



Investigación:
Campos de la Inteligencia Artificial

ΦΧΘÙΝΨΩ&ΠΆ

Γ Æ

Alumno:
Juan José Marcial Fiscal

Carrera:
INGENIERIA EN MECATRONICA

Periodo escolar:
Agosto – Diciembre 2025

San Andrés Tuxtla, Veracruz

1. Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) se ha consolidado como una de las áreas tecnológicas más influyentes del siglo XXI, impactando de manera directa en múltiples disciplinas de la ingeniería. En particular, la Ingeniería Mecatrónica, al integrar mecánica, electrónica, control y computación, encuentra en la IA una herramienta clave para el desarrollo de sistemas inteligentes, autónomos y adaptativos.

A nivel universitario, la IA se estudia no solo como un campo teórico, sino como un conjunto de aplicaciones prácticas orientadas a la solución de problemas reales en robótica, automatización, manufactura inteligente y control avanzado. El presente trabajo tiene como objetivo analizar documentalmente los principales campos de la Inteligencia Artificial y su aplicación en la Ingeniería Mecatrónica dentro del ámbito académico.

2. Marco Teórico

2.1 Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial se define como la rama de las ciencias computacionales dedicada al desarrollo de sistemas capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, el razonamiento, la percepción y la toma de decisiones. Estas capacidades permiten que las máquinas interactúen con su entorno de forma autónoma.

2.2 Ingeniería Mecatrónica

La Ingeniería Mecatrónica es una disciplina multidisciplinaria que integra sistemas mecánicos, electrónicos, de control y de software para el diseño de productos y procesos automatizados. Su enfoque sistémico facilita la incorporación de técnicas de IA en el desarrollo de soluciones tecnológicas avanzadas.

3. Campos de la Inteligencia Artificial Aplicados a la Ingeniería Mecatrónica

3.1 Aprendizaje Automático (Machine Learning)

El aprendizaje automático permite que los sistemas mecatrónicos mejoren su desempeño a partir de datos históricos. En el ámbito universitario se aplica en proyectos de:

- Reconocimiento de patrones.
- Diagnóstico y detección de fallas.
- Optimización de procesos y sistemas de control.

3.2 Aprendizaje Profundo (Deep Learning)

El aprendizaje profundo utiliza redes neuronales artificiales con múltiples capas para procesar grandes volúmenes de datos. En ingeniería mecatrónica se emplea principalmente en:

- Visión por computadora.
- Reconocimiento de imágenes y objetos.
- Sistemas de percepción para robots autónomos.

3.3 Robótica Inteligente

La robótica inteligente combina IA con sistemas mecánicos y electrónicos para desarrollar robots capaces de interactuar con su entorno. En la formación universitaria se estudia en aplicaciones como:

- Robots móviles autónomos.
- Robots colaborativos (cobots).
- Planeación de trayectorias y navegación inteligente.

3.4 Control Inteligente

El control inteligente integra técnicas de IA con sistemas de control tradicionales para mejorar la estabilidad y eficiencia de los sistemas. Algunas aplicaciones son:

- Control adaptativo.
- Control predictivo basado en modelos inteligentes.
- Ajuste automático de controladores PID.

3.5 Procesamiento de Señales y Percepción

Este campo permite analizar información proveniente de sensores para interpretar el entorno. Se utiliza en:

- Fusión de sensores.
- Procesamiento de señales industriales.
- Sistemas de monitoreo y supervisión.

3.6 Manufactura Inteligente e Industria 4.0

La IA aplicada a la mecatrónica impulsa la automatización avanzada en la industria, permitiendo:

- Mantenimiento predictivo.
- Optimización de líneas de producción.
- Sistemas ciberfísicos inteligentes.

4. Aplicaciones Académicas y Líneas de Investigación

En el nivel universitario, los campos de la IA aplicada a la Ingeniería Mecatrónica se desarrollan mediante:

- Proyectos integradores.
- Tesis de licenciatura y posgrado.
- Laboratorios de robótica y automatización.
- Participación en congresos científicos.

Estas actividades fortalecen la capacidad de los estudiantes para enfrentar retos tecnológicos reales.

5. Importancia de la IA en la Formación del Ingeniero Mecatrónico

La integración de la IA en los planes de estudio permite formar ingenieros con competencias en:

- Programación avanzada.
- Análisis de datos.
- Diseño de sistemas autónomos.
- Innovación tecnológica.

Estas habilidades son altamente demandadas en sectores industriales y de investigación.

6. Conclusiones

La Inteligencia Artificial representa un pilar fundamental en el desarrollo de la Ingeniería Mecatrónica moderna. Su aplicación a nivel universitario permite la formación de profesionales capaces de diseñar sistemas inteligentes, eficientes y adaptables. La convergencia entre IA y mecatrónica impulsa la innovación, la investigación científica y la competitividad profesional, consolidándose como un área estratégica para el futuro de la ingeniería.

7. Referencias (Formato APA)

Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson.

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Pearson Educación.

Siciliano, B., & Khatib, O. (2016). *Springer Handbook of Robotics*. Springer.

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.

Groover, M. P. (2020). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Pearson.

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE SAN ANDRÉS TUXTLA



ITSSAT



CAMPOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

PRESENTA:

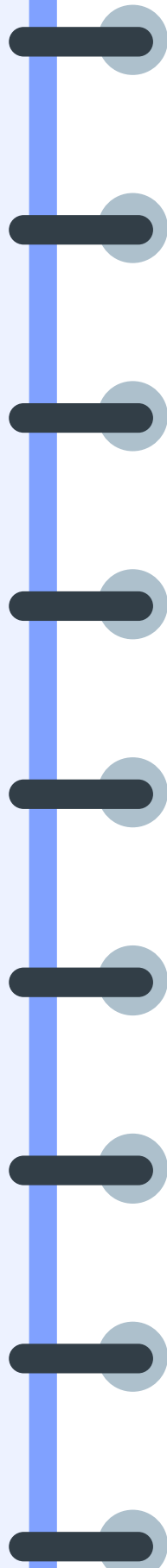
JUAN JOSE MARCIAL FISCAL

ASESOR:

M.T.I. ROBERTO ESTEBAN GUERRERO HERNÁNDEZ

ÒÝÚÙÒÓ P

HEÑ



Campos de la Inteligencia Artificial para Ingeniería Mecatrónica



Agenda

- Mecatrónica e IA: Conceptos Fundamentales
- Sinergia: IA Potenciando Sistemas Mecatrónicos
- IA: Aprendizaje Automático y Visión
- Aplicaciones Clave: Robótica, Industria, Automoción
- Desafíos y Futuro de la Integración IA-Mecatrónica

Ingeniería Mecatrónica

La Ingeniería Mecatrónica es una disciplina disciplinada sinérgica que integra la **mecánica**, la **mecánica**, la **electrónica**, el **control** y la **informática**. Su objetivo es diseñar y desarrollar productos automatizados. Esta convergencia es esencial para la innovación en la era de la automatización avanzada.



Robot humanoide en entorno industrial moderno, automatización automatización avanzada.

Inteligencia Artificial

La *Inteligencia Artificial* (IA) es una rama de la informática dedicada a dotar a las máquinas de capacidades cognitivas humanas, como el aprendizaje, el razonamiento y la resolución de problemas. Su objetivo es desarrollar sistemas que puedan percibir, comprender, actuar y aprender de su entorno. Esto abarca desde el procesamiento del lenguaje natural hasta la visión por computadora.

Sinergia IA y Mecatrónica



Brazos robóticos automatizados en una moderna planta de fabricación.

La IA potencia la mecatrónica al optimizar el procesamiento de *datos complejos*, mejorando la *interpretación* y la *capacidad predictiva*. Esto añade "inteligencia" a los sistemas, permitiendo decisiones autónomas y adaptativas. Por ejemplo, en robótica, facilita la navegación inteligente y el mantenimiento predictivo.

Aprendizaje Automático (ML)

El *Aprendizaje Automático* (ML) es una rama fundamental de la IA que permite a los sistemas mecatrónicos aprender patrones y tomar decisiones a partir de datos, sin programación explícita. Esto optimiza su rendimiento en aplicaciones como el **mantenimiento predictivo**, donde los sistemas anticipan fallas, o la robótica inteligente.



Robots ensamblan vehículos en una fábrica moderna, automatizando la producción.

Visión por Computadora

La *Visión por Computadora* permite a las máquinas "ver" e interpretar el mundo visual. Es esencial en mecatrónica para la *inspección de calidad*, el *reconocimiento de objetos* y la *navegación robótica*. Aplica algoritmos de aprendizaje profundo para el análisis de imágenes y videos.

Procesamiento del Lenguaje Natural (NLP)

El NLP permite a los sistemas mecatrónicos *comprender y generar* lenguaje humano. Facilita interfaces intuitivas, como el control por voz de robots y la interacción hombre-máquina avanzada. Es crucial para sistemas autónomos y colaborativos.



Hombre y robot futurista dialogan sobre el procesamiento del lenguaje natural.

Robótica Inteligente

La *Robótica Inteligente* integra IA para otorgar autonomía a los robots. Superan la programación predefinida, tomando decisiones y adaptándose a entornos dinámicos. Esto permite la ejecución de tareas complejas con mayor eficiencia. Ejemplos incluyen robots colaborativos y vehículos autónomos.

