de manera que prestar atención a “algo”, implica no atender a

“otra cosa”. Usar la memoria de corto plazo requiere de esfuerzo, energía y “trabajo” [17].

El consciente artificial

La conciencia en robots alude a que el software debe controlar acciones características de la “voluntad propia”, siempre en el camino de hacer robots eficientes y que muestren “autonomía”[3]. El investigador Bernard Molyneux expresa que el “problema duro” (*hard problem*) de la conciencia en robots implica que reflejen ser **astutos** y **auto-reflexivos**. Lo cual trae como consecuencia que cuando el robot intenta entender sus propios estados subjetivos le resulta sumamente difícil auto-comprenderse, lo que ha llevado a la complejidad de los algoritmos de conciencia artificial [2].

Para la formulación e implementación del *consciente en máquinas* la comunidad científica ha planteado la **Inteligencia Artificial**. La Inteligencia Artificial es un área multidisciplinaria que, a través de ciencias, tales como la informática, la lógica y la filosofía, estudia la creación y diseño de entidades capaces de razonar por si mismas utilizando como paradigma la inteligencia humana. La Inteligencia Artificial trabaja con procesos conductuales, mentales y el razonamiento copiados del humano y ejecutado por un ente no humano. Donde su éxito es medido en términos de la fidelidad en la forma de actuar de los humanos o bien, de acuerdo a si el sistema es **racional**. Un sistema es racional si hace lo correcto, en función de su conocimiento. El raciocinio está ubicado entre los procesos conscientes. El enfoque actual de la Inteligencia Artificial se concentra en los principios generales que rigen a los agentes¹ racionales y en los elementos usados para construirlos. Además, la Inteligencia Artificial estudia algunos aspectos cognitivos del humano para sentar las bases de la vista artificial, lenguaje natural y aprendizaje. La inteligencia artificial dicta que un sistema inteligente debe ser capaz de a) procesar un lenguaje “natural”, es decir, que entienda las palabras pronunciadas por un humano con el fin de comunicarse; b) representar el conocimiento en algún tipo de

¹ Un agente es algo capaz de <<percibir y actuar>>.

información para almacenarlo y usarlo; c) razonar autónomamente que implica recuperar² información y enunciar preguntas o conclusiones, y d) aprender en forma autónoma para adaptarse a circunstancias similares [1].

Las ciencias duras, como la física y las matemáticas, insisten en la exactitud. La inteligencia artificial nació junto con la ciencia de la computación en el ámbito matemático en universidades alrededor del mundo, lo que la convierte en una ciencia con la misma tendencia. Se espera que los programas sean correctos y se ejecuten según lo especificado. La inteligencia artificial heredó la búsqueda de la exactitud. Esta mentalidad, esta necesidad de ser lógico, comprobable, y correcto ha sido un obstáculo fatal para la Inteligencia Artificial desde su creación [13].

Los **sistemas expertos** son un caso particular estudiado por la inteligencia artificial convencional y que son llamados así porque emulan el razonamiento de un experto en un dominio concreto y en ocasiones son usados por éstos. Los sistemas expertos constan de dos partes principales: a) una base de conocimiento y b) un motor de búsqueda. El motor usa algoritmos que se concentran en solucionar un problema “buscando” la respuesta dentro de la base de datos relacionada al tema del que se pretenda ser “experto”. De esta forma, los sistemas expertos infieren una solución a través del conocimiento previo. Con estos sistemas, se busca una mejor calidad y rapidez en las respuestas dando así lugar a una mejora de la productividad del experto. Se busca que el sistema realice operaciones que establecen relaciones entre conceptos y proposiciones para obtener conclusiones válidas [24].

Un sistema consciente artificial no implica de ningún modo que los robots tengan conciencia propia, para ello implicaría un largo camino que la inteligencia artificial debe recorrer, sin embargo se puede decir que tienen un grado de razonamiento a través de mecanismos inteligentes que se “concentran” en adquisición y procesamiento de información. Esto es debido a que la toma de decisiones en

² retrieve

cualquier sistema requiere varios pasos genéricos para llegar a una conclusión considerada correcta. Esos pasos requerirán un tiempo y a su vez cierto poder de procesamiento de instrucciones. La complejidad de las instrucciones aumentará proporcionalmente a qué tan correcta queremos que sea la conclusión.

El inconsciente

El **inconsciente** engloba un conjunto de procesos que pasan desapercibidos en un ente y, en general, no dependen de su voluntad, pero influyen en su manera de obrar o su carácter. Los procesos inconscientes son capaces de realizar tareas simples y/o complejas, por ejemplo, reflejos, conducta, persecución de metas y autorregulación. En el humano, las teorías psicoanalíticas han determinado que la inconsciencia es todo aquello que opera fuera del conocimiento de una persona, sin embargo la inconsciencia es un poder de procesamiento cerebral que va más allá del psicoanálisis [21]. Gran parte del procesamiento de la información se lleva a cabo de forma automática sin el control consciente del organismo. Estos sistemas de procesamiento de información pueden modificarse con el tiempo y representan una forma de adaptación a la demanda del medio externo. Múltiples sistemas de procesamiento inconsciente son de base automática y surgen fuera de la memoria de trabajo y de la atención. Existen procesos que son por naturaleza automáticos, por ejemplo los reflejos (e.g. parpadear, reflejo patelar) o señales de control (e.g. control de respiración, ritmo cardiaco). Y otros que mediante la práctica y la experiencia, algunos procesos pueden convertirse en automáticos [25].

¿Qué es un Procesamiento Automático?

Es un conjunto de operaciones rutinarias *sobreaprendidas*, que se realizan sin conciencia ni intencionalidad por parte del sujeto. Los procesos automáticos no consumen recursos atencionales y poca carga de la memoria de trabajo, por lo que pueden realizarse de modo simultáneo (en paralelo) a otros procesos, sin producir interferencias. Un ejemplo común es la conducción de un automóvil (resultado del entrenamiento). Este tipo de procesos son como “programas

compilados” que son disparados por patrones de información recibida. Además, una vez adquiridos son difíciles de modificar y suponen una considerable economía cognitiva para el sujeto [26].

El inconsciente artificial

Un enfoque básico del inconsciente artificial es la **automatización**, la cual es la implementación de acciones involuntarias, inconscientes e instantáneas, a un dispositivo, proceso o sistema para que se ejecuten tareas disminuyendo o eliminando la intervención humana [4]. En la industria se usa cotidianamente la automatización de procesos, que va más allá de la mecanización: mientras que la mecanización asiste a los operadores humanos a nivel físico (trabajo muscular), la automatización también supe requerimientos sensoriales y mentales para la realización del trabajo. Estas máquinas toman decisiones básicas en forma automática de acuerdo a las entradas y se asocia a procesos cíclicos [4].

Existen algunos trabajos de Rodney A. Brooks que hablan de elementos “vestigiales” de la mente humana más útiles que el raciocinio para el control de robots [27]. Brooks abre el camino a la inserción de elementos “inconscientes” en la arquitectura de robots. En ese mismo contexto, Ronald C. Arkin abre las puertas hacia la programación de **comportamientos** en robots y los conceptos de reactividad y deliberatividad [6]. Los comportamientos **reactivos** en robots son aquellos que se presentan de manera espontánea durante el movimiento del robot ante estímulos (medición de eventos con sensores), ya sean nocivos o atractivos; por otro lado se tienen los comportamientos **deliberativos** que se asocian a la planeación de movimientos antes de que estos ocurran.

Las **emociones** en robots han sido una tendencia reciente para implementar inconsciente artificial. El investigador Hyun Seung Yang expresa que las emociones son percepciones conscientes basadas en complejos estados internos, es decir, asuntos del inconsciente (*espacio dimensional alto*) mapeados al consciente (*espacio dimensional bajo*). Además, propone que las emociones son

un vínculo entre el estado consciente con el inconsciente [9]. Para un robot, tener emociones se ve reflejado en las conductas que llevarán a cabo durante su tarea, ya sea como motivación o como intención. Se plantea que los robots tengan un cierto grado de propiocepción, interocepción, nocicepción, etcétera (e.g. localización de otras partes del cuerpo, hambre, dolor) [10]. La existencia y programación de emociones en robots permite que la interacción hombre máquina tenga la sensación de “vida” en la máquina y se han planteado dos grandes caminos en el área: a) la expresión de emociones y b) el reconocimiento de emociones [11]. En su libro sobre emociones en robots, Marvin Minsky explica el concepto de pensamiento basado en fragmentos (*frames*) que permanecen cambiantes en el tiempo, algunos de esos fragmentos son las emociones que intervienen en las decisiones. La aproximación de Minsky considera que los casos de pensamiento no-lógico son efectivos para manejar funciones humanas de alto nivel como son la creatividad, originalidad y la **intuición** [12].

Finalmente, un sistema inconsciente artificial tiene su base en mecanismos simples que obtienen respuestas aunque no se concentran en cómo se adquiere la información o en cómo se procesa la misma. La toma de decisiones en estos sistemas procura enfocarse en las soluciones y no en el procedimiento, disminuyendo tiempo y cierto poder de procesamiento de instrucciones. En el caso del inconsciente artificial, la complejidad de las instrucciones tenderá a disminuir sin afectar la certeza de la conclusión. En la naturaleza, se encuentra que la **intuición** es el mecanismo inconsciente por excelencia para cumplir con estos requisitos. **La intuición hereda todas las ventajas del pensamiento inconsciente como son el procesamiento automático de gran cantidad de información y en múltiples dimensiones y sin el decaimiento de la eficacia ante situaciones complejas, entre otras.**

Para el psicólogo Carl Gustav Jung *la intuición es una función psicológica que transmite percepciones por vía inconsciente. Todo puede ser objeto de esa forma de percepción, tanto objetos externos como internos. En la intuición un contenido*

cualquiera se presenta como un todo acabado, sin que al comienzo seamos capaces de indicar o averiguar cómo ha llegado a constituirse. Sus contenidos tienen, como los de la sensación, el carácter de lo dado, al contrario de los contenidos del sentimiento y el pensamiento que tienen el carácter de algo “derivado” o “producido” [28].

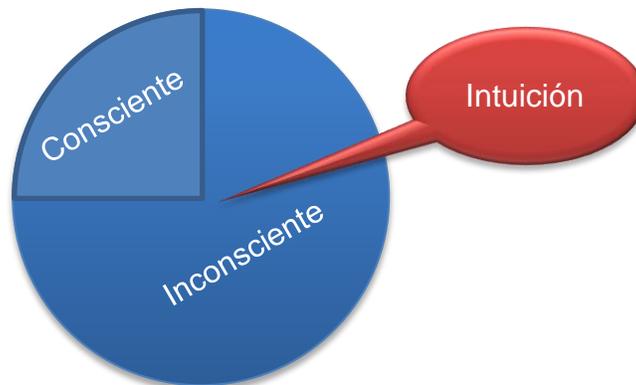


Figura 2. El consciente, el inconsciente y la intuición

A continuación se detalla el estudio de la intuición.

2. La intuición humana.

En la actualidad, el tema de la intuición se ha ido derivando desde el campo de la especulación filosófica al campo de la ciencia positiva, siendo considerado más bien un tema de investigación psicológica y neurológica.

La intuición se usa para lidiar con problemas diarios como el control de movimiento muscular y predecir posiciones de los miembros; para entender y generar el habla; leer; analizar lo percibido por los sentidos; también desde manipular objetos con las manos hasta pilotar un vehículo, etc. En el lenguaje popular suele significar con frecuencia presentimiento o “saber sin saber cómo se sabe”.

Definición

La palabra **Intuición** proviene del latín *intueri*, que significa "a considerar" o "mirada a", por lo que podría entenderse como una **percepción**, pero además como un conocimiento implícito de la realidad en la mente inconsciente de los seres humanos. Los mecanismos de intuición realizan un **reconocimiento** de símbolos o señales que es llevado a cabo sin el procesamiento consciente o racional del individuo. Después del reconocimiento, automáticamente se sintetizan **juicios**, pensamientos, decisiones o acciones acorde a la información procesada. Este tipo de juicios son caracterizados por ser apropiados, **certeros**, coherentes, **rápidos** e incluso evidentes [19, 22, 25, 29-38].

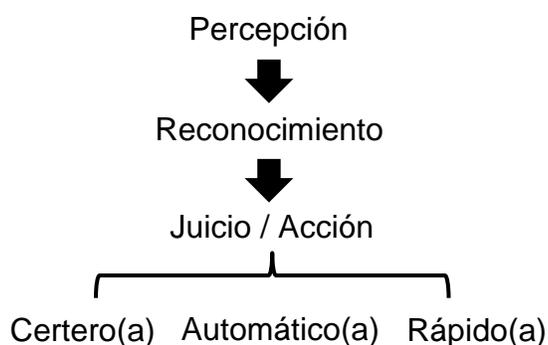


Figura 3. La intuición

Estudios Antecedentes sobre la intuición humana

En 1781, Kant dice, en su libro *Crítica a la razón pura*, que la intuición son las **representaciones inmediatas** de las "cosas" sin que participen ninguna otra de sus características o propiedades que el humano tiende a imponer a las cosas [38], por ejemplo, la representación de una silla sin considerar el concepto de silla como algo de cuatro patas, de madera, color café, etc.

En 1973, Herbert Simon propone que la intuición consta de mecanismos basados en reconocimiento de patrones simples, a los que llamó *Chunks* (trozos) y *Templates* (plantillas), los cuales el humano reconoce para tomar decisiones [39].

Y por el contrario, Hubert Dreyfus argumenta que la intuición es resultado de un procesamiento holístico cerebral y mental [40]; sin embargo, las coincidencias de ambos trabajos son que la intuición es un proceso rápido, fluido y requiere grandes cantidades de práctica y experiencia.

En 2001, Hogart explica que la intuición es parte de un sistema de procesamiento de información en los individuos de tipo tácito³ o implícito, que se caracteriza por su procesamiento automático, necesario para el funcionamiento del organismo, aunque lo diferencia de los elementos instintivos del procesamiento [25]. Hogart indica que la selección de ambientes de aprendizaje adecuados y el seguimiento de los tipos de retroalimentación que recibe la mente, favorecen la adquisición de buenas intuiciones. Hogarth agrega que los juicios intuitivos pueden incrementar su precisión mediante el uso de la atención, es decir, si la persona se concentra en las piezas relevantes de información que ayuden a tomar la decisión y prestando atención a los detalles que son importantes para el tema en cuestión [33].

En 2003, Kahneman dice que la intuición son pensamientos, decisiones y juicios que llegan a la mente rápidamente, sin demasiada reflexión, de forma automática y más rápida que aquellos de naturaleza deliberativa [19], aunque argumenta que su asertividad depende de varios factores como el uso de experiencias previas (o la combinación de ellas) y del **contexto** en que se encuentra la información. Kahnemann manifiesta que la intuición es aceptada por las personas porque tienden a no pensar demasiado y aceptan lo primero que viene a la mente sin pensamiento formal ni lógico.

En 2003, Herbert Simon explica que el conocimiento y la experiencia son importantes para que la intuición sea precisa [37]. Simon describe a la intuición como un mecanismo de “reconocimiento inconsciente de patrones”. Sin embargo

³ Sobreentendido

no avanza en el estudio del mapeo de funciones y su evolución con el tiempo, ni la participación del medio externo.

En 2005, Gladwell, contempla la intuición como un tipo de inteligencia silenciosa que está caracterizada por el rápido entendimiento de una situación que conlleva a una solución adecuada, de la cual no se tiene fundamento aparente para haberla obtenido [41]. Gladwell define un tipo de inteligencia basada en una habilidad inconsciente de encontrar patrones en situaciones y conductas fundadas en “rebanadas delgadas” de experiencia, de las cuales se puede utilizar una o más de estas rebanadas para tomar decisiones “inteligentes”. También asociado al concepto de estrecho, Gladwell implica que existen rebanadas de tiempo delgadas en las cuales ocurre “cognición rápida”. Con esta visión, Gladwell divide la actividad inconsciente en tres categorías: a) el prejuicio inconsciente, b) la heurística o algoritmos simples y, c) procesamiento paralelo interactivo, en donde ubica a la intuición. Estas afirmaciones dependen de que 1) la mayor parte de las situaciones pueden ser reducidas a patrones subyacentes simples, de tal forma que es posible desechar todo a excepción de una o algunas piezas críticas de información desde el comienzo; 2) estos patrones pueden traducirse frecuentemente en **algoritmos** que permiten cognición rápida; y 3) tales ejemplos demuestran qué está haciendo la mente inconsciente cuando encuentra nuevos patrones rápidamente.

En 2009, Seligman enumera las características de un proceso intuitivo que son: a) rapidez, b) no usa la conciencia, c) empleada para tomar decisiones en múltiples dimensiones, d) basado en amplias reservas de experiencias previas, e) es característica de expertos, f) no es fácil ni preciso de explicar, g) usualmente es ejecutada la acción correspondiente con seguridad. No obstante Seligman comenta que la arquitectura cognitiva de la intuición es un misterio [35].

En la revisión de Kruglanski sobre los juicios intuitivos y deliberativos, argumenta que ambos procesos regidos por un conjunto de reglas o silogismos⁴ que se pueden traducir a algoritmos del tipo <<Si (clave), entonces: (juicio)>>, aunque la información es procesada por una sección cerebral diferente a la deliberativa. Los juicios intuitivos son promovidos por procesos asociativos, inconscientes, sin esfuerzo, heurísticos y “subóptimos”. Por otro lado los juicios deliberados se caracterizan por estar basados en normas, ser conscientes, llegar a ellos con esfuerzo y analíticamente, siempre asociados a procesos *racionales*. Kruglanski declara que los juicios deliberativos no son necesariamente más precisos que los intuitivos y aunque en ambos casos la exactitud depende de la coincidencia entre la regla y el entorno. La intuición, que conlleva menos esfuerzo y que ignora partes de información, puede ser más precisa que las estrategias cognitivas, que requieren de mayor cantidad de información y cálculo informático [42].

En 2013, Lois Isenman propone que la actividad inconsciente debe aumentar su potencial de discriminación sensorial para capturar información relevante, lo que “entrena” mejor a las redes cerebrales. Y en algún momento, una sola pieza de información puede ser suficiente para lograr una discriminación adecuada [43]. Isenman hizo un trabajo sobre el procesamiento intuitivo donde explica que se trata de una capacidad de la mente inconsciente de integrar múltiples “hebras” de información simultáneamente, incluyendo diferentes tipos de información. Isenman discute que el procesamiento intuitivo está involucrado en la intuición, pero que no son equivalentes, porque la intuición es “la formación o creación de patrones novedosos que tienen el potencial de influenciar el pensamiento o la acción”, mientras que el procesamiento intuitivo es compuesto por debajo de la conciencia a partir de claves múltiples y simultáneas, con las que la mente inconsciente construye un mundo coherente y significativo, con el fin de hacerlas disponibles a la mente consciente.

⁴ Los silogismos son esquemas de estructuras de argumentación mediante las que siempre se llega a conclusiones correctas si se parte de premisas correctas.

La intuición es reconocida en el campo de la práctica médica como un medio eficiente de toma de decisiones rápidas, automáticas que sugieren un reconocimiento de patrones en múltiples dimensiones, por ejemplo en la enfermería [44], medicina familiar [45] y radiología [46].

Se hicieron estudios por parte de Easen y colaboradores, para determinar la naturaleza de la intuición y argumentaron que “la intuición puede ser entendida como un proceso irracional que tiene una base racional. El pensamiento intuitivo tiene ciertas características esenciales e involucra el uso de una base de conocimiento relevante y racional en situaciones que, a través de la experiencia, son tan bien conocidos que la persona ha aprendido a cómo reconocer y actuar con respecto ante los patrones apropiados” [47].

Tinghög y colaboradores han encontrado que la intuición se estimula cuando se tiene una presión de tiempo para tomar decisiones, pero incrementa la posibilidad de error [48], a esto se añade que deben considerar que la toma de decisiones a través de la intuición se extienden más allá de las primeras percepciones del problema [45], debido a que poco se sabe actualmente sobre los diferentes tipos de procesos intuitivos y lo que determina su éxito o fracaso.

Estudios fisiológicos sobre la intuición humana

En 2004 McCraty y colaboradores hicieron estudios electroencefalográficos en personas para probar la intuición a través de mostrar imágenes y tratar de tomar decisiones. Los resultados muestran que existe participación de áreas de toda la **corteza cerebral** (cortezas frontal, temporal, occipital y parietal) y además con participación del **corazón** en la recepción, procesamiento y decodificación de las acciones intuitivas [49, 50]. En apoyo a esta noción, Kuo y colaboradores usaron técnicas de resonancia magnética funcional para asociar la intuición con alguna estructura cerebral y realizaron un experimento con personas interactuando con juegos de coordinación y encontraron que las zonas cerebrales conocidas como la

corteza de la *ínsula* y del *cíngulo anterior* se activaron más durante la estimulación de juegos de coordinación, asociada al uso de la intuición [51].

En 2012, Chernavskaya y colaboradores estudiaron la intuición con neuroimagenología, donde se observó que existe actividad en el hemisferio derecho del cerebro humano asociada a la intuición [52].

En 2012, Wan explica cómo hacen a un grupo de personas usar su intuición para el juego de ajedrez y *shogi*, esto con el fin de hacer mediciones electrofisiológicas que determinan la actividad cerebral, encontraron que el **núcleo caudado** (uno de los componentes de los ganglios basales que se encuentran en la profundidad de los hemisferios cerebrales) se ven activado durante el uso de la intuición [53].

La intuición humana y sus propiedades

La arquitectura de los procesos que llevan a cabo la intuición en la mente humana sigue siendo un misterio [35], pero estudios psicológico-cognitivos describen a la intuición como un procesamiento holístico cerebral y mental inconsciente [35, 40, 43], así como una habilidad de “reconocimiento inconsciente de patrones” [37, 41] que se caracteriza por ser rápido, fluido y requiere de práctica y experiencia [35, 39, 40]. La intuición es un proceso irracional que tiene una base racional [47], esto es, la intuitividad procede a través de una base de conocimientos relevante y racional que la persona emplea para **reconocer** y **actuar** rápidamente [47]. Asimismo, la intuición funciona con mecanismos basados en **reconocimiento de patrones simples** para tomar decisiones [12, 39, 54]. Estos patrones o piezas relevantes de información ayudan a tomar la decisión intuitiva [33]. Los mecanismos intuitivos están regidos por reglas o silogismos⁵ promovidos por procesos asociativos, inconscientes, sin esfuerzo, heurísticos y “subóptimos” [42]. Es un procesamiento de información tácito o implícito, que se caracteriza por ser

⁵ Los silogismos son esquemas de estructuras de argumentación mediante las que siempre se llega a conclusiones correctas si se parte de premisas correctas.

automático [25]. En la intuición se hace uso de información relevante, y en algún momento, una sola pieza de información puede ser suficiente para lograr un reconocimiento adecuado [43]. La intuición forma juicios, pensamientos y decisiones que llegan a la mente rápidamente, sin demasiada reflexión, de forma automática y más rápida que aquellos de naturaleza deliberativa [19], no obstante, su asertividad depende del uso de experiencias previas (o la combinación de ellas) y del **contexto** en que se encuentra la información. La intuición es aceptada por las personas porque tienden a no pensar demasiado y aceptan lo primero que viene a la mente sin pensamiento formal ni lógico [36]. La intuición es “inteligencia silenciosa” que conlleva al rápido entendimiento de una situación para generar un **juicio** o una **acción** adecuada, de la cual no se tiene fundamento aparente para haberse obtenido [41] y no resulta fácil ni preciso de explicar, aunque la acción correspondiente es usualmente ejecutada con seguridad [35]. Adicionalmente, otra propiedad de la intuición es la *multidimensionalidad* [44-46], esto se refiere a la capacidad inconsciente de integrar múltiples hebras de información simultáneamente para tomar decisiones sin afectar la eficacia de la respuesta. La intuición se estimula cuando se tiene una presión de tiempo para tomar decisiones [48]. La intuición no es ambigua: sólo muestra una posible respuesta ante ciertos estímulos, a la que considera como correcta y única.

Ejemplos de dónde se manifiesta la intuición

- Hacer un diagnóstico a partir de signos y síntomas ambiguos que resulta cierto al corroborarse con un estudio de laboratorio.
- Reconocer una personalidad de alguien al cruzar algunas cuantas palabras.
- Decidir manejar de regreso a casa por cierta ruta sin información del tráfico, sólo la hora del día y si el cielo está nublado o soleado.

- Hacer un movimiento de ajedrez cuando se está jugando contra tiempo, que parece más apropiada hacia el camino de obtener un jaque o jaque-mate, sin ser una jugada evidente o próxima.
- Determinar cómo manejar un carro sobre una curva en carretera con sólo mirar dicha curva a la distancia, el cerebro toma en cuenta la distancia, la velocidad y aceleración actual para efectuar la acción correspondiente (acelerar, frenar o conservar la velocidad).
- Evaluar a un miembro del equipo de trabajo con ayuda de pruebas que sólo arrojan números de múltiples cualidades aisladas (desafiar, habilitar, moderar, etc.)
- Futurizar el desempeño de un alumno en base a una entrevista corta.
- Determinar si una obra de arte es la pieza original o si es una imitación con sólo verla un instante.
- Saber cómo proceder durante el levantamiento de una taza medio llena de líquido caliente (saber condiciones de posición de la mano, velocidad del brazo, lugar de dónde se puede sujetar).
- Cuando un conductor experto de un auto en particular es capaz de percibir variables asociadas al manejar sobre un camino, él tiene en consideración información (estimada) como centro de gravedad del carro, cantidad de gasolina, velocidades, aceleraciones, trayectoria, lugar (la pista), etc. sin embargo, cuando se cambia de carro y se recorre la misma pista con las mismas condiciones, y el piloto se encuentra con alguna variación en las condiciones (por ejemplo un derrape, una curva a la que el carro respondió diferente) y debe generarse una respuesta que normalmente no puede explicar cómo la generó, fue instantánea y fue acertada, ya que pudo

responder exitosamente ante la situación. Esta respuesta que debe ser rápida para generar una respuesta inmediata y sin razonamiento y que no puede dársele una explicación de cómo fue generada ni por qué fue tomada, se le considera una respuesta intuitiva. De esta manera, si se puede medir la variación en la respuesta generada asociada momento del cambio de situación (conocida a nueva) y aislando los factores de entrada que variaron, se puede afirmar que se está midiendo la intuición del piloto de ese instante. La diferencia entre las reacciones de un individuo ante situaciones conocidas y las nuevas, manteniendo el resto de las condiciones similares entre sí, es la respuesta intuitiva. La cual es medible, modelable y reproducible. Los modelos que se generen después de analizar los datos de intuición así captados, se pueden programar en sistemas artificiales.

La intuición aplicada a sistemas artificiales en la actualidad

En años recientes la intuición ha llamado la atención para mejorar el desempeño de las máquinas, tal es el caso de algoritmos computacionales [55], aunque no se ha aplicado a sistemas robóticos, se comentan los trabajos más cercanos.

En primer lugar se presenta a Mónica Anderson, quien se ha interesado por la cognición basada en computación, y ha tenido experiencia en Inteligencia Artificial y Lenguaje Natural, donde las bases Simbólicas formales y “rígidas” requieren alto grado de procesamiento computacional, por lo que se ha dedicado, desde 1997, a buscar alternativas para la inteligencia artificial, a lo que denomina “Intuición artificial”, la cual describe como métodos subsimbólicos de bajo gasto computacional y que pueden resolver problemas más elementales, y que en conjunto podrían resolver los problemas actuales de la Inteligencia artificial (e.g. el *bootstrapping*, el alto poder de procesamiento requerido, etc.) [13]. Anderson comenta que ha programado algoritmos para resolver planteamientos de tal complejidad que los nombra “bizarros”, sin embargo no están publicados ni demostrados.

Weidong propone las bases teóricas de un sistema de aprendizaje basado en intuición y sus aplicaciones serían análisis de riesgos, diagnóstico médico e investigación criminal [15]. Weidong describe Redes de Intuición Artificial como un sistema de asistencia para el aprendizaje humano-máquina cooperativo con “autoayudas” para que la experiencia de aprendizaje sea del tipo-juego, haciendo las situaciones más fáciles y más obvias. Su modelo se compone por un Conjunto de Conceptos Intuitivos (*Intuitive Concept Sets*, ICS) generados por los diseñadores de la red de Intuición Artificial, posteriormente los conceptos son reacomodados o reasignados con las intuiciones de usuarios, incluso se pueden agregar más relaciones.

En 2013, Dundas y Chik propusieron resolver problemas de póker y de automóviles usando principios de inteligencia artificial, cuyos algoritmos computacionales usan “reconocimiento de patrones” para generar las respuestas más rápido en comparación con una red neuronal [14]. Estos autores plantean un modelo que incluye los siguientes pasos: 1) Obtener un elemento del conjunto del problema (condiciones iniciales), 2) Obtener un elemento del conjunto llamado “experiencia” basado en un mapeo (ecuación), 3) Obtener la “importancia” y la “prioridad” de los procesos con el fin de obtener un valor probabilístico de los procesos de pensamiento dependientes, 4) Obtener resultados de procesos secundarios, 5) Aplicar factores de ajuste para los procesos considerados para calcular la respuesta final y 6) Verificar si existen “influencias” externas que modifiquen los valores y entonces presentar la respuesta al usuario. Agregan que aún no es confiable porque el modelo depende de la elección correcta de la “experiencia” que encaje con el escenario del momento particular en que se desenvuelve el problema.

En resumen, hasta el momento se ha establecido que la Intuición Artificial está basada en micro-intuiciones programadas como algoritmos de bajo gasto computacional [13], también que la Intuición Artificial puede ser el diseño de

software cooperativo entre programadores y usuarios [15], además que la Intuición Artificial puede programarse como un reconocimiento de patrones usando técnicas convencionales de inteligencia artificial [14].

Es importante recalcar que ninguno de los autores previos han definido claramente a la Intuición Artificial, además, aún se requiere una metodología para adquirir datos relacionados a la intuición humana

La intuición artificial es potencialmente aplicable a cualquier sistema artificial, pero para la investigación se han propuesto los sistemas teleoperados, particularmente en el área de la manipulación.

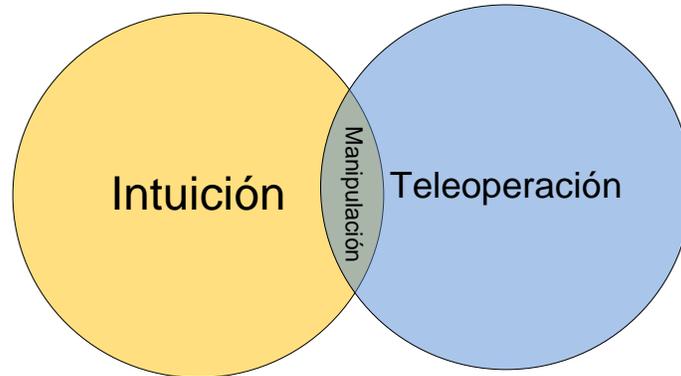


Figura 4. Un vínculo de estudio entre la intuición y la teleoperación es la manipulación.

A continuación se presenta una revisión de los sistemas teleoperados.

3. La teleoperación

Desde 1950, la teleoperación se comenzó a usar para sustituir al humano en la realización de tareas en lugares inaccesibles, que requieren de las habilidades mentales y de manipulación del ser humano.

El prefijo *tele*, de su origen griego, significa “a distancia”, por lo que la teleoperación implica la acción y efecto de operar a distancia, pero no es hasta décadas recientes que investigaciones, para definir formalmente a la teleoperación, fueron hechas por Thomas B. Sheridan, quien dice que la Teleoperación es “la extensión de los sentidos humanos y sus habilidades de manipulación hacia una ubicación remota acoplados a sensores y actuadores artificiales” [56, 57]. Independientemente de la tarea a realizar, el paradigma trascendental en la teleoperación es la manipulación a distancia en un entorno inaccesible de otro modo [58]. Es por esto que también se le conoce como sistemas de manipulación remota [59]. La teleoperación apunta a extender la coordinación natural humana del movimiento ojo-mano hacia una distancia y

escala arbitrarias, con lo que intenta replicar las habilidades de manipulación y destreza humanas en un espacio de trabajo alterno [60].

Ordinariamente las tareas de teleoperación se ubican en ambientes desconocidos como el espacio [61], bajo el mar [62, 63], o de rescate [64]. Sin embargo, hay otros ambientes que pueden ser controlados y/o conocidos; este es el caso de laboratorios [65, 66], estaciones de trabajo [67, 68] o quirófanos [69].

Con el trabajo de Thomas B. Sheridan y con los avances actuales, se ha encontrado que en la **teleoperación** se pueden distinguir cuatro modos organizados en dos grupos [56, 70, 71], ver Figura 5.

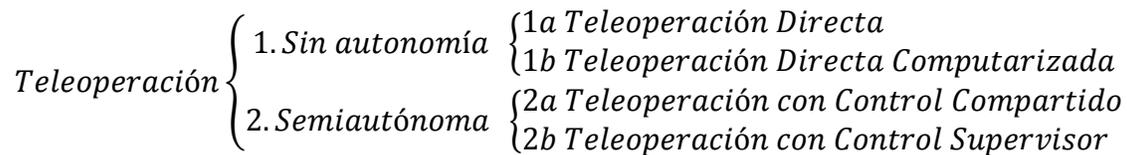


Figura 5. Clasificación de la teleoperación.

Los sistemas remotos en el grupo 1 **no poseen autonomía** y se tienen dos modos: 1a) La **Teleoperación Directa** que es la copia exacta de los movimientos del operador, por ejemplo el manipulador eléctrico patentado por Goertz en 1954 [65] y 1b) La **Teleoperación Directa Computarizada** es donde hay participación de sistemas informáticos para realizar procesos y cálculos lógico-matemáticos de manera que el humano pueda operar eficientemente al robot. El representante de esta categoría es la teleoperación bilateral, cuya visión fundamental es brindar información al operador del ambiente remoto al instrumentar tanto al robot esclavo como al dispositivo maestro. Un ejemplo es el propuesto por Miyazaki, donde se recurre a la teoría de Liapunov para igualar la posición del dispositivo esclavo asintóticamente con la posición del dispositivo maestro [72].

En el segundo grupo están los sistemas de manipulación remota que presentan **cierta autonomía**, por lo que se les ha denominado “**Semiautónomos**” y se caracterizan por su capacidad de tomar decisiones (o realizar cálculos) por cuenta

propia, pero aún dependen de la deliberatividad humana para desarrollar las tareas de manipulación. Para comenzar está 2a) La **Teleoperación con Control Compartido** donde se conmuta entre el control directo y el control por computadora. Los ejemplos son: el control compartido de S. Hayati [73]; la *teleautonomía* de Lynn A. Conway [74]; la arquitectura empleada para teleoperación en el espacio propuesta por Gerd Hirzinger y colaboradores [75].

Hayati [73] describe la implantación de una arquitectura informática para teleoperación de un robot que recibe comandos desde dos vías: i) un dispositivo maestro con seis grados de libertad y ii) de un “planificador autónomo.”

En la *teleautonomía* de Conway [74] se introdujeron tres algoritmos nombrados como: i) embrague de tiempo, ii) embrague de posición y iii) freno de tiempo, los cuales lidian contra el retraso de tiempo, errores provocados por el operador y contingencias (como evasión de obstáculos), respectivamente con el fin de auxiliar al operador durante la manipulación.

Hirzinger [75] propone una arquitectura en la que un robot en el espacio puede operarse manualmente desde la cabina de la nave por un astronauta o desde tierra por un operador y de forma preprogramada desde tierra, o bien, es posible programarlo con ayuda de simulaciones (*learning-by-showing*).

El cuarto modo ubicado en el segundo grupo es 2b) La **Teleoperación con Control Supervisor**, donde el operador y el sistema esclavo están conectados, aunque con una fuerte tendencia a la autonomía remota, esto implica que el operador puede generar comandos de alto nivel que son refinados y ejecutados por el sistema remoto. En seguida se nombran ejemplos representativos: el *modo supervisor* de Jong H. Park [76]; la *teleprogramación* de Matthew R. Stein [77] y la *teleoperación inteligente* de Kevin Brady [78].

Park [76] describe un sistema de *teleoperación con modo supervisor* donde el operador especifica una tarea usando la interfaz computarizada para señalar un punto, un objeto y una ubicación de destino. El sistema verifica posibles colisiones con obstáculos en el entorno. Si el sistema detecta una colisión inminente, emplea reglas *heurísticas preprogramadas* para evadir dichos obstáculos.

Con la *teleprogramación* de Stein [77] se genera un controlador para robot teleoperado basado en *comportamientos* estudiados por Arkin [79] y estructurados bajo los principios de la arquitectura *subsumption* de Brooks para robots móviles [80] con la finalidad de que el robot tenga cierta capacidad de tomar decisiones basadas en información de los sensores remotos. En otras palabras, lo que se propuso fue una serie de algoritmos individuales que al combinarse durante la ejecución de la teleoperación parece un comportamiento inteligente, sin serlo.

La *teleoperación inteligente* de Brady [78] describe un sistema Maestro-Esclavo donde inicialmente el operador observa la ubicación del robot y le indica moverse hacia otro punto. Este comando “mover” es enviado a un “planeador remoto” y se inicia el movimiento. Si el operador observa que el robot puede colisionar, activa la función de evasión y genera un comando de desvío en tiempo real (*avoid vector*) usando una palanca. El “planeador remoto” genera la trayectoria de evasión y cuando está fuera de peligro, recupera la trayectoria original.

Las características relevantes de la teleoperación semiautónoma de los casos estudiados convergen en aspectos básicos enumerados a continuación: 1) Los sistemas teleoperados requieren de la participación del humano en el lazo de control. 2) En los sistemas teleoperados semiautónomos existe un sistema de control no-humano que conmuta con el control humano. 3) La semiautonomía auxilia al operador durante la ejecución de la tarea y ayuda a proteger al robot (e.g. evasión de obstáculos). 4) La información del entorno remoto fluye hacia sensores del robot y posteriormente al humano. 5) Las capacidades semiautónomas de los sistemas teleoperados se plasman (*embody*) en forma de

programas. 6) Dichos programas están constituidos por algoritmos que funcionan en conjunto.

Aspectos fundamentales de las tareas de manipulación en teleoperación.

Ejemplos de tareas comunes en teleoperación son inserción de clavijas, ensamble y manejo de partes, verter líquidos, abrir gavetas, alambrado, evitar colisiones, etc. [60]

Los autores han proponen la clasificación de los elementos básicos de manipulación, tomando en cuenta la clasificación dada por Latombe en [81], como se muestra en la Figura 6:

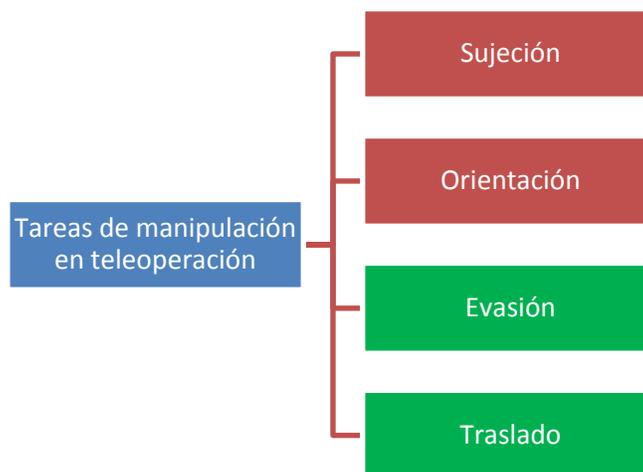


Figura 6. Tareas de manipulación en teleoperación

La sujeción y la orientación se agrupan juntas porque, mantienen una relación directa con el objeto, la tarea y el tipo de efector final del robot manipulador esclavo (orientación y sujeción) y son variables; por otro lado, el traslado y la evasión son otro grupo porque existen en todos los movimientos entre dos puntos (traslado y evasión), y son relativamente invariantes.

Sujeción. La sujeción de un objeto depende diversos factores como son las propiedades del material y la geometría. En consecuencia, el efector final⁶ del robot estará en función del objeto y los algoritmos de sujeción son específicos para la tarea a realizar. Aunque la liberación podría entenderse como el evento inverso de la sujeción, en ocasiones, una posición de sujeción requiere que la pieza a ser sujeta, se libere y se sujete de nuevo (*re-grasped*) [81].

