

SISTEMA DE MANIPULACION DE ROBOTS QUIRÚRGICOS MEDIANTE GESTOS.



HERMES FABIAN VARGAS ROSERO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES.

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.

GRUPO DE AUTOMÁTICA INDUSTRIAL.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ROBÓTICA MÉDICA.

POPAYÁN, 8 DE DICIEMBRE DE 2015.

SISTEMA DE MANIPULACION DE ROBOTS QUIRÚRGICOS MEDIANTE GESTOS.



**Monografía para optar por el título de:
Magister en Automática Industrial.**

HERMES FABIAN VARGAS ROSERO

Director:

PhD. Oscar Andrés Vivas Albán

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES.

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.

GRUPO DE AUTOMÁTICA INDUSTRIAL.

POPAYÁN, 8 DE DICIEMBRE DE 2015

AGRADECIMIENTOS.

Le agradezco a Dios por todas sus promesas, por su guía, su fortaleza, y su propósito en mi vida.

A mi esposa Alexandra por permitirme compartir su vida, por todo su amor, su apoyo incondicional, y por ayudarme a creer que con trabajo y Fe todo es posible.

A mis padres, hermanos y sobrinos, por permitirme hacer parte de una bella familia.

Le agradezco al ing. Karin Correa por su apoyo durante el posgrado.

Al ingeniero Oscar Vivas, por su orientación para alcanzar esta meta.

Salmos 32:8

El Señor dice:

*Yo te instruiré,
yo te mostraré el camino que debes seguir;
yo te daré consejos y velaré por ti.*

RESUMEN.

Utilizar robots en procedimientos quirúrgicos ha demostrado que brinda la seguridad y eficiencia requerida para intervenciones normales o complejas, tal como lo corroboran múltiples estudios e innumerables operaciones realizadas por los robots aceptados en la FDA tal como el Sistema Da Vinci. Esta técnica además de ofrecer todas las ventajas de la cirugía mínimamente invasiva, provee mayor precisión y escalado del movimiento, con lo cual se pueden realizar procedimientos muy complejos dado que los instrumentos son articulados y permiten realizar maniobras que no son posibles con laparoscopia convencional.

Los robots quirúrgicos son teledirigidos o guiados por el cirujano mediante mandos de tipo joystick, que le permiten orientar y operar el instrumental. En el presente trabajo se desarrolla una alternativa para su manejo al utilizar gestos o movimientos de las manos para manipularlos. Los robots utilizados son Lapbot e Hibou, producto de varios trabajos del grupo de investigación en Automática Industrial de la Universidad del Cauca. La aplicación se implementó en un prototipo de simulador quirúrgico que ofrece un entorno 3D en el que se logró modelar y probar los algoritmos de operación permitiendo acciones como trasladar el órgano terminal del robot, abrir y cerrar pinzas, colocar clips, realizar cortes y orientación del instrumental, las cuales son necesarias para efectuar un procedimiento quirúrgico. En el simulador se implementó un protocolo para la ejecución de una colecistectomía con los pasos básicos que componen esta cirugía. Este enfoque promete mejorar la experiencia y usabilidad de los cirujanos.

Palabras clave: Interface natural, robótica quirúrgica, control por gestos, tele cirugía.

ABSTRACT.

Using robots in surgical procedures has shown that provides the security and efficiency required for normal or complex interventions and as corroborates several studies and countless operations performed by robots accepted by the FDA as the Da Vinci system. This technique as well as offering all the benefits of minimally invasive surgery provides greater precision scaling of motion, moreover can be performed very complex procedures, since the instruments are articulated and allow movements that are not possible with conventional laparoscopy .

Surgical robots they are controlled remotely or guided by the surgeon using joystick type controls, which allow you to target and operate the instruments. In this paper an alternative for handling takes place, using gestures and hand movements to directing. The robots used are Lapbot and Hibou, a product of several investigations of the research group in Industrial Automation at the University of Cauca, the application was implemented in a prototype surgical simulator provides a 3D environment in which it was possible to model and test algorithms operation, allowing actions such as moving the body of the robot terminal, blink tweezers, place clip, make cuts and orientation of instruments, which are necessary to perform a surgical procedure. In the simulator a protocol for performing a cholecystectomy, with the basic steps that make this surgery was implemented. This approach promises to improve the experience and usability of surgeons.

Keywords: Natural Interface, surgical robotics, gesture control, tele surgery.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 Justificación.....	13
1.2 Hipótesis.....	14
1.3 Objetivos.....	14
2. MARCO DE REFERENCIA.....	15
2.1 Reconocimiento de gestos.....	16
2.1.1 Modelo oculto de markov, HMM.....	19
2.1.2 Máquina de soporte de vectores.....	20
2.1.3 Manipulación mediante gestos.....	20
2.2 Interfaces naturales de usuario (INU).....	22
2.2.1 Metáforas de interacción.....	23
2.2.2 Dispositivos INU.....	23
2.3 Trabajos relacionados.....	26
2.4 Colectomía.....	31
2.4.1 Fases de la cirugía.....	32
2.5 Robótica quirúrgica.....	35
2.5.1 Robot Da Vinci.....	35
2.5.2 Robots quirúrgicos Lapbot e Hibou.....	36
<i>Robot quirúrgico para cirugía laparoscópica LapBot.....</i>	<i>37</i>
2.5.3 Controles de robótica quirúrgica.....	38
2.6 Simuladores quirúrgicos.....	39
2.6.1 Simuladores híbridos.....	40
2.6.1.1 Sistema CAE PROMIS.....	41
2.6.2 Simulador quirúrgico de la Universidad del Cauca.....	44
2.7 Usabilidad.....	45
2.8 Experiencia de usuario.....	46
3. SISTEMA DE MANIPULACIÓN DE ROBOT QUIRÚRGICO G4SR.....	47
3.1 Descripción.....	47
3.2 Área para el procedimiento.....	52

3.3	Eliminación de temblor de las manos.....	53
3.4	Abrir o cerrar pinzas.....	54
3.5	Posicionamiento de la cámara.....	55
3.6	Restricciones.....	55
3.7	Protocolo para la ejecución de colecistectomía.....	55
3.7.1	Procedimiento utilizando Joystick.....	59
4.	RESULTADOS.....	61
4.1	Tiempo utilizado en el ejercicio.....	62
4.2	Resultados obtenidos en el cuestionario.....	63
4.2.1	Pregunta 1: ¿Cuál opción es intuitiva, fácil de entender y utilizar?.....	65
4.2.2	Pregunta 2: ¿Qué opción se recuerda fácilmente?.....	66
4.2.3	Pregunta 3. ¿Cuál interface es más agradable y confortable?.....	67
4.2.4	Pregunta 4. ¿Qué interface permite mayor velocidad y precisión?.....	67
4.2.5	Pregunta 5. ¿Qué interface permite mayor fluidez y agilidad?.....	68
4.2.6	Pregunta 6. ¿Cuál interface es más divertida?.....	68
4.2.7	Pregunta 7. ¿Cuál interface causó frustración?.....	69
5.	DISCUSION.....	70
6.	CONCLUSIONES.....	72
6.1	Trabajos futuros.....	73
7.	REFERENCIAS.....	74
	ANEXO A: Cuestionario.....	80
	ANEXO B. Manual de usuario.....	81

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1 . Contexto conceptual del trabajo.....	16
Figura 2. Estados de un modelo de Markov.....	19
Figura 3. Kinect de Microsoft.	24
Figura 4. Leap Motion.....	25
Figura 5. Espacio observable del Leap Motion.....	25
Figura 6. Sistema Gestix.....	27
Figura 7. Asistente quirúrgico controlado por gestos.....	28
Figura 8. Sistema ADORA.	28
Figura 9. Manipulación gestual del robot Taurus.....	29
Figura 10. Manipulación gestual de robot DaVinci.	29
Figura 11. Robot quirúrgico en película Final Fantasy, 2001.....	30
Figura 12. Posición de la vesícula [49], y triángulo de calot [50].	31
Figura 13. Trocar quirúrgico.....	32
Figura 14. Colecistectomía a) por laparoscopia, b) abierta.	32
Figura 15. Exposición del conducto y arteria císticos.	33
Figura 16. Disección del conducto y arteria císticos.....	33
Figura 17. Sección del conducto y arteria císticos.	34
Figura 18. Disección de la vesícula del lecho hepático.	34
Figura 19. Robot Da Vinci.....	36
Figura 20. Estructura cinemática del robot LapBot.....	37
Figura 21. Estructura cinemática del robot Hibou.....	38
Figura 22. Controles de robots quirúrgicos.	39
Figura 23. Simulador Promis.....	41
Figura 24. Simulador VIST-Lab.....	42
Figura 25. Simulador Lap Mentor.....	42
Figura 26. Simulador Ultrasimmed sim.	43
Figura 27. Simulación de cirugía laparoscópica en SOFA.	43
Figura 28. Prototipo de simulador quirúrgico.....	44
Figura 29. Arquitectura de la aplicación.	47
Figura 30. Simulador G4SR.	48
Figura 31. Vista interna.....	49
Figura 32. Ventana externa y posición para selección de herramienta.	50
Figura 33. a) Poliedro irregular b) cuerpo redondo [70].....	53
Figura 34. Posición correcta de los dedos para abrir y cerrar pinza.	54
Figura 35. Posición para abrir o cerrar las pinzas.	54
Figura 36. Posicionamiento de la cámara interna.	55
Figura 37. Etapa uno sobre el triángulo de Calot.	57
Figura 38. Conductos expuestos.....	57
Figura 39. Ubicación exacta de los clips.	58
Figura 40. Corte de los conductos.	58

Figura 41. Extracción de la vesícula.	59
Figura 42. Botones para el uso del Joystick en el procedimiento.	60
Figura 43. Tiempo utilizado para realizar el ejercicio.....	63
Figura 44. Resultados del cuestionario para todos los participantes.	64
Figura 45. Resultados del cuestionario de estudiantes de especialización de cirugía.	65
Figura 46. ¿Cuál opción es intuitiva, fácil de entender y utilizar?	66
Figura 47. ¿Qué opción se recuerda fácilmente?.....	66
Figura 48. ¿Cuál interface es más agradable y confortable?	67
Figura 49. ¿Qué interface permite mayor velocidad y precisión?	68
Figura 50. ¿Qué interface permite mayor fluidez y agilidad?.....	68
Figura 51. ¿Cuál interface es más divertida?	69
Figura 52. ¿Cuál interface causó frustración?.....	69

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Técnicas de detección.	17
Tabla 2. Algunas técnicas de reconocimiento.	18
Tabla 3. Posibles ejercicios en un simulador	45
Tabla 4. Atributos de la usabilidad.	45
Tabla 5. Opciones de la interfaz gráfica.	48
Tabla 6. Eventos del sistema	51
Tabla 7. Parámetros de las pruebas realizadas.	61
Tabla 8. Definición de cada pregunta del cuestionario	64

INTRODUCCIÓN.

La cirugía laparoscópica es una técnica quirúrgica que ha tenido un gran desarrollo en las últimas décadas. Actualmente muchas cirugías son ejecutadas mediante esta técnica debido a las ventajas que ofrece respecto a la cirugía abierta, tales como: menor dolor, menor tamaño de la incisión, mejor cicatrización, menor tiempo de recuperación, menor tiempo de incapacidad laboral del paciente, y por ende reducción de costos hospitalarios. Sin embargo, presenta algunas limitaciones tales como la pérdida de la sensación táctil y de profundidad para el cirujano, lo cual le puede ocasionar fatiga y temblor en sus brazos. Por otra parte ocasiona que el movimiento de los instrumentos sea invertido, alterando la coordinación entre la mano y el ojo [1].

Las desventajas encontradas en la laparoscopia son superadas en buena parte mediante el uso de robots quirúrgicos en lugar de la manipulación directa por parte del cirujano. Con la cirugía robótica se pueden realizar procedimientos complejos gracias al mayor número de grados de libertad disponibles en el robot, adicionalmente el cirujano está sentado junto a la consola de mando en un ambiente cómodo especialmente propicio en procedimientos extensos. Lastimosamente la cirugía robótica no ha tenido la incursión esperada debido principalmente al alto costo de estos equipos y a la necesidad de entrenamiento específico por parte del cirujano.

Convencionalmente el control de robots quirúrgicos se realiza mediante interfaces de tipo Joystick, que consisten en dispositivos de control mecánico para interactuar en espacios de tres dimensiones con los cuales se desarrollan tareas como traslación y rotación de instrumentos, algunos de ellos ofrecen realimentación de fuerza [2]. Estos mecanismos son buenos mecanismos para la tele operación pero presentan el inconveniente de limitar los movimientos por la estructura del dispositivo. Por otra parte, utilizar interfaces naturales para interactuar con aplicaciones es un enfoque con gran acogida. Entre estas técnicas se cuenta con la interacción mediante la voz, gestos corporales o manuales, señales cerebrales etc [3].

En general las técnicas de cirugía mínimamente invasivas se caracterizan por el largo periodo de adiestramiento, especialmente en la laparoscopia convencional, en la cual se requieren habilidades especiales para la coordinación adecuada de los movimientos. Con este propósito se utilizan entornos de simulación que consisten en aplicaciones informáticas de realidad virtual donde se realiza el entrenamiento de cada uno de los procedimientos, con la gran ventaja que el aprendiz puede practicar en el tiempo que se adecue a su horario y durante el periodo que desee.

Considerando el anterior planteamiento presentado, se desarrolló un simulador que permite probar la manipulación de robots quirúrgicos virtuales mediante gestos, dicho sistema cuenta con dos robots, un paciente e instrumentos básicos. El prototipo desarrollado fue probado por varios usuarios quienes valoraron la ejecución de un procedimiento de colecistectomía.