Fabricación Inteligente

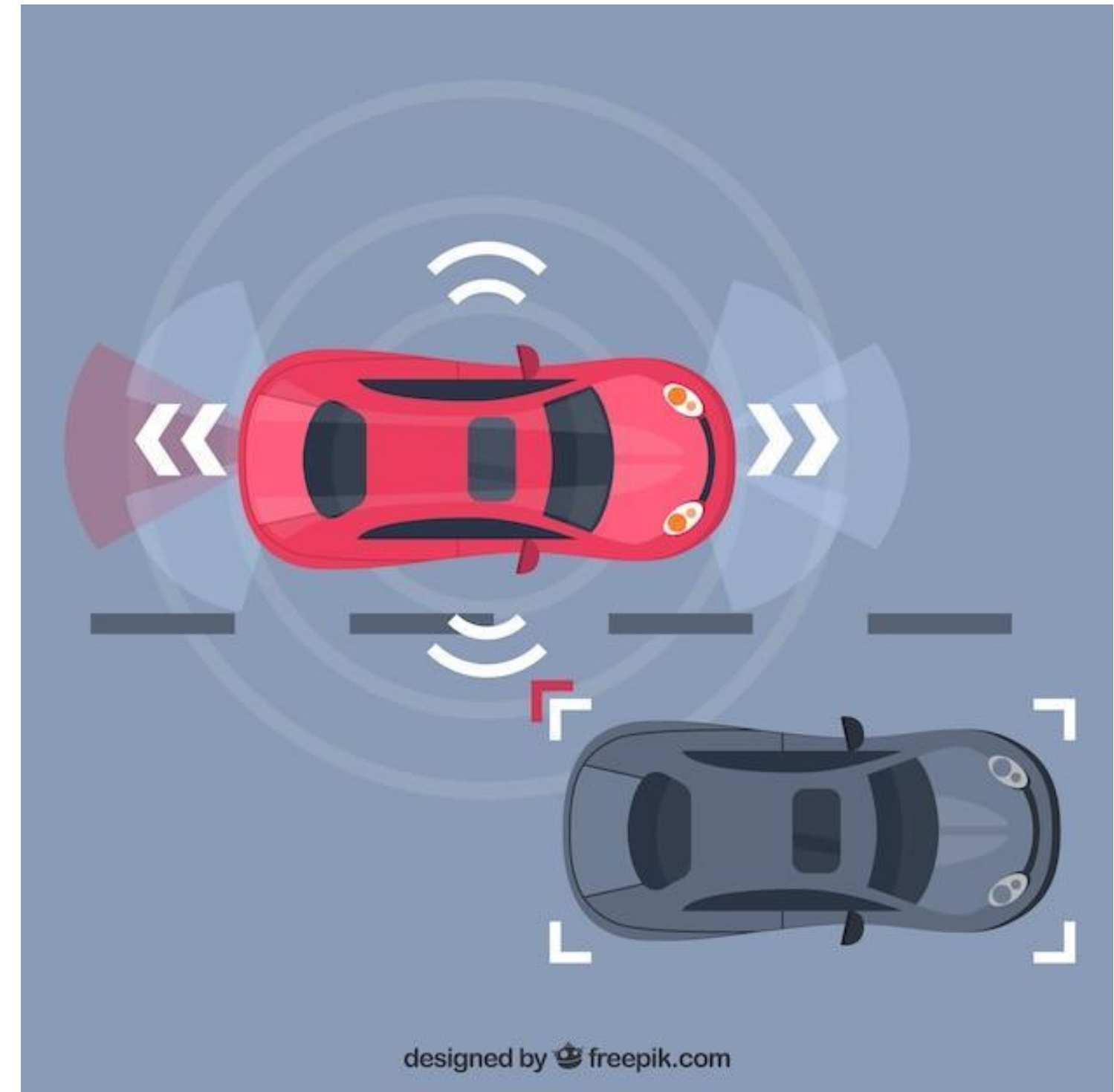
La IA revoluciona la manufactura, optimizando **cadenas de montaje** y logística. Permite el **mantenimiento predictivo**, anticipando fallos en maquinaria crítica. Mejora la eficiencia, calidad y reduce costos operacionales, transformando la producción industrial.



Robots en línea de producción: automatización y nuevos materiales.

Electrónica Automotriz

La IA revoluciona la automoción con vehículos autónomos y sistemas ADAS, mejorando la seguridad y eficiencia. Utiliza algoritmos para la percepción del entorno, toma de decisiones y control vehicular. Además, permite diagnósticos predictivos de componentes, optimizando el mantenimiento y la fiabilidad. Esta integración es clave para la ingeniería mecatrónica.



Vehículos autónomos interactuando, mostrando sensores y señales de comunicación.

Sistemas Aeroespaciales

La IA impulsa drones autónomos para vigilancia y logística, optimizando su navegación y toma de decisiones. En aeronaves, mejora la *optimización de rutas de vuelo*, reduciendo consumo y emisiones. Además, la IA predice fallos en componentes para un *mantenimiento predictivo* eficiente, aumentando la seguridad operacional.

Dispositivos Médicos

La IA revoluciona la mecatrónica médica. Robots quirúrgicos de precisión, como el Da Vinci, optimizan intervenciones. Prótesis inteligentes, con algoritmos adaptativos, mejoran la funcionalidad y la calidad de vida. Además, equipos de diagnóstico avanzados potencian la detección temprana de enfermedades.

Autonomía y Eficiencia en Sistemas Mecatrónicos

Incremento de la Autonomía

La IA permite a los sistemas mecatrónicos operar de forma autónoma, minimizando la intervención humana. Algoritmos de aprendizaje automático facilitan la toma de decisiones adaptativa. Esto conduce a una mayor flexibilidad operativa y resiliencia del sistema. Ejemplos incluyen robots móviles y vehículos autónomos.

Optimización de la Eficiencia

La IA mejora la eficiencia energética y operativa mediante la optimización de procesos. Predice fallos y programa mantenimientos preventivos, reduciendo tiempos de inactividad. Algoritmos de control avanzado ajustan parámetros en tiempo real. Esto resulta en un menor consumo de recursos y costos operativos.



Toma de Decisiones

La IA permite a los sistemas mecatrónicos analizar *grandes volúmenes de datos* en tiempo real. Esto facilita decisiones complejas y adaptativas, esenciales para la seguridad. Mejora el rendimiento en entornos dinámicos. Algoritmos avanzados optimizan las operaciones continuamente.

Desafíos y Futuro

Retos Éticos y de Seguridad

La integración de IA en mecatrónica plantea dilemas éticos, como la autonomía de sistemas y la responsabilidad. La seguridad de datos y la privacidad son críticas, requiriendo marcos robustos para proteger la información sensible. Es esencial garantizar un desarrollo y despliegue responsable.

Transformación de Habilidades

La simbiosis IA-mecatrónica demanda un perfil profesional híbrido. Los ingenieros necesitan dominar tanto la programación avanzada como los principios de diseño mecánico y electrónico. La adaptabilidad y el aprendizaje continuo son fundamentales para prosperar en este campo.

El Futuro de la Simbiosis

Se proyecta una era de sistemas ciber-físicos más inteligentes y autónomos. La IA potenciará la robótica colaborativa, la medicina personalizada y la manufactura avanzada. Esta convergencia impulsará innovaciones disruptivas y transformará industrias enteras.

¿Impacto en la Industria?

¿Cómo prevén que la sinergia entre la Inteligencia Artificial y la mecatrónica redefinirá las industrias tradicionales y generará nuevas oportunidades laborales en la próxima década, considerando aspectos como la automatización inteligente, la robótica colaborativa y la optimización de procesos?

Recursos

<https://www.youtube.com/watch?v=82mJEhDUhkU>

<https://es.slideshare.net/slideshow/mecatronica-sistemas-robotica-inteligencia-artificial/51823445>

<https://es.scribd.com/document/245796166/Inteligencia-Artificial-en-La-Mecatronica>

<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/720e67f8-e495-4a77-9928-6b5934258e65/content>



Conclusión

- La IA, a través del Machine Learning y la Visión por Computadora, dota a los sistemas mecatrónicos de capacidades cognitivas para optimizar rendimiento y autonomía.
- La sinergia IA-Mecatrónica impulsa la robótica inteligente, fabricación avanzada y electrónica automotriz, transformando industrias con soluciones predictivas y adaptativas.
- Aplicaciones concretas incluyen drones autónomos en aeroespacial y robots quirúrgicos de precisión en medicina, mejorando eficiencia operativa y toma de decisiones.
- Los desafíos éticos y de seguridad de datos son cruciales, pero la integración IA-Mecatrónica promete un futuro de sistemas más autónomos, eficientes y adaptables.



**INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE SAN ANDRÉS TUXTLA**



**“SISTEMA PARA PROCEDIMIENTOS QUIRÚRGICOS
CON BRAZOS ROBOTICOS E INTELIGENCIA
ARTIFICIAL”**

ÚÜUÿÒôVUÁ

I €Ã

**CARRERA
INGENIERÍA MECATRÓNICA**

PRESENTA

JUAN JOSE MARCIAL FISCAL

ASESOR

MTI. ROBERTO ESTEBAN GUERRERO HERNÁNDEZ

**PERIODO ESCOLAR
AGOSTO-DICIEMBRE 2025**

GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico en el campo de la cirugía ha permitido el desarrollo de sistemas robóticos que mejoran la precisión, seguridad y eficacia de los procedimientos quirúrgicos. En este contexto, el presente propone el diseño de un sistema quirúrgico basado en brazos robóticos, con el objetivo de optimizar la ejecución de intervenciones médicas minimizando la intervención humana directa.