Orientación. La orientación del efector final está disponible cuando el robot posee los grados de libertad necesarios para tal propósito. Además hay que distinguir a la orientación del objeto que es el resultado de la orientación del efector final, sumada a la orientación en que fue sujetado el objeto. Convirtiendo a la orientación a una parte de la tarea altamente específica a la necesidad que se está resolviendo en ese instante. El posicionamiento de un objeto requiere de comandos de movimiento para alcanzar el objetivo con alta precisión en un espacio predefinido (e.g. el acoplamiento de una parte en su ensamble). En general, debido a la incertidumbre, comandos de movimiento simples no son suficientes, en su lugar, puede ser necesaria una estrategia de movimiento que incluya varios comandos de movimientos que usen información sensorial de entrada. Tanto la orientación como la posición del efector final y el objeto deben ser seleccionadas, además una trayectoria dirigida a la posición, debe ser generada. La posición debe ser accesible, debe ser estable y robusta para resistir algunas fuerzas externas [81].

Traslado. Es el movimiento descrito por el efector final durante un cambio de posición sin tomar en cuenta su orientación, ni otras fracciones de la tarea de manipulación, y se compone de tres elementos de movimiento en el espacio, siendo los tres ejes de posición: x, y, z. El traslado puede estar contenido en cada uno de estos ejes independientemente (x, y, z) o una combinación de ellos (xy, xz, yz, xyz). El traslado requiere de dos especificaciones: a) los puntos en el espacio por los que pasará (**Lugar Geométrico**) y b) la información de velocidad y

⁶ Comúnmente una tenaza, ventosa, electroimán, etc.

aceleración que se deben cumplir. El traslado se manifiesta en todas las tareas y es necesario para que se pueda decir que la tarea existe [81].

Evasión. Es un área esencial en robótica y debe ejecutarse para evitar colisiones y por ende daños al equipo. El principio requerido por la evasión es que debe proveerse una distancia entre el robot, o el efector-final, y el obstáculo. (nota: los obstáculos pueden ser estáticos (e.g. paredes, muebles) y móviles (e.g. piezas sueltas, herramientas, otros robots y humanos). Debido a que la evasión no forma parte de la tarea (a menos que así se indique) y tampoco implica que mejore la precisión de la misma, puede o no manifestarse durante la tarea [78].

El conocimiento de la distribución espacial (robot, humano y objetos) del Entorno es necesario para realizar estas operaciones. Por ejemplo, la planeación de una vía libre de colisiones requiere saber dónde están ubicados los obstáculos. Si dicha información está disponible, los comandos de movimiento pueden ser generados por completo, de lo contrario, es necesaria una combinación de planeación y ejecución [81].

En resumen, la teleoperación es la extensión de los sentidos humanos y sus habilidades de manipulación hacia un lugar remoto [56, 57]. Sobre los dos grupos en los que clasifica a la teleoperación [56, 70, 71], se tiene a los que no tienen algún tipo de autonomía, por ejemplo la Teleoperación Directa [65, 72], mientras que está el grupo de teleoperación semiautónoma, por ejemplo, los sistemas de control supervisado [76-78] o control compartido [73-75]. En general, los sistemas teleoperados semiautónomos se componen de dos partes: la primera, es la que controla el humano (componente no-autónomo) y la segunda es el componente autónomo, donde el agente artificial toma decisiones por sí mismo.

4. Robótica

La **robótica** es la rama de la ingeniería consagrada al diseño, construcción, operación, disposición estructural, control y aplicación de los robots. La robótica combina diversas disciplinas como son: la mecánica, la electrónica, la informática, la inteligencia artificial, la ingeniería de control, ciencias matemáticas y físicas [82].

Un **robot** es un dispositivo mecánico versátil (e.g. un brazo manipulador, mano multidedos-multiarticulada, vehículos con llantas o piernas, o una combinación de ellos) equipado con actuadores (e.g. motores) y sensores (e.g. *encoders*) bajo el control de un sistema de procesamiento de información (e.g. computadora, microprocesadores), que opera en un espacio de trabajo dentro de un “mundo real” (sistema físico). Este espacio de trabajo está “habitado” por objetos físicos y está sometido a las leyes de la naturaleza. El robot realiza tareas al ejecutar movimientos en el espacio de trabajo [81].

Espacio de configuración

Se considera un objeto rígido A moviéndose en un espacio de trabajo W , donde W es el espacio euclidiano de dimensión N , o R^N , donde N toma valores desde dos en adelante, sin embargo sólo existen representaciones reales hasta que el valor de N es seis. W está equipado con un sistema cartesiano de coordenadas, o *frame*, F_W , que es “Fijo”. Estrictamente hablando, W es un espacio físico, mientras que R^N , es un espacio matemático que representa a W .

Un sistema móvil de coordenadas o *frame* F_A , está asociado a A , de tal forma que el robot tiene fijas las coordenadas de F_A . El origen de F_W y F_A es anotado por O_W y O_A , respectivamente. O_A es llamado el punto de referencia.

Se puede considerar un robot como un objeto (con cierta posición y orientación) como un subconjunto compacto de W . Partiendo que A es rígido, todos sus puntos

a de A , tiene una posición fija con respecto a F_A , pero las posiciones de los puntos a en W dependen de la posición en y orientación de F_A relativa a F_W .

Una **Configuración** de un robot arbitrario es una especificación de la posición en cada punto en el relativo al sistema de referencia fijo. Por lo tanto, una **configuración q** de A es una especificación de posición (P) y de orientación (O) de F_A con respecto a F_W . El espacio de configuración de A es el espacio C de todas las configuraciones de A . El subconjunto de W ocupado por A en la configuración q es denotado por $A(q)$. De la misma manera, el punto a sobre A en una configuración q es denotado por $a(q)$ en W .

Es posible describir una configuración mediante una lista de parámetros reales, por ejemplo, la posición P puede ser descrita por un vector de N coordenadas de origen de F_A en F_W . Mientras que la orientación puede describirse como una matriz de $N \times N$ cuyos columnas son componentes, en F_W , de los vectores unitarios sobre los ejes de F_A [81].

Lugar geométrico y trayectoria

El **Lugar Geométrico** (*Locus*) es el conjunto de puntos (x, y, z) que cumplen o están determinados por una o más propiedades o condiciones, las cuales pueden ser representadas mediante una ecuación de la forma:

$$f(x, y, z) = 0$$

El conjunto de puntos cuyas coordenadas satisfacen tal ecuación recibe el nombre de gráfica de la ecuación; o bien, su lugar geométrico.

Un lugar geométrico puede cumplir con una o más condiciones a la vez. Algunos ejemplos de lugar geométrico son las secciones cónicas en el plano, o las figuras geométricas en el espacio (e.g. esfera, cubo), etc.

Durante el movimiento de un robot existe un historial en el tiempo de la posición, la velocidad y la aceleración que describe cada grado de libertad. El conjunto de puntos, o el historial de las posiciones, es conocido como el **lugar geométrico** de la trayectoria. Una vez que se asocian velocidades y/o aceleraciones, el lugar geométrico se convierte en la trayectoria [83].

Espacios de trabajo

El **Espacio de Trabajo** W de un manipulador está definido por el conjunto de puntos (volumen de espacio) que pueden ser alcanzados por su efector final [83]. El análisis y evaluación el espacio de trabajo es fundamental en el diseño de geometrías y algoritmos. Para la descripción del espacio de trabajo se usan las siguientes ecuaciones [84]:

$$\vec{p} = \begin{Bmatrix} x_E \\ y_E \\ z_E \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x_E(q_1, q_2, \dots, q_i) \\ y_E(q_1, q_2, \dots, q_i) \\ z_E(q_1, q_2, \dots, q_i) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$W = \left\{ \begin{array}{l} x_E(q_1, q_2, \dots, q_i) \\ y_E(q_1, q_2, \dots, q_i) \\ z_E(q_1, q_2, \dots, q_i) \end{array} \middle| q_j^{min} \leq q_i \leq q_j^{max} \right\} \quad (2)$$

Donde q_j son las variables articulares [84]:

Del análisis cinemático

La posición del efector final de la ecuación (1) puede ser obtenido por métodos de estudio cinemático como *Denavit-Hartenberg*.

$${}^0T_i = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 \dots {}^{i-1}T_i \quad (3)$$

La matriz de transformación que describe al manipulador desde un eslabón $i - 1$ hasta un eslabón i para articulaciones rotacionales está dada en la ecuación 4:

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \sin\theta_i \cos\alpha_{i-1} & \cos\theta_i \cos\alpha_{i-1} & -\sin\alpha_{i-1} & -d_i \sin\alpha_{i-1} \\ \sin\theta_i \sin\alpha_{i-1} & \cos\theta_i \sin\alpha_{i-1} & \cos\alpha_{i-1} & d_i \cos\alpha_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Del análisis de singularidades

En general, el jacobiano es una función de la configuración q . Aquellas configuraciones en las cuales la matriz del jacobiano J es de rango incompleto (*rank-deficient*) son conocidas como singularidades cinemáticas, (e.g. las singularidades de frontera ocurren cuando el manipulador está totalmente retraído o totalmente extendido). En otras palabras el Espacio de Trabajo Alcanzable debe tener en cuenta la Ecuación 5:

$$|J(q^*)| = 0 \quad (5)$$

Por lo que la ecuación 2 se puede reescribir como la ecuación 6 [84]:

$$W = \left\{ \begin{array}{l} x_E(q_1, q_2, \dots, q_i) \\ y_E(q_1, q_2, \dots, q_i) \\ z_E(q_1, q_2, \dots, q_i) \end{array} \middle| q_j^{\min} \leq q_i \leq q_j^{\max} (j \neq m) \right\} \quad (6)$$

Con la ecuación 6 se obtiene un volumen en el que existen y se manifiesta el robot, al cual nos referiremos como el **Espacio de Trabajo del Robot** (azul). El robot tiene como propósito ejecutar una **Tarea**, la cual acota un espacio que representa todas las configuraciones $A(q)_{tarea}$ que resuelven esa tarea particular (verde), ver Figura 7.

$$A(q)_{tarea} \subseteq W \subseteq Mundo \quad (7)$$

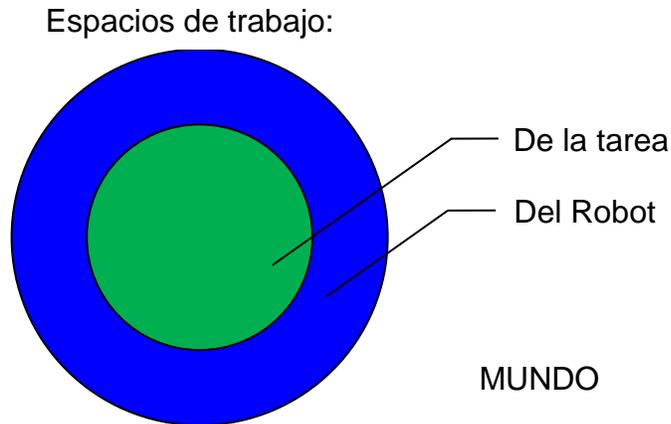


Figura 7. Espacios donde el robot existe y se manifiesta.

Clasificación de los espacios de trabajo [83, 85].

Espacio de Trabajo Alcanzable (ETA). Es el conjunto de posiciones que pueden ser logrados por el punto de referencia del efector final en una orientación, al menos.

Espacio de Trabajo Diestro (ETD). Son todas las posiciones del punto de referencia del efector final para las cuales todas las orientaciones son posibles.

Espacio de Trabajo con totalmente orientable (ETTO). Son todas las posiciones del punto de referencia del efector final pueden ser alcanzadas con todas las orientaciones entre un conjunto definido por rangos en los ángulos de orientación.

Espacio de Trabajo de Orientación (ETO). Son todas las posibles orientaciones que se pueden lograr cuando el punto de referencia del efector final está en una posición fija.

Espacio de Trabajo de Orientación Fija (ETOF). Son el conjunto de posibles posiciones que pueden ser alcanzadas por el punto de referencia del efector final con una orientación especificada.

Los pensamientos sin contenido están vacíos, las intuiciones sin conceptos están ciegas.
-Emmanuel Kant

III. INTUICIÓN ARTIFICIAL

El resultado de la investigación de teorías precedentes sobre intuición artificial ha arrojado que se requiere definir a la Intuición Artificial, por lo que resultó necesario generar una definición para ser empleada en esta investigación.

De manera que para esta investigación se ha definido a la Intuición Artificial como sigue:

La Intuición Artificial es un área multidisciplinaria que, a través de ciencias, tales como la informática, psicología, robótica, estudia la creación y diseño de entidades capaces de emular ciertos rasgos de la intuición humana.

La Intuición Artificial es una rama de la inteligencia artificial, que se dedica a emular el reconocimiento automático de patrones de información para generar respuestas rápidas y normalmente certeras o confiables.

La Intuición Artificial es una representación limitada de las capacidades intuitivas del ser humano.

La Intuición Artificial es un procesamiento basado en el reconocimiento automático de patrones, lo que lo hace extremadamente rápido y no hace uso exhaustivo de la capacidad de memoria ni de procesamiento en la búsqueda razonada o iterativa de soluciones.

La Intuición Artificial emula la vía intuitiva de la obtención de soluciones que no necesitaron un largo proceso de búsqueda, más bien hubo reconocimiento de **fragmentos relevantes** de información que conllevan al descubrimiento de una solución que mejorara la calidad de las respuestas.

La Intuición Artificial funciona en base a un conjunto de **algoritmos** sintetizados a partir del estudio de las capacidades humanas intuitivas de realizar una tarea en condiciones que estimularon la intuición. Estos **algoritmos** representan a mecanismos inconscientes compuestos por fragmentos o plantillas de conocimiento pre-adquirido, las funciones de cada algoritmo funcionan independientemente o se presentan bajo el principio de superposición.

La intuición artificial está embebida en los elementos de procesamiento del agente artificial como parte de su arquitectura.

La Intuición Artificial se implementa con ecuaciones o fórmulas, cuyas entradas son piezas clave o relevantes de información para la tarea, lo que cumple con la propiedad de ser un procesamiento automático.

La Intuición Artificial encuentra la respuesta a un problema en cuanto recibe las entradas, discriminando otras posibles soluciones, en consecuencia, se disminuye el tiempo de búsqueda y la cantidad de procesamiento.

La Intuición Artificial, en robótica, es un subespacio de configuraciones especificadas por una tarea realizada con intuición (*amarillo*), al que llamamos Espacio Intuitivo de la Tarea (EIT), o $A(q)_{intuición}$.

$$A(q)_{intuición} \subseteq A(q)_{tarea} \subseteq W \subseteq Mundo \quad (8)$$

En la Figura 8 se complementa a la Figura 7 con el Espacio Intuitivo de la Tarea para ubicarlo como subespacio del espacio de trabajo de la tarea del robot.

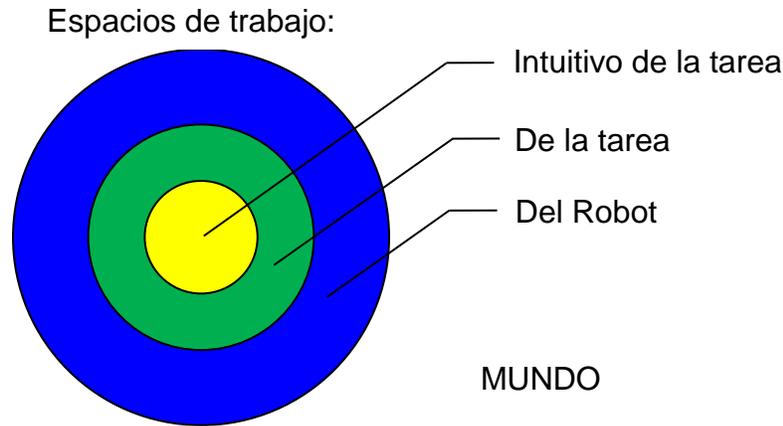


Figura 8. Espacio Intuitivo de la Tarea, EIT

Clasificación de la Intuición Artificial

La Intuición Artificial se organizó en dos tipos de algoritmos para programar un ente artificial:

- i. Algoritmos de Intuición Artificial Primitiva (InAP):
 - Se le reconoce como primitivo a aquel algoritmo que el “diseñador” del agente artificial considera necesario como una estructura elemental y necesaria para la continuidad y preservación del agente artificial. Una de las características es que su existencia en la interacción de humano con el agente artificial es que se reemplaza un componente reactivo del “operador” (humano o artificial) durante una tarea. Los algoritmos de InAP representan al conjunto de atajos heurísticos desarrollados a lo largo de la evolución.

- ii. Algoritmos de Intuición Artificial Adquirida (InAA):
 - Se le llama adquirido al algoritmo que fue definido a partir de la tarea a ejecutar, se asocia a la repetición de eventos y estos algoritmos pueden ser inspirados en la intuición para ejecutar tareas por el humano. Su finalidad es que reemplace uno o más elementos deliberativos del “operador” (humano o artificial) empleados en una

tarea. Los algoritmos de InAA representan a las asociaciones aprendidas a lo largo de una historia vital.

Los algoritmos así organizados pueden diseñarse por separado para generar una respuesta de intuición artificial; pueden coexistir más de uno en cada tipo y requieren ciertas reglas de interacción.

Interacción de los Algoritmos de Intuición Artificial

Los **algoritmos** de Intuición Artificial deben interactuar sinérgicamente para lograr una respuesta única en un momento o evento particular aunque cada uno de los algoritmos manifiesta una respuesta individual. La interacción más simple evoca al **Principio de Superposición** de los efectos, es decir, si el algoritmo A existe en un mismo instante que el algoritmo B la relación puede obtenerse como la suma de los efectos de A más los efectos de B, siempre y cuando se cumplan dos condiciones: 1) Efectuar la tarea con el menor error posible y 2) Evitar daños al sistema, e.g. colisiones.

La Intuición Artificial no posee mecanismos de aprendizaje: Si la intuición artificial debe ser aprendida automáticamente por el ente artificial, pierde el sentido de ser un proceso inconsciente, porque rompe con el esquema de ser un procesamiento rápido y de bajo costo “computacional”, la razón principal es que se recurriría a herramientas de la inteligencia artificial como adquisición y procesamiento de entradas como lenguaje natural (e.g. habla humana) o visión artificial, además de cruce de bases de datos y generación de respuestas nuevas, además de autoevaluación, autoregulación, etc. Lo cual implica alto poder de procesamiento, mayor tiempo de pre-procesamiento y de procesamiento, incluso mayor gasto energético, entre otras cosas. Por lo que no se contempla el aprendizaje de intuición por el propio sistema artificial, en el modelo de Intuición Artificial.

IV. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

El diseño del experimento para capturar la intuición humana y sintetizar un algoritmo de intuición artificial conlleva la siguiente metodología:

- Capturar datos provenientes de las habilidades intuitivas del humano durante tareas de traslado y evasión con ayuda de un dispositivo antropomórfico (ver el apéndice)
- Analizar la información contenida en los datos, en busca de patrones y expresarlos en términos de la robótica.
- Usar la información para sintetizar ecuaciones programables en un sistema robótico teleoperado.

Condiciones en las que se puede capturar intuición en la manipulación

Si se conocen las condiciones en las que se puede manifestar la intuición, es posible capturarla con los instrumentos adecuados. Como se ha dicho, la intuición es una consecuencia de la experiencia, pero se manifiesta en mayor grado cuando hay situaciones nuevas. Esto se puede explicar con la siguiente Figura 9 se presenta el momento en que interviene la intuición con respecto a una curva de experiencia ante una situación nueva.

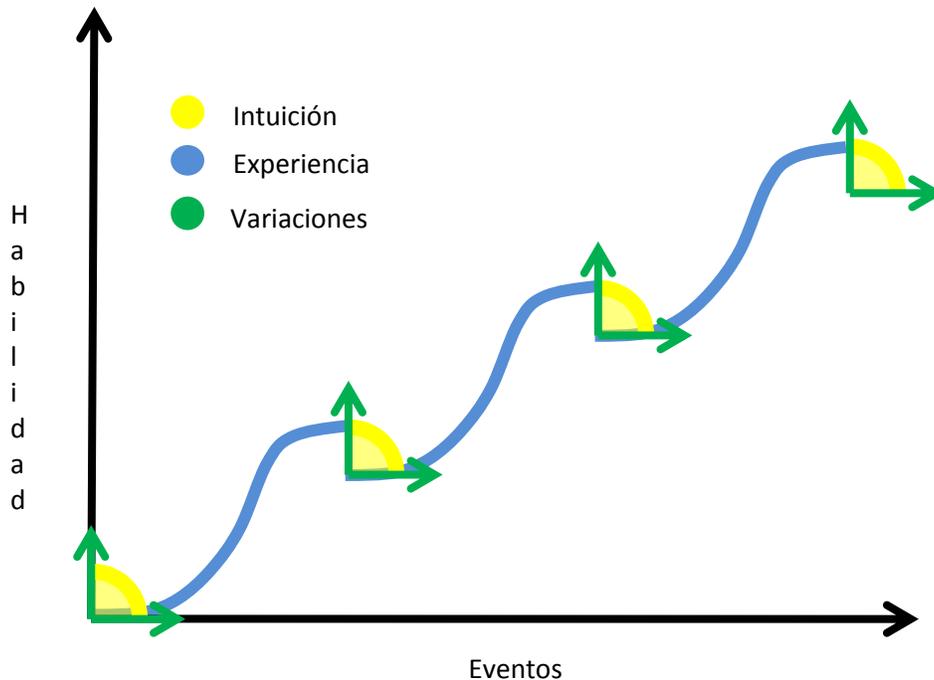


Figura 9. La intuición se manifiesta ante situaciones nuevas o ante variaciones de situaciones no-nuevas (de las que ya se tenía experiencia). La habilidad (eje vertical) aumenta con respecto a la cantidad de eventos (eje horizontal).

Un ejemplo, todos saben cómo abrir la puerta de la casa donde se habita, y es un evento nuevo el abrir la puerta del vecino, que nunca se había hecho antes, entonces se debe usar la intuición para hacerlo correctamente.

Por lo tanto, las condiciones para el diseño del experimento que estimule la respuesta intuitiva son:

- Se debe presentar una situación ordinaria/usual a una persona, sin que la haya hecho antes y sin recibir instrucciones previas o entrenamiento.
 - Si es un experto, se debe presentar una situación “nueva” dentro del mismo contexto de su experiencia o pericia (por ejemplo, un nuevo carro para un piloto experto).
- Se pide que resuelva la situación rápidamente (poco tiempo).
 - Si es un experto, se introduce un problema a resolver sin previo aviso y con tiempo limitado.

- Proceder con lo primero que se viene a la mente, es decir, sin un largo proceso de premeditación o lógica (“*not thinking hard*”).
- Se muestrean sólo los primeros eventos para que la muestra no contenga elementos de aprendizaje.
 - Si ya había experiencia: Se registra el momento de la respuesta intuitiva (la variación o diferencia).

Decimos que se capta intuición porque, la forma de actuar ante tal situación no ha requerido de razonamiento, planeación, generación de conceptos, al captar los primeros eventos nos aseguramos que no haya elementos de aprendizaje o fortalecimiento de la experiencia, evitando que se “contamine” la muestra, sin embargo, inevitablemente habrá ciertos factores implicados que es necesario eliminar como el prejuicio o atención excesiva, es decir, fijar y forzar todos los sentidos para realizar la tarea antes de ejecutar la acción.

Ponemos a la persona a hacer una actividad sencilla, no razonó, es natural y fácil. La herramienta permite movimientos naturales que captan sin límite lo que la persona cree que es correcto, no se le ha dicho que lo haga recorriendo una trayectoria conocida, sino la primera que le venga a la mente.

Experimentos particulares de traslado y evasión

Antes de comenzar se establece lo que se entenderá cómo se analizan el traslado y la evasión en una tarea de manipulación con el fin de sintetizar los algoritmos de Intuición Artificial.

Traslado

Es el movimiento descrito por el efector final durante un cambio de posición sin tomar en cuenta su orientación, ni otras fracciones de la tarea de manipulación, y se compone de tres elementos de movimiento en el espacio, siendo los tres ejes de posición: x, y, z. En un espacio de tres dimensiones están contenidos dos puntos que definen a la tarea de **traslado**, el punto inicial y el punto final. El

traslado puede ser percibido en cada uno de los tres ejes de posición: x, y, z. de forma independiente (x, y, z) o una combinación de ellos (xy, xz, yz, xyz), como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Tabla de casos

XYZ	X	Y	Z
X	XX	XY	XZ
Y	YX	YY	YZ
Z	ZX	ZY	ZZ

Evasión

Es una actividad esencial en robótica y debe ejecutarse para evitar colisiones y por ende daños al equipo. El principio requerido por la evasión es que debe proveerse una distancia entre el robot, o el efector-final, y el obstáculo. (nota: los obstáculos pueden ser estáticos (e.g. paredes, muebles) y móviles (e.g. piezas sueltas, herramientas, otros robots y humanos). Debido a que la evasión no forma parte de la tarea (a menos que así se indique) y tampoco implica que mejore la precisión de la misma, puede o no manifestarse durante la tarea. Finalmente, Un obstáculo es una barrera física que impide la coexistencia de otro cuerpo en un mismo espacio en un mismo instante de tiempo.

El banco de pruebas

Se diseñó y construyó un Dispositivo serial Instrumentado de cinco grados de libertad con sensores de rotación en cada una de sus articulaciones [86] (ver Figura 10). Con estos sensores se midieron los ángulos para calcular, por cinemática directa (ecuaciones 9-11), las posiciones en los ejes x, y, z.

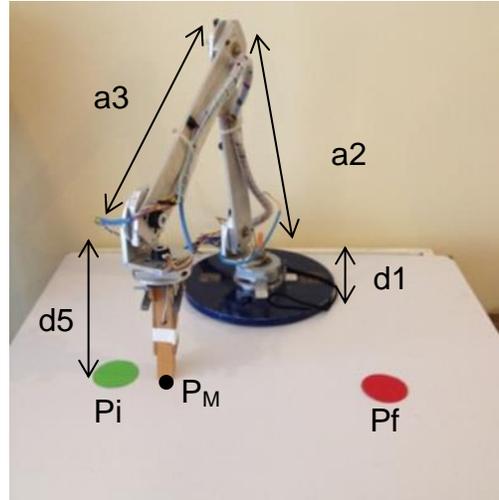


Figura 10. Dispositivo Serial Instrumentado.

Ver apéndice dedicado al dispositivo serial instrumentado para detalles de ingeniería, ahí se ha encontrado la cinemática directa, que corresponde al cálculo de la posición, Punto M (x_m, y_m, z_m), mediante los ángulos de las articulaciones del dispositivo. Siendo las ecuaciones generadas las que se muestran a continuación:

$$x_m = \cos \theta_1 * [a_2 * \cos \theta_2 + a_3 * \cos(\theta_2 + \theta_3) - d_5 * \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)] \quad (9)$$

$$y_m = \sin \theta_1 * [a_2 * \cos \theta_2 + a_3 * \cos(\theta_2 + \theta_3) - d_5 * \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)] \quad (10)$$

$$z_m = d_1 - [a_2 * \sin \theta_2 + a_3 * \sin(\theta_2 + \theta_3) + d_5 * \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)] \quad (11)$$

Donde (x_m, y_m, z_m) son las coordenadas del Punto M que es el vector generado por la persona al mover el Dispositivo Serial Instrumentado. Asimismo, los ángulos de las articulaciones del Dispositivo son $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ (θ_5 no tiene efecto en la posición), y por último, sus dimensiones geométricas son d_1, a_2, a_3, d_5 .

Procedimiento:

Cada uno de los individuos se colocó de frente al dispositivo montado sobre una plataforma, de tal manera que podían sujetar el extremo final del dispositivo. En la cubierta estaban marcadas dos posiciones a las que debía trasladar la “punta” del dispositivo, posición inicial (verde) y posición final (rojo).

Se pidió que movieran de la posición inicial hacia la posición final, sin especificación de otro tipo, por ejemplo de a qué velocidad o qué forma de la trayectoria debía seguir. Sin aviso, se les modifican la posición inicial y la final.

A continuación se muestran representaciones de los casos tomados de la Tabla 1:

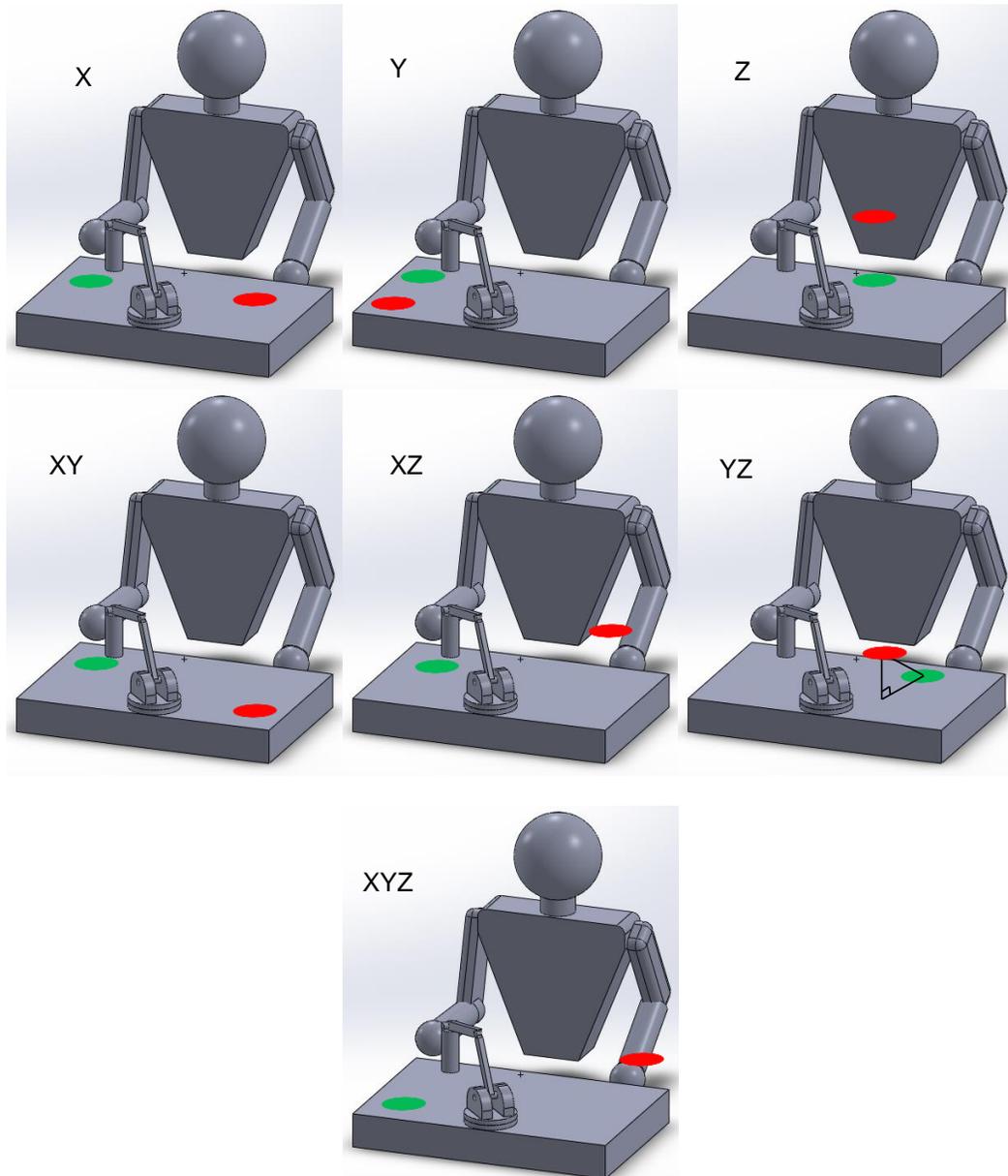
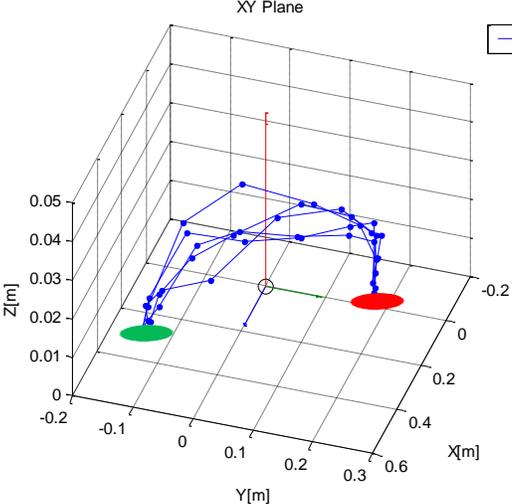
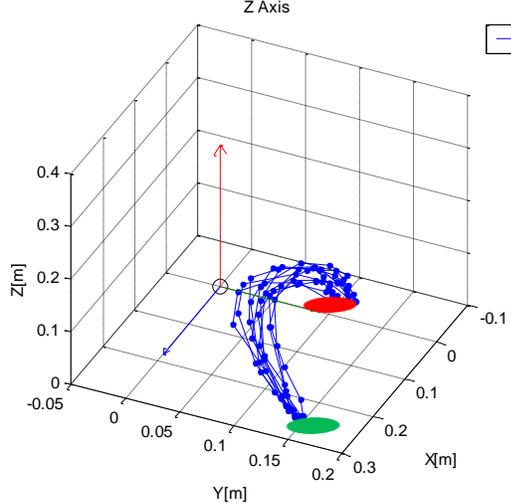
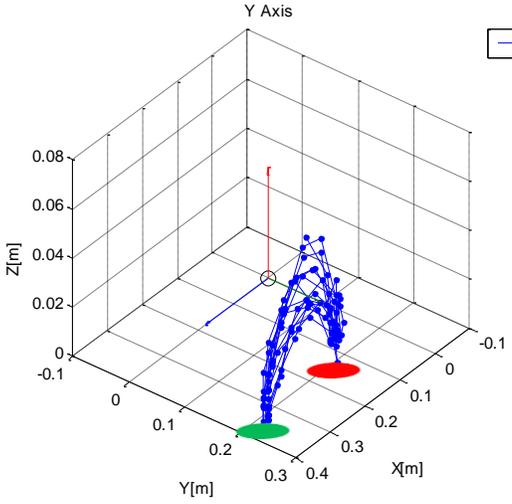
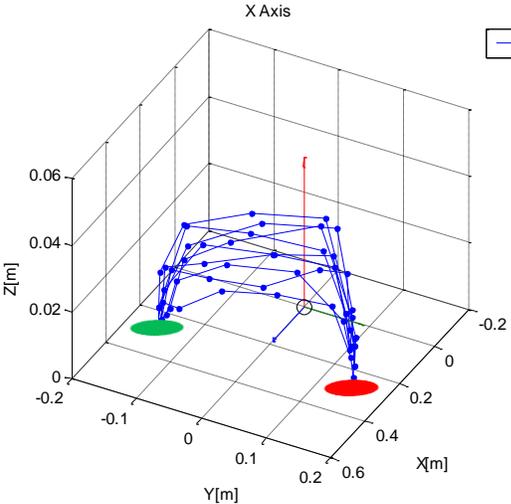


Figura 11. Representación de los casos de traslado

Los datos experimentales contienen información de la posición espacial en los tres ejes x, y, z. las coordenadas de los puntos inicial y final son (x_i, y_i, z_i) y (x_f, y_f, z_f) respectivamente.



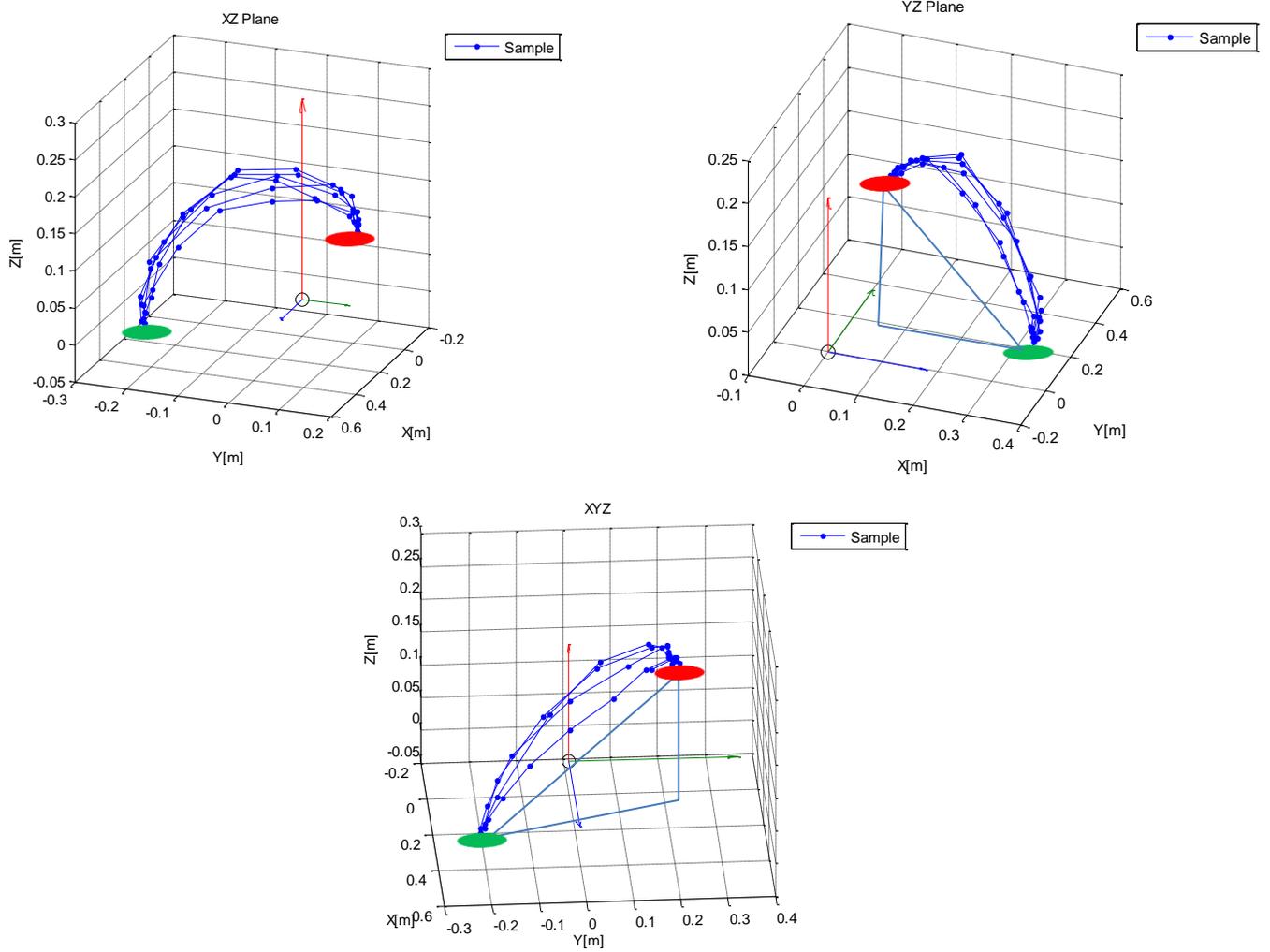


Figura 12. Resultados de la captación de la intuición para trasladar el dispositivo en diferentes casos de estudio

Traslado

Se hicieron más muestreos en el caso del plano Y que se despliegan en la Figura 14.