El presente documento está dividido en cuatro partes. El capítulo uno contiene el planteamiento del problema que motivó este trabajo, la hipótesis y los objetivos propuestos. En el capítulo dos se encuentra el marco de referencia con las temáticas que se abordarán para que el lector contextualice los conceptos, tales como: interface natural

de usuario, robótica quirúrgica, simuladores de entrenamiento quirúrgico, y algunos trabajos relacionados, afines a la interacción mediante gestos en el ámbito de la medicina. Finalmente se describe el procedimiento de colecistectomía, el significado de usabilidad y experiencia de usuario. En el capítulo tres se encontrará el prototipo desarrollado para la validación de los objetivos, el cual consiste en una aplicación informática donde se manipulan los robots para realizar un procedimiento quirúrgico virtual, por lo tanto se describe la arquitectura, el modo de funcionamiento y la ejecución del protocolo de una colecistectomía. En el cuarto capítulo se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas con la aplicación, en las que participaron estudiantes de ingeniería y de especialización en cirugía de la Universidad del Cauca, que ejecutaron las tareas planteadas y respondieron un cuestionario diseñado para abstraer su punto de vista, en torno a la facilidad de utilizar interfaces naturales. Finalmente, el capítulo cinco presenta las observaciones y conclusiones que arrojaron los resultados encontrados.

Nota: El termino manipulación hace referencia al manejo, conducción o control del robot y manipulación mediante gestos en el contexto del trabajo es tele operar un dispositivo ya sea con la posición de las manos o las formas que ellas describan.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La cirugía es un campo en el que se adelantan muchas investigaciones con el propósito de mejorar los resultados de los procedimientos actuales [4]. Una de las líneas de trabajo es la cirugía mínimamente invasiva (CIM) que consiste en la realización de cirugías mediante la inserción de pinzas y una cámara en la región donde se desea realizar la intervención, llenando dicha cavidad con dióxido de carbono con el fin de separar los órganos y permitir el movimiento del instrumental [5], brindando ventajas respecto de los procedimientos quirúrgicos convencionales tales como: menor traumatismo en el paciente, menor riesgo de afección de órganos adyacentes o tejidos sanos, disminución del dolor pos-operatorio, menor riesgo de hemorragias y menor tiempo de recuperación. El avance de CIM incluye la utilización de robots en lo que se ha denominado cirugía robótica mínimamente invasiva CRMI, en la cual un brazo robótico es dirigido a voluntad del cirujano desde una consola de mando, evitando inconvenientes como la fatiga por procedimientos prolongados, temblor en la mano del cirujano y precisión en los movimientos [6], entre otros. La CRMI tiene buena aceptación tal como lo indica el incremento de su uso en los últimos años.

En general los sistemas de robot quirúrgicos son manipulados mediante controles hápticos¹ o mandos guiados por el cirujano, lo cual demanda de extenso periodo de entrenamiento para lograr las destrezas necesarias para labores tan delicadas como una cirugía [7]. Tecnologías de reciente aparición en los sistemas de interacción humano – computador, posibilitan que los mecanismos de control de robots puedan ser reemplazados por gestos ejecutados en las extremidades del cirujano como las manos o dedos, con el propósito de realizar un trabajo más simple y cómodo.

Los dispositivos de interacción natural concebidos inicialmente para videojuegos son herramientas atractivas para otros tipos de usos, entre los que se destacan aplicaciones médicas, como interacción con imágenes diagnósticas [8].

Con esta intención se propone como proyecto de grado el desarrollo de un sistema de detección de gestos para la manipulación de robots quirúrgicos en un ambiente virtual, con el propósito de establecer un mecanismo de operación natural e intuitiva entre el cirujano y el robot.

1.1 Justificación.

La utilización de robots quirúrgicos en múltiples procedimientos será algo común en las próximas décadas. Al respecto existen diversos avances tanto comerciales como en prototipos, por esta razón en muchos centros de investigación académica e industrial se

¹ Dispositivos que proporcionan realimentación de fuerza al sujeto.

desarrollan nuevas técnicas, mecanismos o dispositivos que soportan y fortalecen esta novedosa tecnología. Debido al alto grado de confiabilidad que se requiere en dispositivos médicos, un tópico importante es la forma de interactuar con el robot para que el cirujano se enfoque totalmente en la tarea a ejecutar y no en la forma de manejar el equipo o instrumental.

1.2 Hipótesis.

Para la solución del problema planteado es necesaria la investigación en el ámbito del posicionamiento y manipulación del extremo del robot quirúrgico a través de gestos o secuencias de movimientos que permitan ejecutar un procedimiento, por este motivo se plantean la siguiente hipótesis:

Manipular un robot quirúrgico mediante gestos plantea una mejor forma de dirigir y ejecutar tareas que mediante interface mecánicas de tipo joystick.

El sistema propuesto utiliza un dispositivo llamado Leap Motion que detecta y entrega parámetros del movimiento y ubicación de las manos, con buena precisión y velocidad, dichos parámetros se utilizarán para establecer la traslación y orientación del órgano terminal del robot en el área de intervención, así mismo abrir o cerrar las pinzas, de tal manera que permita realizar procedimientos comunes en operaciones de laparoscopia, generando de esta forma un buen aporte al campo particular de la interacción del cirujano en robótica quirúrgica.

Este proyecto utiliza como plataforma el prototipo de simulador quirúrgico desarrollado por el grupo de Automática Industrial de la Universidad del Cauca adicionando complementos para mejorar el actual.

1.3 Objetivos.

General:

Diseñar un sistema de manipulación mediante gestos que permita mover robots virtuales de asistencia quirúrgica (Lapbot) en operaciones de laparoscopia.

Específicos:

- *Manipular mediante las coordenadas entregadas por un dispositivo Leap Motion dos robots asistentes quirúrgicos (robots Lapbot) en el prototipo del simulador quirúrgico desarrollado en la Universidad del Cauca.*
- *Implementar un procedimiento de gestos que sirva para realizar una operación de laparoscopia virtual (colecistectomía) donde se incluyan los pasos básicos de esta intervención.*
- *Evaluar la experiencia de usuario de la herramienta con estudiantes de cirugía e ingeniería.*

2. MARCO DE REFERENCIA.

En este capítulo se presentan los conceptos y definiciones relacionadas que contextualizan el proyecto, brindando las herramientas necesarias para su comprensión, el enfoque del proyecto es la Tele operación, la cual consiste en el manejo remoto de un dispositivo, de manera particular en el caso de los robots de varios grados de libertad, se requiere controlar distintas operaciones que posibilitan la ejecución de una tarea, los dispositivos comúnmente utilizados son artefactos mecánicos en los cuales se establece la posición en un espacio de tres dimensiones, pero con el desarrollo de técnicas como la visión artificial se abre nuevas posibilidades dado que mediante diversas técnicas son detectados posiciones particulares de las extremidades para que el cuerpo humano mismo sea la interfaz de control [9] [10].

La tele operación es comúnmente ejecutada con dispositivos tipo joystick, o artefactos mecánicos de varios grados de libertad como Razer Hydra, Omni Phanton, Joystick, Omega 7, Wimote, o guantes, mediante los cuales un usuario se puede desplazar y operar un objeto en un ambiente de 3D, lo cual permite múltiples aplicaciones que comprenden desde videojuegos hasta la operación de robots, [11] [12] [13] [14]. Un tópico a considerar es la transferencia adecuada de los parámetros a la aplicación debido a que pertenecen a sistemas coordenados distintos y se requiere de un mapeo adecuado que defina la transformación entre los planos.

En la Figura 1 se muestra un diagrama que enmarca el trabajo realizado en este proyecto, en primer lugar se utilizó un dispositivo que entrega parámetros como posiciones de las manos los cuales son utilizados para la tele operación de un robot virtual que define su comportamiento en respuesta a unas condiciones programadas en un simulador, el cual dispone de lo necesario para el establecer un protocolo de una cirugía virtual, y las correspondientes pruebas del mismo en cumplimiento de los objetivos planteados.

Las temáticas del presente capítulo son las siguientes: Tele operación, interfaces naturales de usuario (INU), dispositivos Inu (Leap Motion, Kinect), y algunos trabajos relacionados. Posteriormente se describen definiciones de colecistectomía, cirugía mínimamente invasiva, robótica quirúrgica y los controles usados en estos sistemas. Finalmente, se consideran algunos simuladores quirúrgicos, y los conceptos de usabilidad y experiencia de usuario.

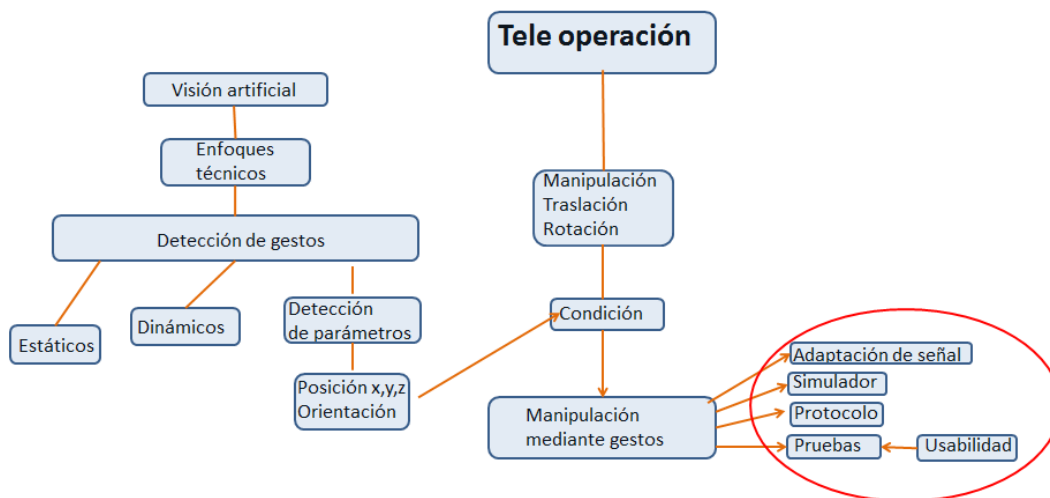


Figura 1 . Contexto conceptual del trabajo.

2.1 Reconocimiento de gestos

La manipulación gestual de aplicaciones es un campo en el cual se han aplicado algunas técnicas de aprendizaje automático donde un algoritmo le provee la capacidad a un sistema de interpretar adecuadamente las órdenes recibidas, algunos conceptos de esta área son los siguientes [15] :

Conjuntos de datos: definidos en conjuntos de entrenamiento que determinan los parámetros necesarios para establecer clasificadores y conjuntos de prueba con los cuales se establece la calidad del modelo, brindando la tasa de errores de detección de los parámetros pre configurados.

Modelo: también definido como clasificador, que define la relación entre los datos de entrada y sus respectivas respuestas, el objetivo es definir la clase del dato a partir de los parámetros presentes en el mismo como lo hacen los arboles de decisión, de la misma manera en lugar de clasificadores se puede establecer estimación o regresión donde un modelo debe tener la capacidad de predecir el valor de la clase de cada dato de entrada.

Aprendiz: es el procedimiento que define el modelo de entrenamiento para que el sistema mejore sus capacidades de detección.

Los algoritmos que utilizan esta técnica se agrupan en clases que definen su tipo de operación tales como algoritmo de aprendizaje supervisado, no supervisado, por refuerzo, transducción, multitarea [15]. El reconocimiento de gestos está dividido en dos secciones, la detección y el análisis.

Para la detección de parámetros existen diversas técnicas entre las cuales se encuentran las descritas en la Tabla 1.

Tabla 1. Técnicas de detección.

Tema	Descripción	Aplicaciones.
Reconocimiento por modelo 3d	Estimación por síntesis, alineación de plantilla de la forma esperada y reducción de la mínima diferencia, calculando la apariencia, y determinando la coincidencia o emparejamiento con formas volumétricas 3D.	<p>-Gesture Recognition Using 3D Appearance and Motion Features. Guangqi Ye, Jason J. Corso, Gregory D. Hager. 2004</p> <p>-3D Model Based Gesture Acquisition Using a Single Camera. Patrick Horain, Mayank Bomb.</p>
MHI o históricos de imagen en movimiento 2d.	Es una plantilla de la imagen estática donde la intensidad de cada pixel está en función de la sucesión de estados anteriores de la imagen, el reconocimiento se logra con funciones estadísticas.	<p>-A real time hand gesture recognition system using motion history image, Chen-Chiung Hsieh. 2010</p> <p>-Hand gesture recognition based on motion history images for a simple human-computer interaction system, Ivanna K Timotius. 2013</p>
Momentos geométricos (Zernike) o descomposición de valores propios.	Un momento es una proyección o una función que define la imagen sobre un polinomio característico.	<p>-Static hand gesture recognition using discriminative 2D Zernike moments, Aowal. 2014</p> <p>-A study on static hand gesture recognition using moments, Priyal, S.P.</p>
PCA análisis de componentes principales.	Es una técnica estadística para encontrar patrones en imágenes.	<p>-Hand Gesture Recognition Using PCA. Mandeep Kaur Ahuja, Dr. Amardeep Singh. 2015.</p> <p>-Recognition of Hand Gesture using PCA, Image Hu's Moment and SVM. Surve Pranjali, Prof. Ubale V.S. 2015</p>
Cámaras de tiempo de vuelo.ToF	Cámaras que emiten pulsos de luz y miden el tiempo que tarda en regresar, para determinar la distancia o forma de objetos.	<p>-Segmentación de movimiento a partir de la información de cámaras de tiempo de vuelo. Cristina Losada, Manuel Mazo, Sira Palazuelos, David Jiménez.2012</p> <p>-Estudio de viabilidad para el reconocimiento de los gestos de la mano mediante una cámara de tiempo de vuelo. Mohamad-Salajh Marrawi Moarraw. 2011i</p> <p>-Gesture recognition with a time-of-flight camera. Eva Kollorz, Jochen Penne and Joachim Hornegger. 2008</p>
Cámara de profundidad.	un proyector infrarrojo emite una malla cuya deformación observada depende de la distancia de cada objeto.	<p>-Robust Hand Gesture Recognition Based on FingerEarth Mover's Distance with a Commodity Depth Camera, Zhou Ren Junsong Yuan, 2011.</p> <p>-Hand Gesture Recognition with Depth Data, Fabio Dominio, Mauro Donadeo, Giulio Marin</p> <p>-Multi-sensor System for Driver's Hand-Gesture Recognition, Pavlo Molchanov, Shalini Gupta, Kihwan Kim, Kari Pulli, 2014</p>
Cámara estero.	Cámaras de dos lentes separadas, para imitar la visión humana.	<p>-Two Hand Gesture Recognition Using Stereo Camera, Rustam Rakhimov Igorevich, Pusik Park, Jongchan Choi, and Dugki Min. 2013</p> <p>-Real time Hand Gesture Recognition using a Range Camera, Zhi Li, Ray Jarvis 2009</p>
Histogramas de gradientes orientados, HOG	Consiste en múltiples subdivisiones traslapadas de una imagen, en las cuales se calcula la magnitud y orientación de los gradientes de cada pixel, para obtener un histograma y el vector de características de la imagen.	<p>-Hand Gesture Recognition using Histogram of Oriented Gradients and Partial Least Squares Regression, Arindam Misra, Abe Takashi, Takayuki Okatani, Koichiro Deguchi. 2011</p> <p>-Hand gesture recognition based on improved histograms of oriented gradients. Lan Tiantian. 2015</p>

Para el análisis de los gestos la técnica depende del tipo de gesto, si es estático o dinámico, en éste último se requiere establecer tres estados, preparación o reposo, núcleo donde define la forma o cualidades encontradas, y la retracción para volver a reposo o espera. Las técnicas se enfocan en establecer sistemas inteligentes o algoritmos que estimen la correspondencia con secuencias definidas para determinar el gesto encontrado, algunas de ellas se describen en la Tabla 2 .