Este proyecto se enfoca en la demostración de un entorno quirúrgico en el que brazos robóticos ejecutan tareas de alta precisión, tales como incisiones, suturas y manipulación de tejidos. Para ello, se integrarán modelos cinemáticos y dinámicos de los brazos robóticos, algoritmos de control de movimiento y retroalimentación sensorial, permitiendo la validación del desempeño del sistema antes de su implementación en un entorno real.

Además, este trabajo explorará la interacción entre el cirujano y el sistema robótico a través de interfaces de control, analizando la ergonomía, la facilidad de uso y la respuesta del sistema a comandos específicos. La simulación servirá como una herramienta clave para evaluar la viabilidad del sistema y su posible aplicación en procedimientos quirúrgicos asistidos por robots, con el fin de mejorar la seguridad del paciente y la precisión en la ejecución de las operaciones.

1.2 PROBLEMAS A RESOLVER

Los avances en la tecnología médica han llevado al desarrollo de sistemas de cirugía asistida por robots, específicamente aquellos que utilizan brazos robóticos controlados por sensores. Esta innovación surge como respuesta a diversas problemáticas que afectan la cirugía tradicional y la atención médica en general, sin mencionar el aspecto fundamental es la estandarización y mejora en la capacitación

quirúrgica. Los sistemas robóticos permiten procedimientos con mayor consistencia, disminuyendo la variabilidad entre cirujanos. Asimismo, facilitan la enseñanza de nuevas generaciones de médicos a través de simulaciones avanzadas y la posibilidad de realizar telecirugía, donde un especialista puede operar a distancia utilizando estos dispositivos.

Uno de los principales desafíos en la cirugía convencional es la precisión limitada de los movimientos manuales. A pesar de la habilidad de los cirujanos, el temblor natural de la mano y la fatiga pueden influir en la exactitud de los procedimientos, especialmente en intervenciones que requieren movimientos extremadamente delicados. Los brazos robóticos, en cambio, ofrecen una estabilidad superior y una precisión milimétrica, lo que reduce el margen de error.

Además, muchas cirugías requieren acceder a zonas de difícil alcance dentro del cuerpo, lo que a menudo implica incisiones invasivas y un mayor daño a los tejidos circundantes. Los brazos robóticos, con su capacidad para realizar movimientos precisos en espacios reducidos, facilitan los procedimientos mínimamente invasivos, lo que se traduce en menor dolor postoperatorio, una recuperación más rápida y una reducción en el riesgo de infecciones.

Otro problema relevante es la fatiga de los cirujanos, particularmente en operaciones de larga duración. La exigencia física y mental puede afectar el rendimiento del especialista, incrementando el riesgo de errores. Con la asistencia de sistemas robóticos, el esfuerzo manual se reduce significativamente, permitiendo mayor control y comodidad para el cirujano.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

El realizar este proyecto tiene como objetivo principal mejorar la precisión y seguridad de las intervenciones médicas. Gracias a la tecnología de sensores, estos sistemas permiten realizar movimientos más exactos, reduciendo el margen de error y minimizando el daño a los tejidos circundantes.

Uno de los beneficios clave es la capacidad de realizar cirugías menos invasivas, lo que conlleva una recuperación más rápida para el paciente y un menor riesgo de complicaciones postoperatorias. Además, la estabilidad y control que proporcionan los brazos robóticos eliminan temblores involuntarios y reducen la fatiga del cirujano, permitiendo procedimientos más largos sin comprometer la calidad de la operación.

Otro aspecto importante es la posibilidad de acceder a zonas anatómicas de difícil alcance, lo que facilita la realización de cirugías complejas con mayor precisión. Asimismo, la automatización parcial o total de ciertas tareas quirúrgicas permite optimizar el tiempo de intervención y mejorar los resultados clínicos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICO

- Estudio conceptual, producción de ideas y alternativas para las características que incorporara el diseño del dispositivo.
- Elegir un robot el cual cuente con las especificaciones necesarias.
- Diseñar los espacios de los componentes que llevaría el dispositivo.
- Desarrollar el diseño que tendrá el dispositivo con base a las necesidades y eficiencia de este.

1.4 JUSTIFICACIÓN

1.4.1 IMPACTO ECONÓMICO

Reducción de costos a largo plazo: Los procedimientos más precisos reducen complicaciones postoperatorias, reintervenciones y hospitalizaciones prolongadas, optimizando los recursos del sistema de salud.

Incremento de la productividad médica: Un cirujano puede realizar más procedimientos con menor desgaste físico, lo que mejora la eficiencia operativa del hospital.

Estímulo a nuevas industrias y empleos: Se generan oportunidades en sectores de alta tecnología como fabricación de dispositivos médicos, software quirúrgico y mantenimiento especializado.

Atracción de inversiones en salud tecnológica: La adopción de estas tecnologías posiciona a hospitales como centros de innovación, atrayendo fondos públicos y privados.

1.4.2 IMPACTO ECONÓMICO

Impulso a la innovación médica: La robótica quirúrgica acelera la evolución de tecnologías como inteligencia artificial, visión computacional y análisis predictivo.

Interconexión de sistemas de salud: Permite integrar historiales clínicos, diagnósticos y monitoreo en tiempo real, mejorando la toma de decisiones.

Desarrollo de cirugía remota (telesalud): Se habilita la atención médica especializada en lugares sin acceso directo a cirujanos expertos.

Estandarización de procedimientos: Los robots pueden replicar técnicas quirúrgicas con alta precisión, reduciendo la variabilidad entre profesionales y mejorando resultados.

1.4.3 IMPACTO AMBIENTAL

Optimización del uso de recursos quirúrgicos: Los procedimientos robotizados tienden a usar menos material quirúrgico y fármacos, reduciendo desperdicios.

Disminución de residuos hospitalarios: Menor necesidad de instrumentos desechables y materiales auxiliares gracias a la automatización precisa.

Diseño de tecnología más sostenible: La demanda por estos sistemas impulsa el desarrollo de robots con eficiencia energética y materiales reciclables.

1.4.4 IMPACTO SOCIAL

Mejora en la calidad de vida del paciente: La cirugía mínimamente invasiva realizada por robots reduce el dolor, las cicatrices y acelera la recuperación.

Acceso remoto a procedimientos complejos: Los sistemas quirúrgicos remotos permiten que especialistas operen a distancia, beneficiando a zonas rurales o aisladas.

Capacitación avanzada del personal médico: Se fomenta una formación continua e innovadora, integrando simuladores, realidad aumentada y control robótico.

Incremento de la confianza y seguridad: La precisión robótica disminuye el margen de error humano, generando mayor confianza en los procedimientos quirúrgicos.

1.5 DELIMITACIONES

Este proyecto se mantiene dentro de lo que es solo un diseño del sistema ya que el costo de los componentes a utilizar tiene un costo fuera del presupuesto, ya que este tipo de tecnología suele ser inaccesible y de poca facilidad para obtenerse, sin mencionar los permisos requeridos para la adquisición de estos.

Otro punto por mencionar es que la tecnología médica está fuertemente regulada por organismos gubernamentales e internacionales (como la FDA en EE.UU. o la EMA en Europa). Los cuales dicen que cualquier dispositivo con aplicación quirúrgica debe cumplir con estándares rigurosos de seguridad y eficacia, lo cual implica procesos de validación, certificación y pruebas clínicas, completamente fuera del alcance de un proyecto estudiantil.

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Los sistemas quirúrgicos robotizados se utilizan en procedimientos médicos de alta precisión en hospitales y centros de salud especializados. En estas instalaciones, el paciente permanece en la mesa quirúrgica, mientras que el cirujano opera a distancia mediante una consola de control. Durante este proceso, los brazos robóticos cumplen la función de ejecutar los movimientos quirúrgicos con exactitud milimétrica, siguiendo las indicaciones del especialista. Los instrumentos necesarios para la intervención son previamente preparados y colocados por el personal médico encargado.

2.1.1 SISTEMA ROBÓTICO QUIRÚRGICO NEUROARM

El Sistema Robótico Quirúrgico NeuroArm representa un salto cualitativo en el campo de la neurocirugía, al ser el primer robot del mundo capaz de realizar procedimientos quirúrgicos dentro de un escáner de resonancia magnética (RM) en tiempo real. Este avanzado sistema combina la destreza y precisión de la robótica con la capacidad de visualización detallada de la resonancia magnética, permitiendo a los cirujanos realizar intervenciones cerebrales con un nivel de exactitud sin precedentes.

El neuroArm es un sistema telerrobótico, lo que significa que es controlado por un cirujano desde una estación de trabajo remota, ubicada fuera del campo magnético del escáner de RM. El sistema consta de varios componentes clave que trabajan en conjunto:

Brazos Robóticos de Alta Precisión: El robot cuenta con dos brazos manipuladores que imitan los movimientos de las manos del cirujano. Estos brazos están diseñados para ser compatibles con el potente campo magnético de la resonancia magnética,

fabricados con materiales no ferromagnéticos como el titanio y plásticos especiales. Son capaces de realizar movimientos micrométricos, superando con creces la destreza de la mano humana y eliminando cualquier temblor.

Estación de Trabajo del Cirujano: Desde una consola ergonómica situada en una sala adyacente, el neurocirujano controla los brazos robóticos. Esta estación está equipada con controles manuales que proporcionan retroalimentación háptica, permitiendo al cirujano "sentir" la resistencia y la textura de los tejidos que está manipulando, una característica crucial para la seguridad y la precisión del procedimiento. Además, múltiples pantallas muestran imágenes en 3D de alta resolución del cerebro del paciente, obtenidas en tiempo real por la resonancia magnética, junto con la representación virtual de los instrumentos quirúrgicos.