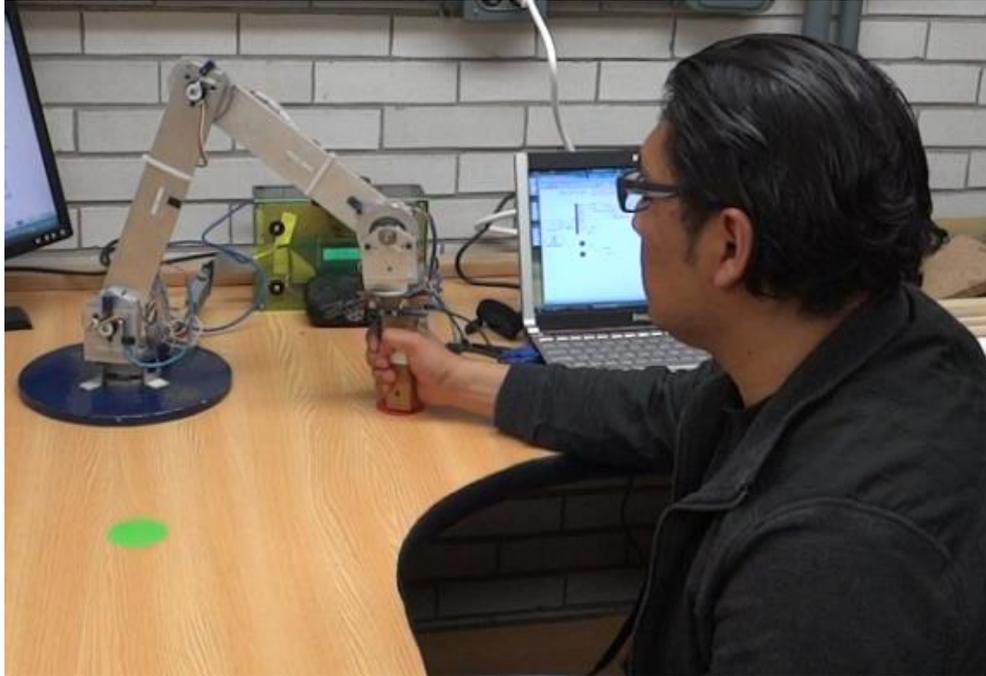


Figura 13. Representación del experimento de traslado

A partir de los resultados del muestreo (Figura 13) se despliegan los resultados en una gráfica de tres dimensiones durante la etapa de traslado (Figura 23)

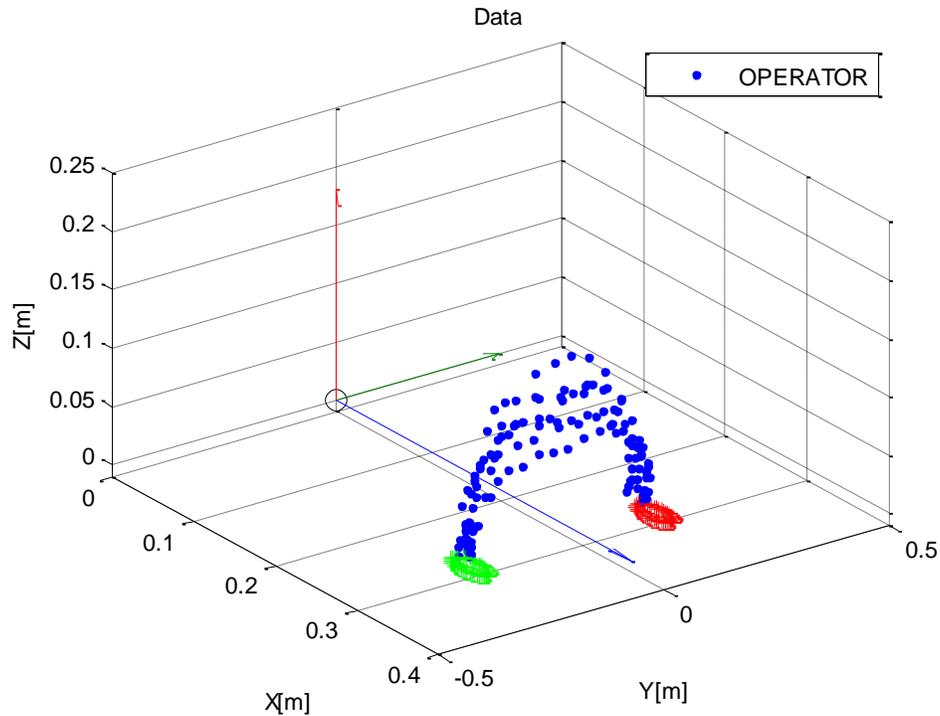


Figura 14. Datos obtenidos del muestreo del traslado.

Intuición humana en el traslado y la evasión.

Traslado. En un espacio de tres dimensiones están contenidos dos puntos que definen a la tarea de traslado, el punto inicial (verde) y el punto final (final). Una persona puede intuir la forma que tendrá el traslado entre ambos puntos, no es un trayecto estricto, pero con una forma definida. Las observaciones con personas muestran que estos trayectos están contenidos dentro de un “volumen” Ver Figura 12 y Figura 15.

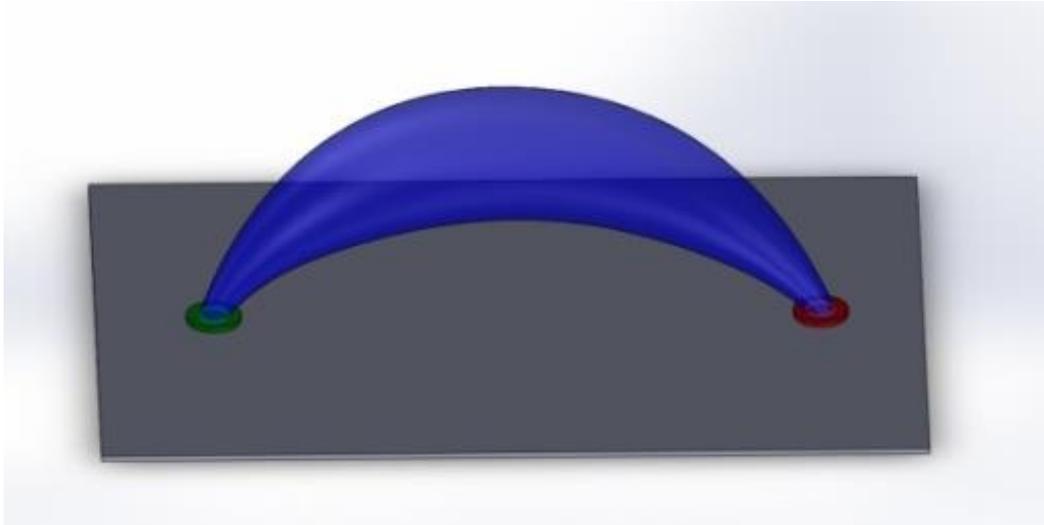


Figura 15. Representación del Espacio Intuitivo de la Tarea de traslado

El volumen sintetizado por la acción intuitiva durante una tarea de traslado forma un *Espacio Intuitivo de la Tarea* y está incluido en el espacio de trabajo del instrumento de medición y además es susceptible de ser *emulado* por un sistema robótico.

Una forma de síntesis de un lugar geométrico para establecer un modelo matemático del *Espacio Intuitivo de la Tarea* puede ser a través del método de centroides⁷ que simplifica tal espacio en un **lugar geométrico**, ver Figura 17.

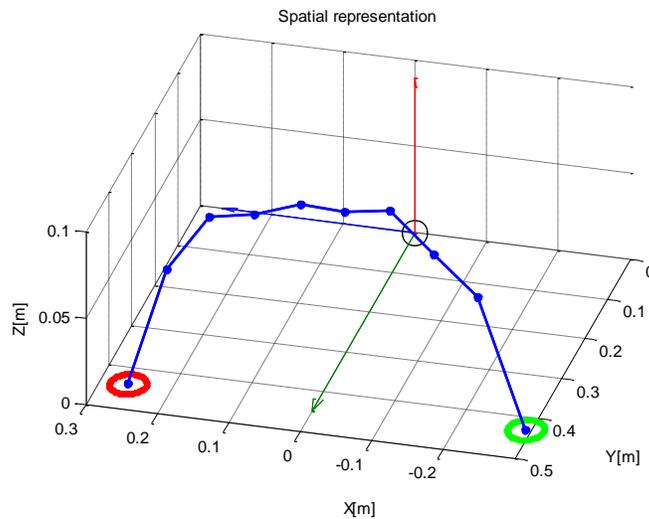


Figura 16. Promedios del muestreo de traslado.

⁷ Este método se basa en la obtención de los centroides de los datos que están contenidos dentro de rebanadas espaciadas uniformemente. Los datos son los puntos, en función del tiempo, generados por las trayectorias intuitivas.

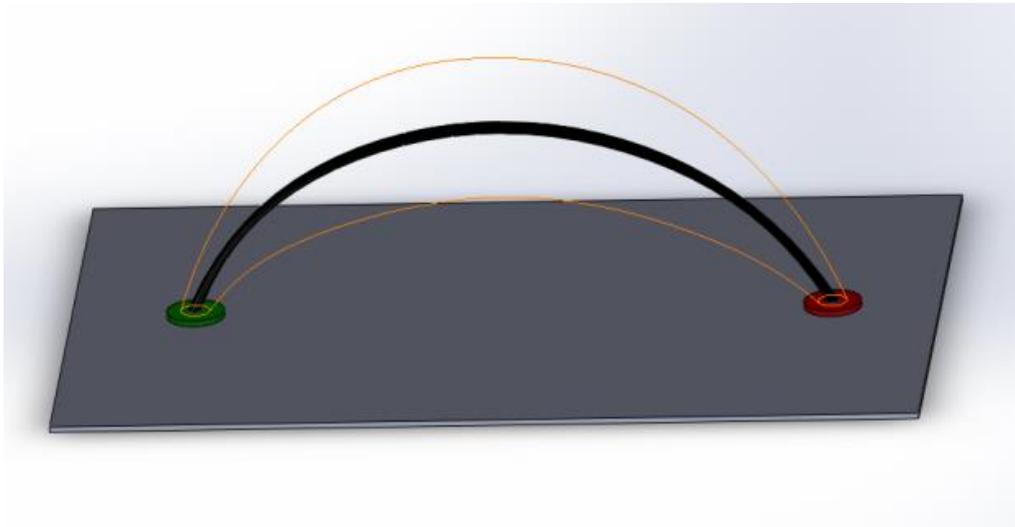


Figura 17. Representación del lugar geométrico (*negro*) obtenido a partir de los datos del Espacio Intuitivo de la Tarea de traslado

A continuación se muestran los comportamientos en cada eje de los datos antes mostrados en la Figura 16, siendo el primero el eje x donde se observa una recta con pendiente constante (Figura 18).

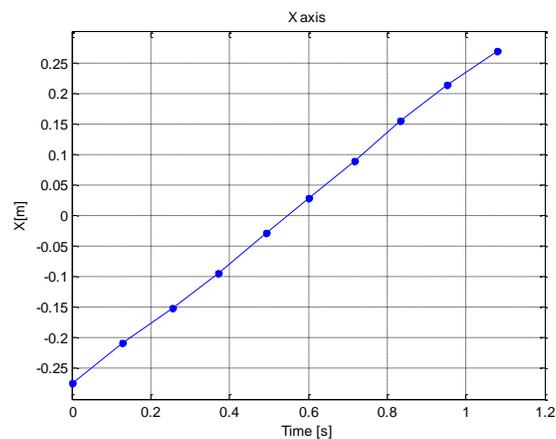


Figura 18. Comportamiento en el eje x

En la Figura 19 se observa una recta que permanece “próxima” a un valor **constante** en el eje, esto es, el valor inicial es prácticamente el valor final.

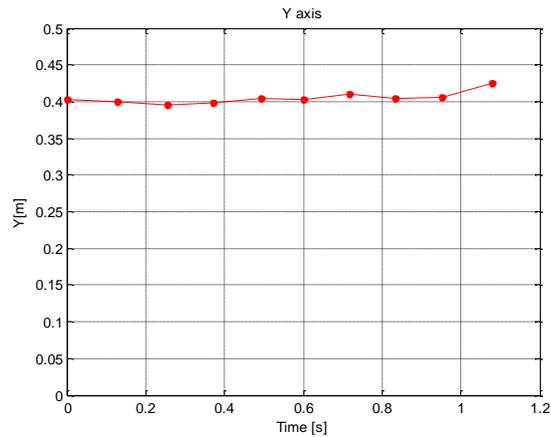


Figura 19. Comportamiento en el eje y

En la Figura 20 se observa el comportamiento de un “arco” para el eje z.

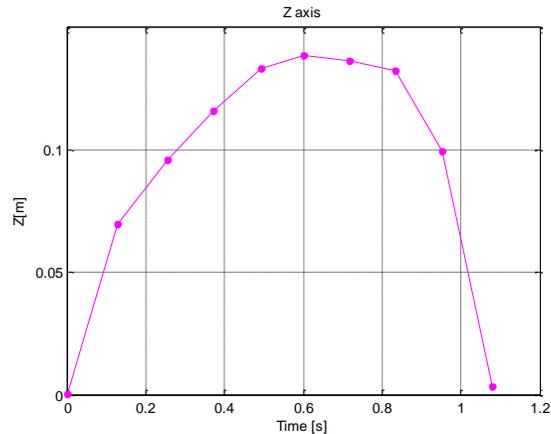


Figura 20. Comportamiento en el eje z

Análisis teórico de los espacios de intuición

A continuación se muestran las características morfológicas que describen los ejes de posición para cada uno de los casos presentados anteriormente en la Tabla 1.

Tabla 2. Características morfológicas descritas por la tarea en cada eje de posición.

	Eje x	Eje y	Eje z
Caso X	Constante	Recta	Arco
Caso Y	Recta	Constante	Arco
Caso Z	Recta / Constante	Recta / Constante	Recta

Caso XY	Recta	Recta	Arco
Caso XZ	Recta	Constante	Arco + Recta
Caso YZ	Constante	Recta	Arco + Recta
Caso XYZ	Recta	Recta	Arco + Recta

Como resultado en cada eje se han sintetizado ecuaciones que representan el comportamiento idealizado en el espacio intuitivo de la tarea:

$$x = \text{recta}_x \quad (12)$$

$$y = \text{recta}_y \quad (13)$$

$$z = \text{recta}_z + \text{arco}_z \quad (14)$$

Cada una de estas representaciones son susceptibles de hacerse ecuaciones paramétricas dependientes del tiempo, o bien, en el caso de la teleoperación, son ecuaciones no-dependientes del tiempo (autónomas), pues dependen de un parámetro “humano”, quien determina el ritmo que deben seguir. Además pueden ser funciones de los puntos inicial y final.

Ecuaciones dependientes del tiempo	Ecuaciones autónomas del tiempo
$x = \text{recta}_x(\text{tiempo})$	$x = \text{recta}_x(\text{operador})$
$y = \text{recta}_y(\text{tiempo})$	$y = \text{recta}_y(\text{operador})$
$z = \text{recta}_z(\text{tiempo}) + \text{arco}_z(\text{tiempo})$	$z = \text{recta}_z(\text{operador}) + \text{arco}_z(\text{operador})$

Ecuaciones para el algoritmo de traslado. Teniendo los puntos inicial $I(x_i, y_i, z_i)$ y final $F(x_f, y_f, z_f)$, junto con las referencias provistas por el operador $M(x_m, y_m, z_m)$, se proponen las siguientes ecuaciones que dependen del comando dado por la persona transformada por un ente matemático llamado OPERADOR ARTIFICIAL, que es el AVANCE *normalizado*, válido para el intervalo de inicio y fin [0,1], cuando es menor a 0 es igual a 0 y cuando es mayor a 1 es igual a 1.

$$x_{ia} = \text{OPERADOR ARTIFICIAL} * (x_f - x_i) + x_i \quad (15)$$

$$y_{ia} = \text{OPERADOR ARTIFICIAL} * (y_f - y_i) + y_i \quad (16)$$

$$z_{ia} =$$

$$\text{OPERADOR ARTIFICIAL} * (z_f - z_i) + z_i + \text{Amplitud} * \text{Seno}(\text{OPERADOR ARTIFICIAL} * \pi) \quad (17)$$

Donde:

$$\text{Amplitud} = \frac{1}{4} \sqrt{(x_f - x_i)^2 + (y_f - y_i)^2 + (z_f - z_i)^2} \quad (18)$$

El parámetro OPERADOR ARTIFICIAL requiere comprender valores entre 0 y 1, para lo que se recurre al siguiente ente matemático:

$$\text{OPERADOR ARTIFICIAL} = ab/aa \quad (19)$$

Donde:

$$ab = (x_m - x_i) * (x_f - x_i) + (y_m - y_i) * (y_f - y_i) + (z_m - z_i) * (z_f - z_i) \quad (20)$$

$$aa = (x_f - x_i)^2 + (y_f - y_i)^2 + (z_f - z_i)^2 \quad (21)$$

A continuación se muestra el detalle matemático en las ecuaciones 20 y 21, donde se definen a los términos ab y aa.

Obtención del parámetro OPERADOR ARTIFICIAL

Se tienen los puntos en el espacio cartesiano \mathbb{R}^3 del dispositivo maestro (controlado por el **operador**) $M(x_m, y_m, z_m)$, además las coordenadas de los puntos Inicial $I(x_i, y_i, z_i)$, y Final $F(x_f, y_f, z_f)$. Si M es igual a I, entonces OPERADOR ARTIFICIAL toma el valor de 0 y por el otro extremo, si M es igual a F, entonces OPERADOR ARTIFICIAL toma el valor de 1. Para la cual es necesario el siguiente análisis representado en la Figura 21.

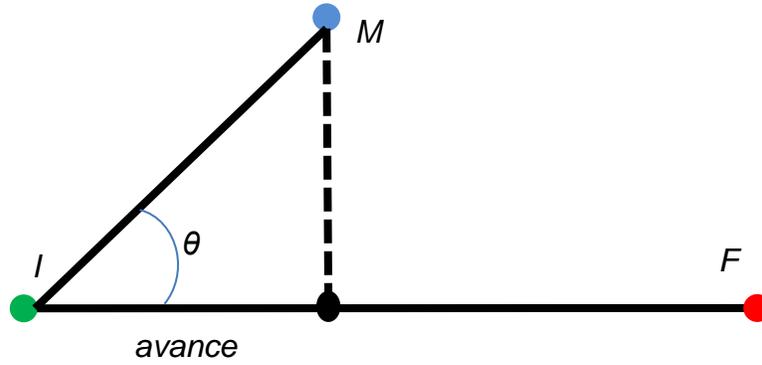


Figura 21. Representación del plano de análisis para obtener OPERADOR ARTIFICIAL dentro del rango [0,1]

Se definen dos segmentos de recta \overline{IF} e \overline{IM} de los que se puede obtener el ángulo formado entre dos rectas:

$$\theta = \text{acos} \left(\frac{\overline{IF} \cdot \overline{IM}}{|\overline{IF}| * |\overline{IM}|} \right) \quad (22)$$

El *avance* que ha tenido el punto M sobre la recta \overline{IF} se calcula con la proyección de la recta \overline{IM} sobre la recta \overline{IF} y se puede obtener como:

$$\text{avance} = \cos \theta * |\overline{IM}| \quad (23)$$

Con el fin de normalizar el AVANCE, se divide *avance* entre la recta \overline{IF} , es decir, el AVANCE TOTAL.

$$\text{OPERADOR ARTIFICIAL} = \frac{\text{avance}}{|\overline{IF}|} \quad (24)$$

Sustituyendo las expresiones 23 y 24 en 25 se tiene:

$$\text{OPERADOR ARTIFICIAL} = \cos \left[\text{acos} \left(\frac{\overline{IF} \cdot \overline{IM}}{|\overline{IF}| * |\overline{IM}|} \right) \right] * \frac{|\overline{IM}|}{|\overline{IF}|} = \frac{\overline{IF} \cdot \overline{IM}}{|\overline{IF}| * |\overline{IF}|} \quad (25)$$

Dado que los elementos están en términos de los puntos inicial, final y del maestro, se tiene que:

$$\overline{IF} \cdot \overline{IM} = (xm - xi) * (xf - xi) + (ym - yi) * (yf - yi) + (zm - zi) * (zf - zi) \quad (26)$$

$$|\overline{IF}| * |\overline{IF}| = (xf - xi)^2 + (yf - yi)^2 + (zf - zi)^2 \quad (27)$$

De forma que 20 y 21 son el resultado de aplicar 26 y 27.

Evasión

La inserción de un obstáculo para la evasión la captación del comportamiento intuitivo de evasión durante el traslado.

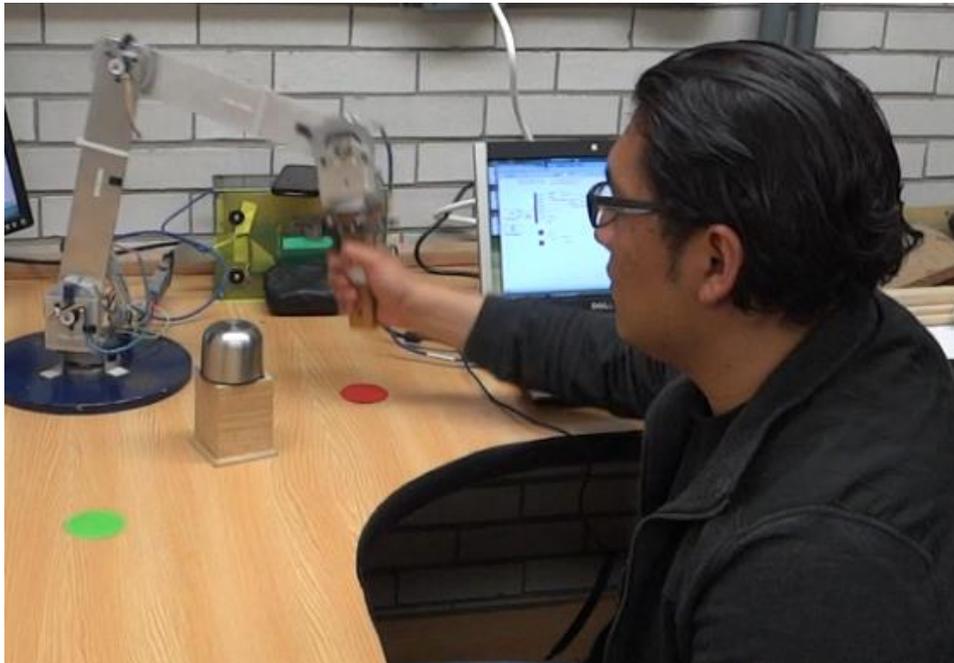


Figura 22. Representación del experimento de evasión

En la Figura 23 se muestran los datos obtenidos del experimento de la Figura 22.

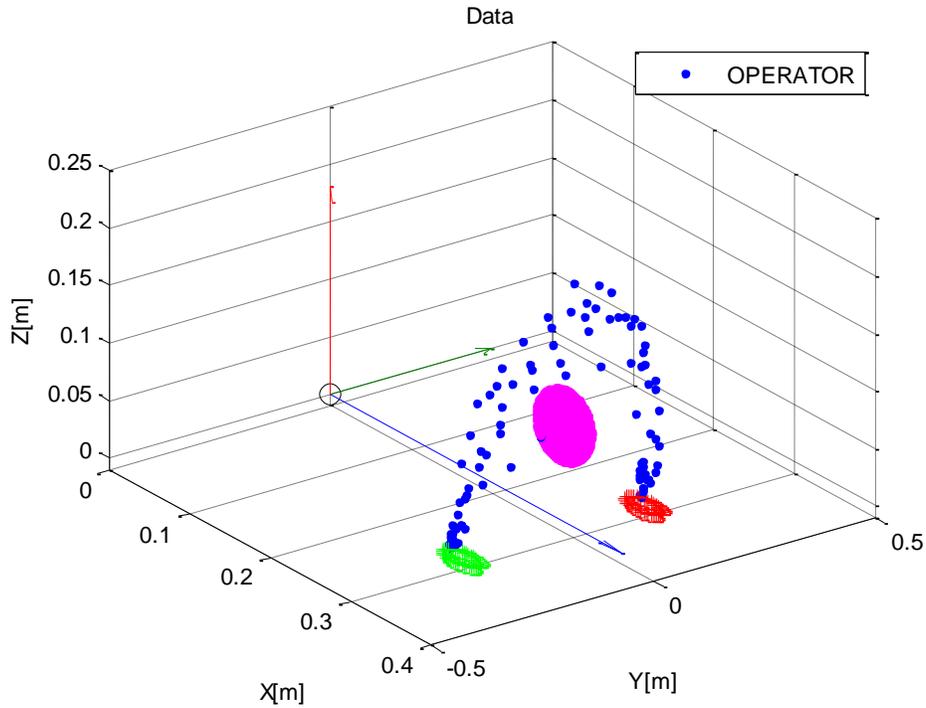


Figura 23. Datos obtenidos del muestreo con obstáculo.

Evasión. Un obstáculo es una barrera física que impide la coexistencia de otro cuerpo en un mismo espacio en el mismo instante de tiempo. Estos obstáculos pueden estar en movimiento o estar estáticos. En cualquiera de estos casos, la respuesta a los obstáculos es la evasión que converge en la generación de una distancia suficiente para evitar colisiones del robot con él mismo y los objetos, ver Figura 8. Esto implica que todas y cada una de las posibles distancias entre un objeto y el punto de referencia del efector-final definen una superficie.

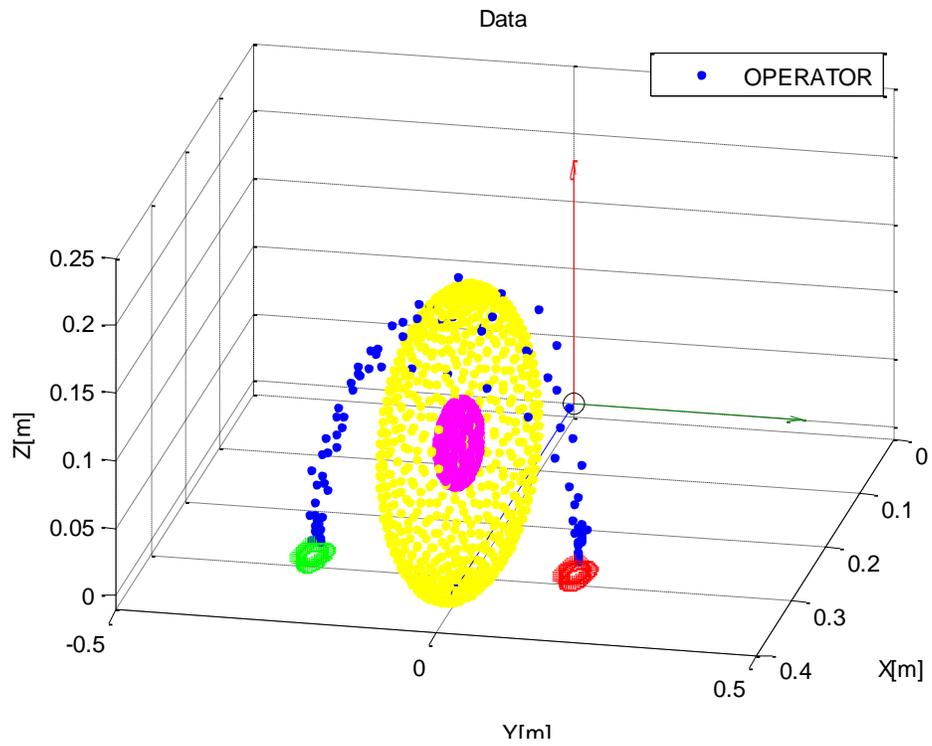


Figura 24. Superficie que podría representar las distancias que se alejan del obstáculo

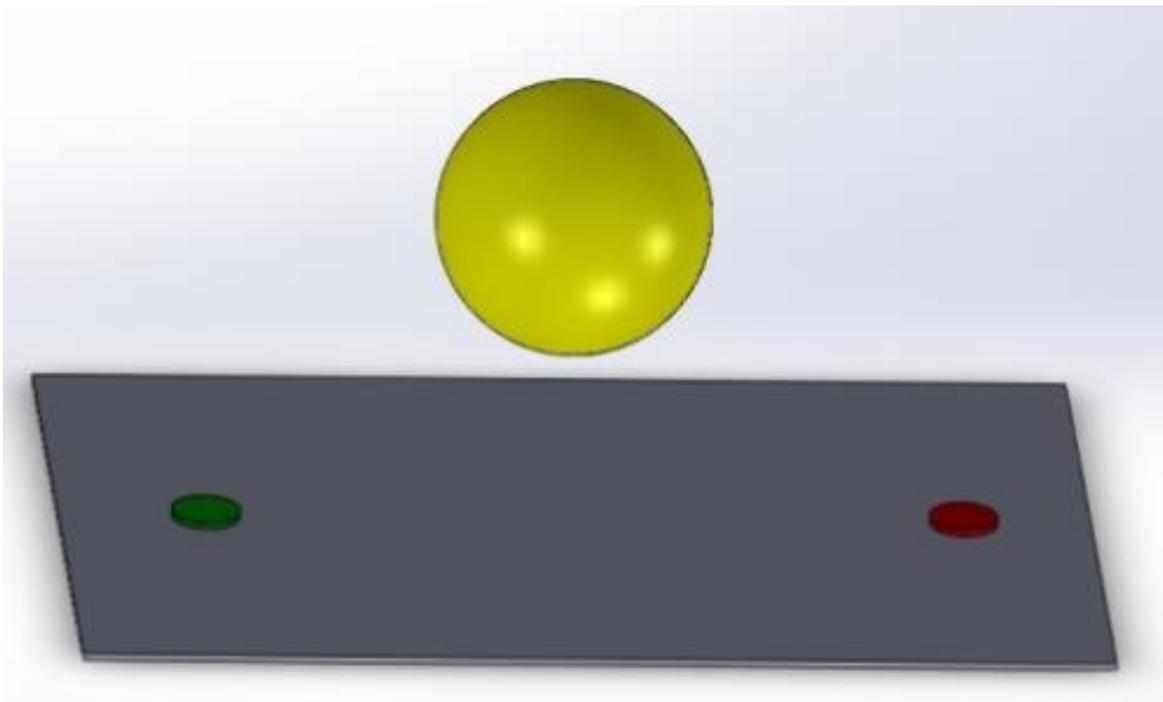


Figura 25. Superficie de Soluciones Intuitivas para la evasión

La superficie concebida por la intuición para evadir un obstáculo se le ha nombrado como *Superficie de Soluciones Intuitivas para el traslado* (). Esta superficie existe para todos los objetos estáticos y en movimiento, sin embargo no se manifiesta hasta se está evadiendo al obstáculo y el efecto en el espacio de trabajo es representado como un volumen por donde NO puede trasladarse el efector final, más que por la SUPERFICIE.

Se ha observado que el humano genera una distancia entre el obstáculo y la posición de su mano (ver Figura 22), se plantea el siguiente algoritmo.

Se tiene un obstáculo regular o irregular, del que se conoce su centro.

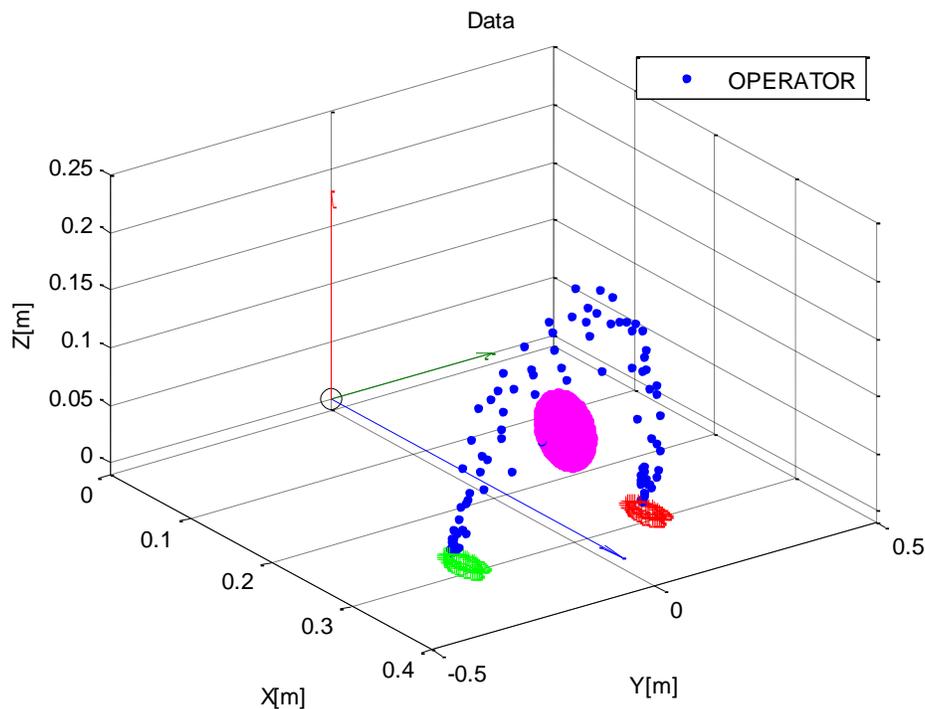


Figura 26. El obstáculo

Con el fin de generar una distancia entre el efector final del robot (en todas las direcciones posibles), dado un punto A y un objeto con centro en O (x_0, y_0, z_0) , al que se inscribe dentro de una esfera de radio R.

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 = R^2 \quad (28)$$

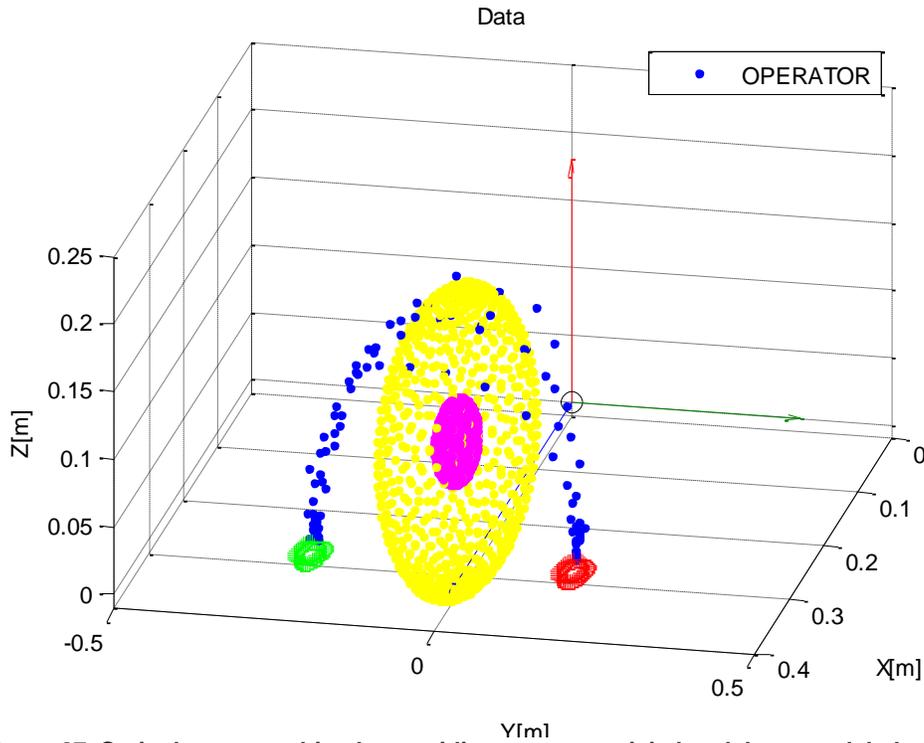


Figura 27. Serie de puntos ubicados equidistantemente ajeados del centro del obstáculo

Se define una recta con ayuda de dos puntos:

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{z-z_1}{z_2-z_1} \quad (29)$$

Donde el Punto 1 es el centro de la esfera ($x_1 = x_0$, $y_1 = y_0$, $z_1 = z_0$) y el Punto 2 (x_2, y_2, z_2) es la referencia que debe seguir el robot y la que nombraremos como Punto A (x_a, y_a, z_a), para fines del diseño del algoritmo. De forma que $x_2 = x_a$, $y_2 = x_a$ y $z_2 = z_a$ NOTA: El algoritmo sólo ejerce su efecto si la distancia entre el Punto A y el Punto O es menor al radio R.

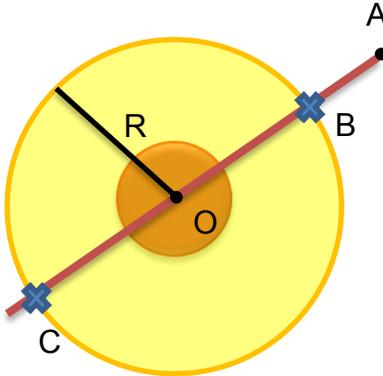


Figura 28. Planteamiento del obstáculo, la línea y la esfera para el algoritmo

Al resolver el sistema de ecuaciones que se genera entre ecuación de la recta y ecuación de la esfera con las condiciones planteadas, se encontraron dos soluciones en los puntos donde la recta se intersecta con la esfera, generando dos puntos B y C.

Para Punto B:

$$x_b = x_o + R * rootxyz * (x_a - x_o) \quad (30)$$

$$y_b = y_o + R * rootxyz * (y_a - y_o) \quad (31)$$

$$z_b = z_o + R * rootxyz * (z_a - z_o) \quad (32)$$

Para Punto C:

$$x_c = x_o - R * rootxyz * (x_a - x_o) \quad (33)$$

$$y_c = y_o - R * rootxyz * (y_a - y_o) \quad (34)$$

$$z_c = z_o - R * rootxyz * (z_a - z_o) \quad (35)$$

Donde

$$rootxyz = \sqrt{1/[(x_o - x_a)^2 + (y_o - y_a)^2 + (z_o - z_a)^2]} \quad (36)$$

Esta doble solución requiere discriminar qué punto está más cercano al Punto A, con ayuda del cálculo de distancia entre cada par \overline{AB} o \overline{AC} .

La solución final seleccionada se le asigna al valor de referencia de control que el robot debe seguir.

La superficie concebida por la intuición para evadir un obstáculo se le ha nombrado como **Superficie de Soluciones Intuitivas** para la evasión. Esta

superficie existe para todos los objetos estáticos y en movimiento, sin embargo no se manifiesta hasta que se está evadiendo al obstáculo.

Análisis de las interacciones entre el Espacio Intuitivo de la Tarea y la Superficie de Soluciones Intuitivas

A continuación se muestran diferentes interacciones entre la Superficie de Soluciones Intuitivas de evasión (SSle) con el Espacio Intuitivo de la Tarea de traslado (EITt). Mientras que la **superficie** es un lugar “**hueco**” (el ente sólo está en contacto con la capa exterior), el **espacio** es lugar “**sólido**” (el ente está contenido al interior del volumen).