Tabla 2. Algunas técnicas de reconocimiento.

Tema	Aplicación
Modelo oculto de markov HMM,	- Dynamic Arm Gesture Recognition Using Spherical Angle Features and Hidden Markov Models. Hyesuk Kim, Incheol Kim.2015 - The Hidden Markov Model of Teleoperation System's Transmission Net. Guodong LI, Han LUO. 2013 - Robot Language Learning, Generation, and Comprehension. Daniel Barrett, Scott Bronikowski, Haonan Yu, Jeffrey Siskind. 2015 - Improving Multi-Robot Teleoperation by Inferring Operator Distraction. Bennie Lewis, Bulent Tastan,Gita Sukthankar. 2010 - Human motion intention based scaled teleoperation for orientation assistance in preshaping for grasping. Khokar, K.H. 2013
Máquinas de vectores de soporte (SVM)	- Drive-by-Wireless Teleoperation with Network QoS Adaptation. Zeashan Khan, Jean Thiriet, Denis Catalot. 2011 - Brain Tissue Model Classification for Telesurgery Navigation. Suárez B. Marco, Cifuentes G. Carlos, Suárez B. Juan, Salinas V. Kathleen. 2015
Patrones de deformación dinámica del tiempo DTW	- Gesture-based robot's long-range navigation. Mo Li.2012 - Multi-Dimensional Dynamic Time Warping for Gesture Recognition. G.A. Holta, M.J. Reindersa. E.A. Hendriksa.
Mapa auto-organizado PSOM	- The PSOM Algorithm and Applications Jorg Walter Claudia Nolker Helge Ritter
Árbol de decisión	- Decision-tree-based algorithm for 3D sign classification. Dengfeng Yao. 2014
Algoritmos genéticos	- Comparison QFT Controller Based on Genetic Algorithm with MIMO Fuzzy Approach in a Robot. Ali Akbar Akbari. 2011
FSM máquina de estado finito	- A hand gesture recognition technique for human-computer interaction. Nurettin Çağrı Kılıboz, Ugur Güdükbay. 2015
Conjuntos difusos	- Cybi: A Smart Companion Robot for Elderly People: Improving Teleoperation and Telepresence Skills by Combining Cloud Computing Technologies and Fuzzy Logic. Pavon-Pulido, N. 2015 - Intelligent Control System Design for a Teleoperated Endoscopic Surgical Robot. A. Khalifa, A. Ramadan. 2015
redes neuronales artificial TDNN	- Static Hand Gesture Recognition Using Artificial Neural Network. Trong-Nguyen Nguyen, Huu-Hung Huynh. 2013 - Neural Network based Hand Gesture Recognition. Sujeet D.Gawande, Nitin .R. Chopde. 2013
Perceptores multicapa MLP	- Reconocimiento de Gestos de Manos como Mecanismo de Interaccion Humano-Computador. Diana Garcia. 2014
Red de funciones de base radial RBFN	- Reconocimiento óptico de números escritos a mano usando funciones de base radial y sistema memético diferencial . oscar piragauta, omar bello, bryan montes. 2014
Descriptores de fourier modificados MFD	- Sistema traductor de la lengua de señas colombiana a texto basado en FPGA. Juan Guerrero, Wilson Pérez. 2014
Distancia hausdorff	- A Gesture Recognition Algorithm Using Hausdorff-Like Distance Template Matching Based on the Main Direction of Gesture. X. W. Yang, Z. Q. Feng, Z. Z. Huang. 2015
Clasificador bayesiano, clasificador del vecino mas proximo, k-vacinos, K-means	- Using a naïve Bayes classifier based on k-nearest neighbors with distance weighting for static hand-gesture recognition in a human-robot dialog system. Pujan Ziaie , Thomas Müller , Mary Ellen Foster , Alois Knoll. 2008
Viola-Jones	- Real-Time Hand Tracking and Gesture Recognition Using Semantic-Probabilistic Network. Kovalenko, M. 2014

2.1.1 Modelo oculto de markov, HMM.

Describe una secuencia de estados de un sistema, en conjunto con las transiciones posibles de los mismos, con la característica que el estado actual no es visible a menos que se cuenten con los parámetros que lo definen. Esta técnica es ampliamente utilizada para el reconocimiento de patrones, como por ejemplo la voz, y detección de estructuras biológicas [16].

Un modelo oculto de markov está definido por una matriz **A**, o probabilidades de transición entre estados, una matriz **B** o matriz de probabilidad de las salidas, **y** el vector π , o distribución inicial de los estados, denotados de la siguiente manera $\lambda = (\mathbf{A}, \mathbf{B}, \boldsymbol{\pi})$, dicha función describe el comportamiento o la evolución de un proceso

Comúnmente un sistema de clasificación con HMM utiliza el criterio de máxima verosimilitud, el cual consiste en que a una secuencia desconocida **O** se le asigne a la muestra que posea la máxima verosimilitud $P(\mathbf{O}/\lambda)$, para esto se requiere el entrenamiento de L clases o tipos de muestras a encontrar, pero este proceso no se realiza uno a uno, en su lugar se entrena un modelo por cada secuencia **O**.

Existen numerosos trabajos que utilizan este enfoque para la detección de gestos principalmente en la manipulación de aplicaciones, la Figura 2 muestra el modelo utilizado en el trabajo desarrollado por Medrano y otros, donde utilizaron un kinect para con una aplicación que respondía a ordenes como acercar, parar, derecha, izquierda, ellos encontraron que con esta técnica se alcanza un porcentaje de efectividad del 98.3% [17]

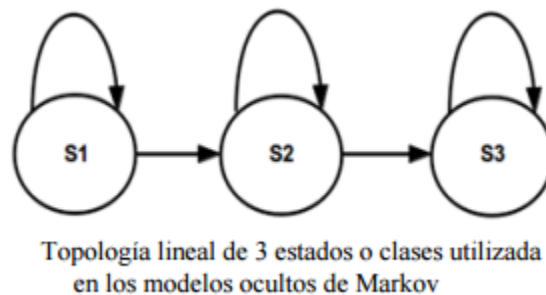


Figura 2. Estados de un modelo de Markov [17].

2.1.2 Máquina de soporte de vectores.

SVM (support vector machine) diseñado por vapnik [18], como un sistema de aprendizaje estadístico o de interrelaciones funcionales a partir de grupos de datos, también se define como un mecanismo de aprendizaje supervisado, que permite el conocimiento del tipo de salidas que se obtienen mediante determinadas entradas. Para cuantificar la veracidad del modelo se utiliza la técnica de minimización de riesgo estructural (SRM), los SVM son comúnmente utilizados en reconocimiento de firmas, rostros, textos entre otros [18] [19] [20]. Los SVM también son clasificadores lineales, que están diseñados para tareas de clasificación, agrupamiento y regresión, aplicadas en distintos campos tales como clasificación de estructuras biológicas, análisis de series, visión artificial, entre otras [21] .

2.1.3 Manipulación mediante gestos.

Los gestos se clasifican como estáticos o dinámicos, cuya principal diferencia está determinada por la forma de procesarlos [22]. Para los gestos estáticos se identifican patrones fijos, y en los gestos dinámicos se busca la correspondencia con secuencias definidas. Los dispositivos de captura de gestos entregan la información correspondiente a posición, orientación, rotación, forma, o secuencia de movimientos, y cada aplicación en particular establece la manera de distinguir e interpretar la funcionalidad o acción asignada. Por ejemplo al usar un ratón, presionando clic derecho se selecciona un objeto, y mediante un sistema con Kinect esta operación puede representarse con desplazamiento al frente, apertura o cierre de dedos, orientación de brazo, etc.

En el trabajo presentado por Nope y otros en la Universidad del Valle [23], se extraen las primitivas del movimiento para generar un modelo que permita la programación de robots a través del paradigma de aprendizaje por imitación.

Hasanuzzamana y otros [24] establecen un modelo de entrenamiento y detección de gestos para controlar los movimientos o comportamientos de un robot, utilizando los gestos tanto de la cara como de las manos, los cuales son personalizados, interpretados y convertidos en órdenes gracias a la utilización de una plataforma software denominada SPAK (*Platform for Agent and Knowledge Management*).

Nickel y otros [25] plantean un sistema en tiempo real, basado en cámaras estéreo, que mediante un modelo probabilístico y redes neuronales, encuentran las trayectorias de la cabeza y manos.

Van Den Bergh y otros [26] establecen un modelo de detección de gestos para la interacción con el robot a través de un Kinect, básicamente detecta gestos de indicación de lugar que son interpretados por el sistema para orientar el movimiento.

Kumar y otros [27] presentan un enfoque para la detección de gestos de las manos mediante el uso de guantes especialmente diseñados para reconocer las posiciones de los dedos o gestos realizados con la mano calculando cada posición y ángulo, para luego compararlo con patrones preestablecidos mediante el uso de un clasificador de redes neuronales. Con este trabajo lograron realizar tareas como arrastre, giro, y movimiento además de escritura en el aire, y dibujo en 3D, la utilización de este sistema brinda una interacción natural con lo cual se incrementa la sensación de inmersión.

Murugesa y otros [28] utilizaron como parámetro de detección la segmentación del color de la piel de las manos junto con un sistema de reconocimiento basado en red neuronal para un sistema de reconocimiento de lenguaje de signos para sordos con una tasa de aciertos del 92.85%.

Lacolina y otros [29] desarrollaron un sistema para la manipulación de objetos 3D, con acciones como desplazamiento y agarrar o soltar un objeto, mediante cámaras. Ellos encontraron que esta forma de manipulación facilita en gran medida la ejecución de las tareas.

En la investigación realizada por Staub y otros [30], hicieron un estudio comparativo donde evaluaron el tiempo necesario para activar una acción en la consola de control de un robot quirúrgico, encontrando que, al usar gestos el tiempo disminuye a menos de la mitad, en comparación con el sistema de menú convencional.

Los trabajos encontrados muestran técnicas factibles en la detección de gestos para manipulación de robots en tiempo real, pero en algunos su campo de acción son robots de propósito general. A diferencia de los enfoques descritos, en el presente proyecto se utiliza un dispositivo diseñado exclusivamente para capturar la posición y otros parámetros de las manos.

Estas técnicas se caracterizan por establecer una serie de etapas de acuerdo a la tecnología utilizada y la cantidad de parámetros que brinde, luego se realiza el análisis para determinar la proximidad de una secuencia ejecutada con una secuencia almacenada y que define un gestos, por lo tanto se infiere que el tiempo de procesamiento depende de la versatilidad del algoritmo utilizado, además de la calidad del sistema o porcentaje de error encontrados en la detección de cada gesto.

En el presente proyecto, un factor imperante es la ejecución en tiempo real, pero si se integra un sistema de reconocimiento robusto, podría disminuir dicho tiempo, es por este motivo que el mecanismo utiliza una técnica básica que consiste en la evaluación de determinadas condiciones como por ejemplo: cantidad de manos detectadas, dedos extendidos, y posición espacial. Un enfoque similar es realizado por Du y otros que utilizan un sistema de tele operación y manipulación de un brazo robótico mediante las posición de la mano captura con un kinect, ellos definen la distancia entre el dedo índice y pulgar como condición para habilitar o detener el movimiento del robot, y la orientación de la palma define la orientación del efector final [31].

Con la propuesta presentada en este documento se pretende complementar el proyecto principal del grupo de investigación en Automática de la universidad del Cauca Colombia en el cual se desea desarrollar un robot quirúrgico, para lo cual se estableció las siguientes áreas de trabajo: en primer lugar se desarrolla un quirófano virtual que cuenta con deformación de los tejidos, para la valoración del robot y entrenamiento de habilidades de laparoscopia. Por otra parte se busca desarrollar un prototipo funcional de los robots Hibou y Lapbot.

En este trabajo no se realiza procesamiento y reconocimiento de bajo nivel, debido a que el algoritmo utilizado se fundamenta en algunas características entregadas por el Leap Motion como posición de la palma y la punta de los dedos, ángulo de rotación de la palma de la mano, o cantidad de dedos extendidos, la librería de este artefacto no entrega un mapa de profundidad como es el caso otros dispositivos en su lugar dispone directamente de parámetros principales de las manos pero con mayor precisión.

2.2 Interfaces naturales de usuario (INU).

Las interfaces naturales de usuario son la evolución y complemento de las formas tradicionales de interacción tales como CLI (interface de líneas de comando), y GUI (interface de usuario gráfica), desarrollada especialmente para mejorar la experiencia, la usabilidad y reducir la carga cognitiva. Una de las ventajas de utilizar INU es que un usuario nuevo puede adquirir pericia en la operación de una herramienta en muy poco tiempo, porque se fundamenta en interactuar de forma natural [32]. Las interfaces naturales consisten en el uso de características del cuerpo humano, tales como el movimiento de las manos o los brazos, además de la voz para la operación de aplicaciones.