Integración con Resonancia Magnética (RM): La capacidad de operar dentro de un escáner de RM es la característica más distintiva y revolucionaria del neuroArm. Esto proporciona al cirujano imágenes actualizadas y en tiempo real del cerebro durante la cirugía. A diferencia de los sistemas de neuronavegación tradicionales que se basan en imágenes preoperatorias, la RM intraoperatoria permite al cirujano ver cambios en el cerebro a medida que avanza la operación, como el desplazamiento del tejido cerebral tras la extirpación de un tumor, lo que le permite ajustar su enfoque y asegurar una resección más completa y segura.

Instrumental Quirúrgico Especializado: El sistema utiliza un conjunto de herramientas quirúrgicas especialmente diseñadas para acoplarse a los brazos robóticos, permitiendo realizar una amplia gama de maniobras como cortar, disecar, suturar, cauterizar y aspirar tejido.

Gracias a esta sinergia tecnológica, el neuroArm es capaz de realizar dos tipos principales de procedimientos: microcirugía, para intervenciones delicadas en estructuras cerebrales pequeñas y profundas, y estereotaxia, para la toma de biopsias y la colocación precisa de electrodos con una exactitud milimétrica.

La historia del neuroArm está intrínsecamente ligada a la innovación canadiense en robótica y a la visión de un neurocirujano. Su desarrollo es el resultado de una colaboración única entre el mundo académico, la industria aeroespacial y la filantropía.

Los orígenes del proyecto se remontan a la década de 1990, con la visión del Dr. Garnette Sutherland, neurocirujano de la Universidad de Calgary. El Dr. Sutherland buscaba una forma de superar las limitaciones de la cirugía cerebral convencional, soñando con un sistema que permitiera operar con mayor precisión y guiado por imágenes en tiempo real.

El impulso decisivo llegó a través de una colaboración con MacDonald, Dettwiler and Associates (MDA), la misma compañía canadiense responsable del desarrollo del famoso Canadarm, el brazo robótico utilizado en los transbordadores espaciales de la NASA y la Estación Espacial Internacional. La experiencia de MDA en la creación de sistemas robóticos sofisticados para entornos extremos fue fundamental para abordar los desafíos técnicos de construir un robot compatible con la resonancia magnética.

El proyecto "neuroArm" se lanzó oficialmente a principios de la década de 2000, gracias a una importante financiación de la Fundación de Innovación de Canadá y donaciones filantrópicas. Tras años de investigación, diseño y pruebas preclínicas, un hito histórico se alcanzó en 2008, cuando el Dr. Sutherland y su equipo realizaron

la primera cirugía cerebral del mundo utilizando el neuroArm para extirpar un tumor cerebral a una paciente.

Desde entonces, el sistema ha sido utilizado en numerosas cirugías, demostrando su eficacia y seguridad. El desarrollo ha continuado, dando lugar a una segunda generación del sistema, conocido como SYMBIS Surgical System, que busca comercializar esta tecnología para hacerla accesible a hospitales de todo el mundo.

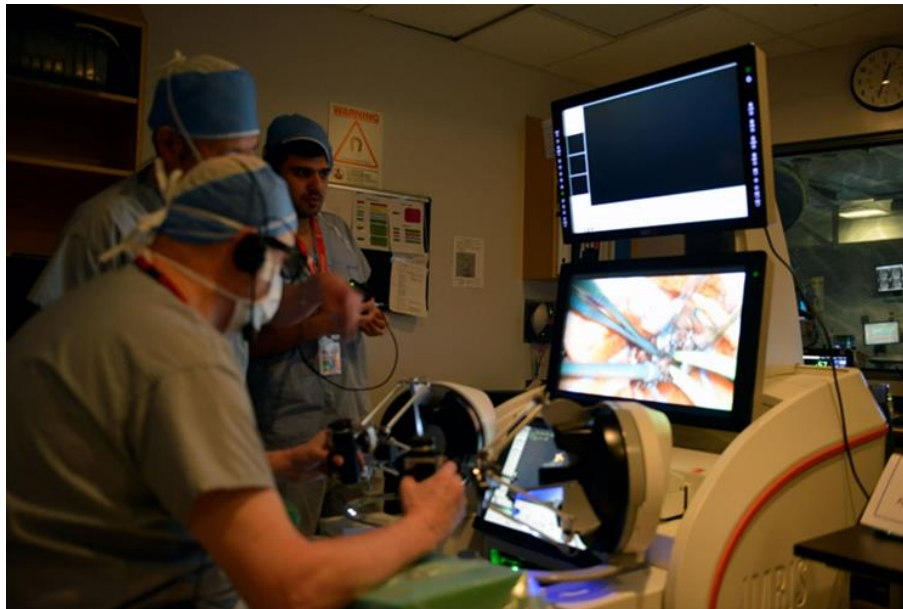


Figura.- Robot Quirúrgico NeuroArm.

3.1.2 BÚSQUEDA DE LOS DIFERENTES SISTEMAS MÉDICOS A BASE DE ROBOTS

DESCRIPCIÓN

Esta fase consiste en una investigación exhaustiva y un análisis documental de los sistemas robóticos quirúrgicos existentes en el ámbito comercial y académico. El objetivo es comprender a fondo el estado actual de la tecnología, estudiando sistemas consolidados como el Da Vinci, así como otras plataformas emergentes. La utilidad de esta recopilación de información es fundamental, ya que sirve como

una base de referencia indispensable para el proyecto. Permite identificar las características, ventajas y limitaciones de los diseños actuales, lo cual ayuda a evitar la repetición de errores, a inspirar soluciones innovadoras y a definir los parámetros con los que el nuevo diseño será comparado.

Procedimiento

El procedimiento para esta búsqueda se inicia definiendo las fuentes de información, que incluirán bases de datos científicas como IEEE Xplore y PubMed, sitios web de los fabricantes, documentos de patentes y artículos técnicos. Se realizará la búsqueda utilizando palabras clave específicas como "cirugía robótica", "sistemas quirúrgicos asistidos" y los nombres de los robots conocidos. La información relevante será recopilada y filtrada. Finalmente, se redactará un informe de síntesis que resuma los hallazgos y destaque las tendencias del sector y las posibles áreas de oportunidad para el nuevo diseño.

3.1.3 CLASIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE TIPOS DE BRAZOS ROBÓTICOS

Descripción

En esta etapa se realiza una revisión teórica de las distintas configuraciones estructurales o "morfologías" de los brazos robóticos, tales como los cartesianos, SCARA y articulados. La utilidad de esta clasificación es estratégica, pues la arquitectura del brazo define su rango de movimiento, su destreza, su tamaño y su facilidad de limpieza. Seleccionar la configuración correcta es un paso fundamental para garantizar que el robot pueda realizar las tareas deseadas con la eficiencia y seguridad requeridas.

Procedimiento

El procedimiento se inicia investigando las características, ventajas y desventajas de cada tipo de brazo robótico. Se evaluará cada configuración en función de un

conjunto de criterios específicos para el entorno quirúrgico, que incluyen los grados de libertad, la precisión, el espacio de trabajo, el tamaño físico y la facilidad de esterilización. Con base en este análisis comparativo, se descartarán las opciones menos viables y se preseleccionará el tipo de brazo que ofrezca el mejor balance de características. Finalmente, se documentará la decisión, elaborando una justificación técnica que explique por qué la morfología seleccionada es la más adecuada para los objetivos del proyecto.

3.1.4 ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS DE SENSORES DE DETECCIÓN DE MOVIMIENTO

Descripción

Este punto se centra en la investigación de las diversas tecnologías de sensores capaces de capturar los movimientos del cirujano para traducirlos en comandos para el robot. Se explorarán distintos tipos de sensores, como los ópticos, inerciales y electromiográficos, para comprender su principio de funcionamiento y su aplicabilidad en el campo médico. La utilidad de este análisis es crítica, ya que la selección de la tecnología de sensores define la calidad de la interfaz hombre-máquina. Una elección acertada resultará en un control del robot más intuitivo, preciso y seguro, haciendo que el sistema se sienta como una extensión natural de las manos del cirujano.

Procedimiento

El procedimiento comienza con la identificación y el listado de las principales tecnologías de sensores de movimiento. Luego, se investigará cada una de ellas para detallar su funcionamiento, precisión, costo y ejemplos de integración en otros sistemas. Posteriormente, se evaluará conceptualmente cómo cada tipo de sensor podría ser integrado en una consola de control para el cirujano, considerando la ergonomía y la facilidad de uso. Los resultados se organizarán en una matriz de decisión para comparar objetivamente las opciones en función de criterios clave como la exactitud, la complejidad y el costo. El proceso concluye con una selección

justificada de las tecnologías más prometedoras para su integración en el diseño propuesto.

3.1.5 DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DEL SISTEMA

Descripción

En este punto se traducen los objetivos funcionales del proyecto en especificaciones técnicas concretas y medibles. Este apartado establece los criterios de rendimiento, seguridad y funcionalidad que guiarán el diseño y la posterior validación del sistema quirúrgico. Los requerimientos aquí detallados se estructuran para cubrir de manera integral todos los componentes críticos del sistema, a incluidos desde el subsistema maestro (la consola del cirujano) y el subsistema esclavo (los brazos robóticos), hasta el sistema de control, la comunicación, la interfaz de visión y, de manera transversal, los indispensables protocolos de seguridad y confiabilidad.