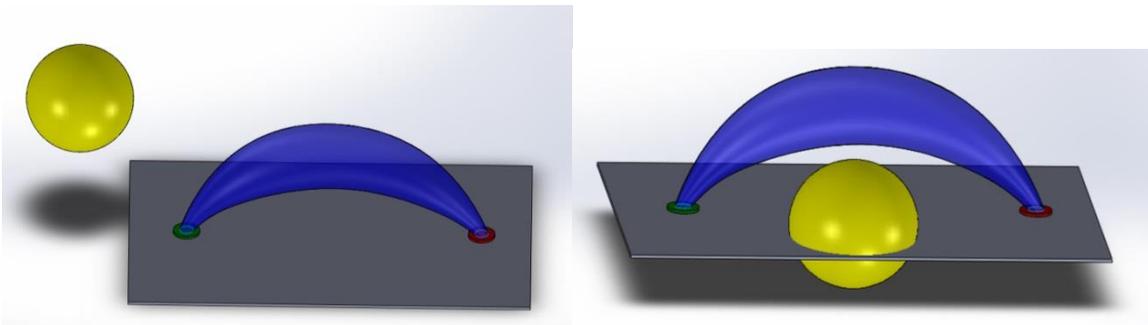
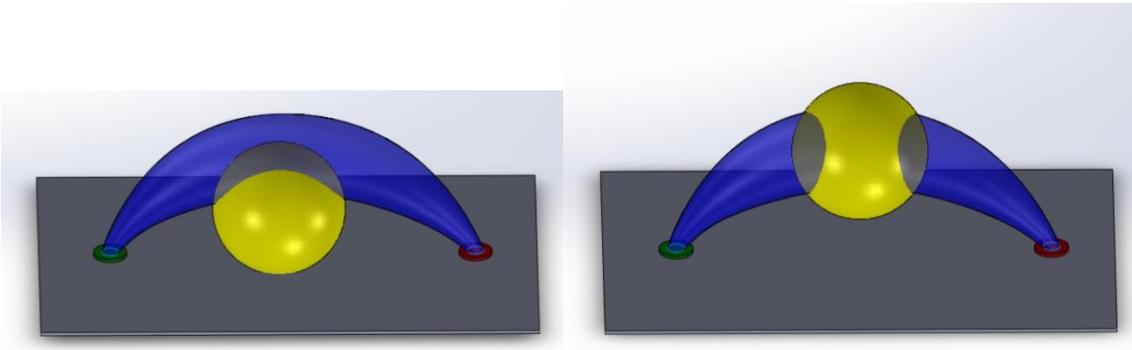


Figura 29. Casos donde no hay interacción



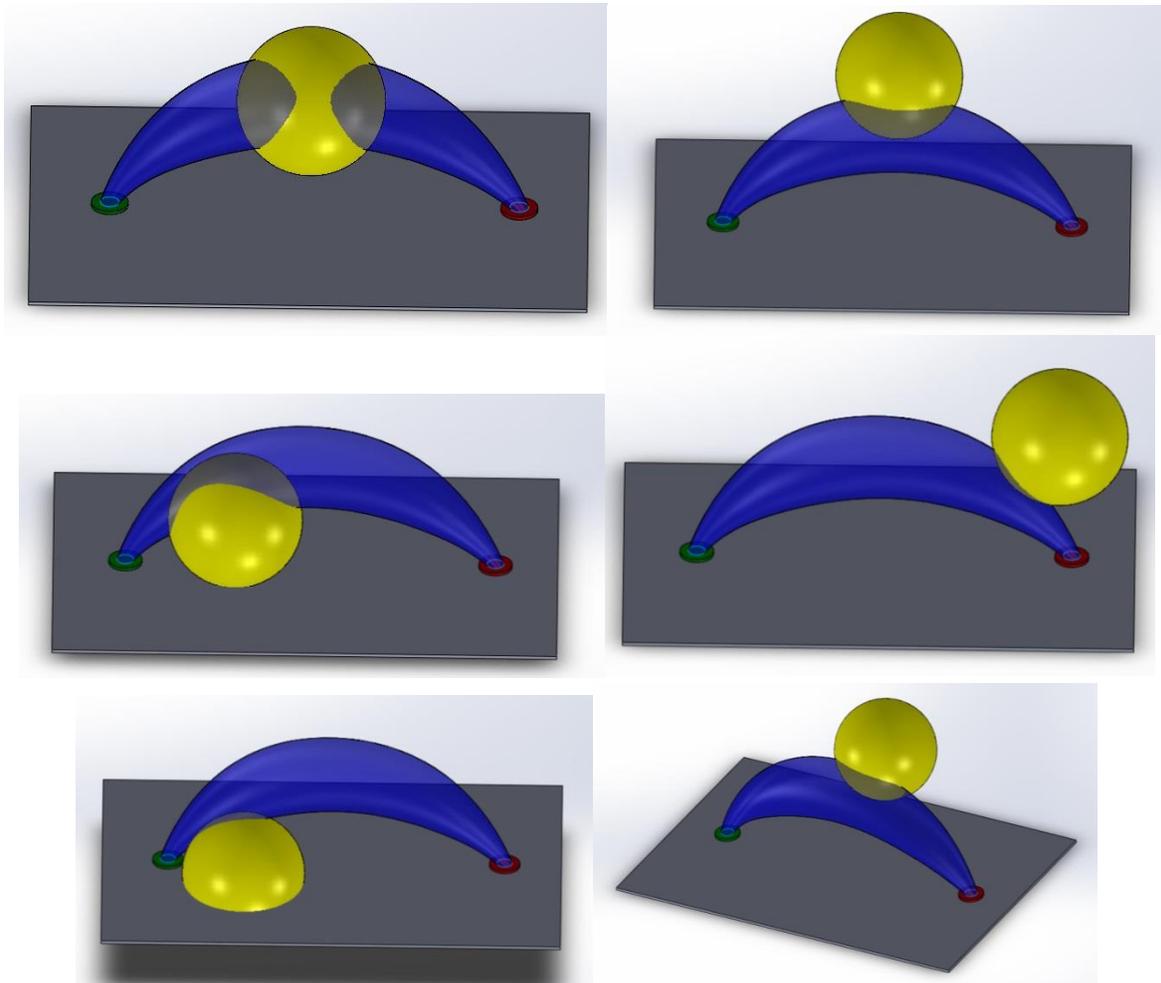


Figura 30. Casos donde están en contacto.

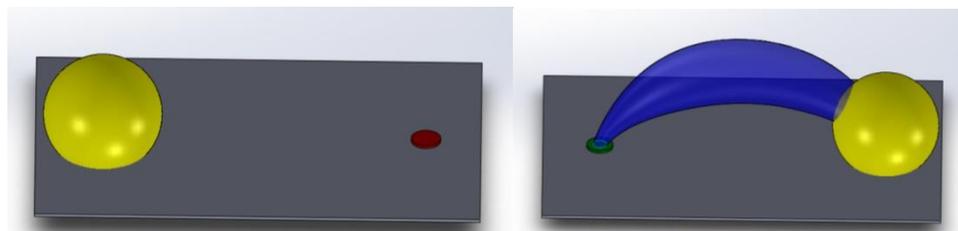


Figura 31. Casos donde se interfiere con la tarea

Se observa que hay dos casos generales de la interacción: el primero corresponde a la no-interacción y el segundo a la interacción entre estos lugares de evasión y de traslado, en el segundo caso se subdivide en los que hay interferencia para realizar la tarea y donde se “modifica” el Espacio Intuitivo, pero no hay interferencia para realizar la tarea.

V. TELEOPERACIÓN ASISTIDA POR INTUICIÓN ARTIFICIAL

Los elementos del sistema teleoperado mínimos incluyen al operador, a un sistema maestro, a vías de comunicación, a un sistema esclavo y al entorno. La relación entre ellos es la información que fluye a través de cada sistema y las transformaciones que sufre en cada uno de los bloques (Figura 32).

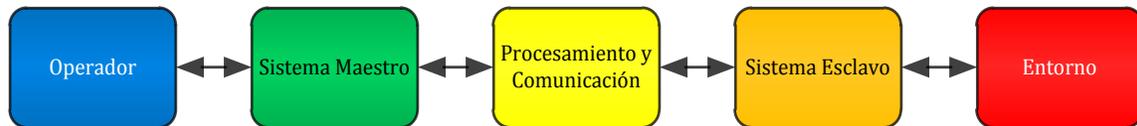


Figura 32. Bloques básicos del sistema teleoperado.

Arquitectura del sistema teleoperado con Intuición Artificial

Los agentes y componentes que estructuran el funcionamiento e interconexión entre los elementos que conforman al sistema teleoperado con intuición artificial están dispuestos en la Figura 33 se observan dos entornos (el entorno local y el entorno remoto) relacionados por la barrera de tiempo y espacio. En ambos entornos existen ciertas condiciones ambientales que afectarán al Espacio de Trabajo y es labor del diseñador, controlar estas condiciones para que se lleve a cabo la operación. En el espacio de trabajo se ubican al robot, el operador, los objetos a manipular o los obstáculos a evadir, si fuera el caso. En la ubicación local, el operador tiene que realizar una tarea a distancia y es auxiliado por el dispositivo maestro, con la que está en contacto directo. Además el operador necesita de una representación sensorial (e.g. retroalimentación visual o háptica) de lo que está ocurriendo en el Espacio de Trabajo Remoto. La información que se envía debe estar representada en un lenguaje reconocible por los entes artificiales, esto es lo que lleva a conformar las variables y los parámetros empleados en la robótica para describir los movimientos del operador en términos de ángulos, distancias, rotaciones y traslaciones, etc. (e.g. cinemática directa e inversa).

En el ambiente remoto está el dispositivo esclavo donde interactúa con objetos / obstáculos y ejecuta la tarea. El dispositivo esclavo, que normalmente es un robot manipulador diseñado para la tarea, recibe instrucciones del operador procesadas por algoritmos de Intuición Artificial. Estos algoritmos reciben información tanto del operador como información disponible del espacio de trabajo, por ejemplo con sensores de posición de objetos y obstáculos, geometría del espacio y otros entes que estén en el lugar remoto. La Intuición Artificial está contenida en el ente informático que realizará el procesamiento de la información del sistema de teleoperación, este procesador de información puede estar en uno de los dos entornos: el remoto o el local, eso depende del diseño del sistema. Finalmente, la barrera de espacio-tiempo se resuelve con tecnologías de telecomunicación.

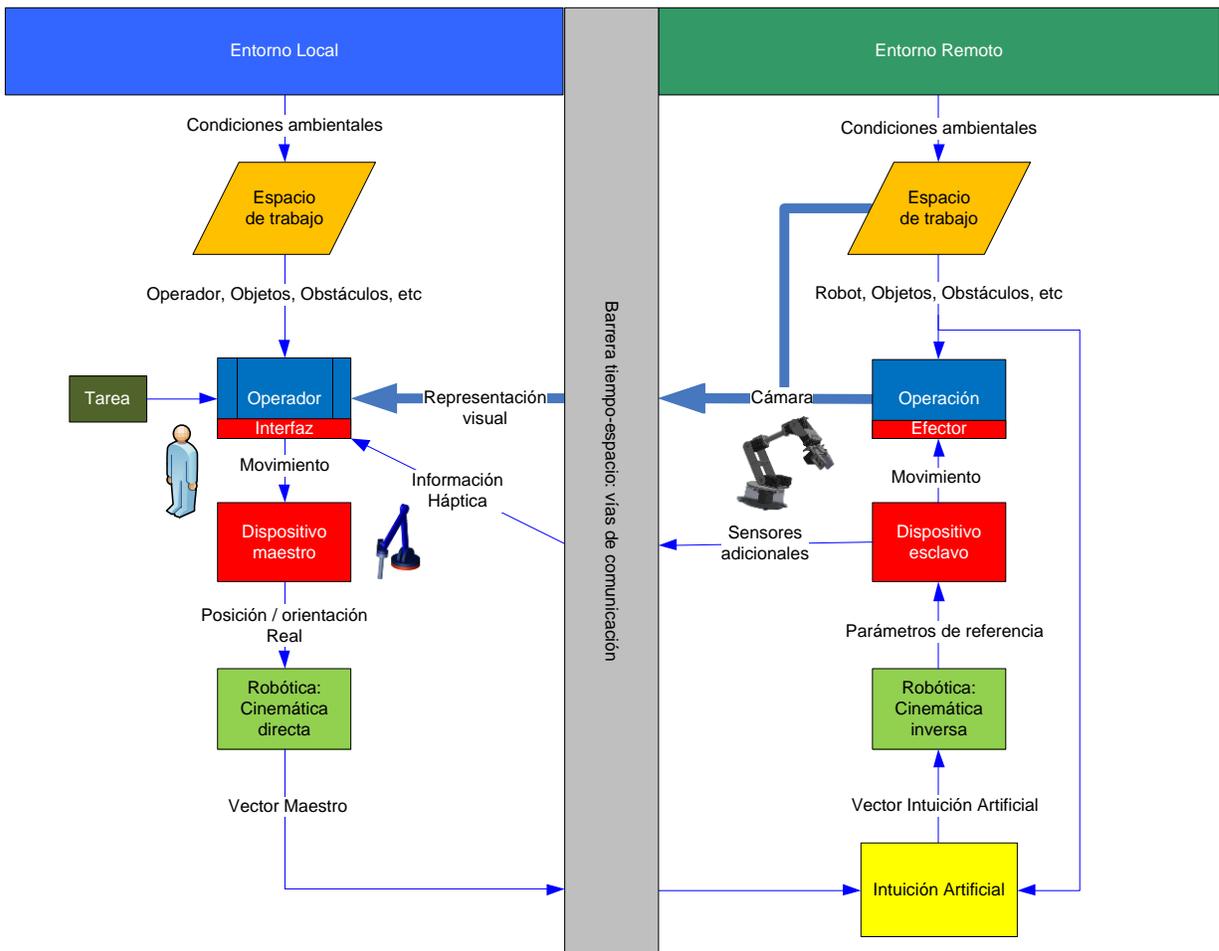


Figura 33. Arquitectura del Sistema teleoperado con Intuición Artificial

Experimentos con el sistema teleoperado y los algoritmos de intuición artificial

Se experimentó con un sistema Maestro-Esclavo de teleoperación con una persona (a) interactuando con un dispositivo instrumentado (b) que envía información de posición (x, y, z) a un robot y el operador recibe información a través de una pantalla (c).

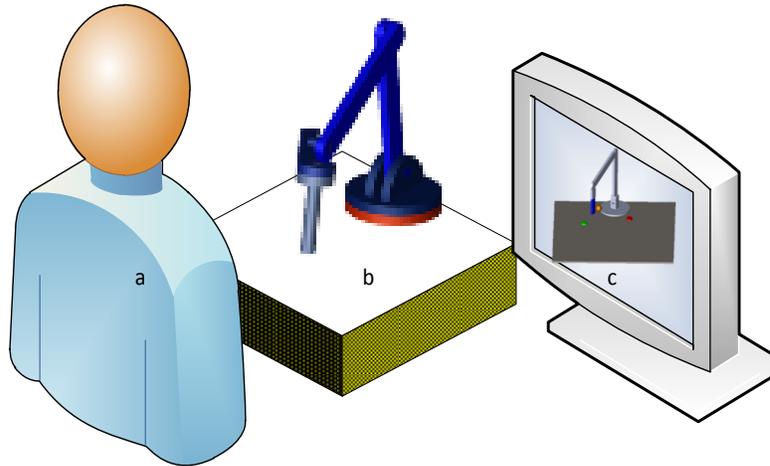


Figura 34. Sistema teleoperado, a) el operador, b) el dispositivo maestro en la estación de trabajo local, c) Interfaz visual que muestra al dispositivo esclavo en el espacio de trabajo remoto.

Para ver los detalles de ingeniería y robótica empleados en el dispositivo maestro, ver apéndice.

Con el fin de comparar el efecto de la Intuición Artificial Aplicada a la Teleoperación *versus* el efecto de una teleoperación no asistida, es necesario realizar dos experimentos: el primero que no involucre a los algoritmos de intuición artificial durante el desarrollo de la tarea teleoperada (*Teleoperación Directa*), donde los movimientos del robot esclavo son la imitación directa de los movimientos del operador sin modificación. Por otro lado, la misma tarea teleoperada, se realizará con ayuda de las decisiones tomadas por los algoritmos de Intuición Artificial (*Teleoperación Asistida por Intuición Artificial*). En este tipo de teleoperación semiautónoma, las decisiones sobre la forma de la trayectoria son tomadas por los algoritmos de intuición artificial (parte autónoma), mientras que el ritmo de movimiento de la trayectoria (velocidad y/o aceleración) lo ejecuta el operador (parte no-autónoma).

En el ambiente local, el operador se ubicó sentado frente al dispositivo maestro sujetándolo con una mano por su eslabón terminal (efector final).

En el ambiente remoto, estaba marcado el par de coordenadas de posición inicial y final, al alcance del dispositivo esclavo.

Antes de iniciar el experimento, el investigador le ordenó al operador usar al dispositivo maestro para teleoperar al robot esclavo desde la posición inicial hacia la final, usando la pantalla como única retroalimentación visual. Esta retroalimentación que recibió el operador sólo tuvo una perspectiva del entorno remoto debido a que la posición de la cámara, que capta la imagen del ambiente remoto, estuvo fija.

Los datos de interés medidos fueron:

- 1) el tiempo transcurrido entre el punto inicial hasta el punto final
- 2) las coordenadas de los puntos del efector final del esclavo y del maestro, particularmente en las posiciones de inicio y final del traslado.

En el siguiente diagrama de flujo (Figura 35) se descompone el funcionamiento del programa que contiene los algoritmos de Intuición Artificial. En forma de Diagrama de flujo, este algoritmo puede ser programado en cualquier plataforma de desarrollo que admita las operaciones planteadas.

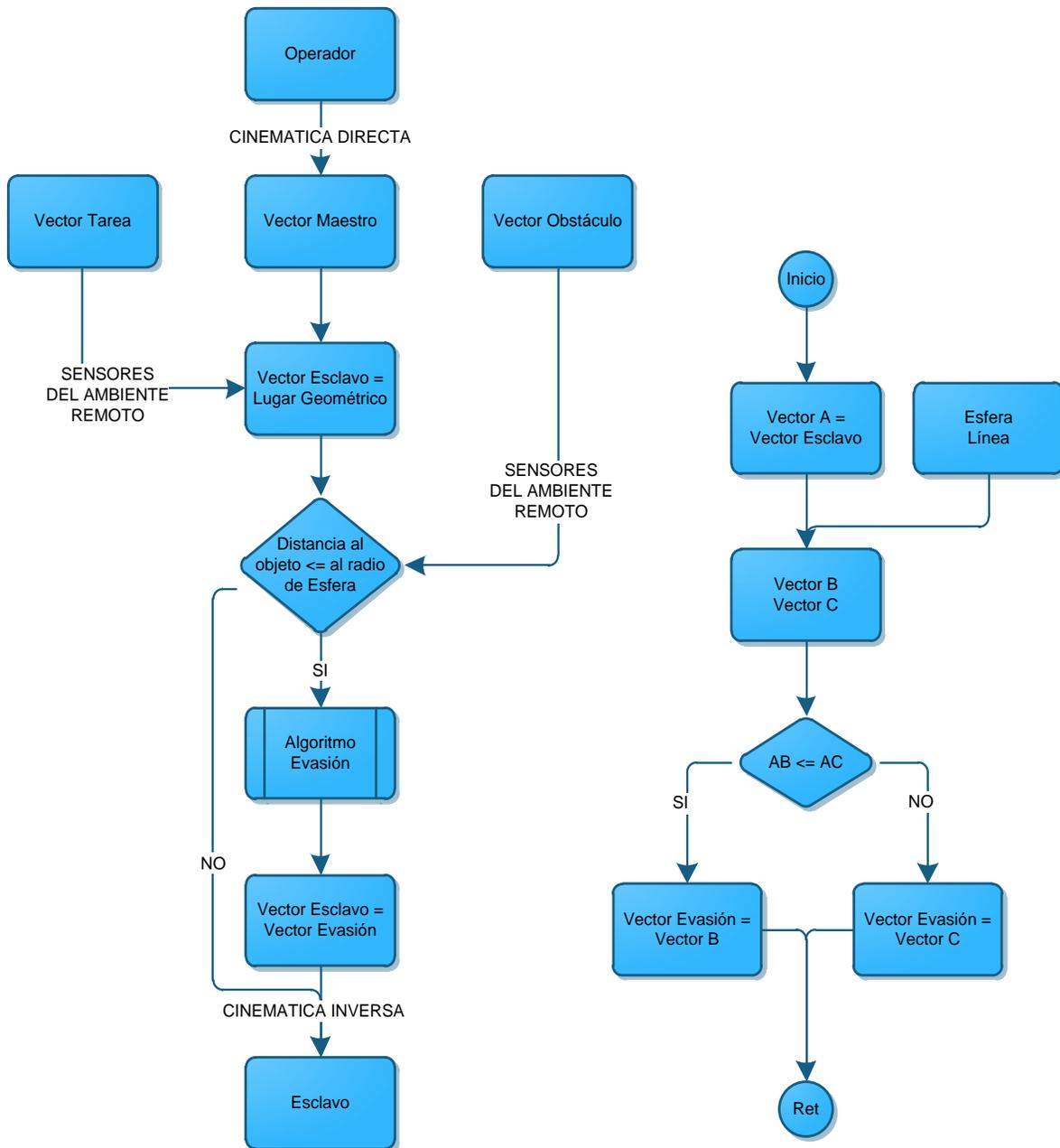


Figura 35. Diagrama de flujo del programa. Ver el programa en el apéndice

El vector de posición de la respuesta intuitiva es la referencia que el robot esclavo ejecuta en el entorno remoto, a menos que se indique seguir directamente el vector maestro generado por el operador desde el entorno local.

Las pruebas

Se realizaron dos tipos de prueba, uno sin obstáculo y otro con obstáculo. Fueron seis eventos para cada experimento con un par de coordenadas cada prueba. La prueba también se dividió en dos etapas: la primera era lograr la tarea con *teleoperación directa* (sin Intuición Artificial) y la segunda etapa fue con *teleoperación asistida por los algoritmos de Intuición Artificial*.

A continuación en la Tabla 3 se organizan los eventos que se realizaron:

Tabla 3. Tipos de prueba realizados

		TRASLADO	
		Sin Intuición Artificial	Con Intuición Artificial
EVASIÓN	Sin obstáculo	1,1	1,2
	Con obstáculo	2,1	2,2

El par de coordenadas de posición inicial y final estaba ubicado en el ambiente remoto (fueron diferentes en cada prueba) y, como parte de las indicaciones, se pidió al operador usar el dispositivo maestro, para controlar al robot esclavo de la posición inicial a la final, usando la pantalla como realimentación visual. En el ambiente remoto estaban las posiciones marcadas con verde para la posición inicial y en rojo para la posición final. La realimentación visual que recibía el operador sólo tenía una perspectiva del entorno remoto debido a que la posición de la cámara, que capta la imagen del robot esclavo, permanece fija. El operador indica el momento cuando percibe que ha llegado al punto final. Los datos obtenidos y grabados son: 1) el tiempo transcurrido entre el inicio del movimiento hasta la indicación del operador de que ha llegado al final, 2) las posiciones del efector final del esclavo y del maestro. Se registran particularmente las posiciones de ambos dispositivos en la posición inicial y final, con lo que se calculan los errores con respecto a sus coordenadas de referencia. Se comparan los tiempos, los errores con y sin Intuición Artificial; con y sin obstáculo.

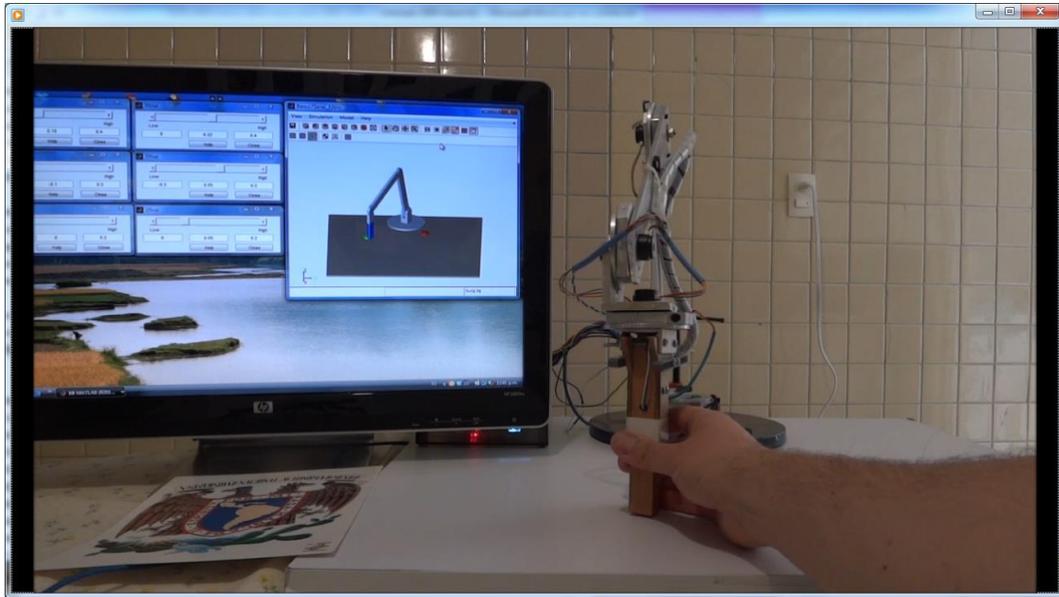


Figura 36. El experimento con el banco de pruebas.
Para otros detalles de ingeniería, ver el apéndice de este documento.

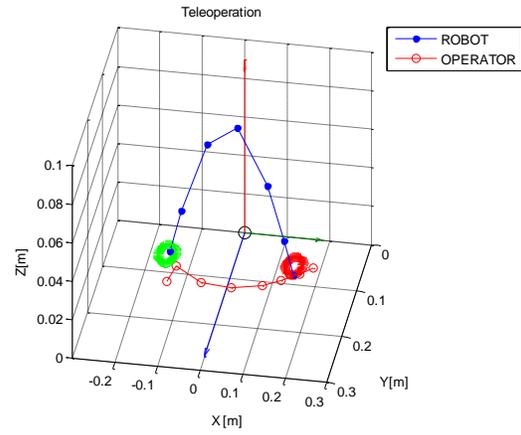
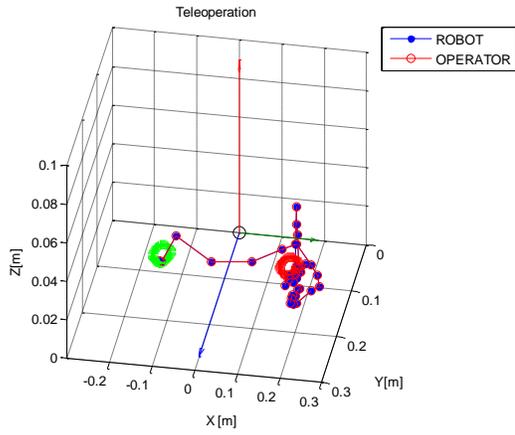
Resultados

Tarea de traslado sin obstáculo

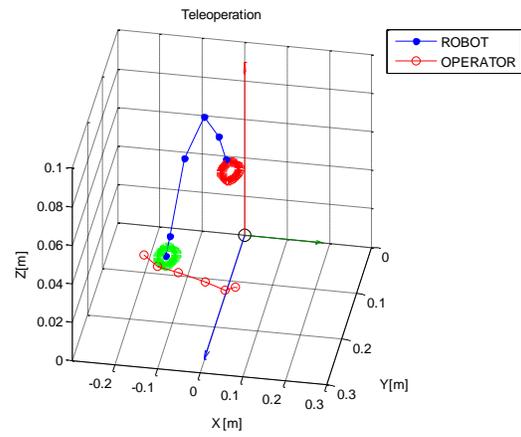
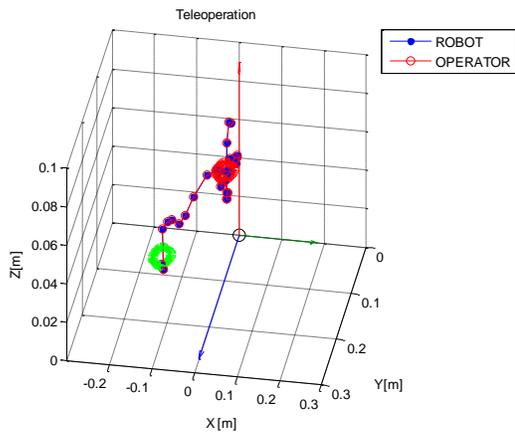
1,1 Sin Intuición Artificial

1,2 Con Intuición Artificial

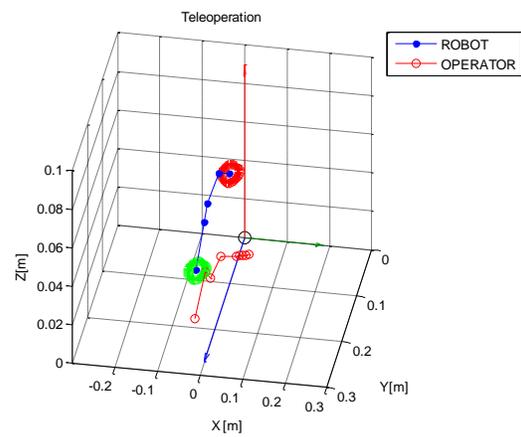
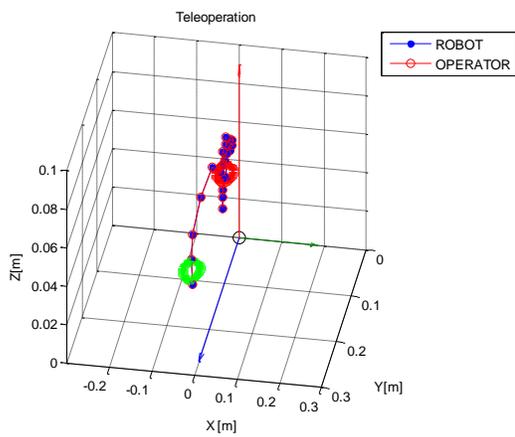
1



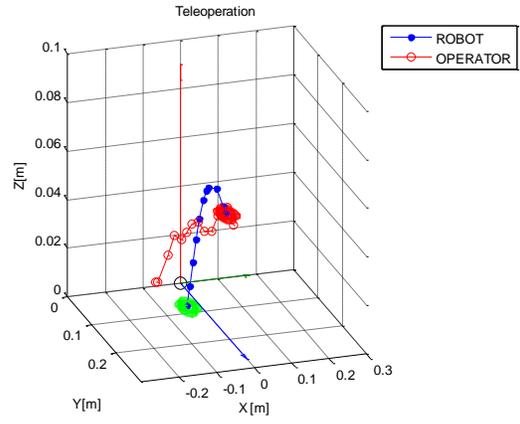
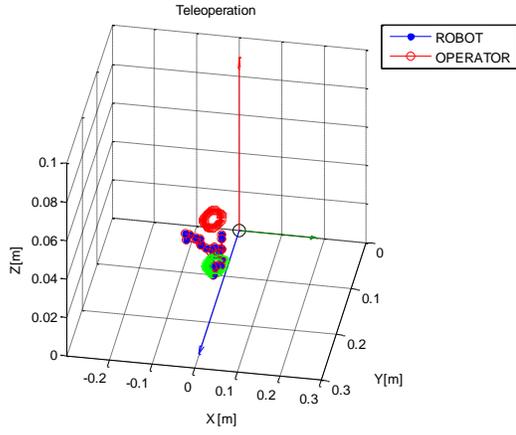
2



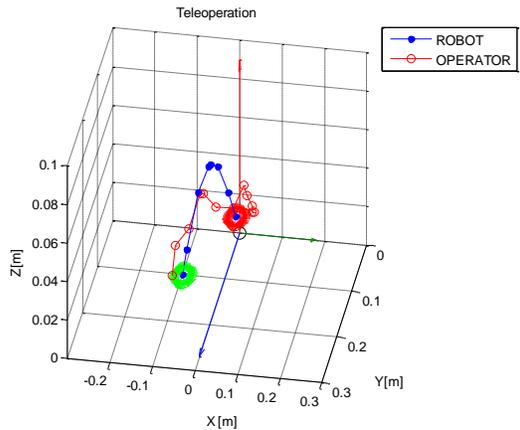
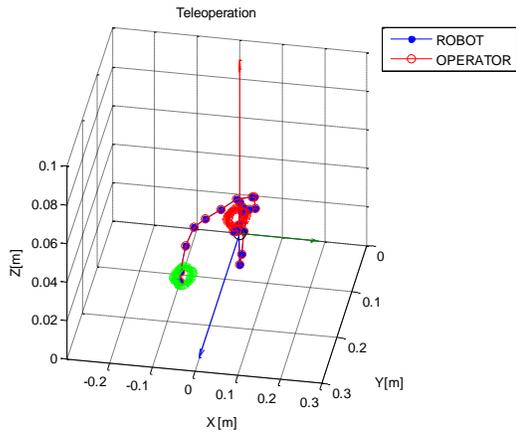
3



4



5



6

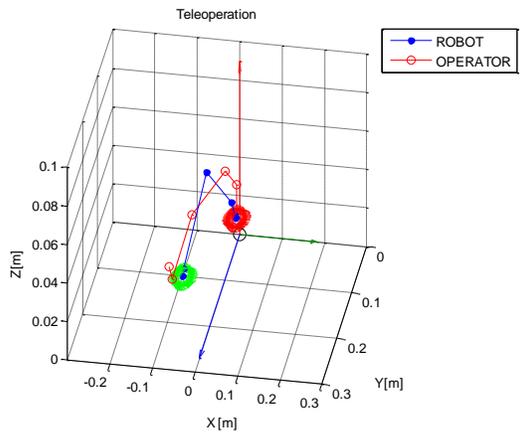
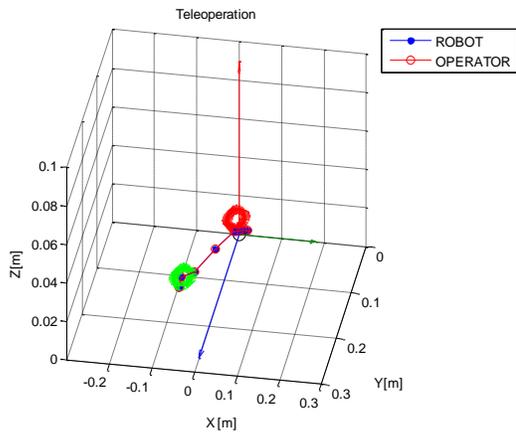
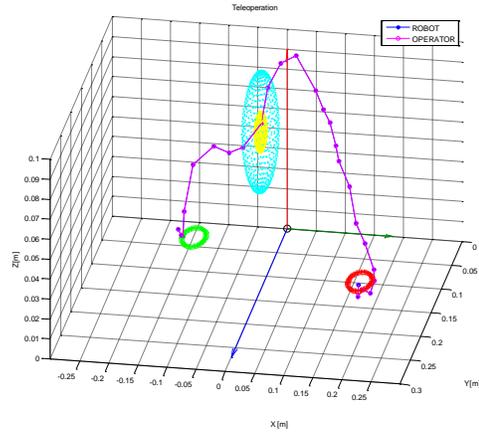


Figura 37. Tarea de traslado sin obstáculo

Tarea de traslado con obstáculo

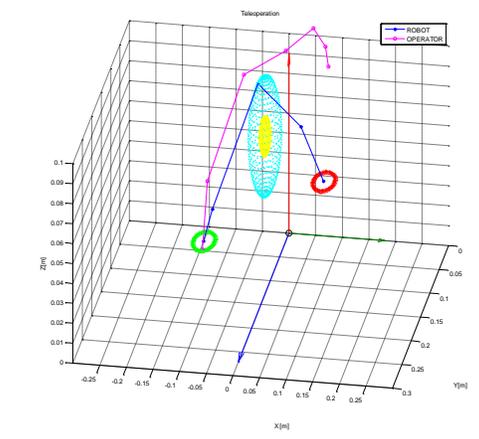
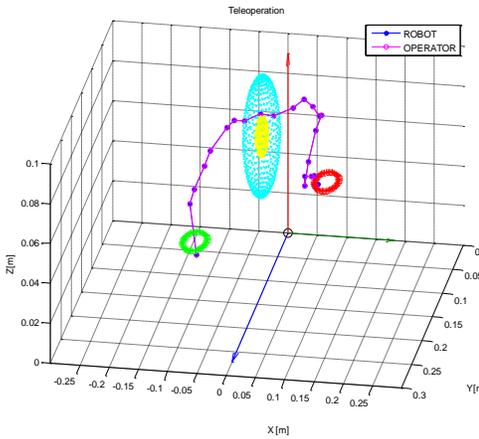
2,1 Sin intuición Artificial

7

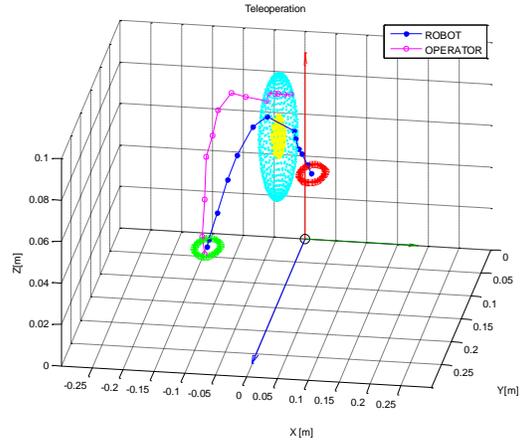
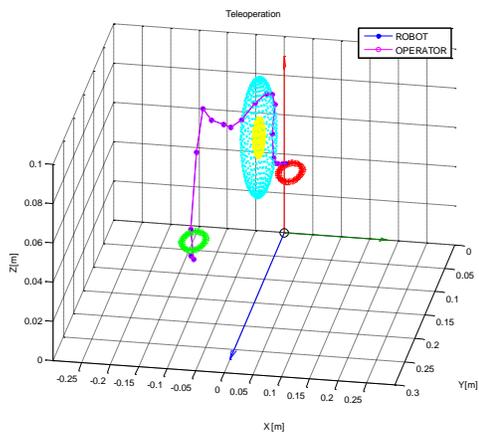


2,2 Con intuición Artificial

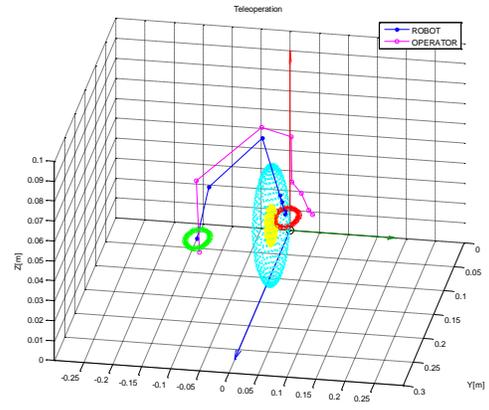
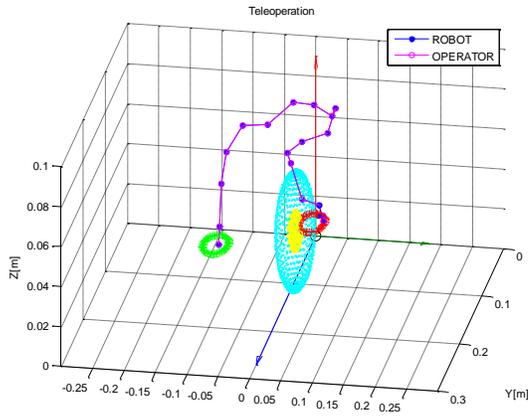
8



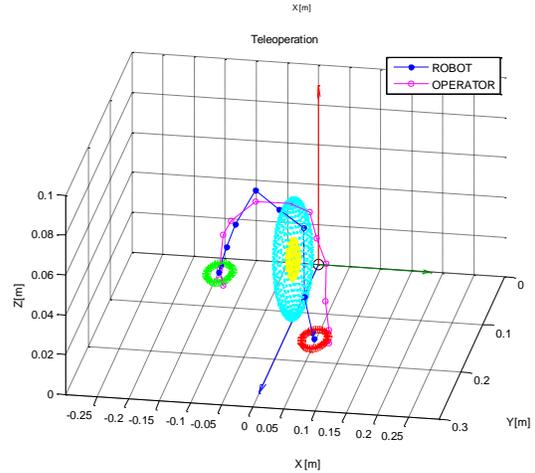
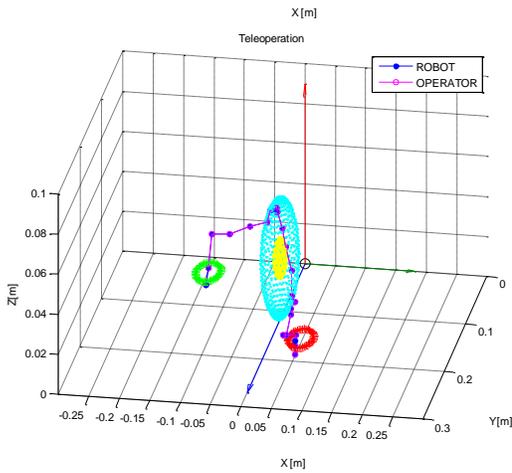
9



1
0



1
1



1
2

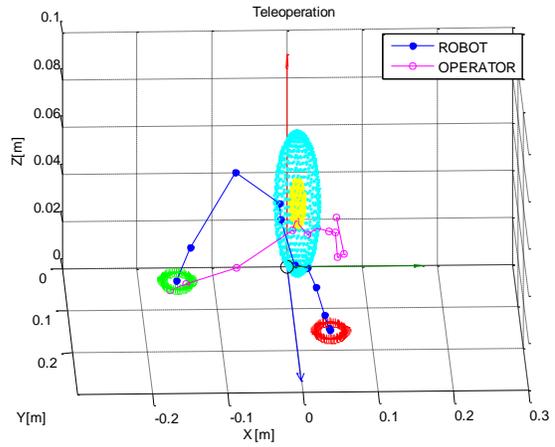
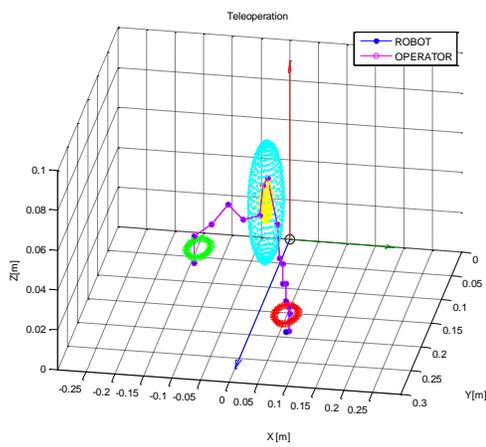


Figura 38. Traslado con obstáculo

En las gráficas de teleoperación con Intuición Artificial, se observa que el esclavo está describiendo un lugar geométrico consistente con las “formas” establecidas por los algoritmos obtenidos a partir del Espacio Intuitivo de la Tarea.