La comunicación de las personas se complementa mediante la ejecución de movimientos en sus extremidades, en ocasiones un gesto por si solo contiene la información necesaria para brindar algún mensaje haciendo de éste un medio eficaz para interactuar. Un campo de investigación reciente es la utilización de gestos debido a que la interacción es más natural, intuitiva y amena [33] [34] que los sistemas de control convencional, además permite la *inmersión*, lo cual consiste en que la relación del usuario con la aplicación se percibe como si fuese una interacción real. De igual forma mejora y acelera el aprendizaje mediante la memoria kinestésica [35] [36]. Un aporte de este tipo de sistemas es que los usuarios se concentran más en el objetivo de la tarea que en la operación del mecanismo utilizado. En general este tipo de técnicas ofrece facilidad para aprender a utilizar alguna aplicación, reflejando una interacción parecida al mundo real [37] [38].

Cuando una interfaz utiliza la combinación de varios mecanismos de entrada tales como gestos del cuerpo sumado a comandos de voz y varios métodos de salida se denomina interfaz multimodal.

El uso de técnicas de interacción natural genera la necesidad de nuevos paradigmas², esto motivó la creación de la organización sin fines de lucro denominada OpenNI (*Open Natural Interaction*), que certifica y promueve la compatibilidad e interoperabilidad de dispositivos, aplicaciones y middleware (interconexión de aplicaciones) [39]. Esta organización provee un conjunto de APIs de código abierto denominado OpenNI framework, el cual tiene soporte para reconocimiento de voz, gestos y seguimiento de movimientos del cuerpo, que pretenden servir como estándar para el uso de dispositivos de interacción natural.

La manera de usar las interfaces naturales se enmarca en metáforas que se presentan a continuación.

2.2.1 Metáforas de interacción.

Con la aparición de los computadores se crearon los mecanismos para hacerlos accesibles a las personas, para lo cual se desarrollaron metáforas de interacción que consiste en implementar entornos familiares para la representación de operaciones complejas facilitando la comprensión y ejecución. De esta manera se desarrolló la metáfora del escritorio de Windows, donde se encuentran el blog de notas, calculadora, canasta de basura, carpeta de archivos, entre otras. Esto fue muy representativo para los usuarios que interpretaron las operaciones y funciones del sistema como el mundo real, donde se puede eliminar, mover, organizar en carpetas, etc.

La importancia del uso de las metáforas radica en que permiten facilitar y acelerar aprendizaje, brindan expectativas de utilidad, ofrecen representaciones análogas o conocidas, mejorando la concepción e inteligibilidad. En un principio estas metáforas se limitaron al ratón, teclado y pantalla, pero con la aparición de nuevos sistemas que permiten capturar expresiones corporales, es necesario implementar nuevas metáforas tales como el aeroplano que consiste en navegar por un espacio virtual de la misma manera en que lo hace un avión, simulando dicho movimiento con las manos o brazos. Estas metáforas son representaciones corporales, por lo tanto al utilizar una interface natural se deben respetar leyes socioculturales.

2.2.2 Dispositivos INU.

Los dispositivos de interacción humano computador son aquellos equipos hardware que permiten la comunicación entre el usuario y una aplicación. Por mucho tiempo el teclado, el ratón y el joystick, dominaron este campo, hasta la llegada de nuevos dispositivos inu, que se fundamentan principalmente en cámaras estéreo (que emula la visión del ser

² Un paradigma consiste en el conjunto de reglas o principios que defines como realizar una tarea.

humano) y cámaras de tiempo de vuelo, que determinan la distancia de un objeto midiendo el tiempo de retardo de un haz de luz emitido sobre él. Estos nuevos mecanismos hacen necesario replantear la forma en que convencionalmente se interactúa con aplicaciones informáticas, especialmente con aquellas que usan ambientes de tres dimensiones, por ejemplo con la aparición de dispositivos como el Kinect de Microsoft, se generó abundantes expectativas, no solo en el uso de video-juegos, sino también en aplicaciones educativas, industriales y médicas, etc.

2.2.2.1 Kinect.

Es un dispositivo desarrollado para interacción multimodal (ver Figura 3), con reconocimiento de gestos y de voz, utiliza una cámara de profundidad, que permite capturar los movimientos del usuario en tiempo real, además el sistema de procesamiento establece un rastreo del cuerpo definiendo articulaciones para el seguimiento de los gestos.

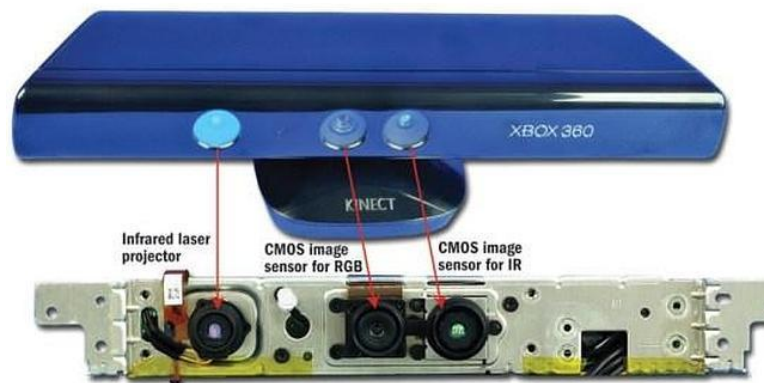


Figura 3. Kinect de Microsoft.

El Kinect está compuesto por una cámara de profundidad, cuatro micrófonos, y una cámara RGB, con lo cual se puede interactuar mediante gestos corporales o comandos de voz, adicionalmente cuenta con una base automática para ajustar el ángulo de posicionamiento para capturar la escena, la velocidad de captura es de 30 cps (*cuadros por segundo*). Debido a sus prestaciones es utilizado para otras áreas además de juegos tales como la interacción con aplicaciones o con robots [40] [41].

En el trabajo Sirui y otros en la Universidad de Auckland (Nueva Zelanda) realizaron un experimento de modelamiento de objetos 3D mediante interfaces naturales, ellos utilizaron un kinect para detectar las manos con lo cual modelan o esculpen objetos en un

ambiente virtual, los participantes también realizaron la misma tarea a través de mouse, en los resultados encontraron que las tareas se ejecutan más rápido con interfaz natural [42].

2.2.2.2 Leap Motion.

El Leap Motion es un pequeño dispositivo que salió al mercado en julio de 2013 (ver Figura 4), diseñado para realizar el seguimiento de las manos en tiempo real, sobre un espacio de tres dimensiones de 8 pies cúbicos. Aunque el fabricante no provee información suficiente sobre el algoritmo, el dispositivo se compone de tres leds infrarrojos de 850 nanómetros de longitud de onda, y dos cámaras separadas cuatro centímetros para formar un sistema de visión estéreo, con captura de 50 a 200 cuadros por segundo.

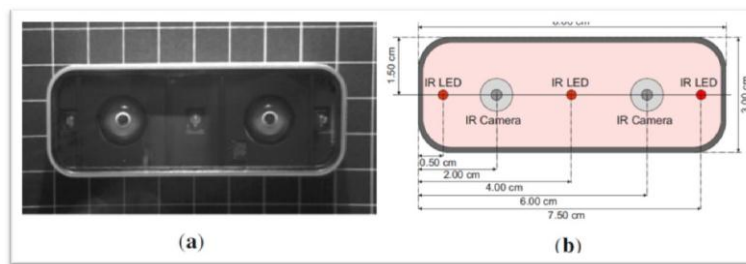


Figura 4. Leap Motion.

Este dispositivo posee una exactitud superior a tecnologías similares [43], brinda una precisión de 0.01 milímetros, además el fabricante provee de librerías en varios lenguajes, documentación y soporte de SDK (*software development kit*) [44].

El espacio de interacción es una pirámide invertida, donde la altura máxima de detección es de 60cm sobre el dispositivo (ver Figura 5).

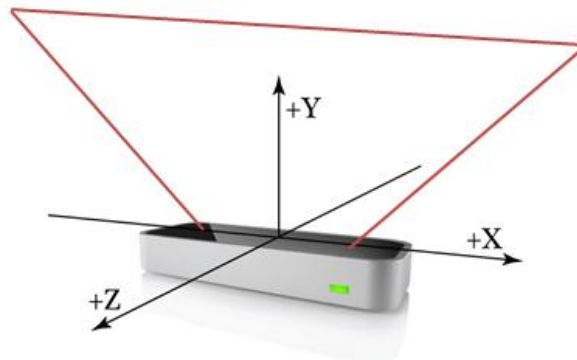


Figura 5. Espacio observable del Leap Motion.

La API suministrada por el fabricante provee soporte para varios lenguajes de programación y se compone de las siguientes clases principales:

Clase Frame: contiene toda la información capturada de manos, dedos, herramientas, posición, orientación, velocidad de movimiento, gestos entre otros.

Clase Hand y clase Finger: son las clases que el usuario utiliza para encontrar parámetros de importancia como: número de dedos extendidos, posición de la punta de cada dedo en el eje x, y, z, posición de la palma, orientación, etc.

Clase Gesture: entrega parámetros asociados a gestos tales como: desplazamiento lineal o circular detectados cuando se ejecuta un patrón específico predefinido.

Clase Config: permite establecer y conocer los parámetros de configuración del dispositivo.

Clase device: contiene la información de cada dispositivo conectado, su campo de visión, identificación, calibración etc.

Clase pointable: entrega las características detectadas de dedos y herramientas si estas son delgadas y largas.

Clase Controller: clase principal que aloja diversos métodos y clases, por ejemplo para conocer la posición de un dedo en particular se debe solicitar tal como lo muestra la siguiente línea de código.

```
px1=controller.frame().pointables().leftmost().tipPosition().x;  
py1=controller.frame().pointables().leftmost().tipPosition().y;  
pz1=controller.frame().pointables().leftmost().tipPosition().z;
```

Clase matriz: ofrece métodos para transformaciones requeridas tales como escala, o rotación.

2.3 Trabajos relacionados.

En el ámbito médico quirúrgico se requiere visualización de imágenes diagnósticas, para definir las acciones del procedimiento, convencionalmente esta tarea se realiza mediante teclado y mouse con lo cual se incrementa el tiempo y la posibilidad de contaminación por contacto, por este motivo algunas innovaciones buscan facilitar esta tarea manteniendo las condiciones de salubridad, disminuyendo el riesgo de contaminación.

Wachs y otros, desarrollaron un sistema de manipulación de imágenes radiológicas denominado "Gestix", (ver Figura 6) probado en una biopsia neurológica en vivo en el Hospital Central de Washington, el cual consiste en el reconocimiento y seguimiento de gestos de las manos, permitiendo al cirujano mantenerse enfocado y cerca del paciente, sin la necesidad desplazarse recurrentemente para tomar el teclado, mouse o pantalla táctil como se hace convencionalmente, conservando la esterilidad y disminuyendo el tiempo del procedimiento, los comandos que definieron para la manipulación fueron:

desplazamiento de la mano hacia arriba, hacia la abajo, hacia la izquierda, hacia la derecha, y rotación de la mano para el zoom de la imagen de forma similar a girar una perilla, para enviar el sistema a espera definieron como comando el dejar caer la mano y para activar de nuevo agitarla, al final del experimento los cirujanos respondieron un cuestionario de usabilidad en el que se encontró que el sistema Gestix es muy fácil de usar, con respuesta rápida, y especialmente se requiere poco tiempo para aprender a manejarlo correctamente, debido a la naturalidad y relación entre los comandos con las acciones [45]. Este proyecto se continúa desarrollando para mejorar la precisión y seguridad al usar interface natural y así reemplazar el teclado y ratón [46] .

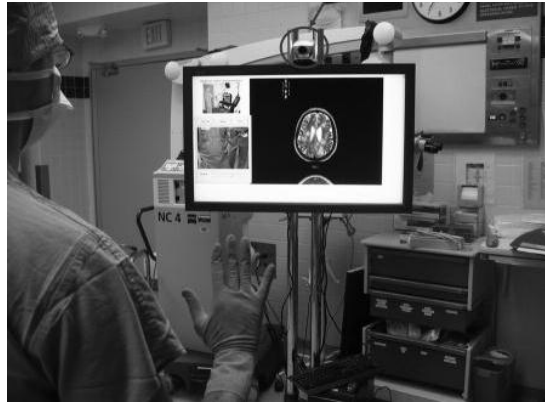


Figura 6. Sistema Gestix.

En la Universidad de Purdue, (West Lafayette, USA), desarrollaron un asistente robótico que suministra instrumentos durante una cirugía (ver Figura 7), el sistema consiste en usar un kinect para detectar las ordenes de comandos de voz o gestos de los brazos y manos, analizar la correspondencia de cada orden y entregar el instrumento solicitado. El robot utilizado es un FANUC LR Mate 200iC que posee un electroimán como terminal, con esta aplicación se pretende reducir los errores que comúnmente se presentan por ambigüedad de instrucciones, retrasos, o distracciones, además el personal se ocupa de labores más complicadas tales como la esterilidad del ambiente o el estado del paciente [47].



Figura 7. Asistente quirúrgico controlado por gestos.

ADORA es un novedoso sistema desarrollado en la universidad de Maribor, Eslovenia, (ver Figura 8) que le permite al cirujano acceder a información del paciente o visualizar imágenes durante una cirugía sin la necesidad de retirarse los guantes, agilizando el procedimiento, disminuyendo el tiempo que el paciente permanece con anestesia y el peligro de contaminación por contacto de mouse o teclado. Consiste en la detección de gestos y comandos de voz con un Kinect, sobre un aplicativo para gestión de información del paciente. Uno de los inconvenientes que tuvieron fue la selección del usuario dado que en el quirófano se encuentran varias personas, eso fue solucionado mediante comandos de voz para que el sistema solo reciba órdenes del usuario principal. En opinión de cirujanos usuarios del sistema en el Hospital Universitario de Maribor, la aplicación les permite trabajar sin interrupciones y concentrarse en el paciente [48] [49].