Procedimiento

Para la determinación de los requisitos técnicos del sistema, se llevó a cabo un análisis de la arquitectura de hardware y software. En esta fase, se identifican las características funcionales y operativas críticas que deben cumplir cada componente individual para garantizar la viabilidad de la integración. Posteriormente, el procedimiento se centra en la caracterización del flujo de datos bidireccional en una topología Maestro-Esclavo.

Esto implica, por un lado, el estudio de la transmisión de datos cinematográficos desde la interfaz humana (guantes hápticos) hacia los actuadores del brazo robótico para la replicación precisa de movimientos. Por otro lado, se analiza la ruta de retorno, donde las señales de fuerza e interacción del entorno son procesadas y enviadas de vuelta al usuario como retroalimentación háptica, cerrando así el bucle de control.

3.1.6 SELECCIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO A UTILIZAR

Descripción

A diferencia del análisis teórico de tipos de brazos, esta actividad se enfoca en la selección de una arquitectura estructural específica que servirá como modelo base para el diseño en AutoCAD. Se trata de tomar una decisión concreta sobre la configuración de las articulaciones, la proporción de los eslabones y la cinemática general del brazo. La utilidad de este paso es que materializa el concepto, pasando de una idea abstracta de "brazo articulado" a un diseño definido que guiará directamente el proceso de modelado. Esta elección determina la apariencia final, el rendimiento y las capacidades del componente mecánico más importante del sistema.

Procedimiento

El procedimiento comienza utilizando la lista de requerimientos técnicos del punto anterior como una lista de verificación. A continuación, se investigarán modelos de brazos robóticos existentes, tanto médicos como industriales, para analizar soluciones de diseño probadas y tomar inspiración de sus arquitecturas. Se realizará un análisis comparativo de las arquitecturas candidatas más prometedoras, evaluando qué tan bien cumplen con los requerimientos de grados de libertad, alcance, precisión y dimensiones. El proceso culmina con la selección formal del modelo estructural más adecuado y la redacción de una justificación técnica detallada de dicha elección.

3.1.7 DISEÑO ESTRUCTURAL EN AUTOCAD DE LOS BRAZOS ROBÓTICOS

Descripción

Esta fase corresponde al modelado tridimensional (3D) de los brazos robóticos, utilizando el software AutoCAD. Aquí se traduce la arquitectura seleccionada en un prototipo digital detallado, considerando cada uno de sus componentes,

articulaciones y materiales. La utilidad principal de esta etapa es crear una representación virtual precisa del brazo. Este modelo 3D permite visualizar el diseño, verificar cómo se ensamblan las piezas, planificar la integración de componentes internos y, fundamentalmente, sirve como la base para generar los planos técnicos de fabricación y para el diseño del sistema completo.

Procedimiento

El proceso de diseño se inicia configurando el entorno de trabajo en AutoCAD, estableciendo las unidades y organizando el proyecto en capas. Se procederá a modelar en 3D cada componente del brazo de forma individual: la base, los eslabones, y las carcasas de las articulaciones. Posteriormente, todas las piezas se insertarán en un archivo de ensamblaje, donde se aplicarán restricciones para definir sus uniones y sus movimientos relativos. El modelo se refinará añadiendo detalles como puntos de anclaje.

3.1.8 DISEÑO EN AUTOCAD DE LA DISPOSICIÓN DEL SISTEMA COMPLETO

Descripción

En este punto, el enfoque se amplía desde el diseño del componente individual hacia el diseño del sistema integral dentro de su entorno operativo. Se elaborará un diseño general que muestre la distribución espacial de todos los elementos: los brazos robóticos, la consola de operación del cirujano, los sensores y el espacio destinado al paciente. La utilidad de este diseño de disposición es evaluar la ergonomía, la logística y la seguridad del sistema en su conjunto. Permite verificar que todos los componentes encajen en un quirófano típico y que puedan funcionar de manera coordinada sin interferencias.

El procedimiento comienza con la creación de un modelo 3D simplificado del entorno, representando la mesa de operaciones y el espacio circundante. A

continuación, se importarán los modelos 3D de los brazos robóticos ya diseñados y se crearán modelos básicos para el resto del equipo, como la consola de control. Todos estos elementos se posicionarán estratégicamente en el espacio virtual para definir el layout final. Se realizarán análisis para verificar que el espacio de trabajo de los brazos sea el adecuado y para detectar posibles colisiones entre ellos o con otro objeto. El resultado será un plano de arreglo general que ilustre la disposición completa del sistema.

3.1.9 REVISIÓN Y AJUSTE DE LOS PLANOS TÉCNICOS.

Descripción

Esta actividad final es un proceso de control de calidad enfocado en toda la documentación técnica generada. Consiste en una revisión sistemática y detallada de todos los planos para corregir detalles de acotación, proporciones, vistas, cortes y nomenclatura. El objetivo es asegurar que los planos cumplan con los estándares de dibujo técnico requeridos. La utilidad de esta revisión es garantizar que la documentación sea clara, precisa y profesional, ya que unos planos bien elaborados son esenciales para la fabricación, la evaluación y la comunicación efectiva del diseño.

Procedimiento

El procedimiento inicia con la generación de los planos 2D a partir de los modelos 3D, creando las vistas ortográficas, isométricas y de sección necesarias para describir cada pieza por completo. A continuación, se añadirán meticulosamente todas las dimensiones, tolerancias, notas de materiales y demás anotaciones requeridas (nomenclatura). Se utilizará una lista de verificación para revisar cada plano de manera sistemática, comprobando la legibilidad, la correcta aplicación de estándares y la ausencia de errores u omisiones. Finalmente, se realizarán todos los ajustes y correcciones necesarios para producir el juego de planos técnicos en su versión definitiva y aprobada.

RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1 RESULTADOS FINALES DEL MODELADO

BRAZO ROBÓTICO

Como se menciona anteriormente en los puntos, esta etapa va enfocada específicamente en mostrar los resultados obtenidos del diseño y la distribución de los brazos robóticos



Figura 1.- Brazo Robótico ABB IRB 120.

Para una comprensión más profunda de la arquitectura mecánica del robot y cómo esta facilita sus seis grados de libertad, se generó una vista explosiva del modelo 3D [Figura XY]. Esta vista deconstruye el ensamblaje en sus subsistemas estructurales principales, mostrando la relación de montaje entre cada componente articulado.

El análisis de la [Figura XY] permite identificar la cadena cinemática del robot, que se compone de la siguiente manera:

Base de Montaje (Eje 1): Es el componente de fundación, diseñado para anclar el robot a la estructura de la sala de operaciones (en este caso, un montaje de techo o pared). Alberga el motor y el reductor para el Eje 1, permitiendo la rotación panorámica de todo el brazo.



Figura 2.- Base de Montaje (Eje 1).

Brazo Inferior (Eje 2): Se acopla verticalmente a la base giratoria. Esta sección contiene el mecanismo para el Eje 2, que proporciona el movimiento de elevación principal del brazo (similar al hombro).



Figura 3.- Brazo Inferior (Eje 2).

Brazo Superior (Eje 3): Conectado al extremo del brazo inferior, este componente aloja el Eje 3, generando el movimiento de "codo". La combinación de los Ejes 2 y 3 define el área de trabajo vertical principal del robot.

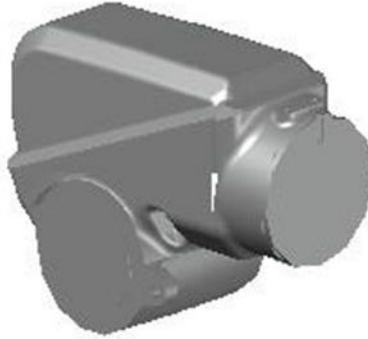


Figura 4.- Brazo Superior (Eje 3).

Conjunto de Muñeca (Ejes 4, 5 y 6): Este es el ensamblaje más compacto y complejo, responsable de la destreza del efector final.

El Eje 4 (rotación del antebrazo) se une al brazo superior.



Figura 5.- Conjunto de Muñeca (Eje 4).

El Eje 5 (flexión de muñeca) proporciona la inclinación necesaria para la orientación del instrumento.



Figura 6.- Conjunto de Muñeca (Eje 5).

El Eje 6 (rotación de la novia) gira el efecto final sobre su propio eje, permitiendo un control preciso de la herramienta.



Figura 7.- Conjunto de Muñeca (Eje 6).

Brida de Herramienta (Tool Flange): Es la placa de interfaz final. En nuestro diseño, esta es la superficie de montaje crítico donde se acoplará el adaptador diseñado a medida para el instrumental quirúrgico.

Este desglose no solo aclara cómo se logra la cinemática de 6 GDL, sino que también fue crucial durante la fase de diseño para identificar puntos de montaje, verificar colisiones y espacio utilizará el efecto quirúrgico final.

MANO ROBÓTICA

Como se mostró en la selección anterior de las manos robóticas que se utilizaran en las puntas de los controladores, la elegida fue la Schunk SVH la cual es una mano robótica servoelectrica antropomórfica diseñada para replicar con alta fidelidad la cinemática, las dimensiones y la funcionalidad de la mano humana.