A continuación en la Tabla 4 y la Tabla 5 se muestran los promedios del **tiempo** para ejecutar la tarea teleoperada de traslado y evasión, con y sin Intuición Artificial.

Tabla 4. Tiempos [segundos] en las pruebas sin obstáculo

Pruebas	1,1 Sin Intuición Artificial	1,2 Con Intuición Artificial
1	4.9652	1.0366
2	12.3759	0.3223
3	7.9116	3.4473
4	12.3759	3.0902
5	8.0884	3.0009
6	5.2330	1.2152
Promedio:	8.4916	2.0188

Tabla 5. Tiempos [segundos] en las pruebas sin obstáculo

Pruebas	2,1 Sin Intuición Artificial	2,2 Con Intuición Artificial
7	5.6795	3.0009
8	4.3402	0.7687
9	5.1437	3.0902
10	5.1437	1.5723
11	9.6973	3.3580
12	7.5545	2.5544
Promedio:	6.2598	2.3907

Se obtuvieron los **errores** entre la referencia dada por la tarea (Puntos Inicial y Final) y los puntos del extremo terminal del robot esclavo cuando el operador determinaba que estaba ubicado en el Punto inicial y en el Punto final respectivamente. Se promediaron los errores de los eventos y estos son los resultados.

En siguientes gráficas se muestran los errores en el Punto inicial (Figura 39) y en el Punto final (Figura 40) cuando se realizó teleoperación sin obstáculo.

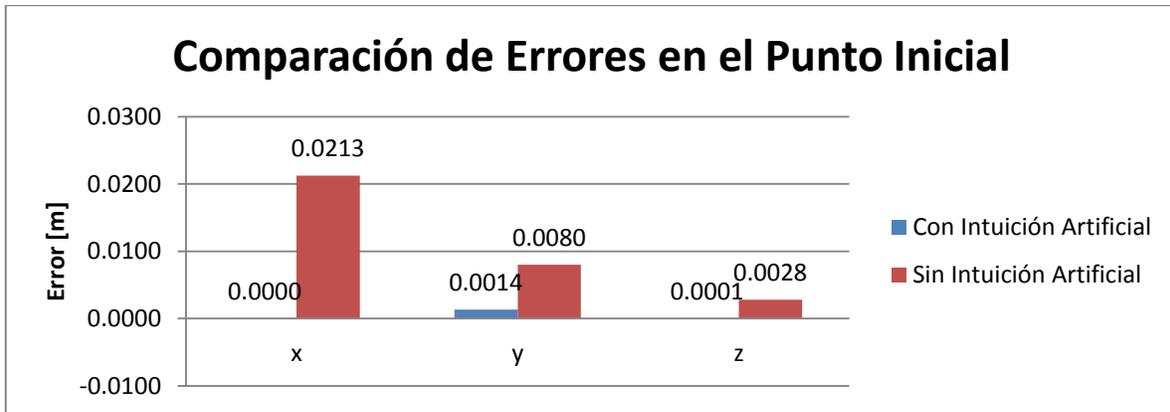


Figura 39. Errores en el punto inicial con y sin Intuición Artificial, sin obstáculo.

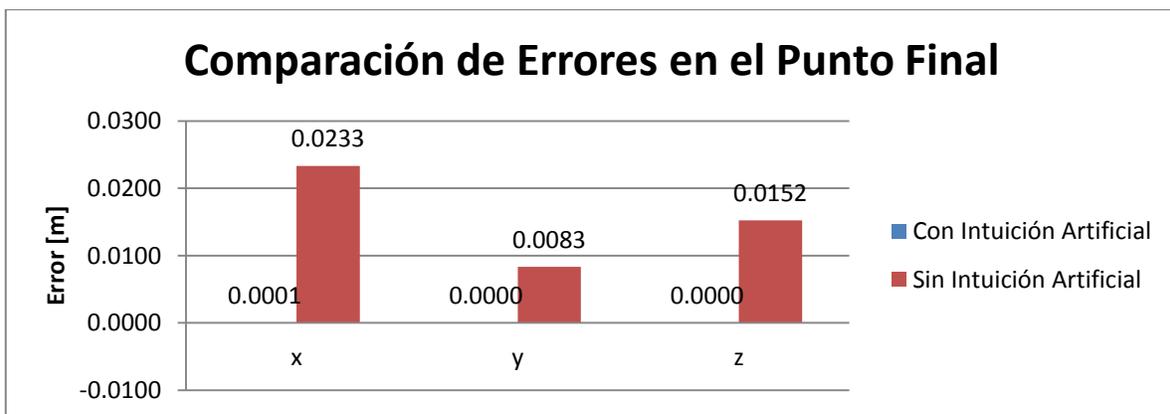


Figura 40. Errores en el punto final con y sin Intuición Artificial, sin obstáculo.

De la misma forma en las siguientes gráficas se muestran los errores en el Punto inicial (Figura 41) y en el Punto final (Figura 42) cuando se realizó teleoperación con la presencia de un obstáculo.

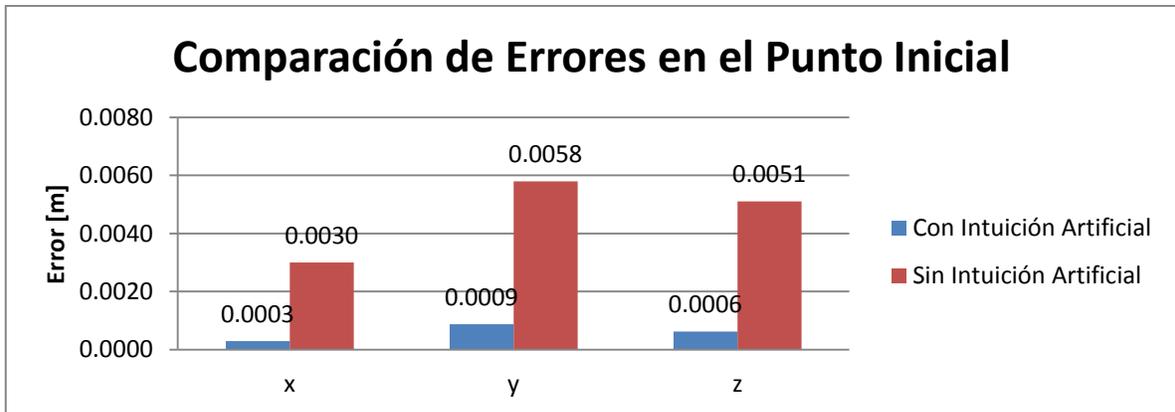


Figura 41. Errores en el punto inicial con y sin Intuición Artificial, con obstáculo.

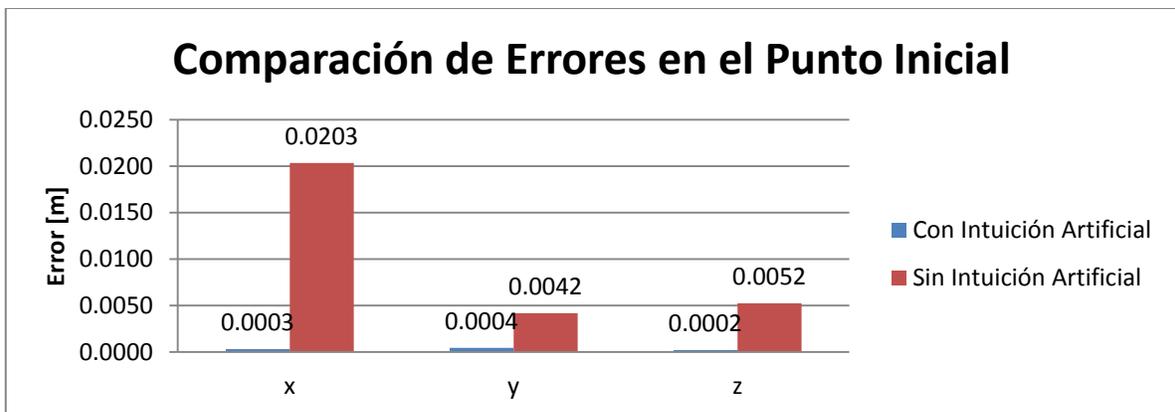


Figura 42. Errores en el punto final con y sin Intuición Artificial, con obstáculo.

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo se estudió y se modeló la intuición humana en el transporte y la evasión de obstáculos en tareas de manipulación, para introducirla como Intuición Artificial en sistemas teleoperados. Por lo que la intuición humana fue estudiada como parte de los procesos mentales inconscientes que funcionan fuera de la atención de las personas y que participan en la realización de juicios o acciones.

Durante la investigación, se definió a la Intuición Artificial, sus propiedades (rapidez, respuesta automática, certeza), una clasificación de sus algoritmos (primitivos y adquiridos) y la interacción entre ellos. En adición, se planteó la captación de la intuición humana durante actividades de manipulación y con lo que se sintetizaron algoritmos de intuición artificial.

El resultado de la observación directa de la tarea de manipulación revela que existen lugares en el espacio que el humano ejecuta por intuición. La Intuición Artificial para la Robótica se definió en términos de Espacios de Trabajo y Superficies de Solución, ambos relacionados con las tareas intuitivas.

Se investigó sobre la intuición humana durante la ejecución de una tarea de traslado y de evasión. Para la tarea de traslado se encontró un espacio generado al ejecutar intuitivamente la tarea de trasladar un objeto de un lugar a otro, al que se nombró como el Espacio Intuitivo de la Tarea de traslado (EITt). Analizando el EITt se definió un Lugar Geométrico, que sirvió para obtener información sobre la morfología que cada eje de posición (x, y, z) dando como resultado rectas y arcos. Estas curvas se usaron para ser programados en el ente artificial. El EITt es un resultado asociado directamente con el tipo de algoritmo clasificado como de Intuición Artificial Adquirida.

Con los experimentos de observación de la evasión de obstáculos, se percibió que el humano genera cierta distancia de seguridad entre un obstáculo y el efector final, para evitar **colisiones** durante la tarea (e.g. la distancia entre la mano y un obstáculo). Gracias a la observación de tal efecto, fue posible proponer el algoritmo de evasión que dio como resultado una **Superficie de Soluciones Intuitivas** para la evasión (SSle). Este resultado se asocia directamente con el tipo de algoritmo clasificado como de Intuición Artificial Primitiva.

Para ambos tipos de algoritmos se encontraron soluciones geométricas para la síntesis de las ecuaciones que fueron programadas en el sistema de procesamiento de teleoperación.

Para los experimentos de captación se puede decir que se capta intuición porque, la forma de actuar ante tal situación no ha requerido de razonamiento, planeación, generación de conceptos. Al captar los primeros eventos, nos aseguramos que no haya elementos de aprendizaje por parte de la persona entrevistada, evitando que se “contamine” la muestra. Sin embargo, inevitablemente, habrá ciertos factores implicados que es necesario eliminar, como el prejuicio o atención excesiva. Es decir, fijar y forzar todos los sentidos para realizar la tarea antes de ejecutar la acción. En los resultados que se lograron con el procedimiento de captación, ponemos a la persona a hacer una actividad sencilla, que no razonó, fue un proceso natural y fácil de realizar. La herramienta (Dispositivo serial instrumentado) permite movimientos naturales que captan, sin limitar aquello que la persona considera es **correcto**, además no se le ha dicho que lo haga recorriendo una trayectoria conocida, sino con la primera que le vino a la mente.

En los experimentos relacionados al sistema teleoperado se observó lo siguiente:

El tiempo que requiere un operador para trasladar al esclavo de un punto inicial al punto final es al menos tres veces menor cuando participa el algoritmo de Intuición Artificial de traslado.

Además, con la asistencia del algoritmo de Intuición Artificial de traslado se tiene un error comprendido en el rango entre -0.00001 y 0.0014 metros, medido en los puntos inicial y final, mientras que en la teleoperación directa (no-asistida) se tiene el rango de error entre -0.008 y 0.0233 metros.

Con estos resultados se interpreta que la ejecución de la tarea de traslado es más rápida y más confiable. Además, con el algoritmo de Intuición artificial de traslado se sustituye un componente deliberativo humano.

Por otro lado, con la participación del algoritmo de evasión de intuición artificial planteada en este trabajo, se evitan colisiones sin necesidad de que el operador reaccione ante la presencia del obstáculo, por lo que se sustituye un componente reactivo humano durante la tarea de teleoperación.

En los resultados se aprecian los efectos de ambos algoritmos de Intuición Artificial participando en conjunto durante la tarea de traslado. El Lugar Geométrico es deformado por la Superficie de Soluciones Intuitivas automáticamente en presencia del obstáculo, por lo que el operador no participa directamente en la deformación, y por tanto no requiere poner atención al obstáculo durante la teleoperación.

Cuando se tiene teleoperación directa en conjunto con el algoritmo de evasión, no es necesario prestar atención al obstáculo (que sólo está presente en el entorno remoto) para evadirlo. La trayectoria se modifica en tiempo real en la presencia del objeto, mientras que el resto de la trayectoria es igual a la marcada por el operador.

La introducción de la Intuición Artificial en los sistemas teleoperados genera un sistema robótico semiautónomo capaz de generar respuestas por sí mismo, cuyas características están asociadas a la intuición.

Con el planteamiento de la Intuición Artificial se simplifica el diseño de algoritmos que generan el movimiento en robots para teleoperación. Con los algoritmos de Intuición Artificial se podría reducir la posibilidad de que los robots lleguen a posiciones singulares por un mal manejo del equipo debido a la perspectiva inadecuada en la visualización del robot a manipular. Una razón para pensar esto es que dicho espacio está contenido en el espacio de trabajo definido para el robot, siempre y cuando los puntos (que definen a la tarea) estén contenidos dentro dicho espacio.

La Intuición Artificial en la teleoperación, a través de los algoritmos planteados (traslado y evasión), implican que tanto la retroalimentación (uso de retroalimentación visual en 2D) y la cantidad de procesamiento (uso de ecuaciones geométricas) son disminuidas.

En el futuro, se prevé la existencia de sistemas autónomos que aprovechen el modelo aquí provisto. Se recomienda estudiar las tareas específicas como la sujeción y la orientación, debido a que no se instrumentaron y que son dependientes de otros elementos como el efector final y el objeto. Se recomienda estudiar la velocidad y aceleración con la que un humano realiza tareas de forma intuitiva, con el fin de generar nuevos algoritmos que generen mecanismos de autonomía en robots. Además, con la definición planteada para la Intuición Artificial y el diseño del experimento para la captación de modelos de intuición humana se puede generalizar a otros movimientos más complejos, a través de instrumentar a la persona (o segmentos corporales de interés) que capten el movimiento y así con los datos obtenidos modelar los comportamientos con dichos datos.

Impacto de la teleoperación con Intuición Artificial

La teleoperación con intuición artificial es útil para llevar a cabo tareas de manera eficiente empleando información que el medio puede proporcionar a través de imágenes o coordenadas dentro de una base de datos, o bien, la información es proporcionada por el propio objeto.

Dentro de este ámbito, el grupo de investigación trabaja para generar modelos que expliquen la interacción de bloques matemáticos de procesamiento básicos que generan arquitecturas robóticas complejas diseñadas para aplicaciones orientadas a auxiliar la actividad humana cotidiana. Como ejemplo están las cirugías que requieren procedimientos o movimientos con bajo margen de error y menor grado de destrucción de tejido sano en las etapas de corte, separación y hemostasis. Otro factor a considerar es que se puede reducir el número de instrumentos durante el procedimiento quirúrgico empleando las técnicas que propone la Intuición Artificial. En el contexto de laboratorios o industrias, el manejo de sustancias que ponen en riesgo a los operadores como son los materiales nucleares, explosivos o infecciosos, requiere un procedimiento robótico que garantice la seguridad de la persona y además que optimice la maniobra en la posición y orientación especificadas de acuerdo a las características del espacio, los recipientes, instrumentos y otros objetos.

La teleoperación asistida por intuición artificial beneficiará a la sociedad por su alto grado de confiabilidad que se tiene con los robots, al momento de ser operados a distancia, a pesar de que sus estaciones robóticas remotas tengan escasa o nula instrumentación.

Aplicaciones o consecuencias teóricas

Las bases simbólicas formales y rígidas requieren alto grado de procesamiento computacional de la Inteligencia Artificial y Lenguaje Natural, en busca de la

cognición basada en computación, mientras que la “Intuición artificial”, en forma de algoritmos de bajo gasto computacional, puede resolver problemas elementales, aunque potencialmente podría resolver los problemas actuales de la Inteligencia artificial (e.g. el *bootstrapping*, el alto poder de procesamiento requerido, etc.).

Una diferencia fundamental de los sistemas con Intuición Artificial en comparación a los sistemas de conciencia artificial es la fase de entrenamiento. Para este último tipo de sistemas es requerido un tiempo de pre-procesamiento, donde se adquieren las habilidades suficientes para ejecutar una tarea. Mientras que las habilidades en los sistemas con Intuición Artificial para llevar a cabo la tarea son pre-diseñadas a partir de la observación o captación de habilidades de personas que ejecutan la tarea con intuición, incluso al modelar la intuición desempeñada en ciertas tareas logra tener plantillas de intuición artificial extrapolable a otras situaciones similares, sin necesidad de volver a estudiar el fenómeno en humanos.

Las aplicaciones de la Intuición Artificial se han quedado en el reconocimiento de patrones en el análisis de riesgos, diagnóstico médico, investigación, juegos de póker y diagnóstico de automóviles, en comparación con este trabajo que ha llegado a integrar el análisis psico-cognitivo de la intuición con la robótica.

La intuición del humano puede generar espacios o superficies imaginarias que le permiten hacer tareas rápido y sin esfuerzo. Pueden ser genéricas como el traslado o la evasión, pero habrá casos complejos que involucren múltiples movimientos o una suma de ellos que requieren un estudio detallado y específico para tal tarea. En cualquier caso, se pueden captar y estudiar con los instrumentos adecuados para sintetizar algoritmos de Intuición Artificial siguiendo la metodología aquí propuesta.

Finalmente, la Intuición Artificial descrita en este trabajo plantea una reorganización en la inteligencia artificial. Los sistemas actuales de inteligencia artificial sólo han contemplado los elementos racionales, como la lógica difusa,

redes neuronales, agentes autónomos de aprendizaje, que reconocen patrones o ejercen tareas con medios informáticos orientados a emular la **conciencia humana**, de forma que a partir de este trabajo se clasificarán dos ramas de la inteligencia artificial: los sistemas de consciencia artificial y de inconsciencia artificial, con lo que se lograrán sistemas robóticos semiautónomos y autónomos.

Algunos ejemplos de aplicaciones prácticas

- I. En el espacio: manipulación de muestras en exploración planetaria, o movimientos de rocas u otro tipo de objeto.
- II. En la cirugía: Electrocauterización de vasos sanguíneos durante la cirugía no invasiva-robótica. Telemicrocirugía.
- III. En construcción: Traslado de elementos pesados con macrogrúas.
- IV. En el ambiente submarino: Soldadura en puntos específicos de plataformas petroleras a gran profundidad.
- V. En laboratorios nucleares: manipulación de piezas radioactivas.
- VI. En la academia e investigación: prácticas de manipulación a distancia, por ejemplo, en laboratorios de robótica con comandos por internet.
- VII. Micro y nano manipulación.

VII. APÉNDICES

Observación preliminar: Entrevista con un grupo de personas, sujeción, traslado y evasión.

Se entrevistaron personas, entre 20 y 25 años de edad, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. El propósito fue realizar observaciones preliminares de la manipulación intuitiva.

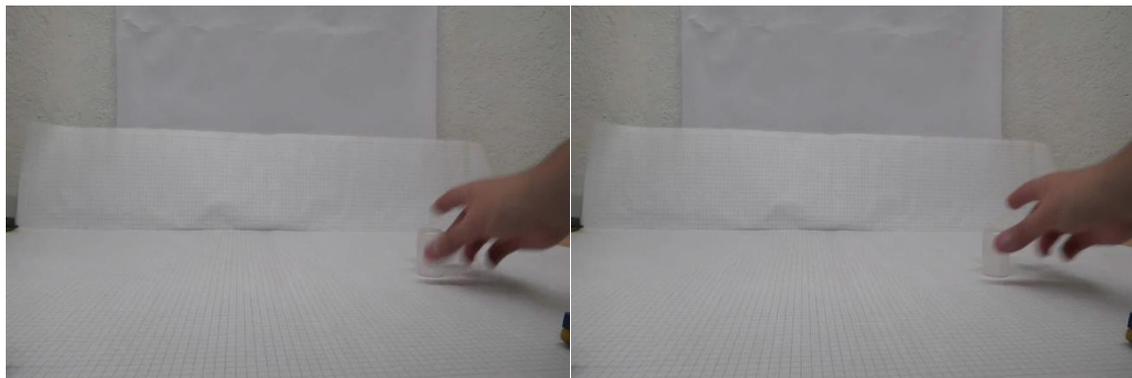
La tarea consistió en desplazar veinte veces un cilindro de un lado a otro teniendo una esfera a la mitad del camino y otras veinte veces sin la esfera.

Todas las tareas fueron realizadas con las mismas condiciones ambientales (e.g. intensidad de luz, temperatura, humedad, etc.), con personas en la misma posición corporal y sin entrenamiento previo para la tarea.

Resultados

En las Figura 43 y Figura 44 muestran una secuencia de manipulación de un objeto cilíndrico realizada por una persona sin y con obstáculo, respectivamente.

Sin obstáculo



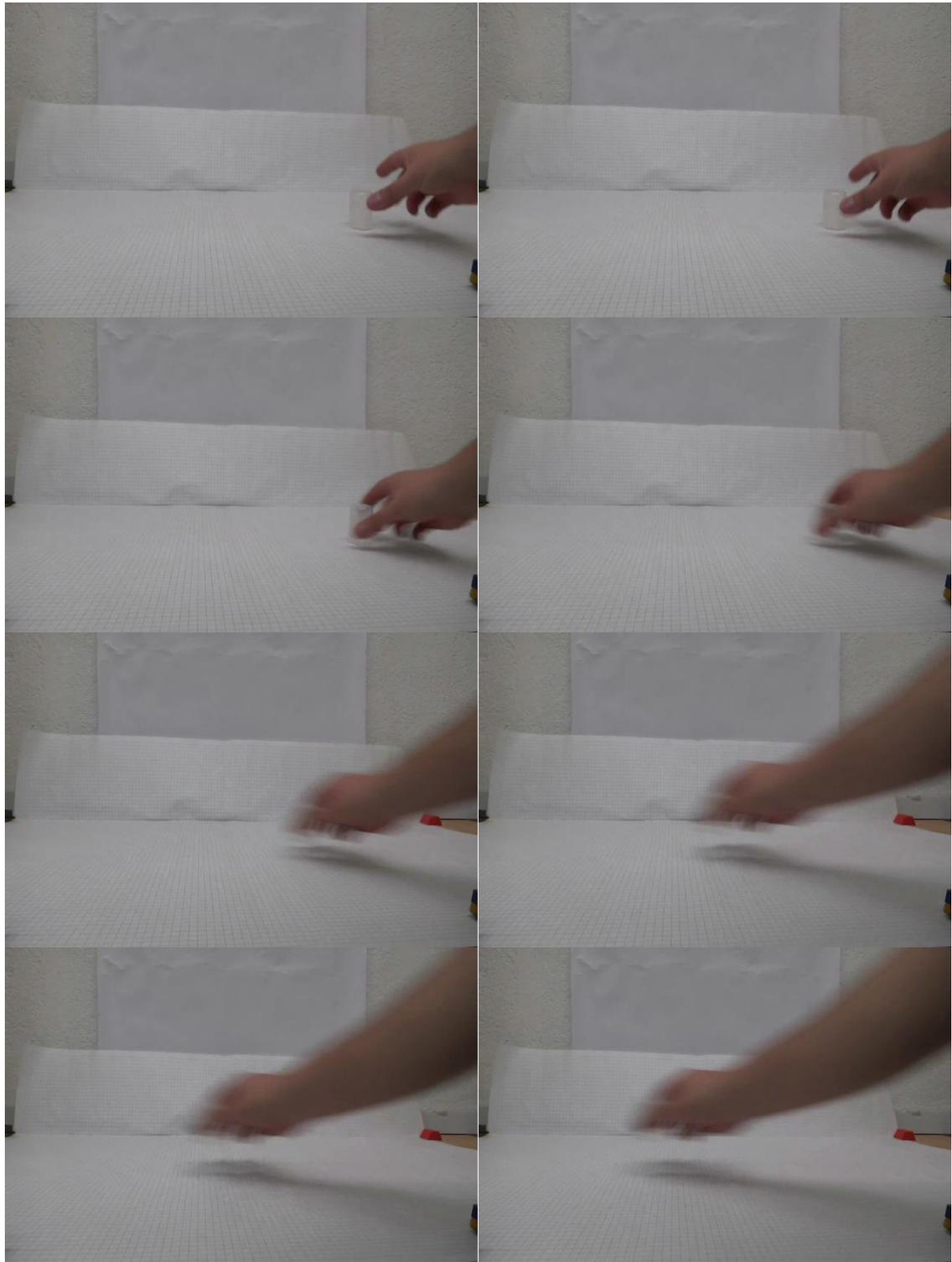
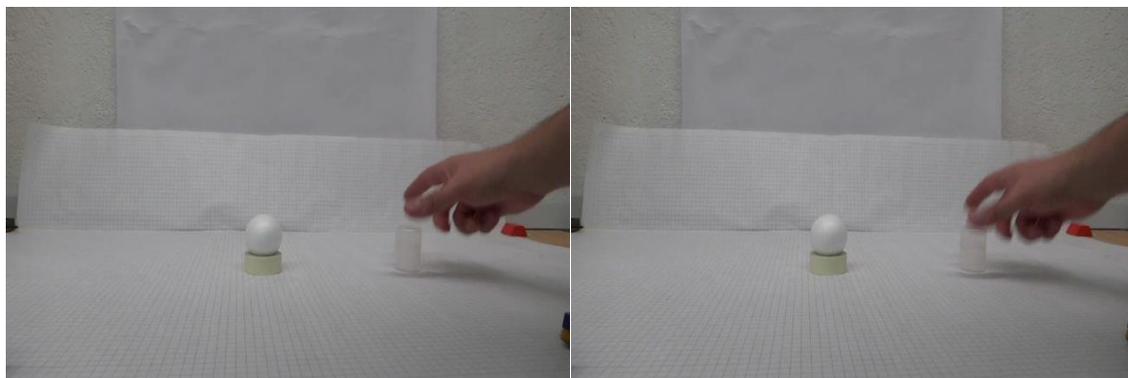




Figura 43. Manipulación sin obstáculo

Con Obstáculo



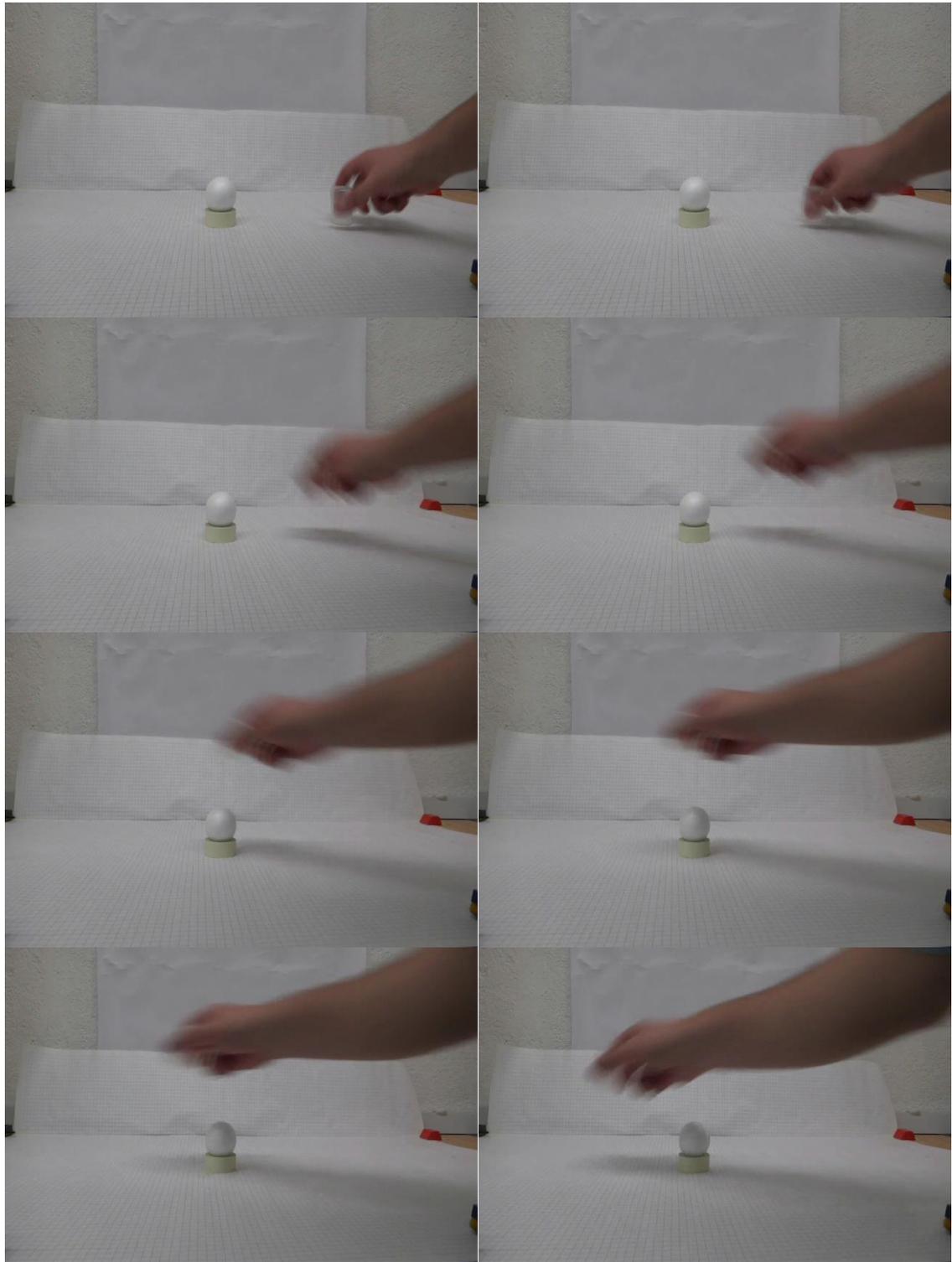




Figura 44. Manipulación con obstáculo

Se han observado comportamientos desarrollados por la intuición. Debido a la naturaleza del estudio, no hay datos numéricos, sin embargo, se ha prestado atención a patrones y/o características de la manipulación intuitiva humana en este ejercicio. En la Figura 45, se han trazado los lugares geométricos que ha descrito la persona al realizar el traslado del objeto. Además se ha observado que la sujeción del objeto depende de sus características geométricas, temperatura, material, peso, etc. En adición, la mano, como un efector final multiarticulado, tiene la posibilidad de adaptarse a casi cualquier geometría, de misma forma el ángulo

de aproximación también depende de más factores como la altura del individuo, altura de la mesa, ubicación del objeto en el plano, etc.

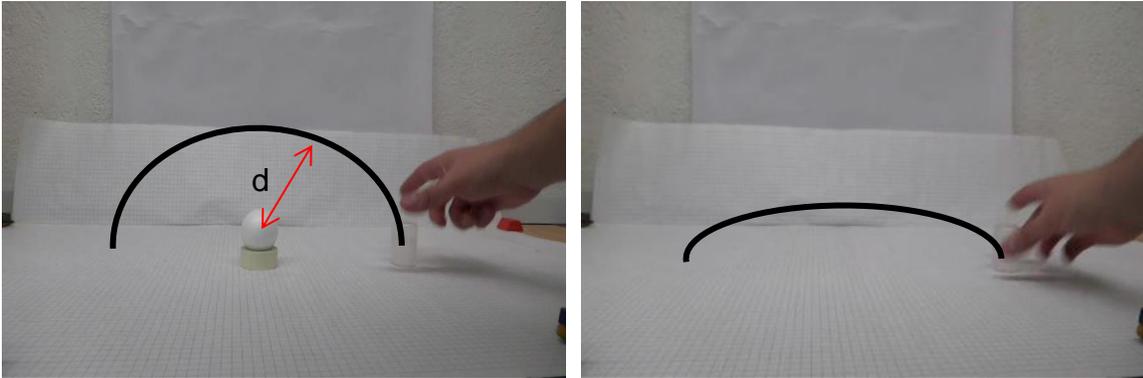


Figura 45. Observaciones

Apéndice: Ingeniería y robótica para el sistema teleoperado y de captación.

El dispositivo serial instrumentado / maestro

Cinemática directa. Obtención de las coordenadas de posición a partir de los ángulos del dispositivo maestro que el operador controla. El Punto M $(x_m \ y_m \ z_m)$ obtenido se envía al sistema esclavo como referencia para controlar al robot. También se emplea en el experimento de captación de la intuición.

Ecuaciones cinemáticas del Dispositivo Serial Instrumentado/ Dispositivo maestro. Una forma de calcular la cinemática directa es a través del método del Denavit Hartenberg [87, 88].

$${}^0_iA = \begin{pmatrix} \cos\theta_i & -\cos a_i * \sin\theta_i & \sin a_i * \sin\theta_i & a_i * \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos a_i * \cos\theta_i & -\sin a_i * \cos\theta_i & a_i * \sin\theta_i \\ 0 & \sin a_i & \cos a_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (36)$$

Donde los componentes conceptuales contenidos en 36 son:

$$A = \begin{pmatrix} \text{Rotación (3x3)} & \text{Posición(1x3)} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (37)$$

Tabla 6. Parámetros DH del dispositivo serial instrumentado / maestro

Eslabón	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	d_1	0	$-\pi/2$
2	θ_2	0	a_2	0
3	θ_3	0	a_3	0
4	θ_4	0	0	$-\pi/2$
5	θ_5	d_5	0	0

Se obtienen las matrices de descripción cinemática con los parámetros DH:

$${}^0_5A = ({}^0_1A {}^1_2A {}^2_3A {}^3_4A {}^4_5A) \quad (38)$$

Donde se seleccionan los elementos de la matriz 0_5A correspondientes al vector de posición representado en 25.

$$P_M = (x_m \ y_m \ z_m) \quad (39)$$

De los que se obtuvieron:

$$x_m = \cos \theta_1 * [a_2 * \cos \theta_2 + a_3 * \cos(\theta_2 + \theta_3) - d_5 * \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)] \quad (40)$$

$$y_m = \sin \theta_1 * [a_2 * \cos \theta_2 + a_3 * \cos(\theta_2 + \theta_3) - d_5 * \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)] \quad (41)$$

$$z_m = d1 - [a2 * \sin\theta2 + a3 * \sin(\theta2 + \theta3) + d5 * \cos(\theta2 + \theta3 + \theta4)] \quad (42)$$

Donde (x_m, y_m, z_m) son las coordenadas del vector generado por la persona al mover el Dispositivo Serial Instrumentado (Maestro), $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$ son los ángulos de las articulaciones del Dispositivo serial instrumentado [86] y $d1, a2, a3, d5$ son sus dimensiones geométricas (ver Figura 46).

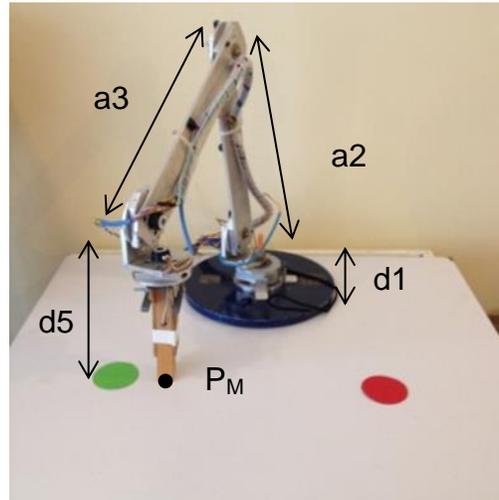


Figura 46. Dispositivo serial instrumentado / Sistema maestro

Los elementos del sistema de instrumentación del dispositivo están esquematizados en la Figura 47. Se emplearon seis *encoders* de cuadratura (www.us-digital.com/ep4) para la adquisición de los ángulos en las articulaciones del dispositivo maestro. Se emplearon tarjetas comerciales MD25 (<http://www.robot-electronics.co.uk/htm/md25tech.htm>) que leen este tipo de *encoders* (dos por cada tarjeta) y transmite la información a un microprocesador *arduino* (arduino.cc) a través de conexión y protocolo intercircuito (I²C). Este microprocesador también realiza la función de llevar todos los ángulos hacia el ordenador, donde se hacen cálculos de cinemática directa para ser enviados los resultados al sistema esclavo.

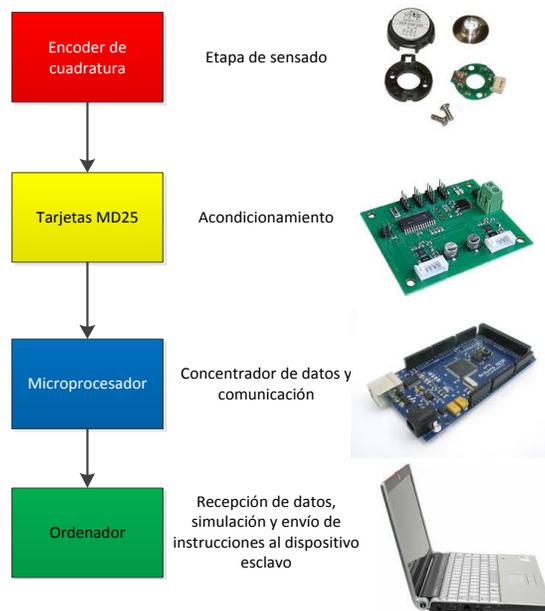


Figura 47. Elementos del sistema de procesamiento de información para el dispositivo serial instrumentado /maestro.

El Sistema esclavo

Para el dispositivo esclavo se ha realizado una simulación, el *software* que se empleó para la simulación fue *Solidworks*® y la herramienta de *SimMechanics* de *MATLAB*®.

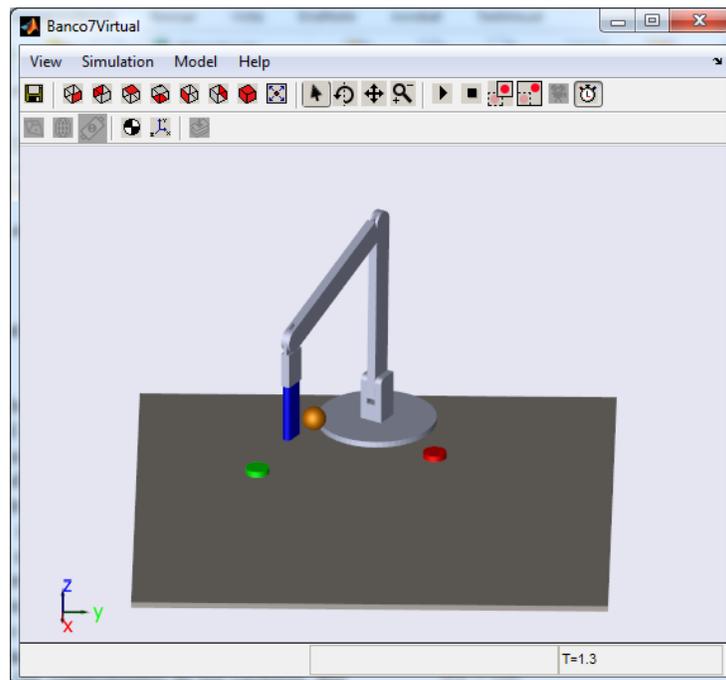


Figura 48. Dispositivo esclavo y ambiente virtual para la teleoperación

Para conseguir que el robot esclavo genere los ángulos de cada articulación a partir del vector de posición que recibió del operador y su dispositivo maestro (Dispositivo Serial Instrumentado), un método disponible en robótica es usando la cinemática inversa. Entre los métodos más comunes para su cálculo, está el Método geométrico, donde a) se usan las relaciones geométricas y trigonométricas, b) se resuelve mediante la creación de triángulos y planteamiento de leyes de senos y cosenos (resolución de triángulos), c) se usa para las primeras variables articulares.