Figura 8. Sistema ADORA.

Zhou y otros en la Universidad de Purdue, Indiana (USA), realizaron un estudio comparativo de la manipulación de un robot quirúrgico, mediante interface Kinect y Leap Motion, junto a los dispositivos de control Omega, Hydra y teclado (ver Figura 9). En el experimento utilizaron un robot Taurus, donde la realimentación de fuerza para el kinect y el leap, la establecen mediante sonidos y señales gráficas. La tarea que ellos definen para probar las interfaces es en primer lugar ejecutar un corte sobre una trayectoria definida

manteniendo la profundidad y transferir un objeto pequeño entre los dos terminales del robot, ellos concluyeron que el error en el seguimiento de la trayectoria es menor usando Leap Motion, teclado y la interfaz Omega que con Kinect, en cuanto a mantener la profundidad el Kinect y teclado permiten un control más estable, finalmente respecto de la transferencia de objetos, Omega e Hydra requieren menos tiempo para completar la tarea que los demás [3]. En comparación con el enfoque propuesto en este documento, difiere en cuanto a que nosotros buscamos evaluar desde la perspectiva del usuario, el cual es uno de los muchos temas que se requieren investigar para que un sistema de interacción mediante gestos sea comercial, además en [3] no detallan manera de operación de las Inu, tales como la escala de movimiento, o implementación de filtros para movimientos rápidos que influyen considerablemente en el desempeño de la interfaz.

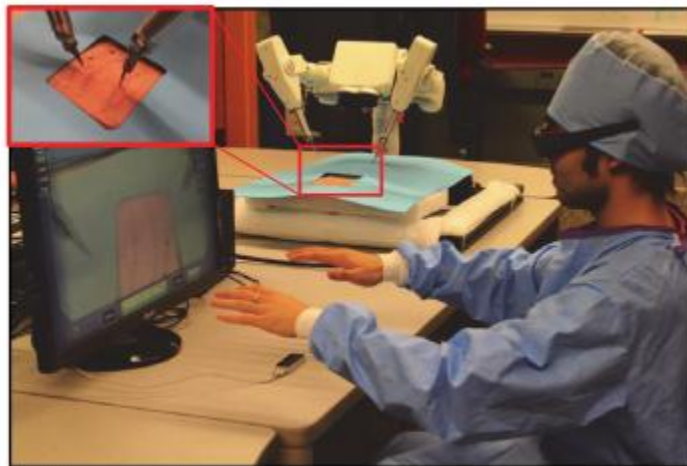


Figura 9. Manipulación gestual del robot Taurus

Padoy y Hager en la Universidad Johns Hopkins, Maryland USA, implementan la manipulación de un robot Da Vinci utilizando un Kinect que detecta la posición de las manos para trasladar y orientar el órgano terminal del robot, el cual consiste en una pinza que se abre cuando la mano derecha se extiende, o se cierra en el caso contrario. Aunque no reportan resultados de su trabajo brindan un video demostrativo donde realizan un procedimiento de sutura como se indica en la Figura 10.

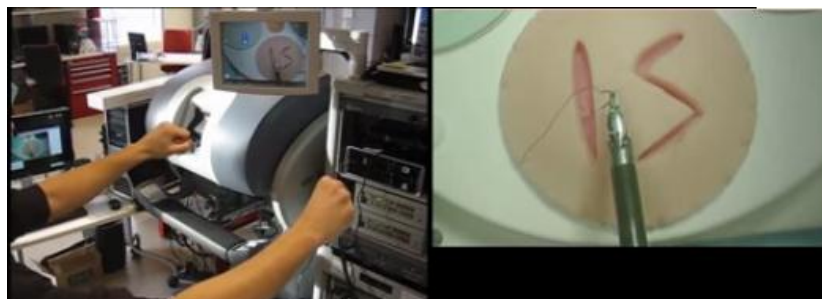


Figura 10. Manipulación gestual de robot DaVinci.

En el instituto Sheikh Zayed del Centro Médico Nacional Infantil de Washington, USA, Kim y otros [50] compararon la viabilidad técnica de usar gestos para la manipulación de un robot quirúrgico mediante Kinect-3gear³, con respecto de los mandos del robot Da Vinci y la interfaz Mantis Duo⁴. Una de las pruebas consistió en trasladar un objeto, en ella encontraron que al usar 3gear se requiere más tiempo que las otras dos interfaces, además respecto de las pruebas realizadas aunque los sistemas de manipulación tradicional superan a la interfaz natural, es una tecnología poco explorada y prometedora [7].

Algunos de las propuestas se conocieron en películas de ciencia ficción, y fueron creadas cuando la tecnología lo permitió como el robot quirúrgico mostrado en la película Final Fantasy de 2001, similar al sistema planteado en este trabajo (ver Figura 11).

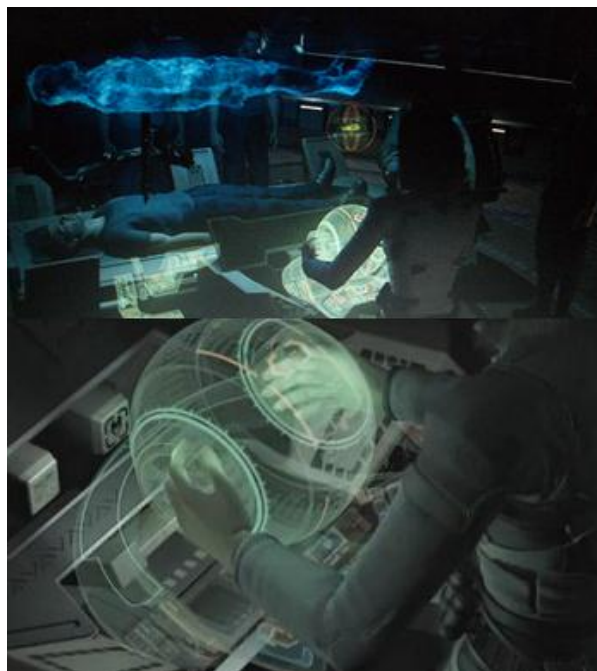


Figura 11. Robot quirúrgico en película Final Fantasy, 2001.

³ Kinect-3gear es un dispositivo que consta de 2 kinect para detectar la posición de las manos y los dedos para ambientes virtuales.

⁴ Mantis duo, es una interfaz de mando compuesta por un monitor y dos controles, que están conectados a varios cables con los cuales se determina su posición.

2.4 Colecistectomía.

Consiste en la extracción de la vesícula. Cuya función es suministrar la bilis que ayuda a digerir los alimentos especialmente la carne y las grasas, cuando dicho órgano se retira del paciente, su digestión se hace más lenta y pesada.

La ubicación de la vesícula es debajo del hígado como se muestra en la Figura 12 (izquierda). En la parte inferior ingresan el conducto cístico y arteria cística, formando el triángulo de Calot como se muestra en la Figura 12 (derecha).

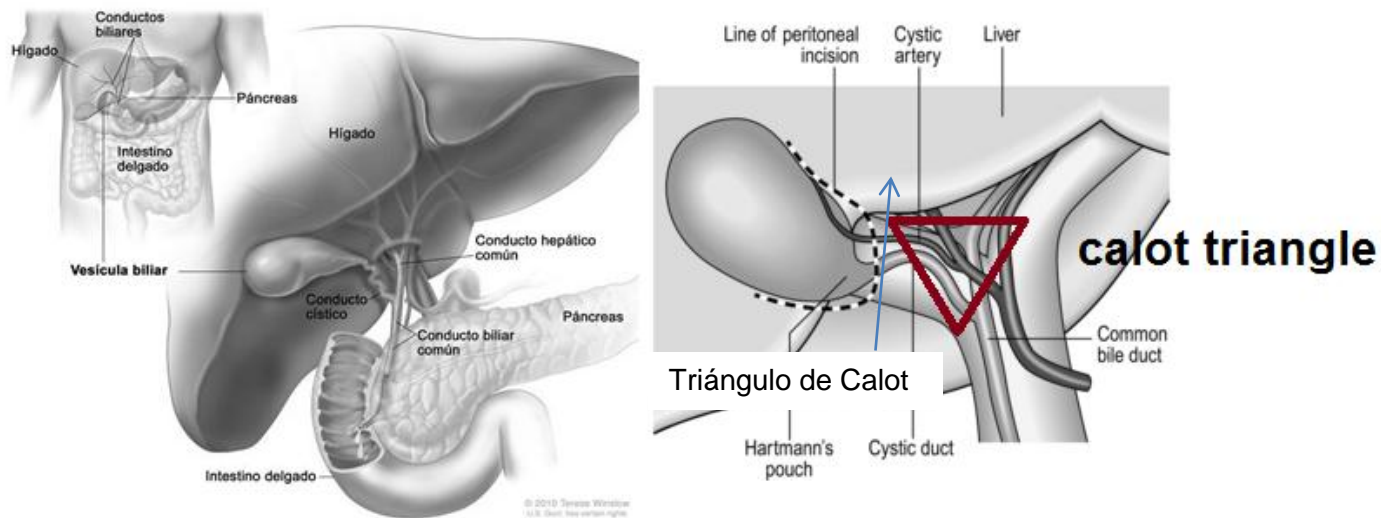


Figura 12. Posición de la vesícula [51], y triángulo de calot [52].

Debido a la naturaleza de la bilis, cuando no hay alimento en el duodeno en ocasiones se acumula y solidifica formando cálculos que producen un dolor intenso, en este caso, un procedimiento común es extraer la vesícula mediante una cirugía abierta, realizando una gran incisión para exponer el área e introducir el instrumental.

Los cálculos que se forman en el interior de la vesícula pueden tener diferente forma y tamaño, adicionalmente por la constitución de cada paciente algunos pueden presentar mayor cantidad de tejidos grasos que dificultan el procedimiento [53]. La opción alterna consiste en la técnica de laparoscopia, donde no es necesario grandes cortes. En su lugar mediante pequeños orificios se introduce un trocar (ver Figura 13) el cual es un instrumento hueco que posibilita el acceso del instrumental y endoscopio o cámara que a su vez permite ver en el interior del paciente.



Figura 13. Trocar quirúrgico.

En la Figura 14 se presenta una comparación entre cirugía abierta y laparoscópica, en la imagen de la izquierda el instrumento inferior es el endoscopio y los instrumentos anexos que pueden ser pinza, cauterizador, o bisturí. La cirugía robótica utiliza los mismos principios que la laparoscopia pero haciendo uso de robots guiados en lugar de la manipulación directa del cirujano [1].

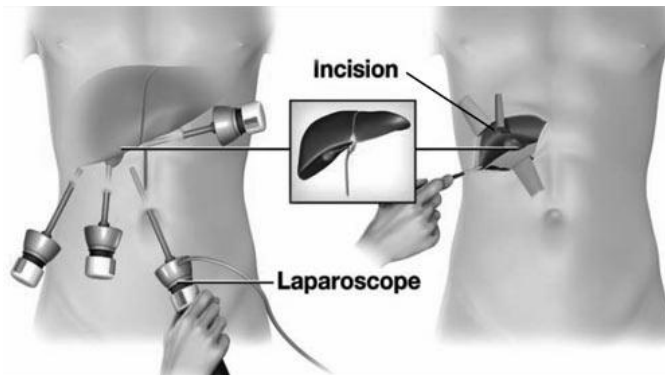


Figura 14. Colectomía a) por laparoscopia, b) abierta.

2.4.1 Fases de la cirugía.

El procedimiento de colecistectomía por laparoscopia se ejecuta en cinco fases, las cuales se describen a continuación:

Fase 1: Exposición del conducto y arteria císticos.

En primer lugar se levanta la vesícula y se hala mediante pinzas de retracción disponiéndola como se indica en la Figura 15 para facilitar las fases siguientes.

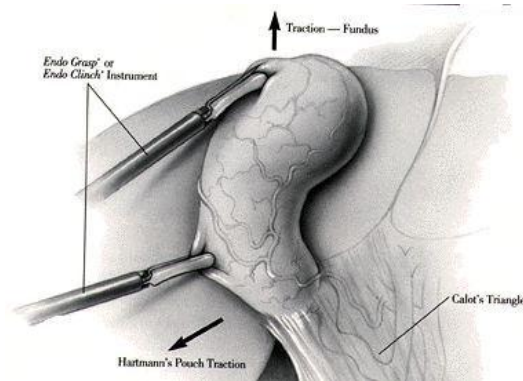


Figura 15. Exposición del conducto y arteria císticos.

Fase 2. Disección del conducto y arteria císticos.

El tejido que cubre el triángulo de Calot es una delicada capa de ligamentos que se rompe presionando sobre ella con las pinzas, haciendo movimientos de apertura y cierre hasta exponer los conductos como lo muestra la Figura 16.

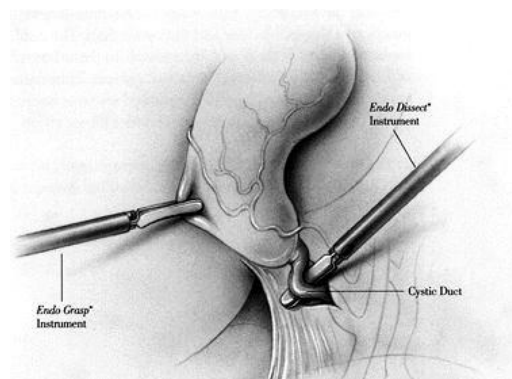


Figura 16. Disección del conducto y arteria císticos.

Fase 3: Sección del conducto y arteria císticos.

Luego de liberar los dos conductos que ingresan a la vesícula, se coloca clips o grapas para evitar derrames como lo presenta la Figura 17 izquierda, después se procede a cortar entre los clips con un electrocauterio mostrado en la Figura 17 derecha.