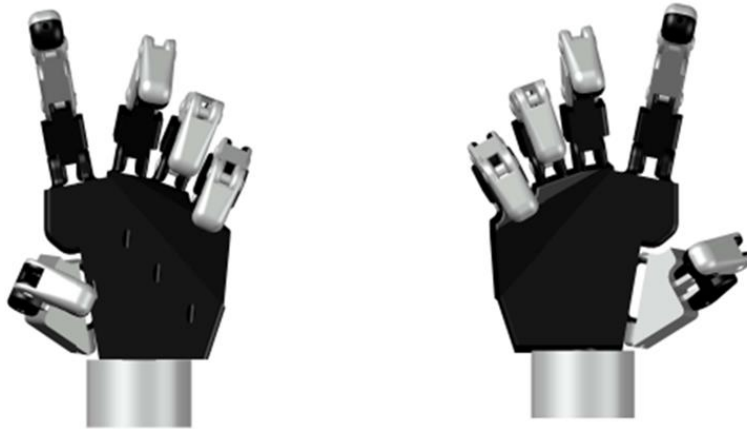


Figura 8.- Mano robótica Servoelectrica Schunk SVH.

A diferencia de las pinzas industriales convencionales, este efector final se distingue por su diseño mecatrónico altamente integrado: aloja toda la electrónica de control, regulación y potencia directamente en la muñeca, eliminando la necesidad de controladores externos.

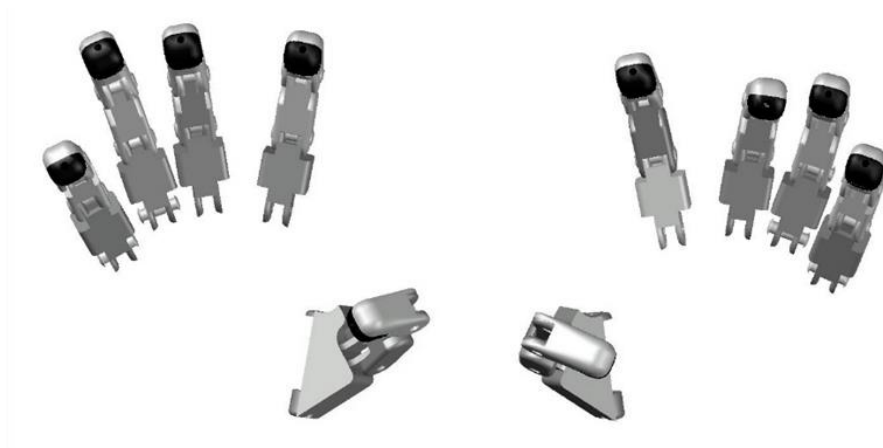


Figura 9.- Actuadores Y Eslabones De La Mano Schunk SVH.

Una de las características principales de este modelo es que posee un total de 20 articulaciones móviles.

Utiliza un sistema inteligente donde 9 motores controlan 20 articulaciones. Por ejemplo, en los cuatro dedos largos, un solo motor controla la flexión de las falanges media y distal simultáneamente.

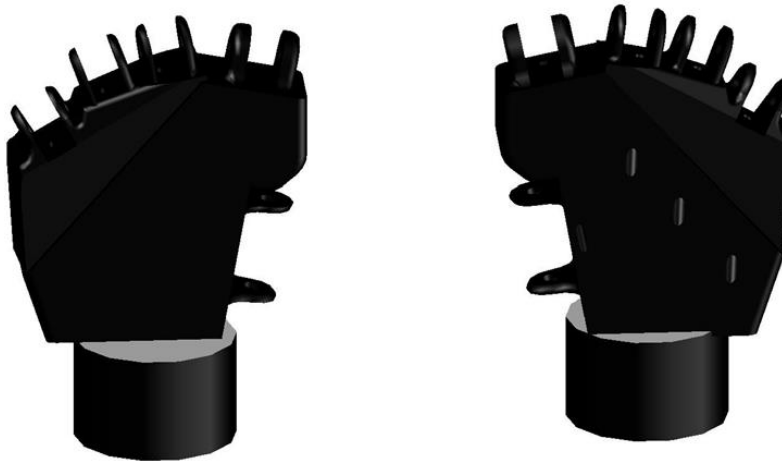


Figura 10.- Chasis Y Puntos De Anclaje De Las Falanges De La Mano SVH.

Para simular la mano humana, los dedos no solo se abren y cierran, también se separan entre sí, la SVH cuenta con motores dedicados en la base de los dedos que permiten la dispersión (abrir la mano en abanico). Esto es crucial para agarrar objetos con mayor precisión y para estabilizar agarres anchos, mejorando la movilidad general más allá de una simple garra.

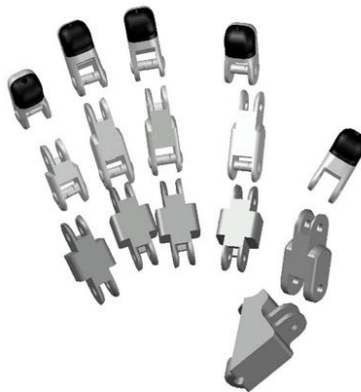


Figura 11.- Articulaciones De La Mano SVH.

GUANTES HAPTICOS

La elección del guante SenseGlove Nova 2 fue porque es un guante háptico inalámbrico de última generación diseñado para la interacción natural en entornos virtuales y de telerobótica.

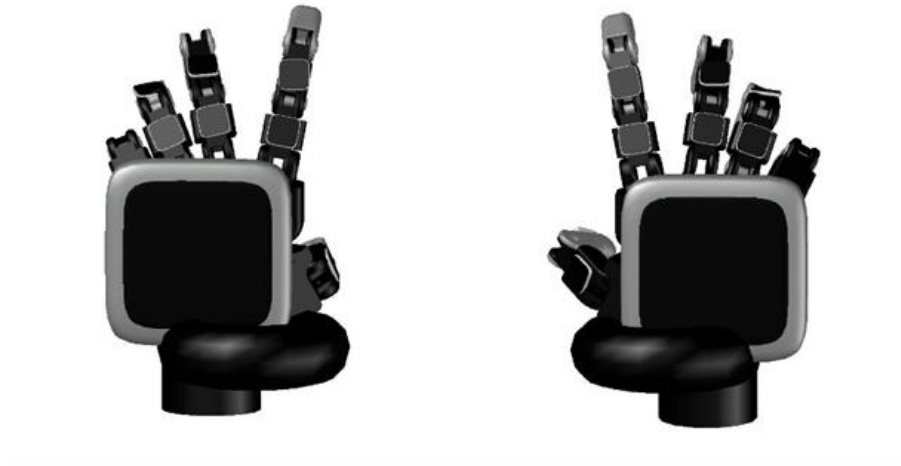


Figura 12.- Guantes SenseGlove Nova 2.

La arquitectura central del dispositivo se articula en torno a un "Hub" o unidad de control ubicada en el dorso de la muñeca, el cual alberga la electrónica de procesamiento, la batería y los módulos de comunicación inalámbrica.

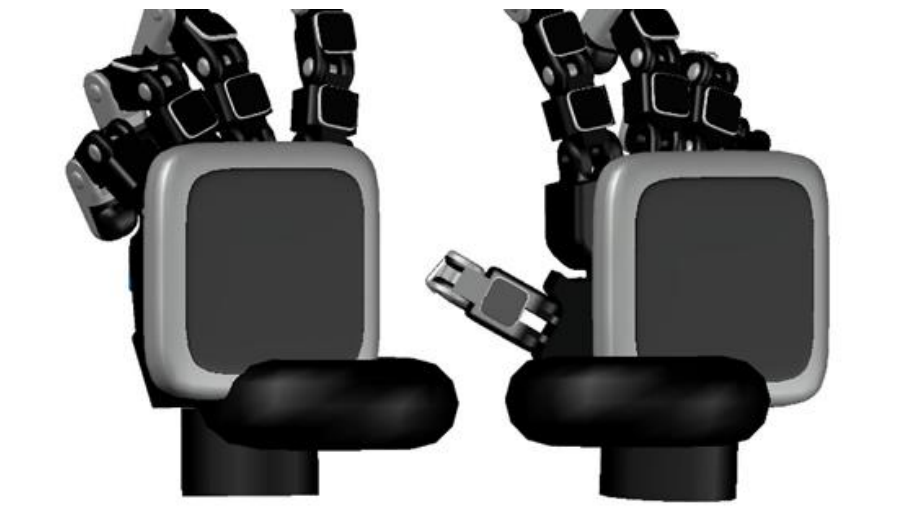


Figura 13.- Arquitectura Central Del HUB.

El componente más distintivo y vital para la seguridad del procedimiento es su sistema de retroalimentación de fuerza activa (Force Feedback).



Figura 14.- Force Feedback De Los Guantes.

Complementando la resistencia física, el Nova 2 incorpora una matriz avanzada de actuadores vibrotáctiles (LRA - Linear Resonant Actuators) situadas tanto en las yemas de los dedos como en la palma de la mano.

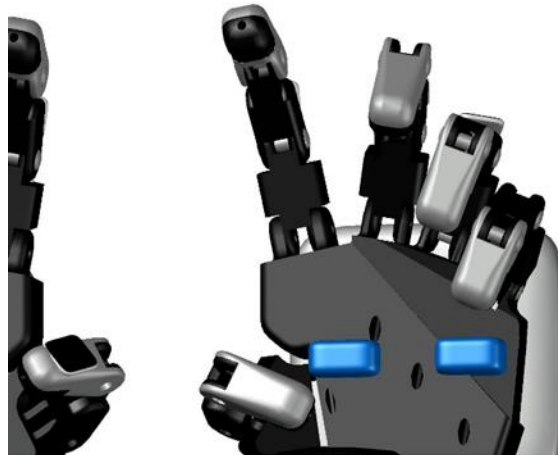


Figura 15.- Actuadores Vibrotáctiles.