Ecuaciones de cinemática inversa para el robot esclavo

Solución geométrica. Parámetros del brazo manipulador con cinco grados de libertad son: h / altura de la base, k / antebrazo, g / brazo, f / muñeca, phi / Ángulo de inclinación (*Pitch*) dado por el operador y csi / Ángulo de giro (*Roll*) dado por el operador. El punto del operador es $(x_m \ y_m \ z_m)$

Ecuaciones auxiliares

$$a = \cos(phi) \quad (43)$$

$$b = \sin(phi) \quad (44)$$

$$rr = |\sqrt{x_m^2 + y_m^2}| \quad (45)$$

$$x = rr - f * a \quad (46)$$

$$z = pz + f * b \quad (47)$$

$$R = |\sqrt{x^2 + (z - h)^2}| \quad (48)$$

$$cA = x/R \quad (49)$$

$$sA = (z - h)/R \quad (50)$$

$$cB = \frac{R^2 + g^2 - k^2}{(2gR)} \quad (51)$$

$$sB = \sqrt{1 - cB^2} \quad (52)$$

$$cG = \frac{k^2 + g^2 - R^2}{(2gk)} \quad (53)$$

$$sG = \sqrt{1 - cG^2} \quad (54)$$

Solución para THETA1 // ángulo de la base

$$\theta_1 = \text{atan2}(y_m, x_m) \quad (55)$$

THETA 2 // ángulo del hombro

$$\theta_2 = \text{atan2}(sA * cB + cA * sB, (cA * cB - sA * sB)) \quad (56)$$

THETA 3 // ángulo del codo

$$\theta_3 = \text{atan2}(sG, -cG) \quad (57)$$

THETA 4 // ángulo de la muñeca

$$\theta_4 = \text{atan2}[a * (sG * \cos\theta_2 - cG * \sin\theta_2) + b * (cG * \cos\theta_2 + sG * \sin\theta_2), a * (cG * \cos\theta_2 + sG * \sin\theta_2) - b * (sG * \cos\theta_2 - cG * \sin\theta_2)] \quad (58)$$

THETA 5 // ángulo de giro

$$\theta_5 = csi$$

(59)

Las expresiones en 43 a 54 se sustituyen en las ecuaciones de 56 a 59, según corresponda, con el fin de simplificar la programación.

Simulación

SimMechanics es un módulo de simulación de multicuerpos de sistemas mecánicos tales como robots, suspensión de vehículos, equipo de construcción, engranes de maquinaria, etc. en un ambiente en 3D.

El modelo se construye con bloques que representan cuerpos, articulaciones, sensores, actuadores, etc.

SimMechanics formula y resuelve las ecuaciones de movimiento para el sistema mecánico completo.

Es posible exportar modelos que han sido concebidos en programas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) incluyendo sus parámetros como masa, inercia, articulaciones y geometría.

El modelo en el ambiente de Simulink tiene acceso a todas las herramientas de MATLAB® como redes neuronales, control, hidráulica, funciones S, etc.

En Simulink® de Matlab ® se requirió un modelo en 3D diseñado en SolidWorks® que se muestra a continuación:

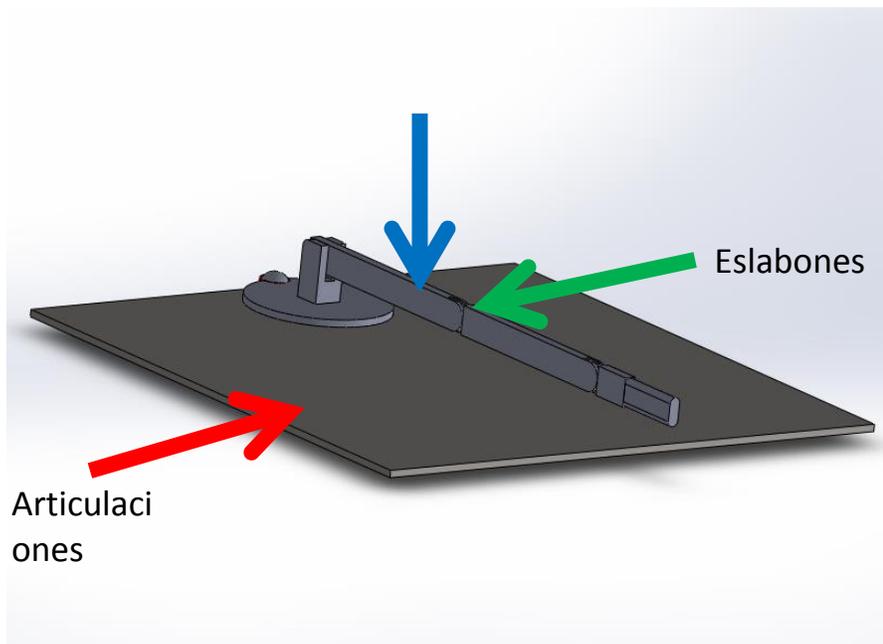


Figura 49. Representación del robot esclavo

Las cinco articulaciones de este diseño son rotacionales que representan a la rotación de la BASE, HOMBRO, CODO y dos de la MUÑECA (INCLINACIÓN Y GIRO).

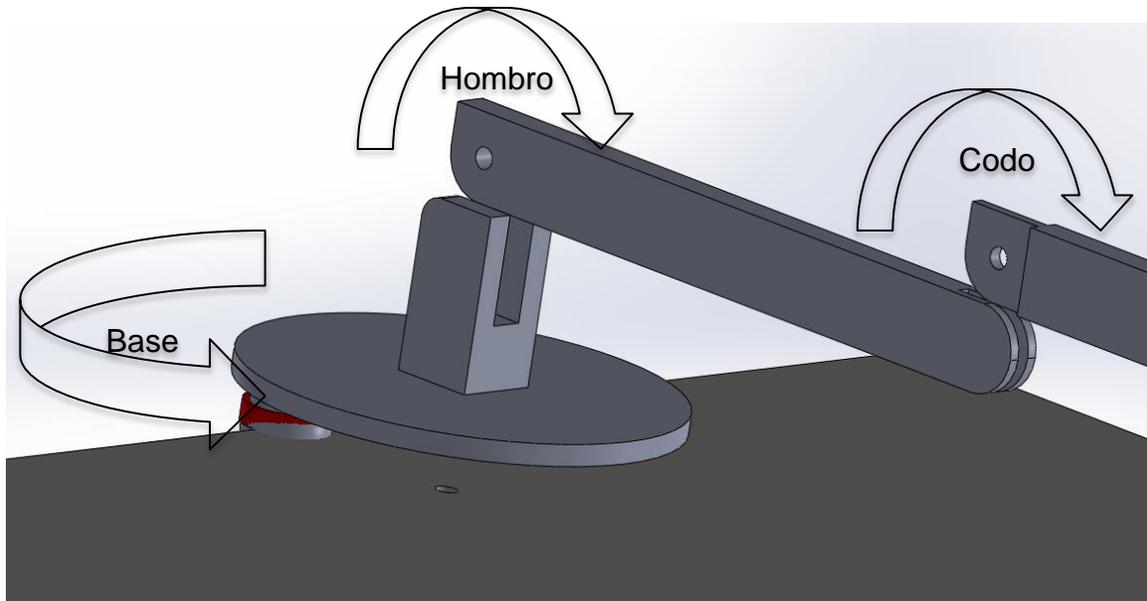


Figura 50. Articulaciones de la base, hombro y codo

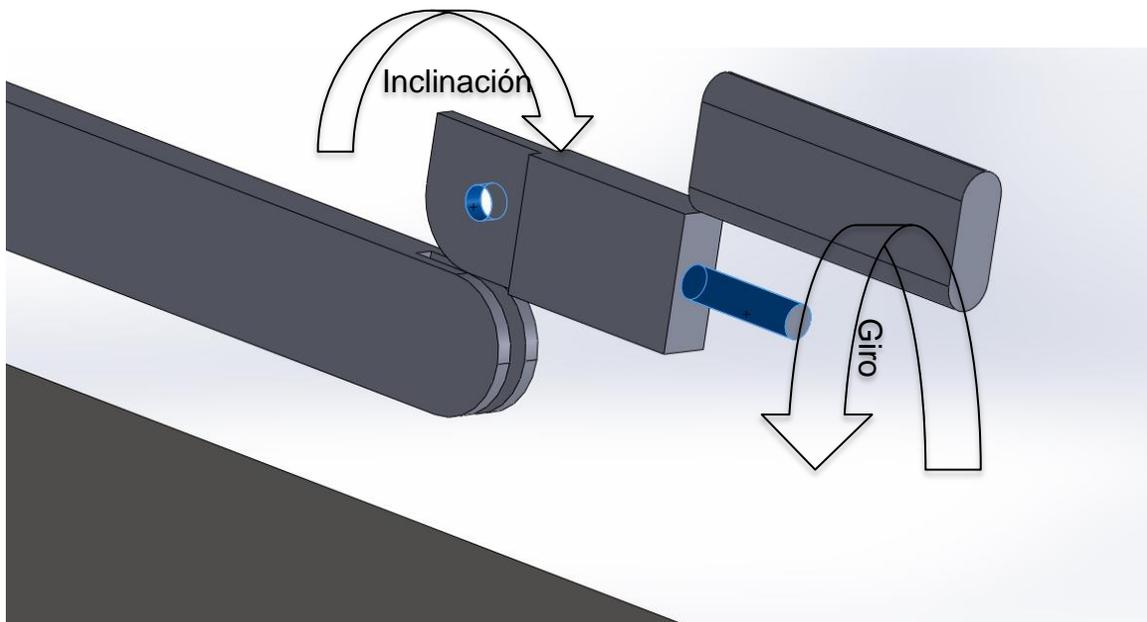


Figura 51. Articulaciones de la muñeca

Una vez en la simulación con *SimMechanics* se tiene la capacidad de dar un ángulo a cada articulación, por ejemplo en la Figura 56 se observan los elementos auxiliares necesarios:

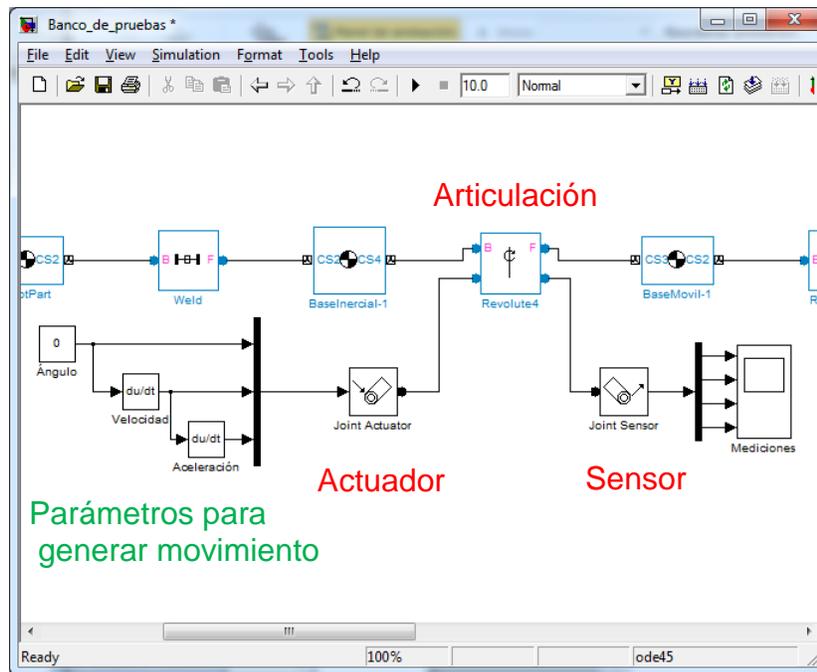


Figura 52. Elementos auxiliares en simMechanics

Para la simulación en 3D se tiene el ambiente generado automáticamente con obstáculo (**Esfera dorada**), posición inicial (**Verde**), y posición final (**Rojo**).

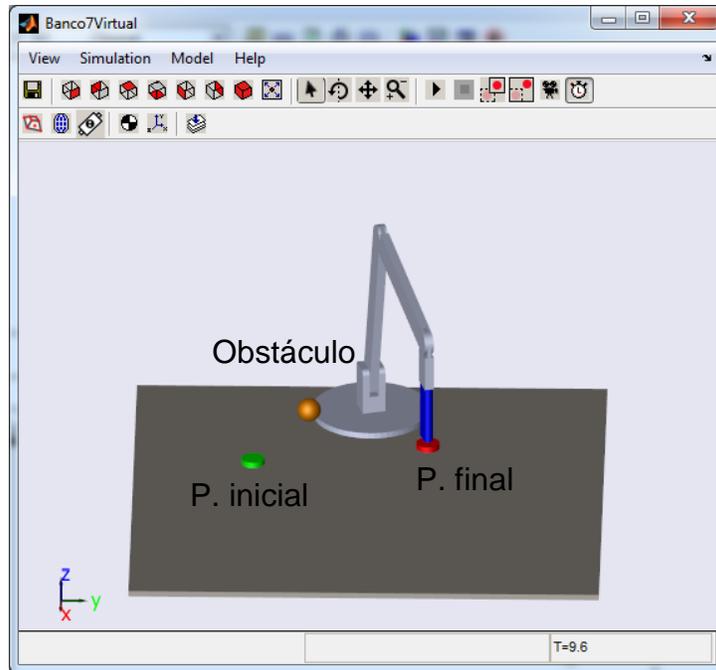
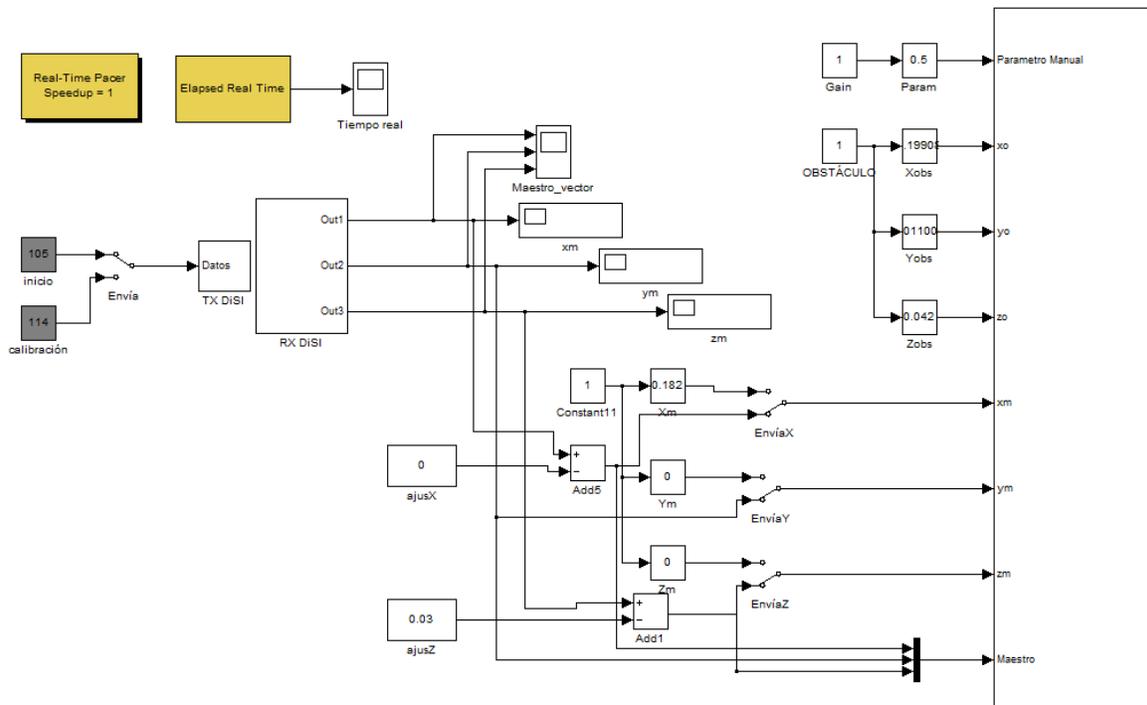


Figura 53. Vista en 3D del robot esclavo simulado

En las siguientes imágenes se muestran los bloques de código que contienen a la simulación.



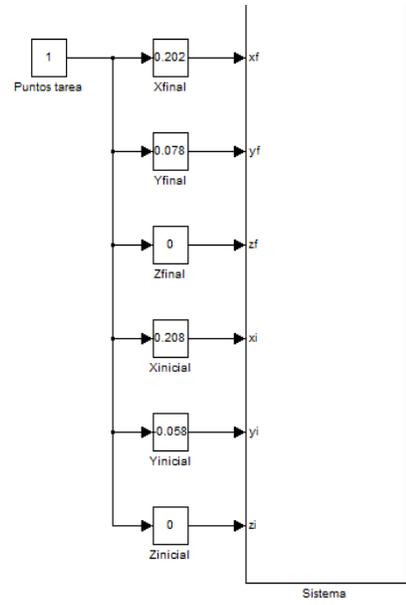


Figura 54. Diagrama de bloques en Simulink de MATLAB

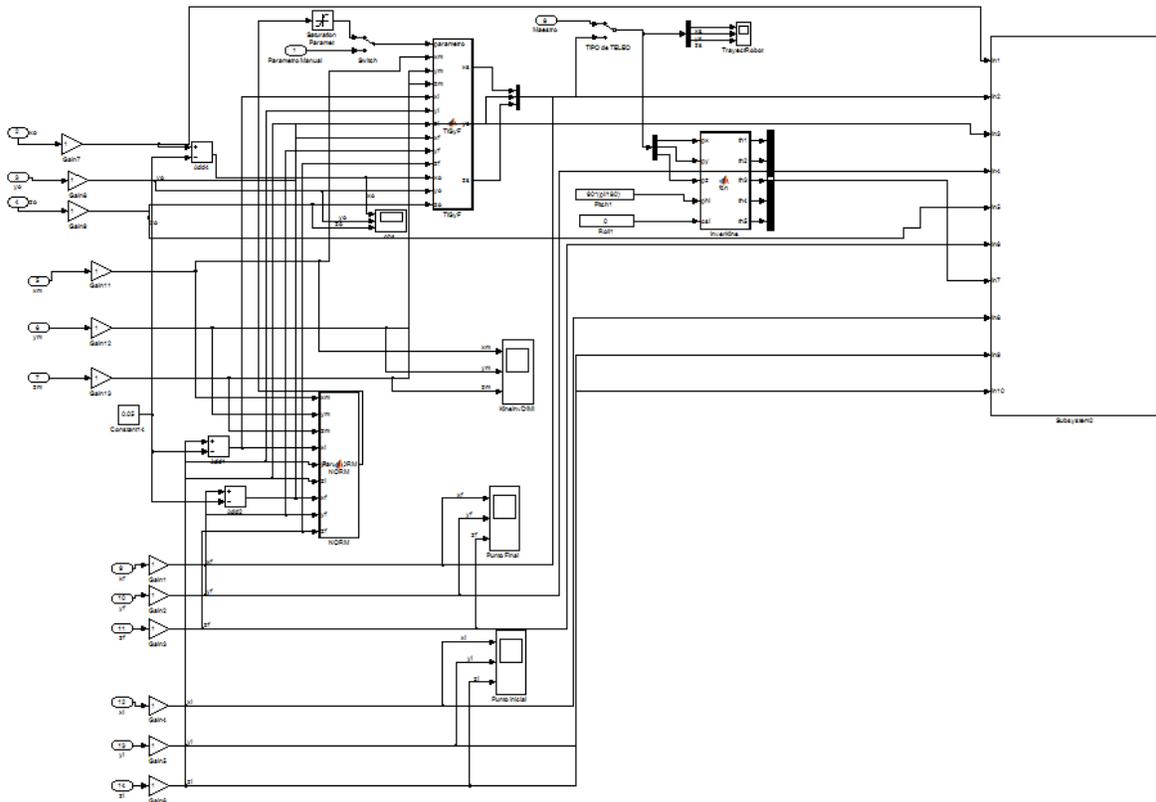


Figura 55. Diagrama de bloques de la simulación

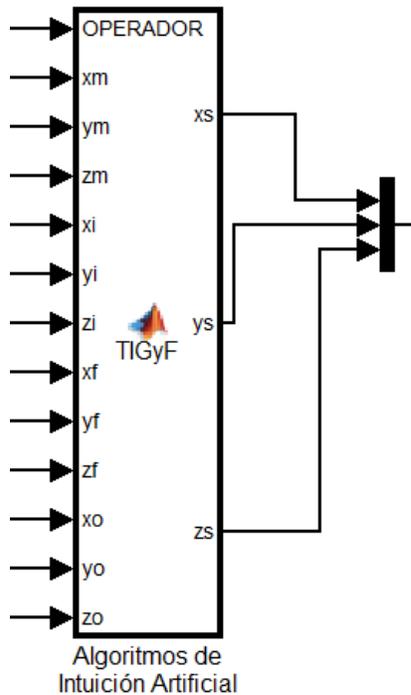


Figura 56. Algoritmos

```
function [xs,ys,zs] = TIGyF(OPERADOR,
xm,ym,zm,xi,yi,zi,xf,yf,zf,xo,yo,zo)

distancia = sqrt((xf-xi)^2+(yf-yi)^2);
A= distancia*0.25;

% Cálculo paramétrico
xs=OPERADOR*(xf-xi)+xi;
ys=OPERADOR*(yf-yi)+yi;
zs=A*sin(OPERADOR*pi)+ OPERADOR*(zf-zi)+zi;

% evasión
Ra=0.03;
distancia_robot_obst=sqrt((xs-xo)^2+(ys-
yo)^2+(zs-zo)^2);

    if distancia_robot_obst <= Ra
        rootxyz = sqrt(1/((xs-xo)^2+(ys-
yo)^2+(zs-zo)^2));
        xb = xo + Ra*rootxyz*(xo-xs);
        yb = yo + Ra*rootxyz*(yo-ys);
        zb = zo + Ra*rootxyz*(zo-zs);
        xc = xo + Ra*rootxyz*(xs-xo);
        yc = yo + Ra*rootxyz*(ys-yo);
        zc = zo + Ra*rootxyz*(zs-zo);
        distancia_AB=sqrt((xs-xb)^2+(ys-
yb)^2+(zs-zb)^2);
        distancia_AC=sqrt((xs-xc)^2+(ys-
yc)^2+(zs-zc)^2);

        if distancia_AB <= distancia_AC
            xs=xb;
            ys=yb;
            zs=zb;
        else
            xs=xc;
            ys=yc;
            zs=zc;
        end

    else
        xs=OPERADOR*(xf-xi)+xi;
        ys=OPERADOR*(yf-yi)+yi;
        zs=A*sin(OPERADOR*pi)+ OPERADOR*(zf-zi)+zi;

    end
```

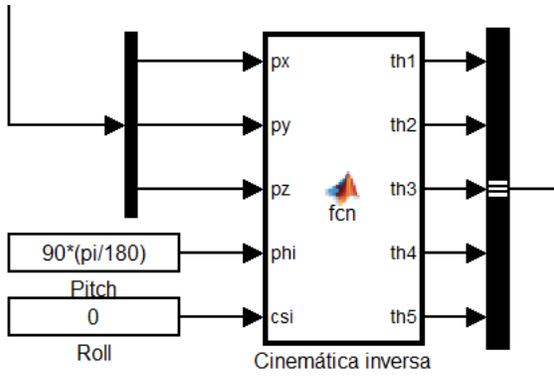
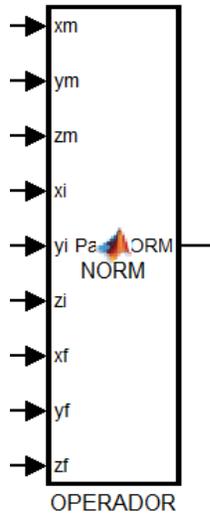


Figura 57. Cinemática inversa

```
function [th1, th2, th3, th4, th5] =
fcn(px, py, pz, phi, csi)
h=0.11; %altura de la base
k=0.28; %antebrazo
g=.25; % brazo
f=0.20; %muñeca

a=cos(phi);
b=sin(phi);
rr=norm([px py]);
x=rr-f*a;
z=pz+f*b;
R=norm([x z-h]);
sin_a=(z-h)/R;
cos_a=x/R;
cos_b=(R^2+g^2-k^2)/(2*g*R);
sin_b=real(sqrt(1-(cos_b)^2));
cos_g=(k^2+g^2-R^2)/(2*g*k);
sin_g=real((1-(cos_g)^2)^(1/2));
//////////THETA1//////////
th1=atan2(py, px);
//////////THETA2//////////
th2=atan2(sin_a*cos_b+cos_a*sin_b, -
(cos_a*cos_b-sin_a*sin_b));
c=cos(th2);
d=sin(th2);
//////////THETA3//////////
th3=atan2(sin_g, -cos_g);
//////////THETA4//////////
th4=atan2(a*(sin_g*c-
cos_g*d)+b*(cos_g*c+sin_g*d), a*(cos_
g*c+sin_g*d)-b*(sin_g*c-cos_g*d));
//////////THETA5//////////
th5=csi;
```



```
function ParaNORM = NORM(xm,ym,zm,xi,yi,zi,xf,yf,zf)
```

```
ab=(xm-xi)*(xf-xi)+(ym-yi)*(yf-yi)+(zm-zi)*(zf-zi);
aa=(xf-xi)*(xf-xi)+(yf-yi)*(yf-yi)+(zf-zi)*(zf-zi);
```

```
ParaNORM=ab/aa;
```

Figura 58. Función

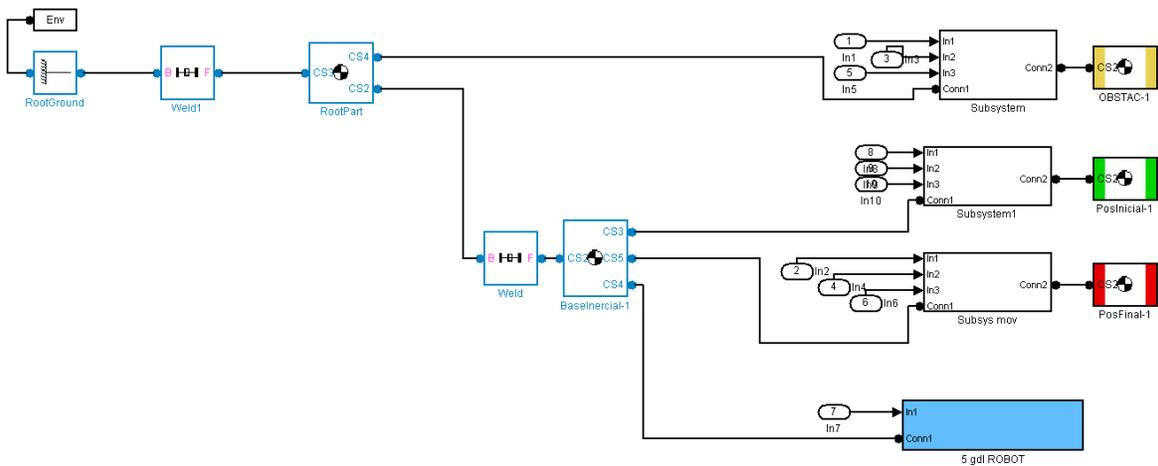


Figura 59. Diagrama de bloques en simulink del modelo importado desde solidworks

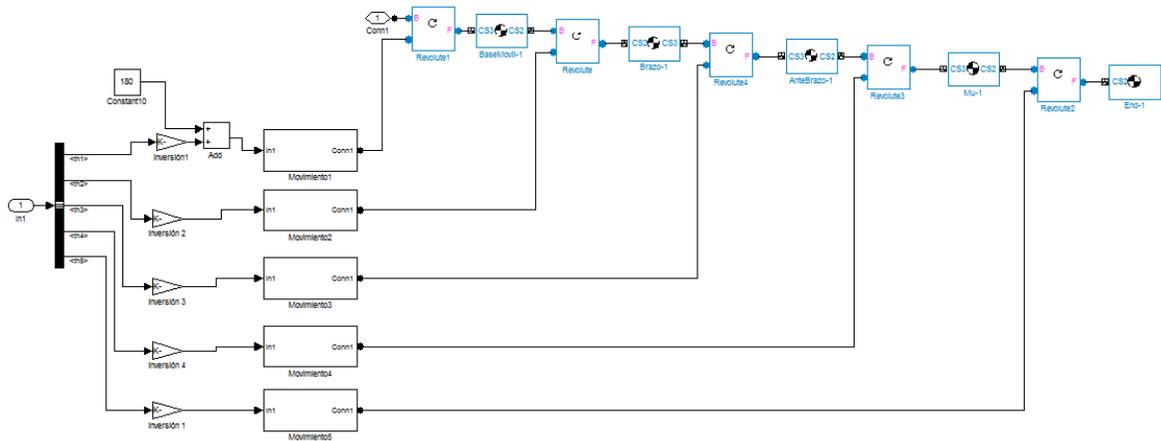


Figura 60. Funciones adicionales para generar movimiento en el robot esclavo

Datos y gráficas

Gráficas de los resultados del traslado, obtenidas del método de centroides. En dos partes: a) IDA que significa que el participante llevó el efector final del dispositivo instrumentado del punto inicial (verde) al final (rojo), se presentan las gráficas tridimensionales, las posiciones de cada eje y su velocidad; b) REGRESO que significa trasladarse del punto final (rojo) al punto inicial (verde).