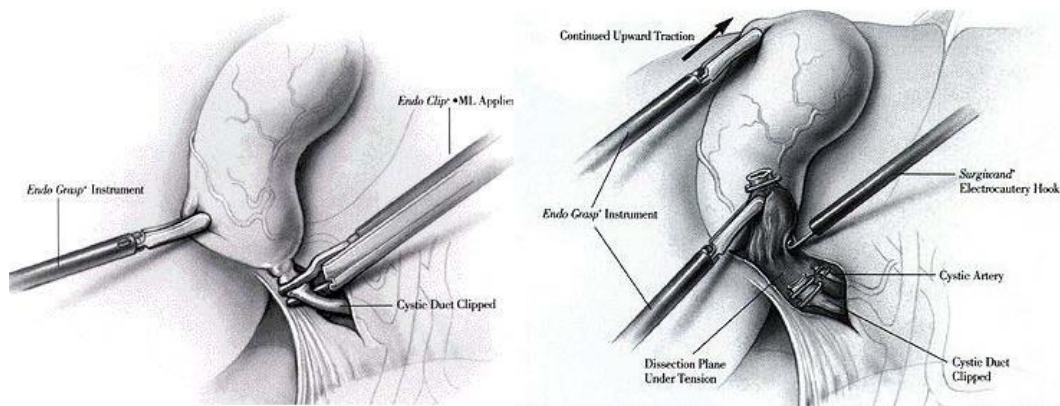


Figura 17. Sección del conducto y arteria císticos.

Fase 4. Disección de la vesícula del lecho hepático.

Finalizado el corte se separa la vesícula del lecho hepático, sosteniéndola mientras con el electrocauterio se diseccionan los ligamentos que la mantienen adherida al hígado como se muestra en la Figura 18.

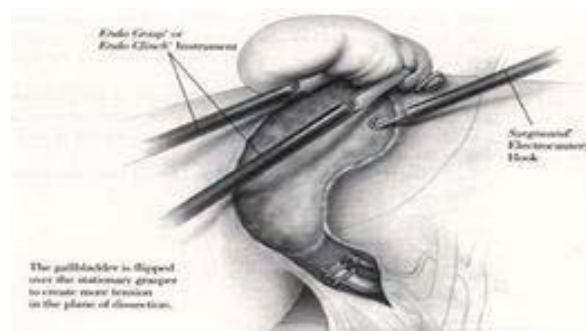


Figura 18. Disección de la vesícula del lecho hepático.

Fase 5. Extracción de la vesícula.

Luego de separar la vesícula se introduce en una endo-bolsa de tipo preservativo para extraerla a través del orificio utilizado para el trocar. Finalmente se retira el instrumental y se suturan los orificios.

Las fases anteriores son adaptadas e implementadas en el simulador, para su posterior ejecución con los gestos de las manos.

2.5 Robótica quirúrgica.

En el campo quirúrgico las grandes incisiones aumentan la probabilidad de infección, el tiempo de recuperación es extenso, y el dolor producido por las heridas es mayor, adicionalmente existen lugares de difícil acceso en el cuerpo, por esta razón en las últimas décadas la cirugía mínimamente invasiva ha tenido un buena acogida. Esta técnica consiste en utilizar pequeños orificios para introducir los elementos necesarios tales como pinzas, y electro-bisturí. Entre las tareas que se realizan en la cirugía mínimamente invasiva se encuentra; extirpación, ablación o destrucción de tejidos, o tareas de reconstrucción reconectando estructuras u órganos. Una de las operaciones más populares con esta técnica es la colecistectomía por laparoscopia.

La cirugía mínimamente invasiva convencional requiere el uso de instrumentos especiales tales como pinzas largas cuyo rango de movimientos es limitado. Al utilizar robots quirúrgicos se dispone de un mayor número de grados de libertad que permiten orientar el efector final, además posibilita la implementación de filtros para movimientos erróneos y mejora precisión de los mismos, elevando la eficiencia del procedimiento en beneficio del paciente. Adicionalmente la cirugía robótica posibilita la ejecución de operaciones a distancia lo que permite disponer de un buen especialista de forma remota.

La robótica quirúrgica comprende el desarrollo de robots diseñados específicamente para suministrar control, precisión y seguridad suficientes para ejecutar tareas en el interior de pacientes, en general la robótica se define por la implementación de las siguientes temáticas:

- *Modelo geométrico directo e inverso*: el primero considera la posición angular de las articulaciones, con lo cual se establece la localización del órgano terminal del robot, en el segundo se establece primero la localización del efector final y se calcula las variables articulares que le permiten llegar al robot hasta el punto.
- *Modelo cinemático directo e inverso*: que consideran la velocidad del órgano terminal respecto de la velocidad de las articulaciones.
- *Modelo dinámico directo e inverso*: que consideran las fuerzas de los actuadores, respecto de la posición, velocidad y aceleración de cada articulación.

2.5.1 Robot Da Vinci.

El robot Da Vinci (ver Figura 19) es el mejor exponente de los sistemas de robótica quirúrgica debido a sus grandes prestaciones y variados procedimientos entre los cuales se encuentran afecciones del colon, vejiga, arterias coronarias, vesícula, próstata y garganta [2]. El sistema se compone de una consola donde el cirujano manipula los controles que dirigen los brazos del robot, además posee un monitor de visualización del área a intervenir, también dispone de pedales que permiten la activación de espera,

parada de emergencia, y embrague que deshabilita el robot para que el cirujano reubique los controles a una mejor posición sin poner en riesgo al paciente.

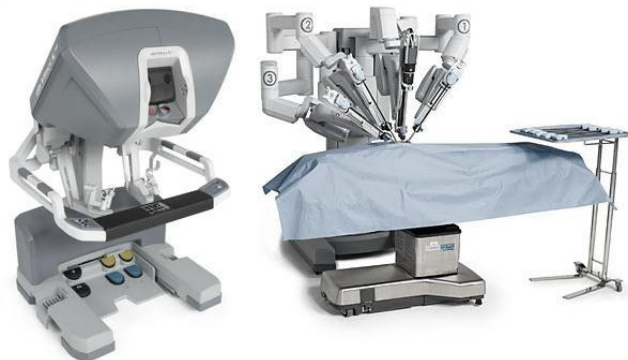


Figura 19. Robot Da Vinci.

En el robot Da Vinci el cirujano también controla la posición y orientación del endoscopio que entrega la imagen del abdomen, reubicándolo regularmente de acuerdo a la necesidad del procedimiento.

En el mercado existen sistemas de robótica quirúrgica de intervenciones específicas como:

- **Robodoc**® (Curexo Technology Corporation) utilizado para intervenciones de perforación o fresado de hueso para el implante de prótesis de cadera (artroplastia) y rodilla donde se requiere precisión milimétrica [54].
- **El Robot Renaissance**® (Mazor Robotics) es utilizado para tratar las complicaciones de la columna vertebral, donde algunos procedimientos requieren la inserción de placas, varillas o jaulas en las que se demanda alta precisión para el fijado de tornillos sin lesionar el sistema nervioso [55].
- **El Robot Sensei X**® (Hansen Medical), que consiste en un sistema de guía de catéter en conductos circulatorios que envía impulsos de alta frecuencia para producir ablación de tejidos.
- **El Robot CyberKnife**® (Accuray) genera una radiación ionizante dirigida para la eliminación de tumores en zonas de muy difícil acceso como el cerebro, manteniendo el objetivo a pesar de los movimientos involuntarios del paciente.
- **Sistema Artas**® (Restoration Robotics), desarrollado para implantes de cabello [56].

2.5.2 Robots quirúrgicos Lapbot e Hibou.

Los robots quirúrgicos disponibles en el mercado son extremadamente costosos, tanto su precio inicial como los gastos de mantenimiento, lo cual hace que esta tecnología sea

inalcanzable para muchos centros médicos, especialmente en países de bajos recursos. Por esta razón el grupo de investigación en Automática Industrial de la Universidad del Cauca, Colombia, en su propósito de colocar la ciencia al servicio de las personas, desarrolla un proyecto de robótica médica, en el cual se diseñaron dos robots quirúrgicos que se describen a continuación.

Robot quirúrgico para cirugía laparoscópica LapBot.

Es un robot con una estructura de nueve grados de libertad, con tres articulaciones pasivas y seis activas que permiten posicionar y orientar su órgano terminal como instrumento quirúrgico dentro de la cavidad abdominal de un paciente. En la Figura 20 se muestra la estructura cinemática del LapBot.

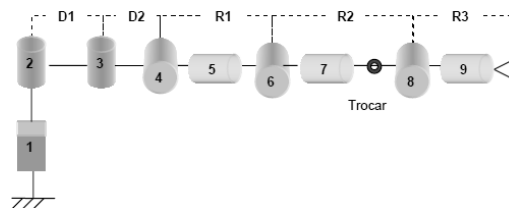


Figura 20. Estructura cinemática del robot LapBot.

Las tres primeras articulaciones permiten posicionar el LapBot en un espacio tridimensional, la cuarta articulación se fija en un valor determinado para inclinar al robot y ubicarlo por encima del abdomen, las articulaciones quinta y sexta son pasivas y mantienen el movimiento del cuerpo de longitud $R2$ a través del trocar, y las últimas tres articulaciones forman una estructura en forma de muñeca que permite la orientación de la herramienta al interior del abdomen [57].

Robot porta endoscopio Hibou.

Es un robot asistente que permite la orientación del endoscopio dentro del paciente. El robot Hibou cuenta con siete grados de libertad, dos articulaciones pasivas y cinco articulaciones activas que permiten posicionar el endoscopio dentro de la cavidad abdominal, la Figura 21 presenta su estructura cinemática.

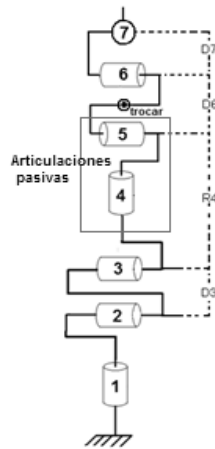


Figura 21. Estructura cinemática del robot Hibou.

El propósito del portaendoscopio es proporcionar el mejor ángulo y posición de la vista del área a intervenir debido, a que el cirujano depende en gran medida de la imagen para la ejecución de cada procedimiento, por lo tanto el robot se traslada conforme se requiera. Existen distintos enfoques del control de este tipo de sistemas los cuales van desde la ubicación con comandos de voz, posición de la pupila o ángulo de la cabeza, pero convencionalmente es un asistente quien lo dirige [58].

2.5.3 Controles de robótica quirúrgica.

Convencionalmente los controles o mandos que dirigen los movimientos de los robots son articulaciones pasivas de varios grados de libertad, algunas con realimentación. En el caso del robot Da Vinci los dedos se ubican como lo indica la Figura 22 izquierda, de esta forma se manipula el órgano terminal en el interior del paciente. Esto permite realizar desplazamientos hasta un lugar determinado, tomar agujas para hacer suturas, realizar disecciones, abrir o cerrar pinzas y en general todo lo necesario para dirigir al robot en la ejecución del procedimiento. Debido a la dinámica de estos controles, la principal dificultad en la capacitación de los cirujanos consiste en dirigir adecuadamente las herramientas en el interior del paciente. En la figura 20 derecha se muestra el control omega que cuenta con realimentación háptica y siete grados de libertad, utilizado en la industria médica y aeroespacial.



Figura 22. Controles de robots quirúrgicos. Izquierda: Joystick del robot Da Vinci, desplazamiento del mando y su respuesta en el terminal del robot. Derecha: Control Omega.

2.6 Simuladores quirúrgicos.

Los sistemas informáticos que sirven para el avance de todas las ciencias, han brindado las herramientas que permitieron construir en pocas décadas el mundo en que vivimos. En años recientes los sistemas de simulación han permitido desarrollar nuevas técnicas de enseñanza y entrenamiento en diversos campos. Un sistema simulado consiste en el modelamiento de las propiedades físicas o químicas de cuerpos, objetos o estructuras del mundo real, con lo cual se interactúa con un sistema sin su presencia. Tal es el caso de los simuladores de vuelo que ofrecen a los pilotos el adquirir todas las habilidades necesarias para enfrentar situaciones difíciles sin necesidad de disponer de costosos aviones. Adicionalmente permiten evaluar la calidad de las acciones que se realizan, así como el tiempo empleado. Por lo tanto es una herramienta poderosa para la formación y preparación de distintas profesiones, dado que posibilita la evaluación de las capacidades constantemente y de esta manera corregir errores presentados mejorando considerablemente la calidad del aprendiz.

La especialidad quirúrgica es un segmento de la medicina en donde se aprende a realizar intervenciones en el interior del cuerpo. Los programas de capacitación deben suministrar todas las herramientas necesarias para que el estudiante pueda adquirir las destrezas y habilidades que incrementen su experiencia, para lo cual el mejor escenario es disponer de pacientes reales, pero por obvias razones no es posible que un aprendiz, sin suficiente experiencia pueda hacerlo. Por este motivo existen distintas opciones, una de ellas es la utilización de cadáveres pero por las implicaciones éticas y fisiológicas no es muy común utilizarlas. Otro enfoque es utilizar herramientas y equipos reales sobre órganos de látex, estos enfoques buscan desarrollar las habilidades básicas como: manipulación de las herramientas, desplazar pinzas, tomar objetos, realizar incisiones y suturas, etc.

Una alternativa más sofisticada y efectiva es utilizar simulador híbrido, el cual es un sistema informático que utiliza animaciones 3D similares a un video juego. En el ambiente virtual se desarrollan tareas similares a las realizadas sobre pacientes reales pero sin la necesidad de contar con ellos, debido a que es un sistema híbrido se utilizan adaptaciones de instrumental quirúrgico convencional para manipular el ambiente virtual. Adicionalmente dispone procesos de gestión de entrenamiento donde se definen métricas desempeño en la ejecución del procedimiento, tales como tiempo o calidad de las acciones, para lograr la valoración y mejora de habilidades del aprendiz.

Los sistemas de simulación quirúrgica ofrecen grandes beneficios para la capacitación de cirujanos dado que permiten el desarrollo de habilidades sin la necesidad de equipos o pacientes con todas las implicaciones que esto conlleva. Un aspecto importante en todo proceso formativo es la experiencia, que solo se obtiene después de muchas repeticiones, lo que precisamente es una cualidad inherente de un sistema simulado, disminuyendo los errores en el quirófano y por ende las graves consecuencias en el paciente, y efectos legales en el médico. Adicionalmente un sistema simulado puede brindar retroalimentación inmediata para el aprendiz sin la necesidad de la presencia de un experto.