Para la integración con los brazos robóticos, el guante dispone de una interfaz de montaje universal sobre la muñeca diseñada para acoplar rastreadores de posición 6-DoF externos (como HTC Vive Trackers).

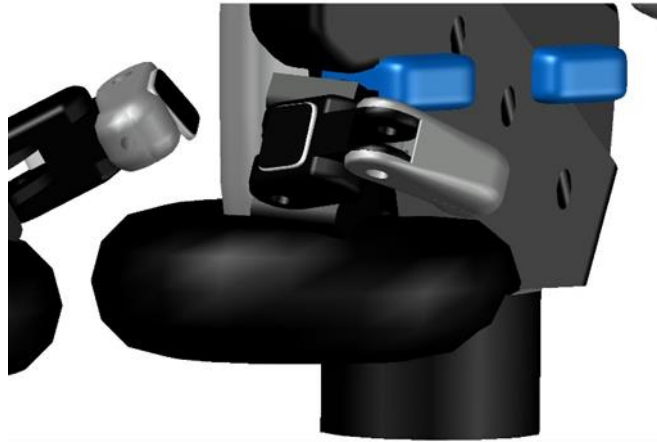


Figura 16.- Rastreadores De Posición 6-DoF.

CEREBRO ROS

La estación de trabajo de control es el componente central de la arquitectura de teleoperación. Actúa como el cerebro del sistema, sirviendo como intermediario de alta velocidad entre el cirujano (la "interfaz maestra") y los brazos robóticos (la "interfaz esclava").

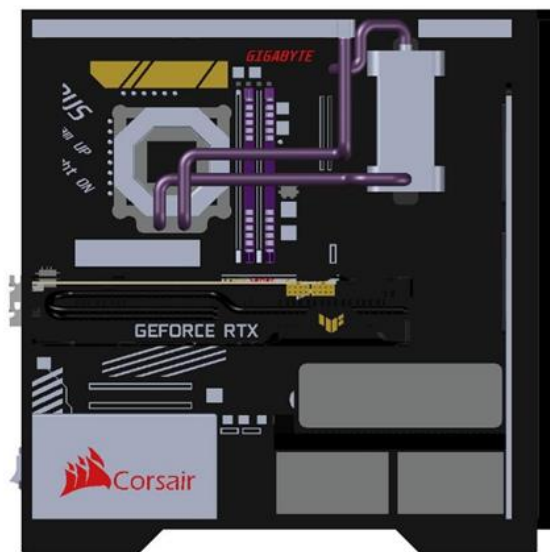


Figura 17.- Estación De Trabajo.

El Procesador (CPU) funciona como el cerebro de todo el sistema. Su función principal es asegurar que, en el momento exacto en que se realiza un movimiento con el guante, el robot reacciona al instante.

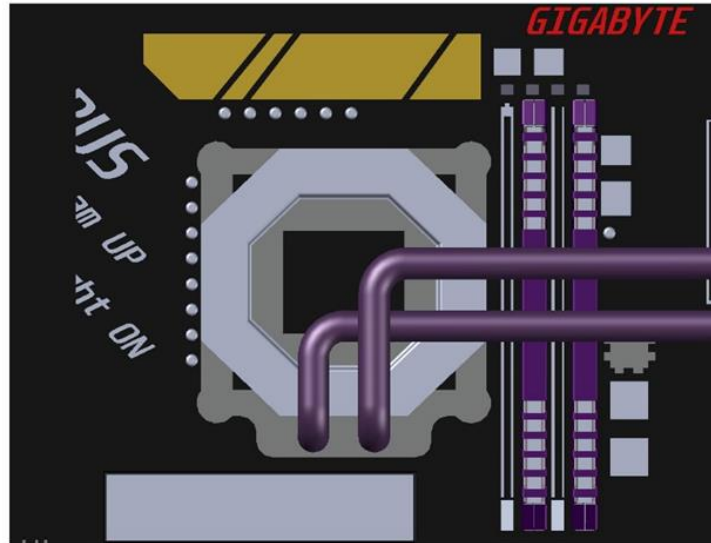


Figura 18.- Procesador (CPU).

La Memoria RAM actúa como la mesa de trabajo temporal de la computadora. Una memoria insuficiente podría provocar lentitud o bloqueos en el sistema, lo cual es inaceptable durante el control de un robot quirúrgico por esta razón se colocaron 2 de 32gb en cada slot.

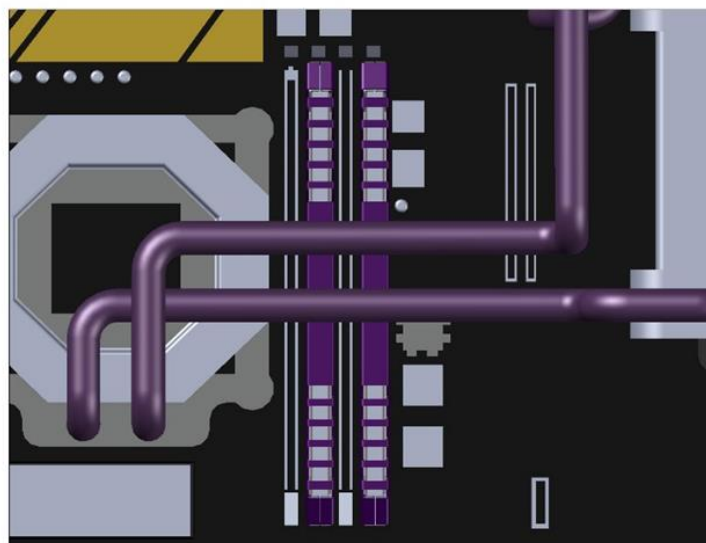


Figura 19.- Memoria RAM.

La Tarjeta Gráfica (GPU) es la encargada de garantizar una visualización correcta y fluida en la pantalla. Resulta vital para observar la simulación del quirófano en 3D con claridad y sin interrupciones.



Figura 20.- Tarjeta Gráfica (GPU).

El Almacenamiento SSD es el espacio donde se guardan los archivos, operando a una velocidad muy superior a la de los discos duros antiguos. Permite que el equipo se inicie rápidamente y que los programas se carguen de inmediato.

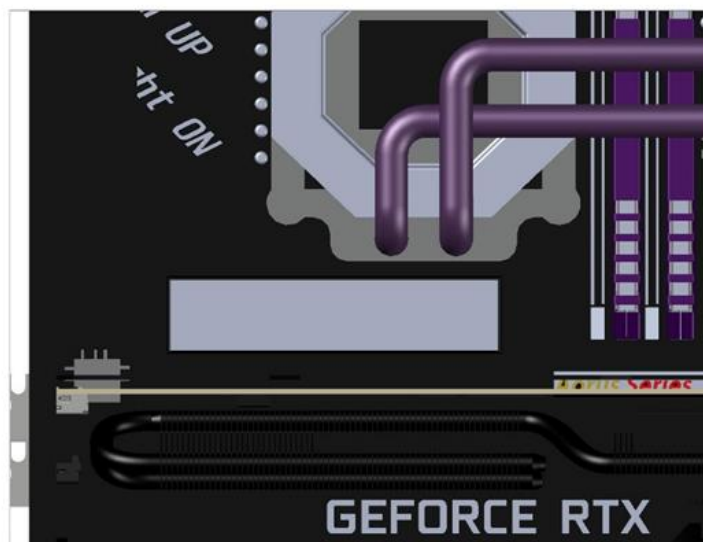


Figura 21.- Almacenamiento SSD.

La Conectividad (Puertos) constituye el conjunto de conexiones físicas para integrar el sistema. Se requieren puertos Ethernet rápidos para enviar las órdenes al controlador del robot ya la mano Schunk sin interferencias externas.



Figura 22.- Conectividad (Puertos).

ARQUITECTURA GENERAL

La arquitectura más robusta y moderna se basa en un sistema de control centralizado que actúa como el "cerebro", coordinando los subsistemas de ABB, Schunk y SenseGlove.

El "cerebro" del sistema será un Computador Maestro (Master PC) ejecutando ROS (Robot Operating System).

El diseño se divide en tres capas:

- Capa Maestra (Cirujano): Los guantes que capturan la intención.
- Capa de Control (Cerebro ROS): El PC que traduce la intención en comandos.
- Capa Esclava (Robots): Los brazos y manos que ejecutan los comandos.



Figura 23.- Diseño General (Vista frontal).

1. BUCLE DE COMANDO (CIRUJANO A ROBOT)

Este es el flujo de "movimiento" del cirujano hacia el robot, gestionado por ROS 2.

1. Captura de Movimiento (Entrada):

- El cirujano mueve sus manos. Los SenseGlove Nova 2 (x2) capturan la posición/orientación de la muñeca (telemetría) y la flexión de cada dedo.
- **Conexión:** Los guantes se conectan a la PC Cerebro (vía USB-C o Wi-Fi).
- **Nodo de ROS 2 (Driver):** Un nodo "driver" de SenseGlove (senseglove_ros2_driver) lee estos datos crudos y los publica en temas de ROS 2.
 - Ej. Tópico: /left_glove/pose (datos de posición de la mano)
 - Ej. Tópico: /left_glove/joint_states(datos de los dedos)

2. Procesamiento y Mapeo (El Cerebro):

- El programa de control principal se conecta a los canales de datos donde los guantes están publicando su información (como la posición de los dedos) para poder leerla en tiempo real.
- **Aquí llega la lógica:**
 - **Filtro de Temblor:** La IA analiza y suaviza los datos de /glove/pose.
 - **Mapeo Cinemático:** El nodo traduce la *posición de la mano* del cirujano a la *posición objetivo* (x,y,z) para la mano robótica.
 - **Mapeo de Dedos:** Traduce los *ángulos de los dedos* del cirujano a los *ángulos de las articulaciones* objetivo para la Schunk SVH.
- Este nodo publica los comandos de robot procesados en nuevos temas.
 - Ej. Tópico:/arm_control/left/target_pose
 - Ej. Tópico:/hand_control/left/target_joints

3. Ejecución (Envío al Hardware):

- **Para los Brazos (IRB 120):**
 - Un nodo "driver" de ABB (ej. abb_robot_driver para ROS 2) se suscribe al tema /arm_control/target_pose.
 - **Conexión:** Este nodo se comunica (vía Ethernet) con el **Controlador ABB IRC5**. Envía comandos de movimiento de alto nivel (usando el protocolo EGM de ABB).