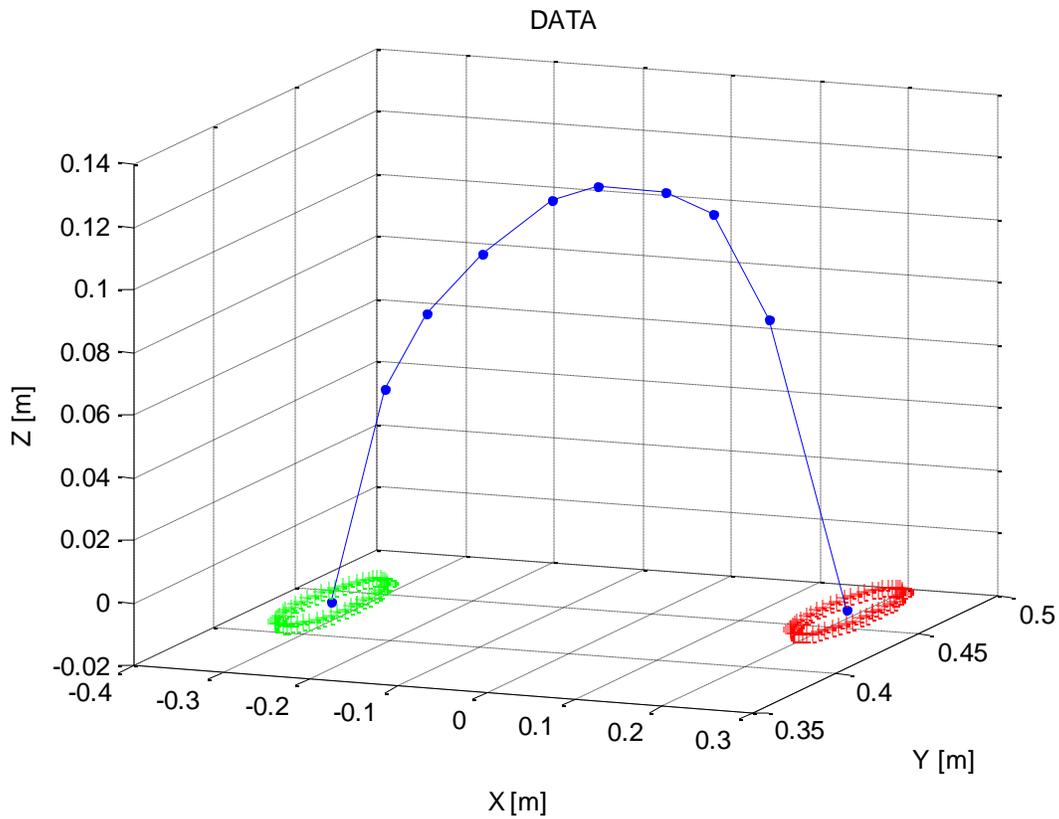


Figura 61. Traslado de IDA

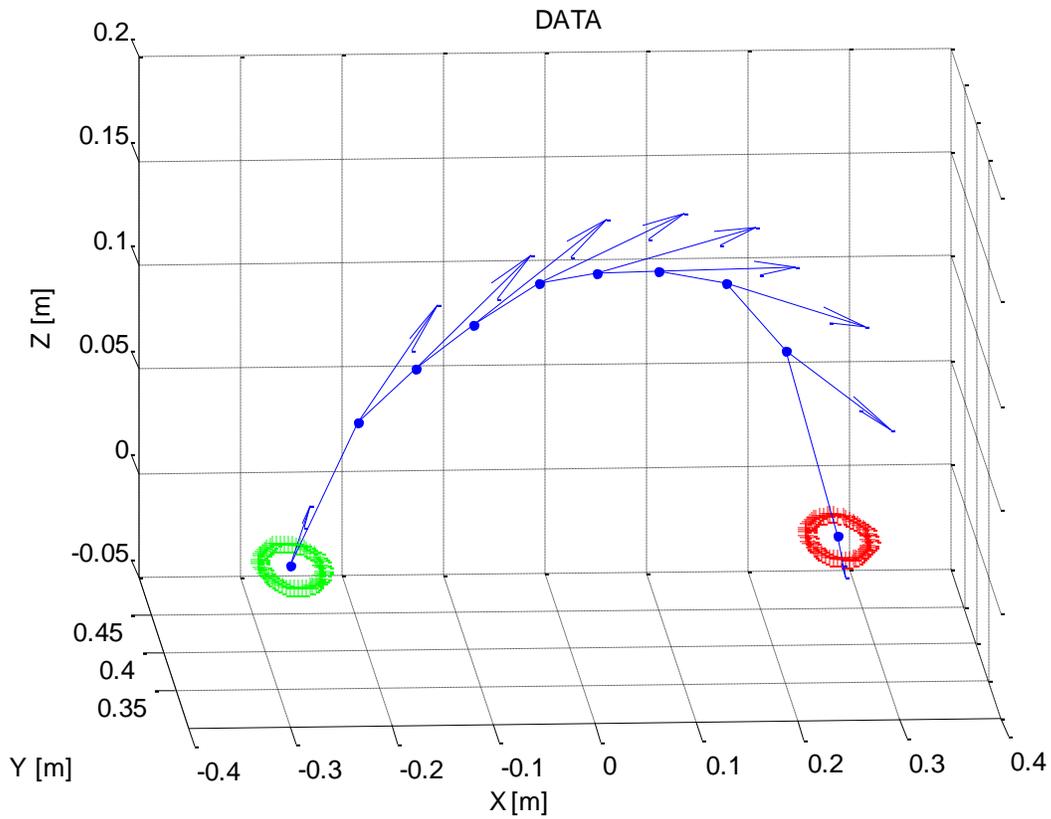


Figura 62. Traslado de verde a rojo (IDA), con velocidades

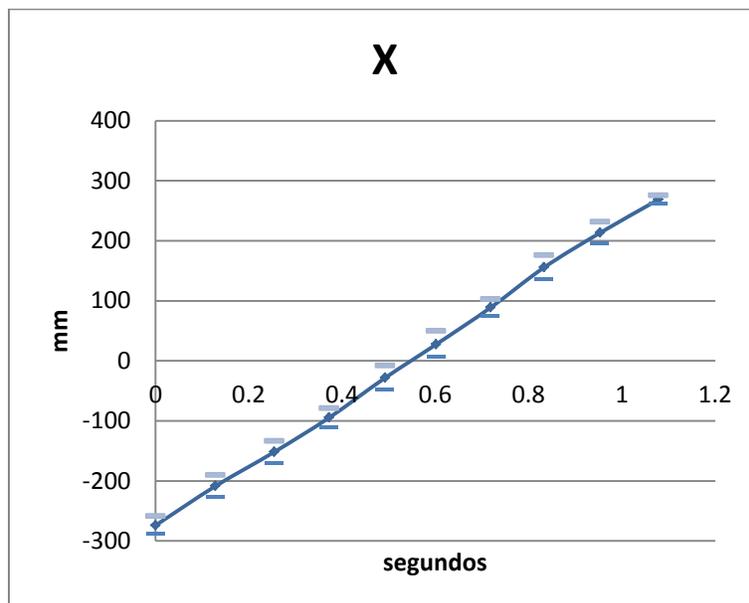


Figura 63. Valores para el eje X de IDA en el tiempo

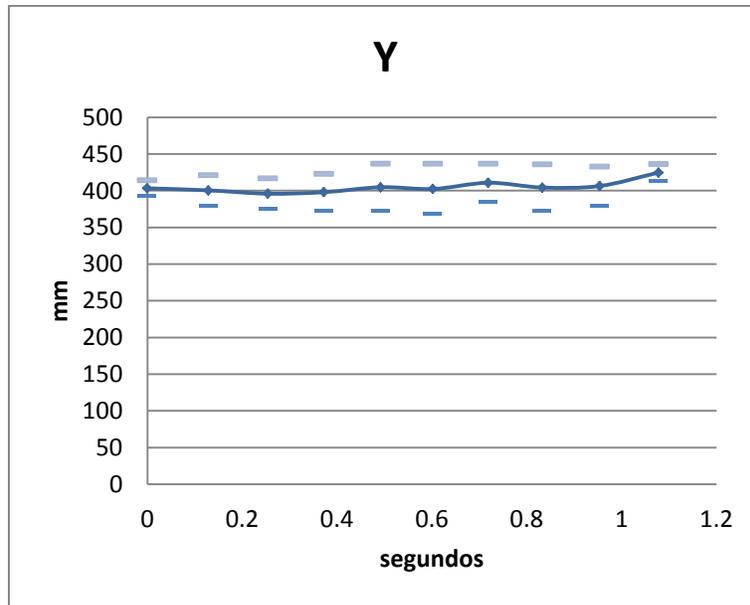


Figura 64. Valores para el eje Y de IDA en el tiempo

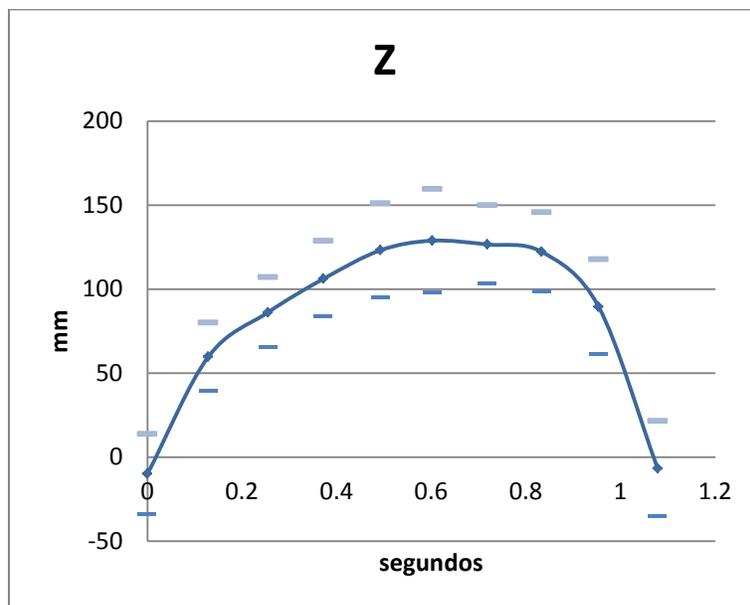


Figura 65. Valores para el eje Z de IDA en el tiempo

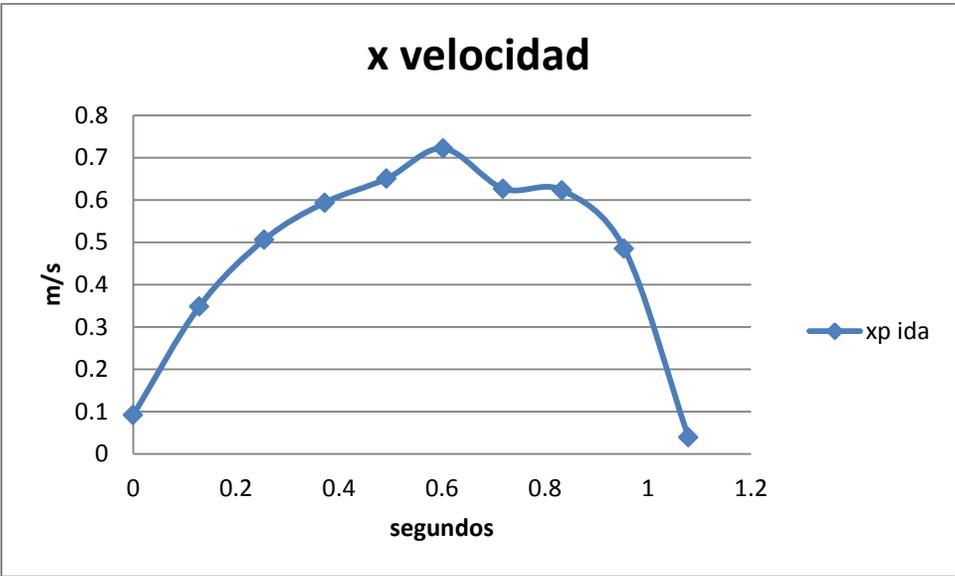


Figura 66. Velocidades en el eje X de ida

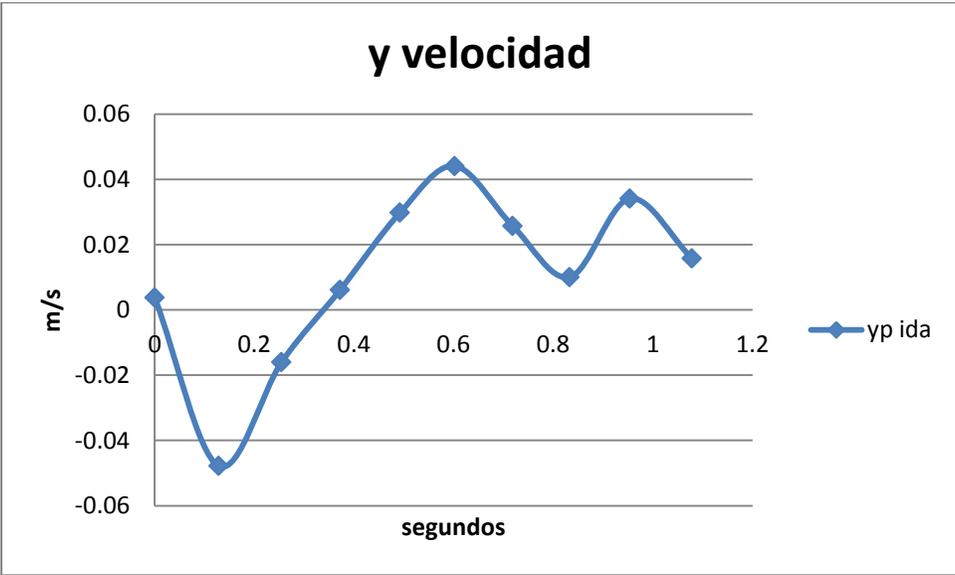


Figura 67. Velocidades en el eje Y de ida

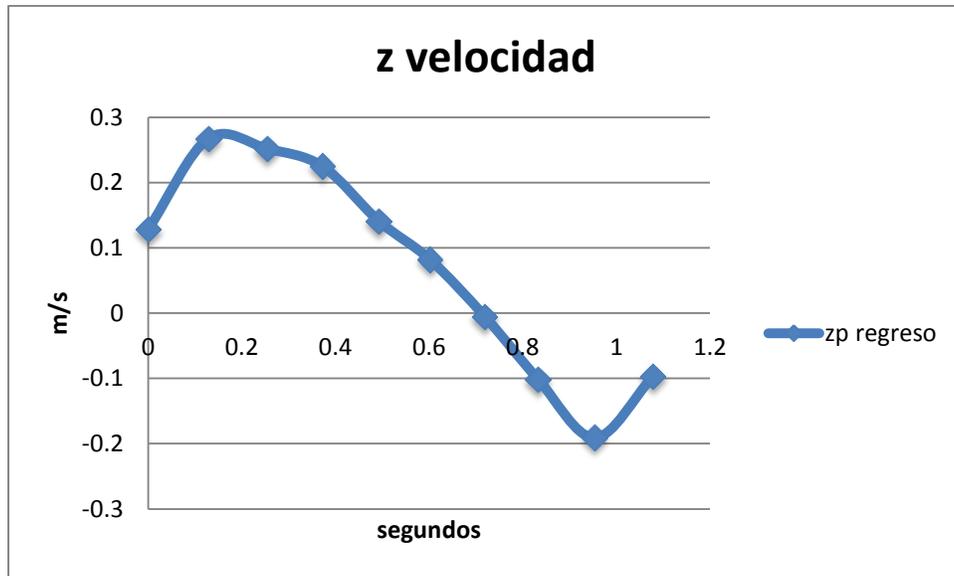


Figura 68. Velocidades en el eje Z de ida

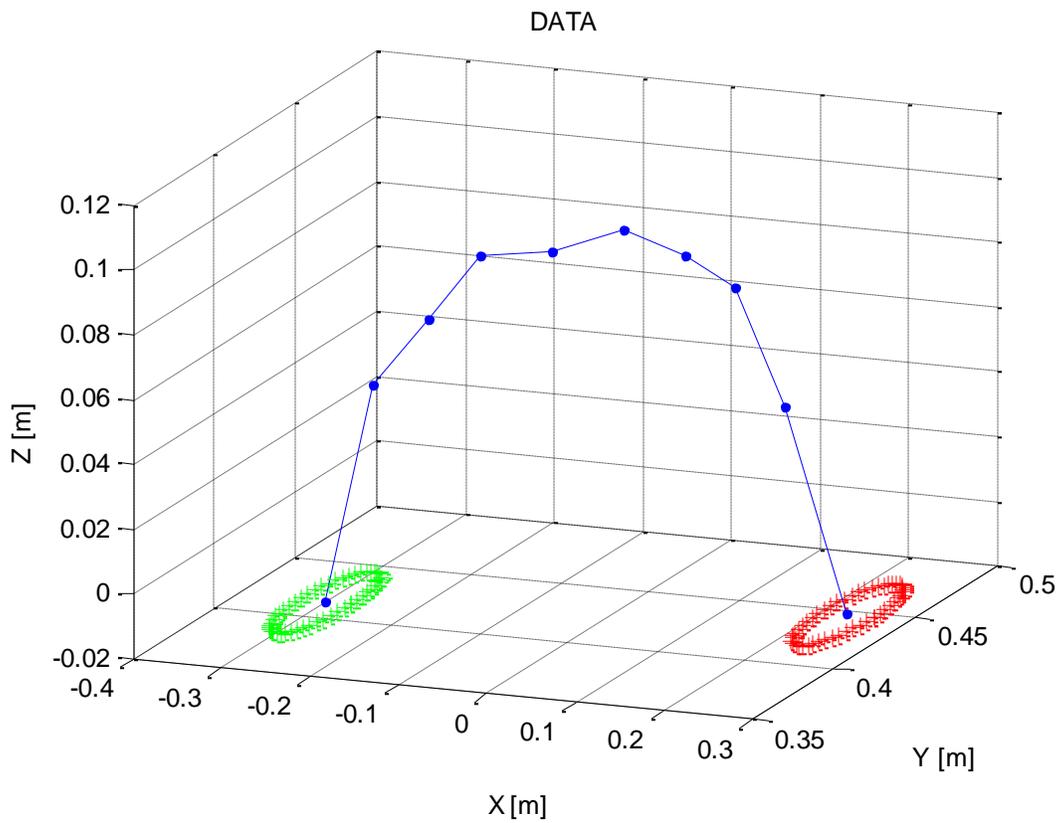


Figura 69. Traslado de rojo a verde (REGRESO)

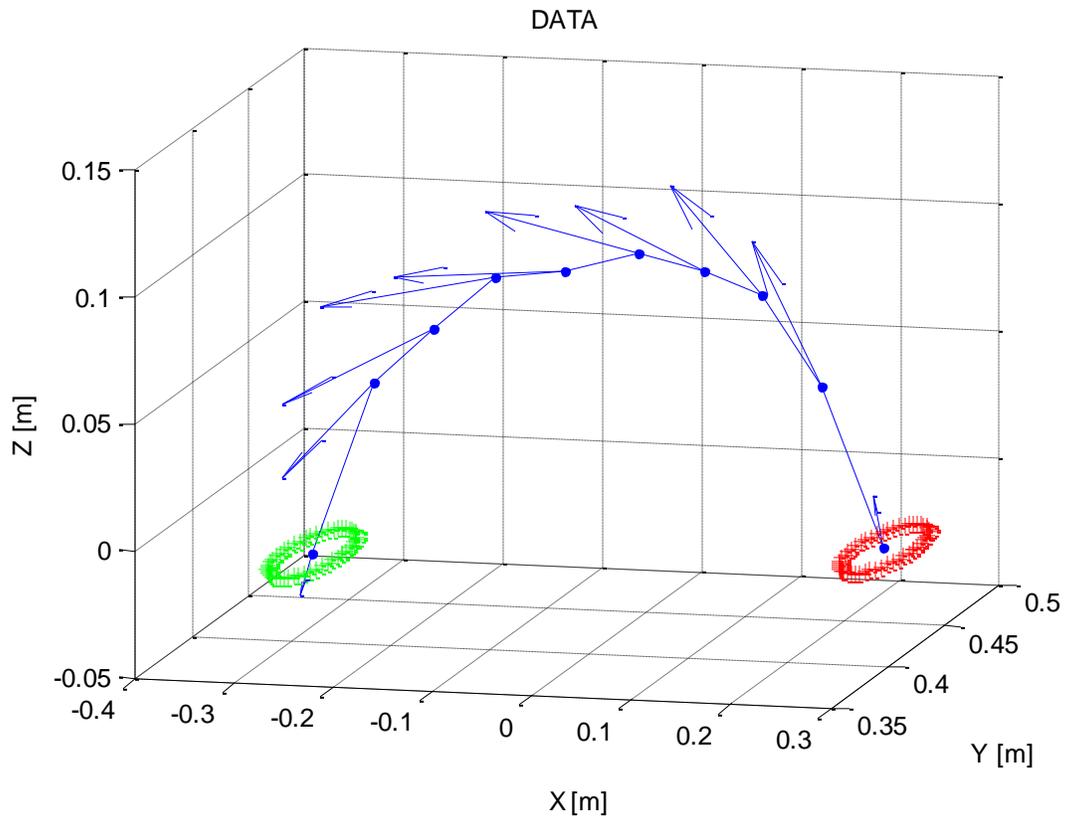


Figura 70. Traslado de rojo a verde (REGRESO) con velocidades

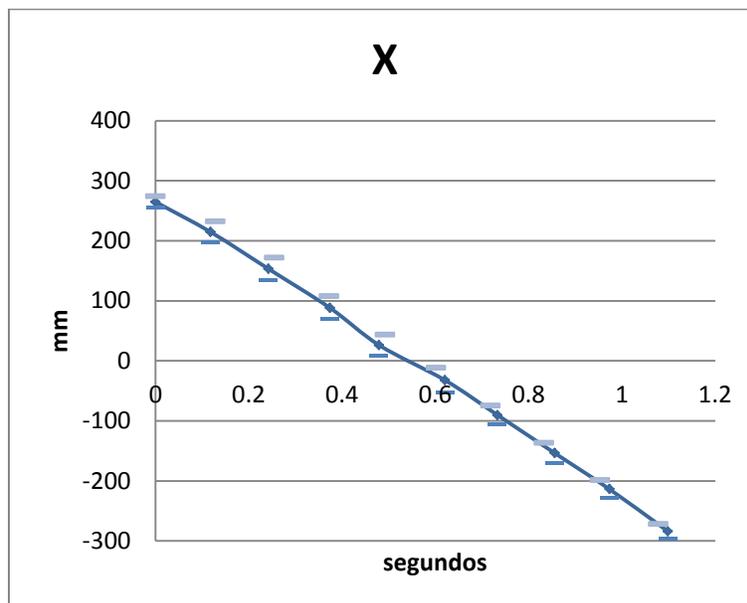


Figura 71. Comportamiento en el eje X de REGRESO

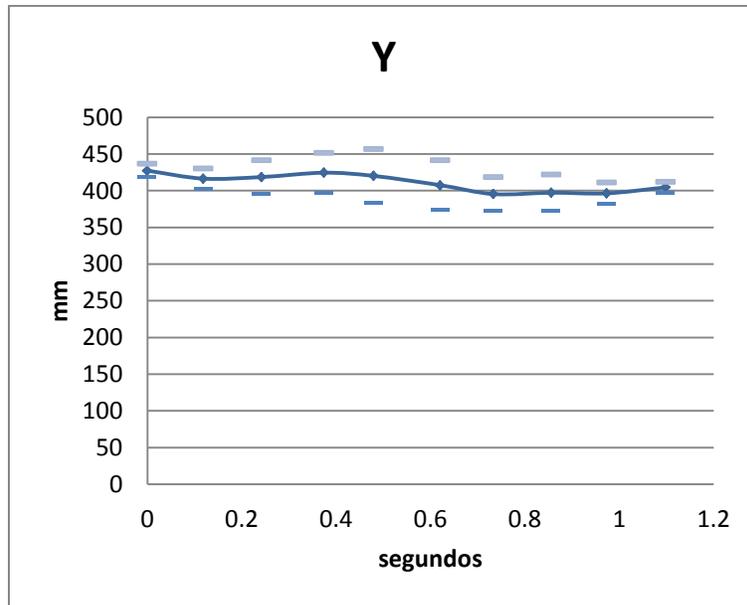


Figura 72. Comportamiento en el eje y de REGRESO

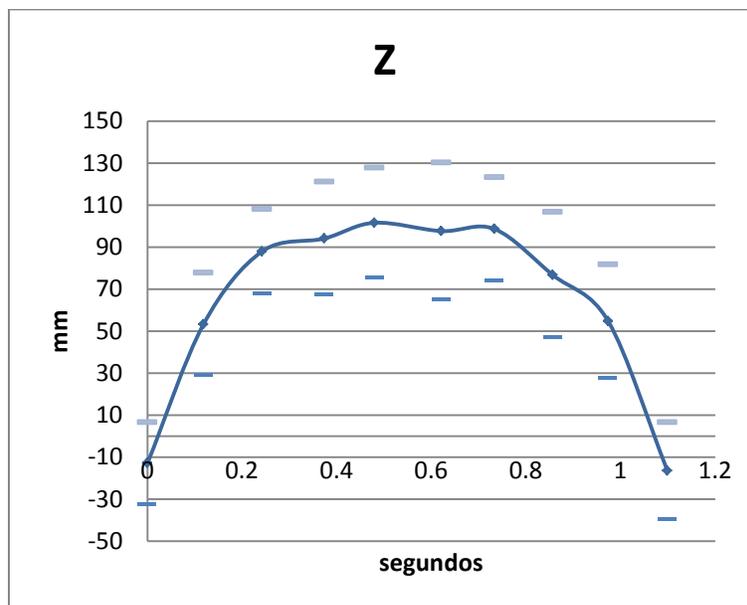


Figura 73. Comportamiento en el eje z de REGRESO

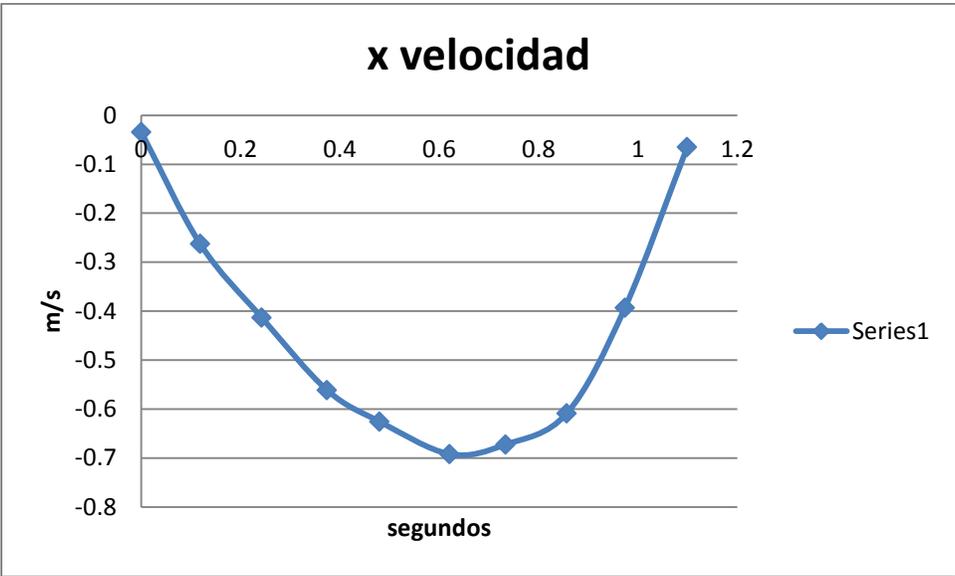


Figura 74. Velocidades en el eje x de REGRESO

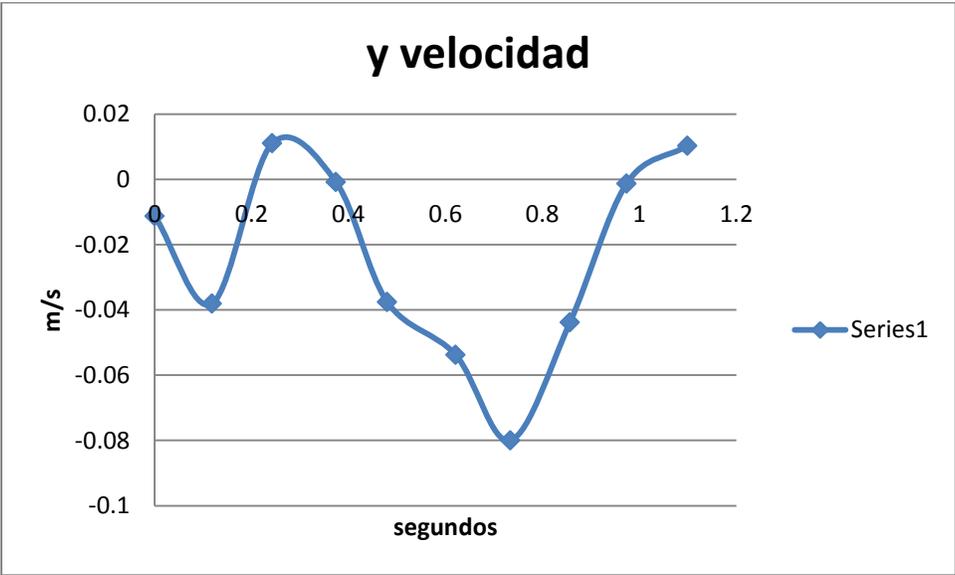


Figura 75. Velocidades en el eje y de REGRESO

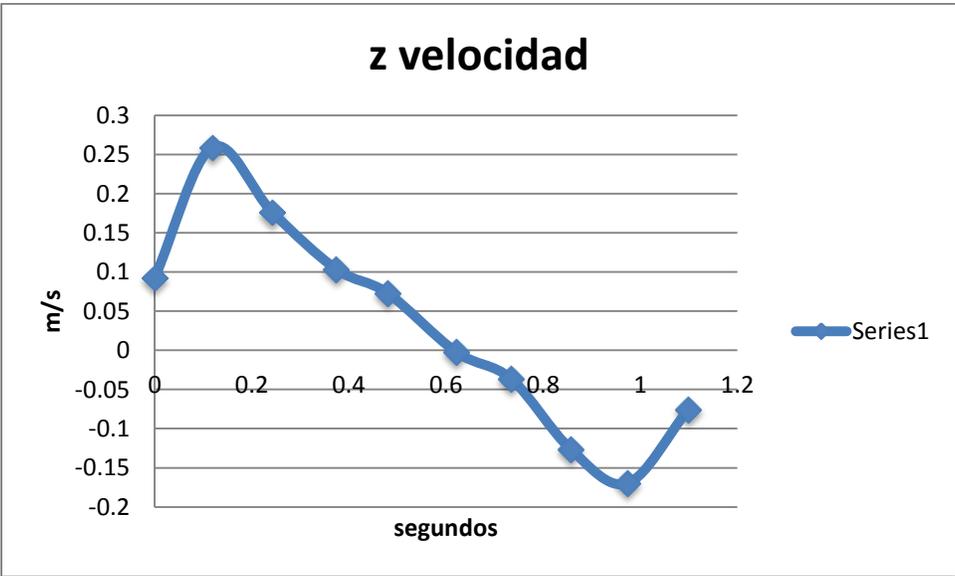


Figura 76. Velocidades en el eje z de REGRESO

Datos de las pruebas para probar Intuición Artificial

Sin obstáculo

	Referencia			EXPsinINT_sVideo_001			EXPconINT_sVideo_001			
	x	y	z	Esclavo		Maestro	Esclavo		Maestro	
Punto inicial	0.1000	-0.1500	0.0100	0.1250	-0.1440	0.0120	0.1250	-0.1440	0.0120	m
Punto final	0.1000	0.1500	0.0100	0.0800	0.1620	-0.0010	0.0800	0.1620	-0.0010	m
Tiempo				4.9652					1.0366	seg
	Referencia			EXPsinINT_sVideo_002			EXPconINT_sVideo_002			
	x	y	z	Esclavo		Maestro	Esclavo		Maestro	
Punto inicial	0.1000	-0.1500	0.0100	0.0970	-0.1510	0.0050	0.0970	-0.1510	0.0050	m
Punto final	0.1760	0.0260	0.0760	0.1520	0.0300	0.0954	0.1520	0.0300	0.0954	m
Tiempo				12.3759					0.3223	seg
	Referencia			EXPsinINT_sVideo_003			EXPconINT_sVideo_003			
	x	y	z	Esclavo		Maestro	Esclavo		Maestro	
Punto inicial	0.1840	-0.0520	0.0260	0.1835	-0.0470	0.0250	0.1835	-0.0470	0.0250	m
Punto final	0.1760	0.0260	0.0760	0.1830	0.0260	0.0750	0.1830	0.0260	0.0750	m
Tiempo				7.9116					3.4473	seg
	Referencia			EXPsinINT_sVideo_004			EXPconINT_sVideo_004			
	x	y	z	Esclavo		Maestro	Esclavo		Maestro	
Punto inicial	0.0760	-0.0320	0.0000	0.1190	0.0000	0.0040	0.1190	0.0000	0.0040	m
Punto final	0.1840	0.0000	0.0500	0.1060	-0.0260	0.0060	0.1060	-0.0260	0.0060	m
Tiempo				12.3759					3.0902	seg
	Referencia			EXPsinINT_sVideo_005			EXPconINT_sVideo_005			
	x	y	z	Esclavo		Maestro	Esclavo		Maestro	
Punto inicial	0.1000	-0.1000	0.0000	0.1250	-0.0990	0.0030	0.1250	-0.0990	0.0030	m
Punto final	0.1700	0.0500	0.0500	0.1700	0.0520	0.0430	0.1700	0.0520	0.0430	m
Tiempo video				8.0009					3.0000	seg
	Referencia			EXPsinINT_sVideo_006			EXPconINT_sVideo_006			
	x	y	z	Esclavo		Maestro	Esclavo		Maestro	
Punto inicial	0.1000	-0.1000	0.0000	0.1310	-0.0950	0.0020	0.1310	-0.0950	0.0020	m
Punto final	0.1700	0.0500	0.0500	0.1590	0.0560	0.0410	0.1590	0.0560	0.0410	m
Tiempo				5.2330					1.2152	seg

Con obstáculo

	Referencia			EXPsinINT_sVideo_008			EXPconINT_sVideo_008			
	x	y	z	Esclavo		Maestro	Esclavo		Maestro	
Punto inicial	0.0300	-0.1500	0.0000	0.0330	-0.1750	0.0040	0.0330	-0.1750	0.0040	m
Punto final	0.0960	0.1580	0.0000	0.0920	0.1550	0.0003	0.0920	0.1550	0.0003	m
Tiempo				5.6795					3.0009	seg
	Referencia			EXPsinINT_sVideo_009			EXPconINT_sVideo_009			
	x	y	z	Esclavo		Maestro	Esclavo		Maestro	
Punto inicial	0.0300	-0.1500	0.0000	0.027	-0.1525	0.005	0.027	-0.1525	0.005	m
Punto final	0.0600	0.0860	0.0420	0.0920	0.0830	0.0480	0.0920	0.0830	0.0480	m
Tiempo				4.3402					0.7687	seg
	Referencia			EXPsinINT_sVideo_010			EXPconINT_sVideo_010			
	x	y	z	Esclavo		Maestro	Esclavo		Maestro	
Punto inicial	0.0300	-0.1500	0.0000	0.0290	-0.1540	-0.0080	0.0290	-0.1540	-0.0080	m
Punto final	0.0360	0.0220	0.0400	0.0720	0.0280	0.0530	0.0720	0.0280	0.0530	m
Tiempo				5.1437					3.0902	seg
	Referencia			EXPsinINT_sVideo_011			EXPconINT_sVideo_011			
	x	y	z	Esclavo		Maestro	Esclavo		Maestro	
Punto inicial	0.0300	-0.1500	0.0000	0.0310	-0.1440	0.0000	0.0310	-0.1440	0.0000	m
Punto final	0.1520	0.0460	0.0440	0.1410	0.0540	0.0450	0.1410	0.0540	0.0450	m
Tiempo				5.1437					1.5723	seg
	Referencia			EXPsinINT_sVideo_012			EXPconINT_sVideo_012			
	x	y	z	Esclavo		Maestro	Esclavo		Maestro	
Punto inicial	0.0300	-0.1500	0.0000	0.0280	-0.1530	-0.0070	0.0280	-0.1530	-0.0070	m
Punto final	0.1520	0.0460	0.0000	0.1790	0.0460	0.0050	0.1790	0.0460	0.0050	m
Tiempo video				9.6973					3.3580	seg
	Referencia			EXPsinINT_sVideo_013			EXPconINT_sVideo_013			
	x	y	z	Esclavo		Maestro	Esclavo		Maestro	
Punto inicial	0.0300	-0.1500	0.0000	0.0380	-0.1540	-0.0060	0.0380	-0.1540	-0.0060	m
Punto final	0.1520	0.0460	0.0000	0.1640	0.0510	-0.0060	0.1640	0.0510	-0.0060	m
Tiempo				7.5545					2.5544	seg

Apéndice: Artículo IMECE2011-63884.

ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition
IMECE2011. November 11-17, 2011, Denver, Colorado, USA IMECE2011-63884
*5 DOF Instrumented Master Device For Experimental Understanding Of Intuitive
Teleoperation.pdf*

5 DOF Instrumented Master Device For Experimental Understanding Of Intuitive Teleoperation

Octavio Diaz-Hernandez

Departamento de Mecatrónica
Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica
Facultad de Ingeniería, UNAM.
Cd. Universitaria, MÉXICO, 04510, D.F.
zidh@comunidad.unam.mx

Victor J. Gonzalez-Villela

Departamento de Mecatrónica
Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica
Facultad de Ingeniería, UNAM.
Cd. Universitaria, MÉXICO, 04510, D.F.
vjgv@unam.mx

Abstract

Teleoperation is a modern challenge within the areas of mechatronics, e.g. precision mechanics, control electronics, computational algorithms. Teleoperation arose from the necessity of handling nuclear material, but in recent years has come essential in others activities such as the space or undersea exploration, mobile robotics, medical applications and entertainment. The main goal in this work is to study the "operation at a distance," with a master-slave system, to define the concept of "Intuitive Teleoperation," like a novel approach to perform semiautonomous teleoperation, based on incomplete information from the environment, objects and system. In this level of the investigation the experimentation was realized with a 5 DOF anthropomorphic device (master device) that acquired data of the movements from a human operator, which was sent to a 5 DOF anthropomorphic robot (slave device). Both, direct kinematics (over the master device) and inverse kinematics (over the slave device) were used to calculate their space parameters (point coordinates, orientation) and to implement intuitive algorithms. Has been observed that the master device movements are followed and enhanced by the slave subsystem when the intuitive algorithms are activated. Semiautonomous teleoperation was achieved using a 5 DOF instrumented master device. The experiments enhanced the "operation at a distance" by defining an intuitive algorithm.

INTRODUCTION

Teleoperation is to perform some kind of action at a distant location. A mechatronic system is suitable for experimental research in this branch of robotics. During teleoperation, a human interacts with a remote workstation and generates control modes of teleoperation starting with "manual control" to "supervisory control"¹ and "fully automatic control," to understand details see Sheridan (1989b). According to the

author the differences lies on where the decisions are made, sometimes only by the human, sometimes only by the computer or in other cases the control is shared. When the architecture allows participation of both the human and the computer we call this a *Semiautonomous Teleoperation*.

In teleoperation is possible to find obstructions such as objects that prevent the trajectory generated by operator, this is when Semiautonomous Teleoperation come along. It will be seen in next paragraphs that other researchers has made approximations towards *agents* that simulated a kind of artificial intelligence. Introducing, an agent with reactive algorithm performs an action with the available data in the instant while the deliberative agent requires choose an action from a set of previously loaded behaviors.

Brooks (1986) introduced a technique called *subsumption* architecture that decomposes complicated intelligent behavior into many "simple" behavior modules, which are in turn organized into layers.

Arkin (1987a) used a behavior based technique to perform autonomous navigation of robots. This scheme combines simple behaviors in order to produce coherent action for the robot.

An approach of semiautonomous control related to robotic arms is written by Kathib presenting a real-time obstacle avoidance approach for manipulators and mobile robots based on the "artificial potential field" concept [Khatib (1985)].

Albus, McCain et al. (1989) defined the *NASA/NBS Standard Reference Model for Telerobot Control System Architecture* (NASREM) is where are written the functional requirements and specifications of a high level system of robotical control for flight assistance in a space station of NASA (National Aeronautics and Space Administration). The NASREM integrates artificial intelligence concepts such as decomposition, hierarchical planning, and expert systems among others. Also includes multivariable state space control, reference model

¹ Computer Aided Teleoperation

adaptive control, dynamic optimization and learning systems in order to perform a better teleoperation.

Stein and Paul (1994) programmed a supervisory control approach to remote manipulation. They made a behavior-based controller constructed under the principles of the subsumption architecture of Brooks, in order to fulfill the need for “semi-autonomy” at the remote site prescribed by supervisory control. This work presented an interface that allowed operator interaction with the behavior-based controller, which provide diagnostic and kinesthetic state information to the operator during teleoperation.

Stoytchev and Arkin (2001) explained a robot architecture that holds three inherent challenges to work among humans: 1) how to operate at dynamic and unpredictable environment, 2) how to deal with high level human commands, 3) how to be friendly to human users. This researcher’s architecture combines three components: deliberative planning, reactive control and a “motivational” element.

García, Carelli et al. (2003) developed for a robotic teleoperation system with communication time delay, considering the hybrid systems theory. Their definitions are closely linked to some values of the trajectory of the remote robot end-effector. The proposed control structure gave “autonomy” to the remote station, especially when a communication interruption aroused.

Yoon (2004) proposed a mixed force and motion command-based space robot teleoperation system to solve the communication time delay in the space robot teleoperation, moreover, they have also developed a compact 6-degree-of-freedom haptic interface as a master device, in order to use two methods, which are a ‘master–slave’ approach and a ‘force–joystick’ approach. Additionally they saw that the ‘master–slave’ approach is the best control method for contact tasks in which the directions of motion of the slave arm and of the operator’s input force are different, as in the surface-tracking task.

One of the fundamental and critical research areas in autonomous mobile robotics is navigation, which generally includes local navigation and global navigation. The first, often called reactive control, learns or plans the local paths using the current sensory inputs without prior complete knowledge of the environment. The second, often called deliberate control, learns or plans the global paths based on a relatively abstract and complete knowledge about the environment. For our purposes combining two or more types of control, there is a word to describe this situation: *hybrid*. Chunlin worked with Hybrid control architecture via combining reactive and deliberate control using a particular algorithm that come [Chunlin, Han-Xiong et al. (2008)].

Recently intelligent functions and algorithms have been proposed for computer assisted teleoperation, such as Calinon, Evrard et al. (2009) investigation that recognizes the user’s intention in order to ensure appropriate assistance. Calinon use a statistical approach using haptic information such as position, speed and strength, to determine what the operator wants to do, so that the slave system (robot) learn tasks and to assist them during the teleoperation.

Continuing the work of Calinon, Stefanov, Peer et al. (2010) experimented with a system that trains teleoperated robot before introduce it to the workspace, also uses a probabilistic algorithm, but draws **fragments** of events (classified by similar characteristics) to make something similar to a database and use them during the execution of tasks by the robot, making it quick and precise during the different stages of the teleoperation.

Since other researchers have made an approach to hybrid supervisory control, our premise about semiautonomous teleoperation is to introduce an algorithm into the robot frame for “decision-making” during the operation. Psychology studies intuition taking into account the nature and mechanisms of the human decision-making. Robotics indicate that decision-making is not, or at least not only, an intellectual task, but also a process of dynamic behavioral control, mediated by embodied and situated sensorimotor interaction [Hardy-Vallée (2010)].

Our experimentation is based on the fact that some characteristics of human intuition can be simulated in a machine fashion. A later section gives details about intuition for this work.

Our purpose in this paper is to identify those characteristics of human intuition that can be simulated by a robot through experimenting with a teleoperated master-slave system.

Within the decades, Teleoperation has been object of study because of its applications, but for science has come to be a challenge to generate new perspectives to solve its problems.

INTUITIVE PROCESS

Intuition is a concept drawn from epistemology to describe knowledge which is direct and immediate, without intervention of the deduction or reasoning, being usually self-evident [Ferrater-Mora (1984)].

In philosophy, intuition has been studied, among others, by Descartes and Kant. The first, from pure rationalism, attributes the meaning of immediate knowledge. The second distinguishes that there is a sensible intuition and intellectual intuition.

According to some psychological theories, it is called intuition to knowledge that does not follow a rational way for construction and formulating, and therefore can not be

explained or even verbalized. The individual can relate such knowledge or information to previous experiences, but usually are unable to explain why they reach a certain conclusion. Intuitions often occur more frequently as sudden emotional reactions to certain events or sensations and elaborated abstract thoughts [Morris and Maisto (2009)].

Another proposal of definition of Intuition from Harteis, Koch et al. (2008) usually is defined as the *capability to act or decide appropriately without deliberately and consciously balancing alternatives, without following a certain rule or routine, and possibly without awareness*. It allows action which is quick (e.g. reaction to a challenging situation) and surprising, in the sense that it is extraordinary in performance level or shape.

We suggest that **intuition** is a rapid understanding of the situation which usually leads to a sudden finding of a solution.

Fernand Gobet and Philippe Chassy, (2009) analyzed the work of Hubert Dreyfus who argued that intuition is result of a cerebral and mental holistic processing [Dreyfus and Dreyfus (1988)]. In the opposite, they analyzed the proposal of Herbert Simon which states that simple mechanisms based on pattern recognizing are enough to explain intuition. Simon call this patterns *Chunks* and *Templates*, which the human recognize in order to made decisions [Chase and Simon (1973)]. Nevertheless, Dreyfus and Simon share opinions about intuition: its rapidity, fluidity and the fact that it requires lots of practice and experience. Gobet and Chassy conclude that can not be taken separately both theories, because intuition is an integrative process as mentioned by Dreyfus, but the mechanisms that generates it are all the set of information pieces, as mentioned by Simon Gobet and Chassy (2009). In the same year, Seligman enumerates the characteristics of a intuitive process which are: a) rapid, b) not conscious, c) used for decisions involving multiple dimensions, d) based on vast stores of prior experiences, e) characteristic of experts, f) not easily or accurately articulated afterwards, and g) often made with high confidence. However, Seligman states that cognitive architecture of human intuition is essentially a mystery [Seligman and Kahana (2009)].

According to Hogarth (2001) argues that intuition can be educated based on five main ideas. 1) In a single organism much of the information processing is carried out in automatic ways without the organism's conscious control. 2) These systems of processing information have evolved over time in layers that represent a line of adaptation to environmental demand. 3) Many processing systems are automatic. Through practice some processes can become automatic, however not all automatic processes are intuitive. 4) Learning is shaped by experience. 5) There are two systems for learning and doing: a) The tacit system is composed of all processes that occur automatically and includes intuition. b) The deliberate system includes all processes that require attention and deliberation,

like analysis, logic, and synthesis. The two systems can work together to produce leaning or action.

Two set of mechanisms are identify from research, not only in robotics but in psychology as well, the making plans or **deliberative agent** and an automatic or **reactive agent**, we are dividing them in blocks to generate the Architecture of a *Intuitive Teleoperation* seen in Figure 1 defining each functional block are defined as listed below.

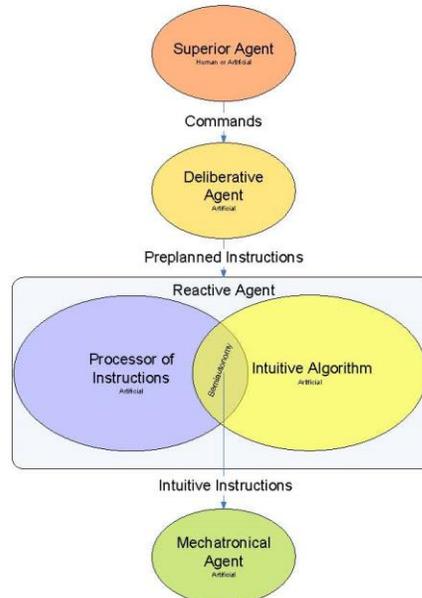


Figure 1. Architecture of *Intuitive Teleoperation*. Flux of information during the operation at a distance

- i. Superior Agent. States that a human is the beginning of instructions of movement, where all its intelligence is used during teleoperation. Nevertheless, there is a possibility of having a intelligent or expert machine "superior" to the Slave System
- ii. Commands. The joint between blocks are the teleoperator movements detected by a Master System
- iii. Deliberative Agent. This is the making plans block according to the information previously acquired.
- iv. Preplanned instructions. These are the plans made by previous algorithm.
- v. Reactive Agent. This is where the intuition comes along unifying the instructions from the teleoperator already improved by intermediary blocks.

- vi. Semiautonomy. The joint between the Processor of Instructions and the Intuitive Algorithm, providing the system two possible master pathways.
- vii. Intuitive instructions. These are the intuitive characteristics that are extracted into a machine or in our case a Mechatronic System
- viii. Mechatronical Agent. Constituted Slave System designed through the synergistic integration of mechanical engineering, with electronics and intelligent computer control.

The goal of machine intuitiveness is to give machines the ability of: a) represent knowledge appropriately, b) use the knowledge of the environment and circumstances, c) draw conclusions or decisions from incomplete pieces of information or knowledge, and d) perform actions to solve complex problems in the real world. The Intuition has an uncertainty factor but avoids logic or reason to perform.

In the next section we propose an algorithm for the intuitive response during teleoperation.

METHODOLOGY FOR EXPERIMENTATION

Our objective is to observe how to reproduce an action by introducing an algorithm that simulates intuitiveness in machines.

The goal of the experiment is to insert reference position in space through a master device instrumented and replicate them in a virtual system, with a certain adjustment by introducing an intuitive algorithm.

Initial hypothesis of the experiment is: During the teleoperation is possible to introduce an algorithm that simulates intuition in machines, quick action may reach the slave system, despite not having "enough" feedback.

Design and Implementation of the experiment.

It has a data acquisition system of 5 degrees of freedom (DOF) from the operator which send data to the robot for execution. This system will be called "Master." **Input data.**

It has a robotic system with 5 DOF. This is the system known as "Slave". **Output data.** The outputs will be affected by the intuitive algorithm.

Experiment data are evaluated are the position of the slave system in relation to the references of the master system (operator).

The master system is a 5 (DOF) anthropomorphic device instrumented with incremental optical encoders on each joint. With the angles is calculated the direct kinematics using Denavit Hartenberg's Method [Wen-Tsai (1999)].

Table 1. D-H Parameters of a 5 DOF Device

Joint	α_i	θ_i	a	d
1	-90	θ_1	0	d1
2	0	θ_2	a2	0
3	0	θ_3	a3	0
4	-90	θ_4	0	0
5	0	θ_5	0	d5

The analyses require kinematic representation for the point Q, the axis on every joint and link, is why the Figure 2 shows 5 DOF device representation.

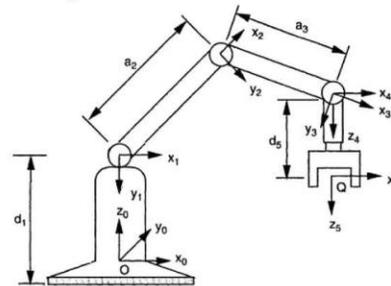


Figure 2. Schematic of the axis decomposition for the 5 DOF device analysis.