2.6.1 Simuladores híbridos.

En la actualidad existen en el mercado diversos simuladores para cirugía laparoscópica, que han tenido una muy buena acogida en los centros de enseñanza. Algunos de ellos se describen a continuación:

2.6.1.1 Sistema CAE PROMIS, de Cae Healthcare (ver Figura 23) es un simulador para el entrenamiento de CIM y cirugía laparoscópica utilizado por los principales centros de enseñanza como la escuela de medicina de Harvard, Stanford, centros médicos del ejército de los Estados Unidos entre muchas otras instituciones. Promis permite el desarrollo de destrezas mediante la combinación de instrumentos reales en modelos físicos y virtuales, brinda retroalimentación visual, auditiva, y táctil, múltiples prácticas, asistencia en instrucción y evaluación.

Las habilidades que ejercita son: orientación de laparoscopia, disección, sutura y nudos, incisiones, manejo de instrumentos. Además implementa los siguientes procedimientos: Apendicetomía (extracción del apéndice), colectomía (extracción de parte del intestino grueso), salpingoclasia (ligadura de trompas), funduplicación laparoscópica de Nissen (intervención en el estómago para tratar el reflujo gastroesofágico), y colecistectomía [59].



Figura 23. Simulador Promis.

2.6.1.2 Sistema VIST-Lab. de Mentece, es un simulador de entrenamiento profesional basado en modelos virtuales (ver Figura 24. Simulador VIST-Lab.), los cuales son manipulados por pinzas. Permite practicar tareas como realizar suturas y nudos en múltiples procedimientos, posee un monitor donde animaciones en 3D muestran la ejecución y la interacción con los órganos [60].



Figura 24. Simulador VIST-Lab.

2.6.1.3 Sistema LAP MENTOR de Symbionix es un simulador de laparoscopia; urología, ginecología y cirugía general (ver Figura 25). Permite el entrenamiento de las habilidades básicas y complejas, ofrece realimentación háptica, e implementa 13 módulos de entrenamiento con 65 tareas [61]. Además es validado por múltiples estudios clínicos.

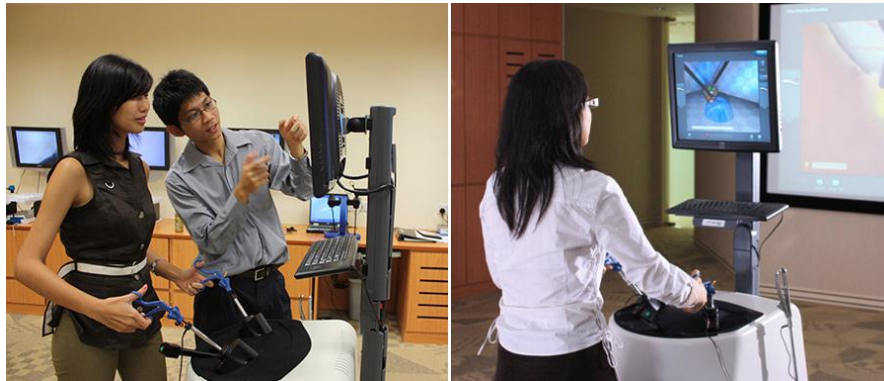


Figura 25. Simulador Lap Mentor.

2.6.1.4 Sistema ULTRASIMMEDSIM, es un simulador de entrenamiento para ecógrafo de ultrasonido por espectro doppler, que ofrece una amplia gama de casos que se aprecian en el monitor cuando se pasa la sonda sobre el paciente (ver Figura 26) [62].

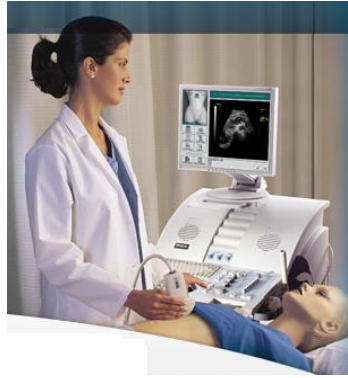


Figura 26. Simulador Ultrasimmed sim.

2.6.1.5 Simulador SOFA, es un avanzado framework de código abierto que permite simulación en tiempo real de aplicaciones médicas, provee una plataforma para desarrollar y probar nuevos algoritmos o la creación eficiente de prototipos. Integra y suministra las características esenciales de un simulador tales como: colisión entre objetos, deformación de los mismos, representación de superficies, restricciones, visualización en tres dimensiones, y renderizado de los modelos [63] (ver Figura 27). Este sistema es desarrollado con el propósito de proveer un marco común para aplicaciones de simulación médica, permitiendo la colaboración entre grupos de investigación con el intercambio de algoritmos estandarizados [64].

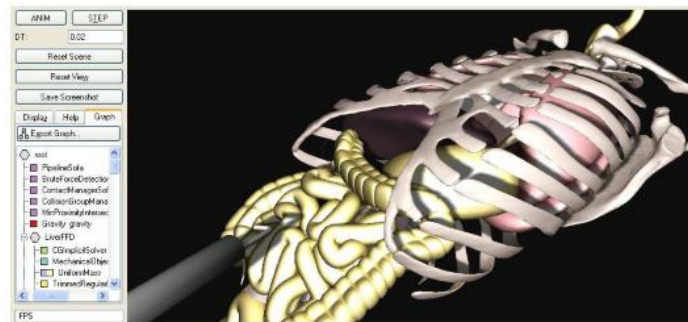


Figura 27. Simulación de cirugía laparoscópica en SOFA.

2.6.2 Simulador quirúrgico de la Universidad del Cauca.

En grupo de investigación en Automática Industrial en su proyecto de robótica quirúrgica además de desarrollar los robots mencionados, implementó un simulador, donde se evalúa la funcionalidad de dichos robots, para ajustar los modelos, evaluar su eficiencia, y en general realizar optimizaciones, para su posterior construcción real. En el presente trabajo se realizaron complementos que mejoran el prototipo anterior.

El simulador es desarrollado en la plataforma de Visual Studio 2010, con el entorno Qt para la interfaz de la ventana y la librería de herramientas de visualización gráfica de código abierto VTK (ver Figura 28).

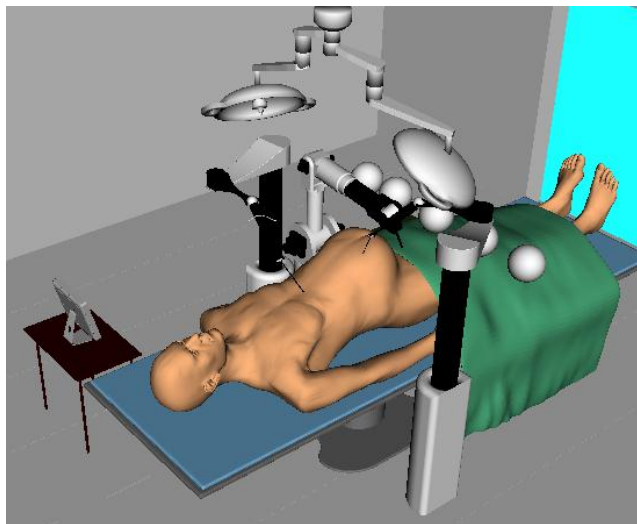


Figura 28. Prototipo de simulador quirúrgico, compuesto por dos robots Lapbot, un robot portaendoscopio Hibou, paciente y demás objetos básicos del quirófano.

2.6.2.1 Habilidades específicas requeridas en el simulador.

La complejidad en la enseñanza de la cirugía laparoscópica radica en el gran número de habilidades que se requieren para ejecutar correctamente un procedimiento, las cuales se describen a continuación:

- Manipulación del instrumental en el interior del paciente, desplazarlo en cualquier dirección, orientar, rotar, abrir o cerrar pinzas.
- Coordinación adecuada entre la interfaz de control y los movimientos del instrumental.
- Realizar correctamente cortes, disecciones e incisiones.
- Ejecución de diversos tipos de suturas que dependen de la naturaleza, los tejidos y la afección presentada.

- Elaboración de nudos que requieren movimientos complejos para asegurar el hilo quirúrgico.
- Manejo correcto de distintos instrumentos tales como electrocauterio, pinzas, grapadora, endoclip, etc.
- Uso adecuado de diferentes tipos de hilos, y agujas que son utilizados de acuerdo al tejido que se requiere intervenir.

En el trabajo presentado por Enciso y otros [65] se establecen ejercicios básicos en un simulador quirúrgico, los cuales se describen en la Tabla 3.

Tabla 3. Posibles ejercicios en un simulador

a. Coordinación ojo-mano.	Transferencia de objetos de diferente textura a distintas posiciones, sosteniéndolos adecuadamente.
b. Coordinación mano-mano.	Transferencia de objetos de diferente textura rugosa o lisa entre las manos y llevarlos a una localización.
c. Corte básico.	Cortes mediante trazados curvos y rectos con cada mano.
d. Corte avanzado.	Cortes rectos, curvos y sigmoideos con cada mano.
e. Disección.	Disección de la capa externa de tejido.
f. Sutura.	Ejecución de puntos con distintos tipos de nudos.

2.7 Usabilidad.

Tanto los simuladores como las aplicaciones informáticas deben cumplir con unas características que permitan un manejo adecuado y ameno por parte del usuario, una de ellas es la usabilidad. Este término hace referencia a la facilidad de uso y aprendizaje, de tal manera que permita eficiencia en la ejecución de una tarea. Adicionalmente se requiere que las tareas de la aplicación sean fáciles de recordar, y por lo tanto disminuir la cantidad de errores en la misma, además se debe ofrecer interacción satisfactoria y agradable para el usuario. La usabilidad está definida por la ISO 9241-11, como "*el grado en que un producto puede ser usado por determinados usuarios para conseguir objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso específico*". En la Tabla 4 Se muestran los atributos de la usabilidad.

Tabla 4. Atributos de la usabilidad.

<i>Learnability</i>	Facilidad para ser aprendido por nuevos usuarios.
<i>Efficiency</i>	Eficiencia en su uso.
<i>Memorability:</i>	Facilidad de recordar por usuarios ocasionales.
<i>Error Tolerance:</i>	Tolerancia a errores del usuario.
<i>Satisfaction:</i>	Satisfacción o agrado subjetivo para el usuario.

La usabilidad se puede medir mediante distintos métodos tales como: evaluación de usabilidad basado en inspección donde un experto evalúa varios parámetros, el

inconveniente es que el experto ha de conocer tanto de la tecnología utilizada, como del área de aplicación. Otro método es el basado en modelos donde se considera los procesos cognitivos de los usuarios para ejecutar una tarea, y finalmente evaluación de usabilidad basada en la interacción del usuario con el sistema, mediante cuestionarios que puede contener preguntas abiertas, opción múltiple, escalas de valoración [66].

2.8 Experiencia de usuario.

La experiencia de usuario UX (*User Experience*), abarca un rango más amplio y subjetivo que la usabilidad, no se ocupa solamente de la utilidad y facilidad de uso sino en aspectos más propios de los usuarios tales como: motivación, entretenimiento, respuesta emocional, valoración y satisfacción.

En el trabajo de *D'Hertefelt* [67], se plantea que en la evaluación de la experiencia de usuario se debe tener en cuenta que es un fenómeno donde confluyen distintos factores como: individuales, sociales, culturales, contextuales. Además la interacción es afectada por las expectativas previas y futuras, por lo tanto implica considerar de forma multidisciplinaria la percepción del usuario.

3. SISTEMA DE MANIPULACIÓN DE ROBOT QUIRÚRGICO G4SR.

En este capítulo se presenta el sistema desarrollado, cuya arquitectura se muestra en la Figura 29. Arquitectura de la aplicación. En primer lugar se realiza una descripción detallada y posteriormente se muestra el protocolo que permite la ejecución de una colecistectomía en el sistema denominado G4SR por las siglas de “*Gesture For Surgical Robots*”.

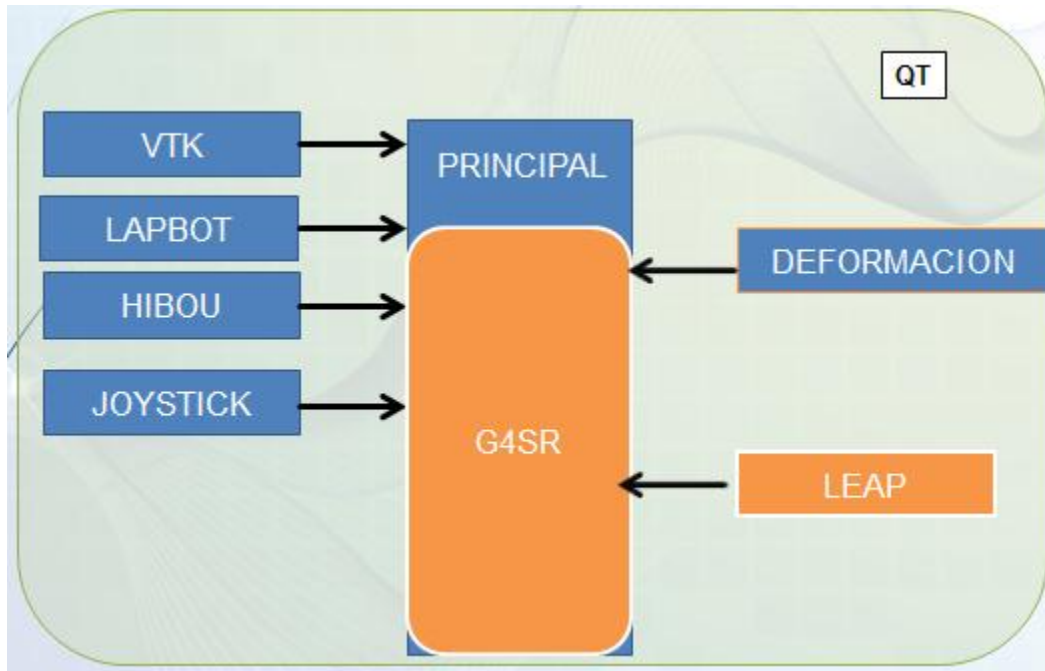


Figura 29. Arquitectura de la aplicación.