- El IRC5 hace el trabajo pesado: calcula la cinemática inversa en tiempo real y envía la corriente eléctrica precisa a los motores de *ambos* IRB 120 de forma sincronizada (gracias a MultiMove).
- **Para las Manos (Schunk SVH):**
 - Un nodo "driver" de Schunk (ej. schunk_svh_driver) se suscribe al tema /hand_control/target_joints.
 - **Conexión:** Las manos SVH suelen conectarse a la PC Cerebro vía un bus de datos rápido como EtherCAT o CAN, que es controlado directamente desde el kernel rt_preempt para una latencia mínima.

El nodo envía los comandos de articulación directamente a las manos Schunk SVH, que están montadas en los IRB 120.



Figura 24.- Diseño General (Vista Trasera).

2. BUCLE DE RETROALIMENTACIÓN (ROBOT A CIRUJANO)

Este flujo es igual de importante y es lo que permite al cirujano "sentir" y "ver".

1. Retroalimentación Visual (Ver):

- La Cámara 3D / Endoscopio en el sitio quirúrgico captura la escena.
- **Conexión:** La cámara se conecta a la PC Cerebro (vía USB 3.0, GigE, etc.).
- **Nodo de ROS 2 (Driver):** Un nodo de cámara (ej. v4l2_camera_node) publica el flujo de video en un tema.
 - Ej. Tópico:/camera/image_raw
- **Visualización:** Un nodo de visualización se suscribe a /camera/image_raw y muestra el video en el Monitor 3D del cirujano.

2. Retroalimentación Háptica (Sentir):

- Las manos Schunk SVH tienen sensores táctiles y de fuerza en los dedos.
- **Nodo de ROS 2 (Driver):** El mismo schunk_svh_driver que las controla, también lee los datos de sus sensores y los publica en un tema.
 - Ej. Tópico:/hand_control/left/force_feedback
- **Procesamiento (El Cerebro):**
 - El Nodo de Control principal se suscribe a /hand_control/force_feedback.

- Traduce la fuerza medida (ej. 5 Newtons) en un comando de "resistencia" para el guante (ej. "aplicar 50% de freno al dedo índice").
 - Publica este comando de retroalimentación.
 - Ej. Tópico: /left_glove/haptic_command
-
- **Acción de Feedback:**
 - El `senseglove_ros2_driver` suscribe a `/left_glove/haptic_command`.
 - Envía el comando de vuelta al SenseGlove Nova 2, que activa sus frenos magnéticos o actuadores, manteniendo o resistiendo el movimiento del dedo del cirujano.

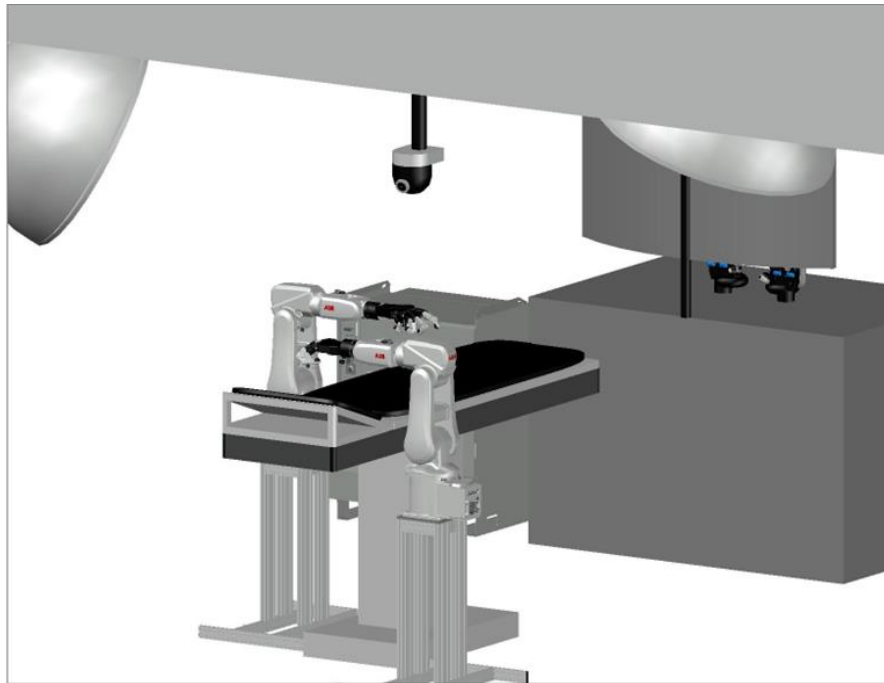


Figura 25.- Enfoque De Brazos robóticos.

CONCLUSIÓN

Con base en los resultados obtenidos en la presente investigación y tras la culminación de la etapa de diseño y modelado del sistema quirúrgico robótico, se presentan las conclusiones del proyecto. La hipótesis de trabajo planteada al inicio, la cual sostenía que el diseño de un sistema con brazos robóticos controlados mediante sensores externos permitiría teóricamente realizar procedimientos con alta precisión, se acepta a nivel de diseño conceptual. La arquitectura propuesta y los modelos tridimensionales generados demuestran la viabilidad técnica de integrar componentes industriales en una configuración quirúrgica, confirmando que la disociación entre la fuerza física del cirujano y el instrumental es factible mediante la ingeniería propuesta sin la necesidad de una ejecución física en esta etapa.

En cuanto a la teoría y los hallazgos técnicos que respaldan este diseño, es fundamental resaltar que el análisis de las restricciones mecánicas jugó un papel determinante en la configuración final. Se demostró que la capacidad de carga de los manipuladores fue el factor discriminante principal, lo que llevó a concluir que la mano robótica Schunk SVH es la solución óptima para el brazo ABB IRB 120, descartando opciones de mayor destreza, pero excesivo peso que habrían comprometido la integridad estructural del sistema. Del mismo modo, la investigación sobre la arquitectura de control estableció que la única vía para garantizar la seguridad operativa futura es la implementación de un sistema basado en ROS 2 sobre un núcleo de tiempo real, descartando los sistemas operativos convencionales por su falta de determinismo, un hallazgo teórico crítico para la seguridad del paciente.

Respecto a las delimitaciones del estudio, el marco metodológico adoptado indica que el proyecto se circunscribe estrictamente al diseño asistido por computadora y la investigación técnica. Factores externos, como los elevados costos de los manipuladores industriales impidieron la construcción física o la validación clínica

del prototipo. No obstante, estas limitantes no restan validez a la propuesta, ya que el diseño entregado cumple con los requerimientos dimensionales y ergonómicos de un quirófano estándar, fungiendo como una fase de pre-ingeniería indispensable.

Finalmente, el aporte principal de esta residencia profesional radica en la integración conceptual de tecnologías industriales con interfaces médicas, generando una documentación técnica de planos y modelos que sienta las bases para futuras líneas de investigación. Se concluye que la propuesta de diseño para este sistema quirúrgico teleoperado es técnicamente coherente y viable bajo los parámetros estudiados, dejando el camino trazado para que futuras investigaciones evolucionen este modelo digital hacia un prototipo funcional.

FUENTES DE INFORMACIÓN

[1] Mayo Clinic. "Cirugía robótica". Mayo Clinic. Accedido el 3 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.mayoclinic.org/es/tests-procedures/robotic-surgery/about/pac-20394974>

[2] UI Health. "Beneficios de la cirugía robótica". UI Health. Accedido el 7 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible: <https://hospital.uillinois.edu/es/primary-and-specialty-care/servicios-quirurgicos/programa-de-cirugia-robotica/beneficios-de-la-cirugia-robotica#:~:text=Las%20herramientas%20quirúrgicas%20que%20se,la%20cirugía%20y%20menos%20cicatrices>

[3] C. Galvani and S. Horgan, "Robots en cirugía general: presente y futuro," Cirugía Española, vol. 78, no. 3, pp. 138-147, 2005, doi: 10.1016/S0009-739X(05)70907-6.

[4] T. Wang, H. Li, T. Pu, and L. Yang, "Microsurgery robots: applications, design, and development," *Sensors*, vol. 23, no. 20, Art. no. 8503, Oct. 2023, doi: 10.3390/s23208503.

[5] NeuroArm. "NeuroArm: A global first MRI-compatible image-guided robot for brain surgery". neuroArm. Accedido el 12 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible: <https://neuroarm.org/>

[6] T. Lin, Q. Xie, T. Peng, X. Zhao, and D. Chen, "The role of robotic surgery in neurological cases: A systematic review on brain and spine applications," *Heliyon*, vol. 9, no. 12, Art. no. e22523, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e22523.