Cartesian Coordinates are obtained as follows:

$$\begin{aligned}
 qx &= a_2 C \theta_1 C \theta_2 + a_3 C (\theta_2 + \theta_3) C \theta_1 - d_5 S (\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) C \theta_1 \\
 qy &= a_2 S \theta_1 C \theta_2 + a_3 C (\theta_2 + \theta_3) S \theta_1 - d_5 S (\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) S \theta_1 \\
 qz &= d_1 - a_2 S \theta_2 - a_3 S (\theta_2 + \theta_3) - d_5 C (\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)
 \end{aligned}$$

Orientation is composed by Pitch and Roll angles.

The Figure 3 draws the 5 DOF device and its dimensions

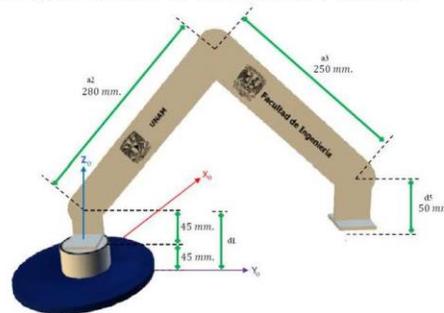


Figure 3. Master 5 DOF device seen in a virtual model

In this work, the master device depicted a follows in the real hardware, was design for the purpose of acquired movement produced by a human operator, observe that no force feedback is provide.

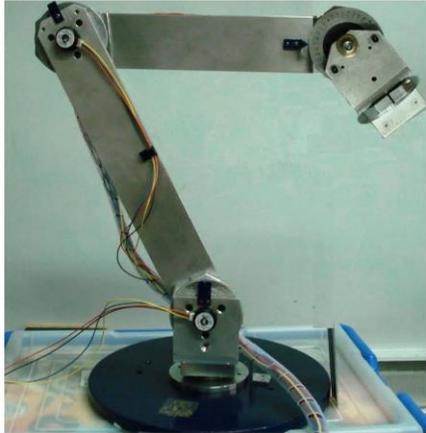


Figure 4. Photograph from the real 5 DOF device

In order to acquire the angular data towards personal computer, is implemented an electronic system composed by one main and three secondary microprocessors communicated by I2C protocol. The main processor (ATmega1280) communicates with the computer through serial communication protocol, while the secondary reads the encoders directly. The information submitted is transformed into x, y, z along *Pitch* and *Roll* of the Point Q (seen in Figure 2), which is the **input** parameters for the experimentation.

The Slave system is a virtual model of the Real SCORBOT 4u Robot implemented in the computer in order to simulate the real robot in its kinematical response. It was programmed the inverse kinematics that receives the information of the Point Q and calculates its own angles to reproduce as a direct teleoperation does. In Figure 5 is pictured the Slave Robot.

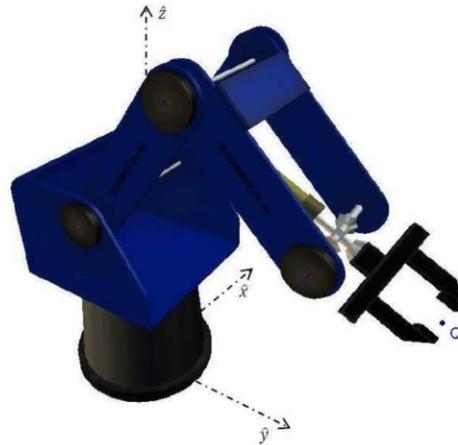


Figure 5. Virtual model of SCORBOT with 5 DOF

In this stage of the research the algorithm proposed in order to resemble intuitiveness is to include an obstacle within the workspace and geometrically produce a rapid response in the master device. This include to calculate distance between the master coordinates and the center of the object and calculate another path if the object is approaching, considering that there is no feedback, only some fragments of information such as the location of object and its radius.

In the next grid it is shown a object introduced virtually into the workspace, its center is located in Point O (0.222 [m], 0 [m], 0.336 [m]), with a diameter of 0.03 [m]

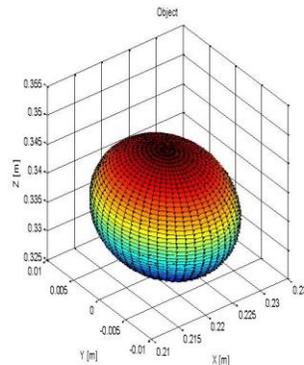


Figure 6. Spherical object.

The **incomplete information** is the feedback of the piece to hold or to evade by the end effector of the slave system that does not have pressure sensors or proximity to evade obstacles.

RESULTS

Previous section has shown an object which purpose is to observe the performance of the intuitive algorithm prepared for this work. The experiment consisted in moving the 5 DOF Master device by teleoperator in order to approach to the object's surroundings. Previously it was defined an affectation distance from center of object (Point O) and 5 DOF Slave device end-effector (Point Q).

In the next figures we will show results from experimentation with the Object and the Point Q of the robot.

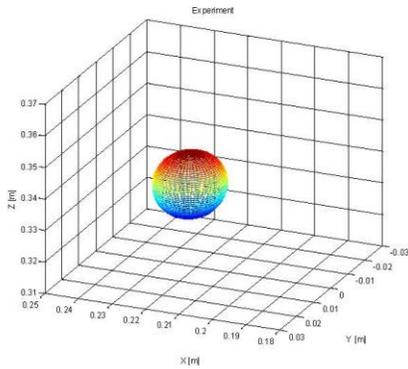


Figure 7. Object. The presence of an object is introduced to the workspace.

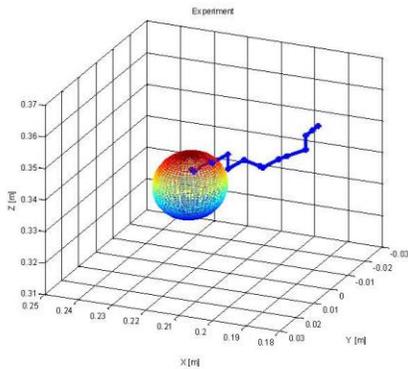


Figure 8. Non-intuitive robot. This teleoperated robot normally would go through the object. This image is an example of collision without our algorithm.

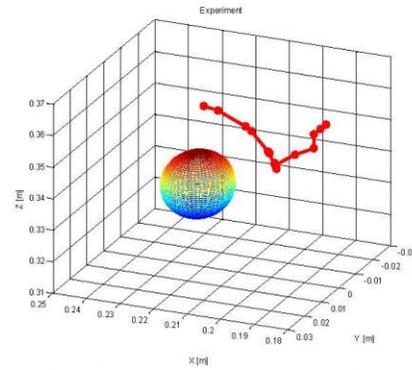


Figure 9. Intuitive robot. This teleoperated robot is using the algorithm introduced; the Point Q of the robot does not touch the object.

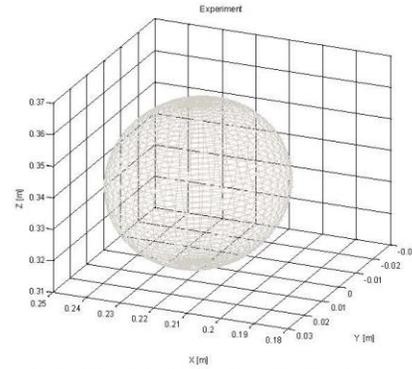


Figure 10. Intuitive Solutions Surface. The algorithm generates a field where the Point Q of the robot will not go through.

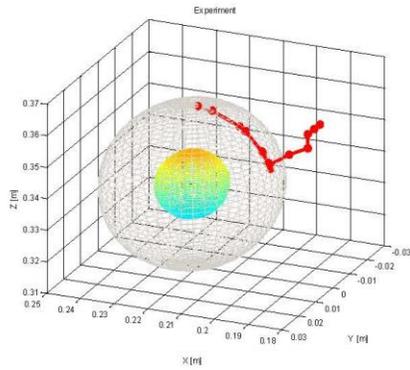


Figure 11. Object, Intuitive Solutions Surface, Trajectory of Point Q during teleoperation.

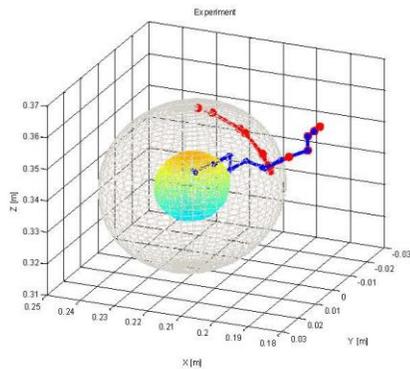


Figure 12. Combined figures of the experiment.

From Figure 12 we see in red the modified trajectory of Point Q, while in blue is seen its actual trajectory. Outer sphere represent what we call **Intuitive Solutions Surface (ISS)**.

In the next Figure 13 shows the workstation where the tests were performed.



Figure 13. Teleoperation System for experimentation

CONCLUSIONS

Semiautonomous teleoperation was achieved using a 5 DOF instrumented master device. An intuitive algorithm was introduced. Geometrically it was generated a volume that we called **Intuitive Solutions Surface** were the Slave's trajectory could exist in while the Master's trajectory reside inside. In results we saw how fast can be change Point Q location with only two parameters from an object which is not sensed by Slave system, nor the Master device. We claim that consciousness of neither the Slave System nor the "Superior Agent" was not necessary, additionally automatic and correct actions were performed. It is worth mentioning that no artificial intelligence *per se* was implemented.

Still, there are open questions about what other intuitive characteristics could be implemented considering that: 1) Consciousness remains outside intuition. 2) Lack of information could be replaced by database as memory. 3) Reactivity is the automatic actions to some events, but intuitiveness is performing automatic but correctly. 4) Intuitiveness acts putting together pieces of information (use database of workspace, tools or objects). 5) Separated algorithms could give intuitive performance.

Additionally, a Deliberative Agent (preprogrammed, preplanned before movement) may include "Robot workspace analysis" in a changing workspace, therefore one possible Intuitive teleoperation algorithm is hidden in the reachable region for the robot or analysis of workspace (reachable region for the robot) considering objects. The possibilities are enhanced when there is available information of the objects or environment from external sources such as vision or augmented reality.

In future work is considered not only obstacle evasion, but grasping objects, approximation to objects or areas with given orientation angles (Pitch, Yaw, Roll), and assembly tasks.

The need of operate robots with efficiency lead us to keep looking for those answers but more important, finding other questions.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge the support provided by DGAPA, UNAM, through the PAPIIT IN115811 project, with title: "Research and development in mechatronic systems: mobile robotics, parallel robotics, hybrid robotics and teleoperation" during the realization of this work.

REFERENCES

- Albus, J. S., H. G. McCain, et al. (1989). NASA/NBS Standard Reference Model For Telerobot Control System Architecture (NASREM): Technical Note, National Institute of Standards and Technology.
- Arkin, R. C. (1987a). Motor schema based navigation for a mobile robot: An approach to programming by behavior. Robotics and Automation. Proceedings. 1987 IEEE International Conference on.
- Brooks, R. (1986). "A robust layered control system for a mobile robot." Robotics and Automation, IEEE Journal of **2**(1): 14-23.
- Calinon, S., P. Evrard, et al. (2009). Learning collaborative manipulation tasks by demonstration using a haptic interface. 14th International Conference on Advanced Robotics.
- Chase, W. G. and H. A. Simon (1973). "The mind's eye in chess." Visual information processing (New York: Academic Press): pp. 215-281.
- Chunlin, C., L. Han-Xiong, et al. (2008). "Hybrid Control for Robot Navigation - A Hierarchical Q-Learning Algorithm." Robotics & Automation Magazine, IEEE **15**(2): 37-47.
- Dreyfus, H. L. and S. E. Dreyfus (1988). Mind over machine: The power of human intuition and expertise in the era of the computer. New York: Free Press.
- Ferrater-Mora, J. (1984). Diccionario de Filosofia (4 tomos). A. Diccionarios. Barcelona.
- García, C., R. Carelli, et al. (2003). "Supervisory control for a telerobotic system: a hybrid control approach." Control Engineering Practice **11**(7): 805-817.
- Gobet, F. and P. Chassy (2009). "Expertise and Intuition: A Tale of Three Theories." Minds & Machines **Vol. 19**: pp 151-180.
- Hardy-Vallée, B. (2010). "Decision-making in robotics and psychology: A distributed account." New Ideas in Psychology **29**(3): 203-216.
- Harteis, C., T. Koch, et al. (2008). "How intuition contributes to high performance: An educational perspective " US-China Education Review **Vol. 5**(No.1): pp. 68-80
- Hogarth, R. (2001). Educating intuition. Chicago: University of Chicago Press.
- Khatib, O. (1985). Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. Robotics and Automation. Proceedings. 1985 IEEE International Conference on.
- Morris, C. and A. Maisto (2009). Psicologia 13a Edición. Mexico, PEARSON.
- Seligman, M. E. P. and M. Kahana (2009). "Unpacking Intuition: A Conjecture." Perspective Psychology Science **Vol. 4**(Issue 4): 399-402.
- Sheridan, T. B. (1989b). Telerobotics, Automation and Human Supervisory Control. The MIT Press
- Stefanov, N., A. Peer, et al. (2010). Online Intention Recognition for Computer-Assisted Teleoperation. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Anchorage Convention District, Anchorage, Alaska, USA.
- Stein, M. R. and R. P. Paul (1994). Operator interaction for time-delayed teleoperation, with a behavior-based controller. Robotics and Automation, 1994. Proceedings., 1994 IEEE International Conference on.
- Stoytchev, A. and R. C. Arkin (2001). Combining deliberation, reactivity, and motivation in the context of a behavior-based robot architecture. Computational Intelligence in Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 IEEE International Symposium on.
- Wen-Tsai, L. (1999). Robot Analysis. The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators. Wiley.
- Yoon, W. K., Goshozono, T., Kawabe, H., Kinami, M., Tsumaki, Y., Uchiyama, M. (2004). "Model-based space robot teleoperation of ETS-VII manipulator." IEEE Transactions on Robotics and Automation **20**(3): pp 602-612.

Apéndice: Toma de decisiones

La toma de decisiones está asociada a procesos cognitivos que resulta en la selección del plan de acción entre varios escenarios alternativos. Normalmente cada proceso de toma de decisiones produce una “opción” y la salida es una acción o una opinión. Es un proceso continuo integrado en la interacción con el medio ambiente [89].

Existen diferentes formas de tomar decisiones y de todas ellas el proceso racional es catalogado como “el proceso ideal”, y consiste en una serie de pasos que deben considerarse para su desarrollo. A continuación se enumeran los pasos genéricos del proceso:

Determinar la necesidad de una decisión. Esto se da cuando surge un **problema** o existe una diferencia entre el estado deseado y el estado real del momento, cuando sucede algo así es necesario tomar una decisión.

Identificar los criterios de decisión. Una vez determinada la necesidad de tomar una decisión, se deben identificar los criterios que sean importantes para la misma. Es decir buscar que se cumplan las expectativas deseadas al tomar la decisión ya que esto podría hacer variar la decisión que se tomara.

Asignar peso a los criterios. Los criterios tomados en cuenta no tienen igual importancia. Es necesario ponderar cada uno de ellos y priorizar su importancia en la decisión.

Desarrollar y desplegar todas las alternativas. La persona, o agente, que debe tomar una decisión tiene que elaborar una lista de todas las alternativas disponibles para la solución de un determinado problema.

Evaluar las alternativas. La evaluación de cada alternativa se hace analizándola con respecto al criterio ponderado. Una vez identificadas las alternativas, el tomador de decisiones tiene que evaluar de manera crítica cada una de ellas. Las ventajas y desventajas de cada alternativa resultan evidentes cuando son comparadas.

Seleccionar la mejor alternativa. Una vez seleccionada la mejor alternativa se llegó al final del proceso de toma de decisiones. En el proceso racional, esta selección es bastante simple. El tomador de decisiones sólo tiene que escoger la alternativa que tuvo la calificación más alta en el paso anterior.

Por otro lado, los procesos intuitivos de toma de decisiones sustituyen a etapas que el proceso racional llevó a cabo en forma ordenada, posiblemente con alto costo energético y en un mayor tiempo.



Figura 77. Comparación entre procesos de toma de decisiones: racional vs intuitivo.

Tabla de Figuras

Figura 1. Relación entre complejidad y calidad de una decisión, según se afronte mediante el pensamiento consciente o inconsciente.	11
Figura 2. El consciente, el inconsciente y la intuición.....	18
Figura 3. La intuición	19
Figura 4. Un vínculo de estudio entre la intuición y la teleoperación es la manipulación.	30
Figura 5. Clasificación de la teleoperación.....	31
Figura 6. Tareas de manipulación en teleoperación.....	34
Figura 7. Espacios donde el robot existe y se manifiesta.....	41
Figura 8. Espacio Intuitivo de la Tarea, EIT	45
Figura 9. La intuición se manifiesta ante situaciones nuevas o ante variaciones de situaciones no-nuevas (de las que ya se tenía experiencia). La habilidad (eje vertical) aumenta con respecto a la cantidad de eventos (eje horizontal).	48
Figura 10. Dispositivo Serial Instrumentado.....	51
Figura 11. Representación de los casos de traslado.....	52
Figura 12. Resultados de la captación de la intuición para trasladar el dispositivo en diferentes casos de estudio.....	54
Figura 13. Representación del experimento de traslado	55
Figura 14. Datos obtenidos del muestreo del traslado.	56
Figura 15. Representación del Espacio Intuitivo de la Tarea de traslado.....	57
Figura 16. Promedios del muestreo de traslado.....	57
Figura 17. Representación del lugar geométrico (<i>negro</i>) obtenido a partir de los datos del Espacio Intuitivo de la Tarea de traslado	58
Figura 18. Comportamiento en el eje x	58
Figura 19. Comportamiento en el eje y	59
Figura 20. Comportamiento en el eje z	59
Figura 21. Representación del plano de análisis para obtener OPERADOR ARTIFICIAL dentro del rango [0,1].....	62
Figura 22. Representación del experimento de evasión	63
Figura 23. Datos obtenidos del muestreo con obstáculo.....	64
Figura 24. Superficie que podría representar las distancias que se alejan del obstáculo.....	65
Figura 25. Superficie de Soluciones Intuitivas para la evasión.....	65
Figura 26. El obstáculo.....	66
Figura 27. Serie de puntos ubicados equidistantemente ajeados del centro del obstáculo.....	67
Figura 28. Planteamiento del obstaculo, la línea y la esfera para el algoritmo	68
Figura 29. Casos donde no hay interacción	70
Figura 30. Casos donde están en contacto.....	71
Figura 31. Casos donde se interfiere con la tarea.....	71
Figura 32. Bloques básicos del sistema teleoperado.	72
Figura 33. Arquitectura del Sistema teleoperado con Intuición Artificial.....	73
Figura 34. Sistema teleoperado, a) el operador, b) el dispositivo maestro en la estación de trabajo local, c) Interfaz visual que muestra al dispositivo esclavo en el espacio de trabajo remoto.....	74
Figura 35. Diagrama de flujo del programa. Ver el programa en el apéndice	76

Figura 36. El experimento con el banco de pruebas.	78
Figura 37. Tarea de traslado sin obstáculo	80
Figura 38. Traslado con obstáculo	82
Figura 39. Errores en el punto inicial con y sin Intuición Artificial, sin obstáculo. ...	84
Figura 40. Errores en el punto final con y sin Intuición Artificial, sin obstáculo.....	84
Figura 41. Errores en el punto inicial con y sin Intuición Artificial, con obstáculo. .	85
Figura 42. Errores en el punto final con y sin Intuición Artificial, con obstáculo. ...	85
Figura 43. Manipulación sin obstáculo	95
Figura 44. Manipulación con obstáculo	97
Figura 45. Observaciones	98
Figura 46. Dispositivo serial instrumentado / Sistema maestro	100
Figura 47. Elementos del sistema de procesamiento de información para el dispositivo serial instrumentado /maestro.	101
Figura 48. Dispositivo esclavo y ambiente virtual para la teleoperación	101
Figura 49. Representación del robot esclavo	103
Figura 50. Articulaciones de la base, hombro y codo	104
Figura 51. Articulaciones de la muñeca	104
Figura 52. Elementos auxiliares en simMechanics.....	105
Figura 53. Vista en 3D del robot esclavo simulado	106
Figura 54. Diagrama de bloques en Simulink de MATLAB	107
Figura 55. Diagrama de bloques de la simulación.....	107
Figura 56. Algoritmos	108
Figura 57. Cinemática inversa.....	109
Figura 58. Función	110
Figura 59. Diagrama de bloques en simulink del modelo importado desde solidworks.....	110
Figura 60. Funciones adicionales para generar movimiento en el robot esclavo	111
Figura 61. Traslado de IDA	112
Figura 62. Traslado de verde a rojo (IDA), con velocidades	113
Figura 63. Valores para el eje X de IDA en el tiempo.....	113
Figura 64. Valores para el eje Y de IDA en el tiempo.....	114
Figura 65. Valores para el eje Z de IDA en el tiempo.....	114
Figura 66. Velocidades en el eje X de ida	115
Figura 67. Velocidades en el eje Y de ida	115
Figura 68. Velocidades en el eje Z de ida	116
Figura 69. Traslado de rojo a verde (REGRESO)	116
Figura 70. Traslado de rojo a verde (REGRESO) con velocidades.....	117
Figura 71. Comportamiento en el eje X de REGRESO	117
Figura 72. Comportamiento en el eje y de REGRESO.....	118
Figura 73. Comportamiento en el eje z de REGRESO.....	118
Figura 74. Velocidades en el eje x de REGRESO.....	119
Figura 75. Velocidades en el eje y de REGRESO.....	119
Figura 76. Velocidades en el eje z de REGRESO.....	120
Figura 77. Comparación entre procesos de toma de decisiones: racional vs intuitivo.	131

Nomenclatura

x_m, y_m, z_m = son las coordenadas del Punto M dadas por el operador sin algún acondicionamiento

x_i, y_i, z_i = son las coordenadas del Punto Inicial

x_f, y_f, z_f = son las coordenadas del Punto Final

x_{ai}, y_{ai}, z_{ai} = son las coordenadas del punto de referencia para el robot que ha sido calculado / transformado por los algoritmos de Intuición Artificial

x_o, y_o, z_o = son las coordenadas del Punto del centro del Obstáculo,

x_a, y_a, z_a = son las coordenadas del Punto A auxiliar, que es representa al punto generado por el operador y sólo se emplea en el diseño del algoritmo de evasión.

x_b, y_b, z_b = son las coordenadas del Punto B auxiliar en el algoritmo de evasión

x_c, y_c, z_c = son las coordenadas del Punto C auxiliar en el algoritmo de evasión

R = radio de la esfera que envuelve al obstáculo, auxiliar en el diseño y funcionamiento del algoritmo de evasión

γ = ángulo formado entre dos rectas, auxiliar en el cálculo del ente matemático

OPERADOR ARTIFICIAL

\overline{AB} = distancia entre los puntos A y B

\overline{AC} = distancia entre los puntos A y C

ϑA = OPERADOR ARTIFICIAL es el ente matemático generado por el acondicionamiento del Punto M del maestro (x_m, y_m, z_m) con respecto a las rectas generadas por los Puntos Inicial y Final

\overline{IF} = distancia entre los Puntos Inicial y Final

\overline{IM} = distancia entre los Puntos Inicial y M

\overline{IF} = distancia entre los Puntos Inicial y Final

$\overline{IF} \cdot \overline{IM}$ = ab, auxiliar en el cálculo de OPERADOR ARTIFICIAL

$|\overline{IF}| * |\overline{IF}|$ = aa, auxiliar en el cálculo de OPERADOR ARTIFICIAL

Apéndice: Definición de Algoritmos

Un algoritmo es un conjunto de pasos finito y ordenado, usualmente se ejecuta de modo secuencial aunque es posible la ejecución en paralelo. Se describe como una transformación de datos (entradas) en otro tipo de datos (salidas) empleando instrucciones u operaciones básicas. Se pueden dividir en dos tipos: a) constante, es decir que a una misma entrada corresponde una misma salida y b) variable (estocástico) donde la salida depende de otras condiciones, por ejemplo, el tiempo.

Debe clasificarse a los algoritmos de acuerdo a su acertividad, como correctos e incorrectos, aunque se sabe que en ambos casos se busca la solución a un problema dado, sin embargo en los primeros, el algoritmo busca una solución adecuada y no se detiene hasta que la obtiene. En el segundo caso, los algoritmos repetirán alguna secuencia hasta que se obtenga una respuesta con un margen de "error" preestablecido.

Los algoritmos son evaluados con respecto a su eficiencia, sin embargo están sujetos a la eficiencia de un procesador (hardware) y del número de instrucciones (software) que son capaces de realizarse por unidad de tiempo "velocidad".

Algo que debe resaltarse, es que los algoritmos son completamente "inteligibles" para el humano (programador), pero no para el procesador de instrucciones, por lo que son el puente entre el creador y la máquina, donde se manifiesta la intencionalidad y funcionalidad de ambos [90].

Un algoritmo es la estructura ideal para representar modelos de respuesta intuitiva, debido a que es un procedimiento no-ambiguo y completamente especificado para resolver un problema recurrente.

VIII. REFERENCIAS

- [1] Russell, S.J. and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach* 2003, Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- [2] Molyneux, B., *How the Problem of Consciousness Could Emerge in Robots*. *Minds and Machines*, 2012. **22**(4): p. 277-297.
- [3] MacLennan, B.J. *Consciousness in robots: the hard problem and some less hard problems*. in *Robot and Human Interactive Communication, 2005. ROMAN 2005. IEEE International Workshop on*. 2005.
- [4] Gupta, A.K. and S.K. Arora, *Industrial Automation and Robotics* Laxmi, ed. Laxmi. 2007: Laxmi.
- [5] Arkin, R.C., *Aura: Principles and Practice in Review*. Georgia Institute of Technology, 1994.
- [6] Arkin, R.C., *Behavior-Based Robotics*. 1998: The MIT Press. 560.
- [7] Stoytchev, A. and R.C. Arkin. *Combining deliberation, reactivity, and motivation in the context of a behavior-based robot architecture*. in *Computational Intelligence in Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 IEEE International Symposium on*. 2001.
- [8] Sunghyun, P., L. Moshkina, and R.C. Arkin. *Mood as an affective component for robotic behavior with continuous adaptation via Learning Momentum*. in *Humanoid Robots (Humanoids), 2010 10th IEEE-RAS International Conference on*. 2010.
- [9] Yang, H., et al., *Emotions: The Voice of the Unconscious*, in *Entertainment Computing - ICEC 2010*. 2010, Springer Berlin Heidelberg. p. 205-215.
- [10] Velasquez, D., *When Robots Weep*, in *Electrical engineering and computational science*. 2007, Massachusetts Institute of Technology: Massachusetts, USA. p. 262.
- [11] Chowdhry, B., et al., *Emotions in Robots*, in *Emerging Trends and Applications in Information Communication Technologies*. 2012, Springer Berlin Heidelberg. p. 144-153.
- [12] Minsky, M., *The Emotion Machine: Commonsense Thinking, Artificial Intelligence, and the Future of the Human Mind*. (series). 2006: Simon & Schuster.
- [13] Anderson, M. *Artificial Intuition: A New Possible Path To Artificial Intelligence*. 2007 [cited 2013 Octubre 2013]; Site created using Emacs.].
- [14] Dundas, J. and D. Chik, *Machine implementation of human-like intuition mechanism in Artificial Intelligence*. *ICIC Express Letters*, 2013. **7**(8): p. 2231-2235.
- [15] Weidong, T. and H. Ping. *Intuitive Learning and Artificial Intuition Networks*. in *Second International Conference on Education Technology and Training, 2009. ETT '09*. . 2009.
- [16] Sevilla, D.C. and D. Casacuberta, *La mente humana*. 2001: Oceano Difusion Editorial, S. A.
- [17] Van-Gulick, R., *Consciousness*, in *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, E.N. Zalta, Editor. 2014.

- [18] Myers, D.G., *El poder y los peligros de la intuición*, in *Mente y Cerebro*. 2008. p. 22-29.
- [19] Kahneman, D., *A Perspective on Judgment and Choice*. American Psychologist, 2003. **58**(9): p. 697-720.
- [20] Dijksterhuis, A., et al., *On making the right choice: the deliberation-without-attention effect*. Science, 2006 **311**(5763): p. 1005-7.
- [21] Hassin, R.R., J.S. Uleman, and J.A. Bargh, *The new unconscious*, ed. T.O.U. Press. 2005: The Oxford University Press.
- [22] Morsella, E. and T.A. Poehlman, *The inevitable contrast: Conscious vs. unconscious processes in action control*. Front Psychol., 2013. **4**: p. 590.
- [23] Froufe, M., B. Sierra, and M. Ruiz, *El inconsciente Cognitivo en la psicología científica del S.XXI*. Extensión Digital, Universidad Autónoma de Madrid., 2009 (1).
- [24] Martínez, R.G. and P.V. Britos, *Ingeniería de Sistemas Expertos*. 2004: Nueva Librería.
- [25] Hogarth, R., *Educating intuition*. 2001: Chicago: University of Chicago Press.
- [26] Garcia, A.B. *Procesos automáticos y procesos controlados*. 1997 [cited 2014 April 10]; Available from: <http://www.dc.fi.udc.es/ai/~barreiro/cogdocen/cctema06/node11.html>.
- [27] Brooks, R.A. *Intelligence Without Reason*. in *Proceedings of 12th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, Sydney, Australia*. 1991a.
- [28] Jung, C.G., *Psychological types, or, The Psychology of individuation*. 1953: Pantheon.
- [29] Erlhoff, M., T. Marshall, and S. Becker, *Intuition*, in *Design Dictionary*. 2008, Birkhuser Basel. p. 236-236.
- [30] Goldstein, E.B., *Cognitive psychology: Connecting mind, research, and everyday experience*, ed. Thomson/Wadsworth. 2005, Australia Belmont.
- [31] Krippendorff, K., *A Dictionary of Cybernetics*, T.A.S.o. Communications, Editor. 1986, University of Pennsylvania: Philadelphia PA 19104, USA.
- [32] Ferrater-Mora, J., *Diccionario de Filosofía (4 tomos)*, A. Diccionarios, Editor. 1984: Barcelona.
- [33] Hogarth, R., *Deciding Analytically Or Trusting Your Intuition?: The Advantages and Disadvantages of Analytic and Intuitive Thought*. 2002, Universitat Pompeu Fabra. Departament d'Economia i, Empresa: Universitat Pompeu Fabra.
- [34] Harteis, C., T. Koch, and B. Mergenthaler, *How intuition contributes to high performance: An educational perspective* US-China Education Review, 2008. **5**(1): p. 68-80.
- [35] Seligman, M.E.P. and M. Kahana, *Unpacking Intuition: A Conjecture*. Perspective Psychology Science, 2009. **4**(4): p. 399-402.
- [36] Kahneman, D., *Pensar rápido, pensar despacio*. 2012: Penguin Random House Grupo Editorial España.
- [37] Simon, H. and R. Frantz, *Artificial intelligence as a framework for understanding intuition*. Journal of Economic Psychology, 2003. **24**: p. 265-277.
- [38] Kant, I., et al., *Crítica de la razón pura*. 2002: Tecnos.

- [39] Chase, W.G. and H.A. Simon, *The mind's eye in chess*. Visual information processing (New York: Academic Press), 1973: p. 215-281.
- [40] Dreyfus, H.L. and S.E. Dreyfus, *Mind over machine: The power of human intuition and expertise in the era of the computer*. 2nd ed. ed, ed. N.Y.F. Press. 1988: New York: Free Press.
- [41] Gladwell, M., *Blink, Inteligencia Intuitiva*. 1 ed. 2005: Taurus.
- [42] Kruglanski, A.W. and G. Gigerenzer, *Intuitive and Deliberate Judgments Are Based on Common Principles*. Psychological Review, 2011. **118**(1): p. 97-109.
- [43] Isenman, L., *Understanding Unconscious Intelligence and Intuition: "Blink" and Beyond*. Perspectives in Biology and Medicine, 2013. **56**(1): p. 148-166.
- [44] Pearson, H., *Science and intuition: do both have a place in clinical decision making?* British Journal of Nursing, 2013. **22**(4): p. pp 212 - 215.
- [45] Woolley, A. and O. Kostopoulou, *Clinical intuition in family medicine: more than first impressions*. Annals of Familiar Medicine, 2013. **11**(1): p. 60-6.
- [46] Marcovici, P. and A. Blume-Marcovici, *Intuition versus rational thinking: psychological challenges in radiology and a potential solution*. Journal of the American College of Radiology, 2013. **10**(1): p. 25-29.
- [47] Easen, P. and J. Wilcockson, *Intuition and rational decision-making in professional thinking: a false dichotomy?* Journal of Advanced Nursing, 1996. **24**(4): p. 667-73.
- [48] Tinghög, G., et al., *Intuition and cooperation reconsidered*. Nature 2013. **498**(E1–E2).
- [49] McCraty, R., M. Atkinson, and R.T. Bradley, *Electrophysiological Evidence of Intuition: Part 1. The Surprising Role of the Heart*. The Journal of Alternative and Complementary Medicine, 2004. **10**(1): p. 133-143.
- [50] McCraty, R., M. Atkinson, and R.T. Bradley, *Electrophysiological evidence of intuition: Part 2. A system-wide process?* The Journal of Alternative and Complementary Medicine, 2004. **10**(2): p. 325-336.
- [51] Kuo, W.-J., et al., *Intuition and Deliberation: Two Systems for Strategizing in the Brain*. Science 2009. **324**(5926): p. 519-522.
- [52] Chernavskaya, O.D., A.P. Nikitin, and J.A. Rozhilo, *The Concepts of Intuition and Logic within the Frame of Cognitive Process Modeling*, in *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012*. 2012, Springer Berlin Heidelberg. p. 105-107.
- [53] Wan, X., et al., *Developing intuition: neural correlates of cognitive-skill learning in caudate nucleus*. Journal of Neuroscience, 2012. **32**(48): p. 17492-501.
- [54] Simon, H.A., *What Is an "Explanation" of Behavior?* Psychological Science, 1992. **3**(3): p. 150-161.
- [55] Gobet, F. and P. Chassy, *Expertise and Intuition: A Tale of Three Theories*. Minds & Machines, 2009. **19**: p. 151-180.
- [56] Sheridan, T.B., *Telerobotics*. Automatica, 1989. **25**(4): p. 487-507.
- [57] Sheridan, T.B., *Teleoperation, telerobotics and telepresence: A progress report*. Control Engineering Practice, 1995. **3**(2): p. 205-214.
- [58] Conway, L.A., R.A. Volz, and M.W. Walker, *Tele-autonomous Systems: Methods and Architectures for Intermingling Autonomous and Telerobotic*

- Technology*. 1987a, University of Michigan, College of Engineering, Center for Research on Integrated Manufacturing, Robot Systems Division.
- [59] Slutski, L. and P. Coiffett, *Man-adaptive control of teleoperators*. *Robotica*, 1996. **14**(1): p. 111-117.
- [60] Al-Mouhamed, M.A., M. Nazeeruddin, and S.M.S. Islam, *Experimental Evaluation of Feedback Modalities for Five Teleoperation Tasks*. *Instrumentation and Measurement*, IEEE Transactions on, 2012. **59**(2): p. 361-371.
- [61] Bajracharya, M., M.W. Maimone, and D. Helmick, *Autonomy for Mars Rovers: Past, Present and Future*. *Computer*, 2008. **41**(12): p. 44-50.
- [62] Kwon, D.-S., et al. *Design of a teleoperation controller for an underwater manipulator*. in *Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA '00. IEEE International Conference on*. 2000.
- [63] Karras, G.C., S.G. Loizou, and K.J. Kyriakopoulos. *Semi-autonomous teleoperation of a non-holonomic underwater vehicle using a Laser Vision System: A visual-servoing switching control approach*. in *Control and Automation, 2009. MED '09. 17th Mediterranean Conference on*. 2009.
- [64] Casper, J. and R. Roberson-Murphy, *Human-robot interactions during the robot assisted urban search and rescue response at the World Trade Center*. *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. B: Cybern.*, 2003. **33**(3): p. 367-385.
- [65] Goertz, R.C. and D.F. Uecker, *Electrical manipulator (Patent)*. 1954, Atomic Energy Commission: United States.
- [66] Ray, D. *Development of a force reflecting Tele-robot for remote handling in nuclear installations*. in *Applied Robotics for the Power Industry (CARPI), 2010 1st International Conference on*. 2010.
- [67] Park, Y.S., et al., *Semi-autonomous Telerobotic Manipulation: A Viable Approach for Space Structure Deployment and Maintenance*, in *Space Technology and Applications International Forum-STAIF 2005*. p. 1129-1136.
- [68] Diftler, M.A., et al. *Robonaut 2: Initial activities on-board the ISS*. in *Aerospace Conference, 2012 IEEE*. 2012.
- [69] De-Momi, E. and G. Ferrigno, *Robotic and artificial intelligence for keyhole neurosurgery*. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 2010. **1**(1): p. 715.
- [70] Niemeyer, G., et al., *Telerobotics*, in *Springer Handbook of Robotics*. 2008, Springer Berlin Heidelberg. p. 741-757.
- [71] Sheridan, T.B., *Telerobotics, Automation and Human Supervisory Control*. 1989b: The MIT Press
- [72] Miyazaki, F., Matsubayashi, S., Yoshimi, T., & Arimoto, S., *A new control methodology toward advanced teleoperation of master-slave robot systems*. In *Proceedings of the IEEE international conference on robotics and automation 1986*. **3**: p. 997-1002.
- [73] Hayati, S. and S.T. Venkataraman. *Design and implementation of a robot control system with traded and shared control capability*. in *Robotics and Automation. Proceedings. IEEE International Conference on*. 1989.

- [74] Conway, L.A., R.A. Volz, and M.W. Walker, *Tele-autonomous systems: projecting and coordinating intelligent action at a distance*. Robotics and Automation, IEEE Transactions on, 1990. **6**(2): p. 146-158.
- [75] Hirzinger, G., et al., *Sensor-Based Space Robotics-ROTEX and its Telerobotic Features*. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1993. **9**(5).
- [76] Park, J.H. and T.B. Sheridan. *Supervisory teleoperation control using computer graphics*. in *Robotics and Automation, 1991. Proceedings., 1991 IEEE International Conference on*. 1991.
- [77] Stein, M.R. and R.P. Paul. *Operator interaction, for time-delayed teleoperation, with a behavior-based controller*. in *Robotics and Automation, 1994. Proceedings., 1994 IEEE International Conference on*. 1994.
- [78] Brady, K.J. and T. Tzyn-Jong, *Intelligent remote teleoperation*. Potentials, IEEE, 1999. **18**(3): p. 14-16.
- [79] Arkin, R.C. *Motor schema based navigation for a mobile robot: An approach to programming by behavior*. in *Robotics and Automation. Proceedings. 1987 IEEE International Conference on*. 1987.
- [80] Brooks, R.A., *A robust layered control system for a mobile robot*. Robotics and Automation, IEEE Journal of, 1986. **2**(1): p. 14-23.
- [81] Latombe, J.C., *Robot Motion Planning*, ed. Kluwer. 1991, USA: Kluwer.
- [82] I.F.R. *Industrial robots*. International Federation of Robotics 2012 [cited 2012 May]; Available from: <http://www.ifr.org/industrial-robots/>.
- [83] Craig, J.J., *Introduction To Robotics: Mechanics And Control*. 3rd ed. 2006: Prentice Hall.
- [84] Lei, S., X. Mingheng, and L. Bo, *A fast algorithm for workspace of a robotic manipulator*. Advanced Materials Research, 2012. **538-541**: p. 2614-2617.
- [85] Castelli, G., E. Ottaviano, and M. Ceccarelli, *A Fairly General Algorithm to Evaluate Workspace Characteristics of Serial and Parallel Manipulators*. Mechanics Based Design of Structures and Machines, 2008. **36**(1): p. 14-33.
- [86] Diaz-Hernandez, O. and V.J. Gonzalez-Villela. *Five DOF Instrumented Master Device For Experimental Understanding Of Intuitive Teleoperation*. in *International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE2011*. 2011. Denver, Colorado, USA.
- [87] Ollero-Baturone, A., *Robótica: manipuladores y robots móviles*. 2001: Marcombo.
- [88] Craig, J.J., *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. 2005: Pearson Education, Incorporated.
- [89] Morris, C. and A. Maisto, *Psicología 13a Edición*. 13 ED ed. 2009, Mexico: PEARSON.
- [90] Cormen, T.H., *Introduction to Algorithms*. 2001: MIT Press. 1203p.