3.1 Descripción.

El simulador es un ambiente virtual de animaciones 3D en C++, desarrollado con la librería de visualización gráfica de código abierto VTK, que brinda clases, funciones y métodos que permiten interactuar con modelos 3D [68], en conjunto con la librería QT el cual es un entorno para desarrollar interfaces gráficas. La plataforma de desarrollo utilizada es Visual Studio 2010, donde se integran las librerías mencionadas en conjunto con las librerías que soportan la creación y movimiento de los robots.

En la Figura 30 se presenta la interfaz gráfica de la aplicación construida, la cual cuenta con dos ventanas: la primera ubicada a la izquierda representa la vista interna del paciente que suministra el endoscopio, y la ventana derecha muestra el quirófano completo, las cuales se describen más adelante.



Figura 30. Simulador G4SR.

Cada ventana se actualiza en periodos muy cortos para que el usuario vea una animación fluida. En esta aplicación las ventanas se actualizan de forma independiente para evitar sobrecarga o que la imagen se vea cortada y lenta. La función del menú y los botones ubicados bajo la ventana externa se describe en la Tabla 5.

Tabla 5. Opciones de la interfaz gráfica.

Nombre	Función
Botón Cambio	Permite habilitar el renderizado o actualización de la ventana externa, para lo cual se debe mantener presionado. Esta función permite la selección de las herramientas.
Botón Cam	Permite habilitar el control del robot porta endoscopio, al mantenerlo presionado el usuario puede reubicar la cámara a voluntad.
Botón Salir	Cierra el sistema.
Menú control	Permite seleccionar el tipo de control, por Leap Motion o por Joystick.
Menú Restaurar	Restaura todos los objetos a su posición y condición inicial para repetir los ejercicios.
Menú Ayuda	Brinda información del programa.

Ventana de vista interna

La vista interior es suministrada por el endoscopio, cuya posición la determina el usuario. Dependiendo de la tarea que se realice se deberá reubicar la cámara para tener un mejor punto de observación.

En la Figura 31 se aprecia la vista interna de la aplicación, el órgano referenciado con la letra A es la vesícula biliar que está adherida debajo del hígado (B) mediante los ligamentos representados por pequeñas esferas rojas. El círculo representa el triángulo de Calot o lugar donde ingresan el conducto y arteria cística. Las esferas de color violeta son guías para el corte, eliminando la parte externa y exponiendo los conductos. C y D representan los últimos cuerpos de los robots que dirigen el órgano terminal o herramienta. En la parte superior de la ventana aparece un mensaje que indica la etapa que se ejecuta para orientar al usuario, en la parte inferior el mensaje indica cuando el sistema está conectado y en línea.

Los órganos son del mismo color debido a que se implementó la librería de detecciones Vcollide [69] para proveer de la funcionalidad de deformación de los órganos. Esta librería relaciona solo un par de objetos el objeto deformable y el deformador, por este motivo para que todos los órganos cuenten con esta propiedad deben de conformar un solo objeto y por ende no se puede variar el color por separado. Aunque existen varias alternativas para el desarrollo de ambientes 3D, en el presente proyecto se usa VTK+ Qt + Vcollide con el propósito aprovechar las herramientas y desarrollos logrados en el grupo de investigación.

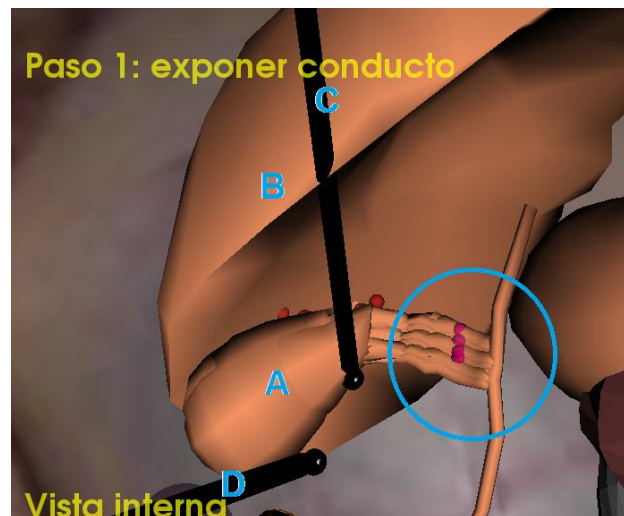


Figura 31. Vista interna.

Para utilizar el dispositivo Leap Motion es necesario realizar un llamado periódico al atributo requerido en cada iteración del temporizador, las posiciones de las manos son

almacenadas en variables que se operan para realizar la transformación de ejes de las posiciones del Leap Motion a las posiciones equivalentes del ambiente virtual.

Ventana de vista externa

En la Figura 32 izquierda se muestra la vista externa del quirófano con sus componentes. F representa el robot quirúrgico Lapbot, E indica el robot Hibou, G indica las esferas de selección, las cuales cambian de tamaño cuando el usuario pasa las manos sobre el Leap Motion desplazándose sobre el eje x (ver derecha). En la parte inferior las etiquetas de texto muestran el nombre de las herramientas seleccionadas para cada robot.

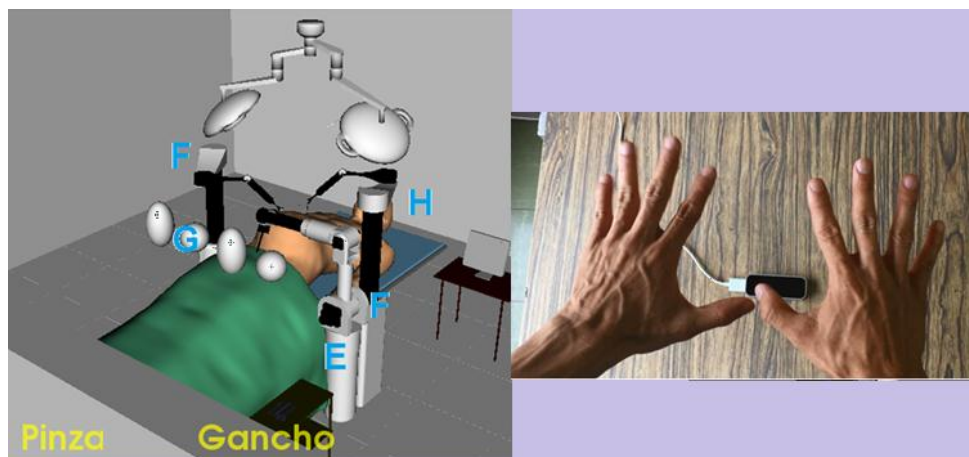


Figura 32. Ventana externa y posición para selección de herramienta.

Los sistemas de ejes de coordenadas del ambiente virtual y el determinado por el Leap Motion son distintos en sus dimensiones, por lo tanto se requiere ajustar el paso de los valores de las posiciones entregados por el sensor, lo cual se realiza mediante una matriz de transformación que define la relación entre dos espacios 3D, en este caso se plantea un cambio de escala y traslación para ajustar los desplazamientos en el ambiente virtual, como se indica en la ecuación 1:

$$\begin{aligned} \text{pos_x1} &= 0.455 + \text{px1}/4000; \\ \text{pos_y1} &= -0.07 + \text{py1}/4000; \\ \text{pos_z1} &= -0.13 + \text{pz1}/4000; \end{aligned}$$

Ecuación (1).

$$\begin{aligned} \text{pos_x2} &= 0.45 - \text{px2}/4000; \\ \text{pos_y2} &= -0.07 + \text{py2}/4000; \\ \text{pos_z2} &= 0.13 - \text{pz2}/4000; \end{aligned}$$

El valor de 4000 es la constante que permite escalar la posición para interactuar con adecuadamente con los objetos virtuales del ambiente 3D, los factores que suman en cada uno de los ejes permiten trasladar las posiciones recibidas de tal manera que se ubiquen en las cercanías de los órganos de lo contrario en ningún momento tendrían contacto con las herramientas manipuladas. Ambos parámetros fueron definidos de la siguiente manera:

1. Observar los valores entregados por el dispositivo de captura en cada uno de los ejes X,Y,Z.
2. Encontrar las posiciones de los órganos virtuales en el ambiente 3D, que generalmente se establecen en el momento de cargar el ambiente y depende de la herramienta utilizada.
3. Establecer el rango de desplazamientos que se requiere en las proximidades de los órganos, con lo cual se encuentra mediante ensayo y error un valor que ajuste la escala de los movimientos, en este proceso se seleccionó el valor de 4000.
4. Finalmente se establecen factores que sumen o resten a las posiciones escaladas para que el objeto que se traslada en el ambiente se desplace en las proximidades de los órganos.

El parámetro 4000 de escalado también afecta considerablemente la escala del movimiento sobre el simulador, por lo cual también filtra cambios bruscos o temblor en la mano. La variable independiente es el valor entregado por el sensor, la variable dependiente es el valor utilizado.

Propiedades de la aplicación.

La funcionalidad de la aplicación está definida por los eventos que el usuario establece. En la Tabla 6 se muestran las condiciones que rigen el algoritmo y a continuación se presenta algunos pseudocódigos del sistema implementado.

Tabla 6. Eventos del sistema

Evento A	Mover los robots.
Condición	Que estén las dos manos sobre el Leap Motion.
Acción	Desplazamiento de los dos robots (cada mano dirige un robot).
Evento B	Abrir las pinzas.
Condición	Los dedos índice y pulgar de la mano izquierda deben estar extendidos frente al sensor.
Acción	Cambio en la rotación de los objetos que forman la pinza para simular que se abren y se cierran.
Evento C	Cambio de herramienta.
Condición	Botón de cambio de herramienta activado.
Acción	Seleccionar la herramienta del robot izquierdo y derecho de acuerdo a la posición de cada mano.

	Activar renderizado de la ventana externa, desactivar la ventana interna.
Evento D	Mover el endoscopio.
Condición	Mantener presionado el botón “Cam” y colocar una sola mano sobre el Leap Motion, extendiendo los dedos.
Acción	Desplazamiento de la cámara para acercar o alejar el objetivo.

Algoritmos utilizados.

```

1: //Movimiento de robots .
2: Si manos_detectadas = 2 Entonces
3:   Mover_robots (posicion_mano_der, posicion_mano_iz)
4:   Si dedo_iz y dedo_der están extendidos Entonces
5:     Apertura_pinza (distancia_de_punta_dedo_iz_dedo_der)
6:   Fin Si
7: Fin Si
8: // Colocar grapas.
9: Si herramienta_iz = grapadora Entonces
10:  Si dedo_iz y dedo_der están extendidos Entonces
11:    Apertura_grapadora (distancia_de_punta_dedo_iz_dedo_der)
12:  Fin Si
13:  Si distancia_de_punta_dedo_iz_dedo_der < umbral entonces
14:    Colocar_grapa(posicion_mano_iz)
15:  Fin Si
16: Fin Si
17: // Selección de herramientas.
18: Si modo_operación = selección_herramienta Entonces
19:  Según (posicion_mano)
20:    Caso 1: rango_ing < posicion_mano <rango_sup
21:      Herramienta_izq = herramienta_1
22:    Caso 3: rango_ing < posicion_mano <rango_sup
23:      Herramienta_izq = herramienta_2
24:    .....
25:  Fin_según
26: Fin Si
27: // mover_endoscopio.
28: Si mano_detectadas = 1 && dedos_extendidos = 5 Entonces
29:   Mover_camara (posicion_mano)
30: Fin Si

```

3.2 Área para el procedimiento.

En todo procedimiento quirúrgico existe un área sobre la que es posible el desplazamiento de los instrumentos de forma segura, fuera de ella se afectan órganos adyacentes generando riesgo para el paciente. Por este motivo se define una región máxima para el movimiento libre y seguro de los extremos de los robots, el área está definida por una

esfera que contiene los órganos, si la posición entregada por el dispositivo está por fuera de la región se deshabilita el movimiento de los robots, en caso contrario se habilita.

La definición del área de trabajo en la robótica quirúrgica es una gran ventaja que ofrece esta técnica, mejorando la calidad y la protección del paciente, pero se debe tener en cuenta que los espacios en el interior están definidos por la forma y posición de los órganos. Por esta razón para la cirugía real se establecen estructuras similares a poliedros irregulares o cuerpos redondos que definen espacios más variados de lo que ofrecen los cúbicos o esféricos (ver Figura 33).

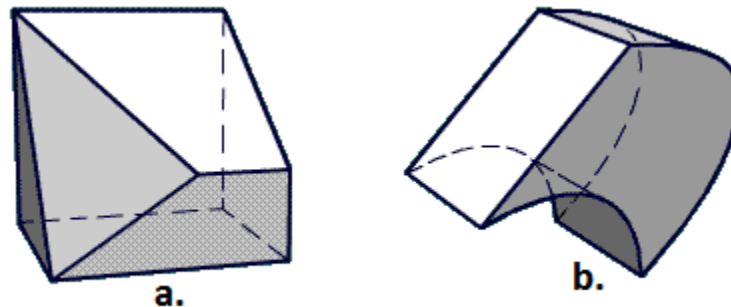


Figura 33. a) Poliedro irregular b) cuerpo redondo [70].

3.3 Eliminación de temblor de las manos.

Otro aporte valioso de la robótica quirúrgica es la eliminación del temblor en las manos del cirujano que aparece luego de un período prolongado de trabajo. El temblor es generado por la posición en la cual se desarrolla la tarea y la dinámica de las herramientas utilizadas. Este problema dificulta la normal continuidad, pero la robótica quirúrgica permite la utilización de filtros para eliminar los movimientos rápidos o bruscos, ofreciendo mayor seguridad al paciente, mayor eficiencia en el procedimiento y apoyo al cirujano para que se concentre en la tarea y no en la forma de desarrollar la misma.

Con el propósito de eliminar los movimientos involuntarios como temblor en las manos, en este proyecto se utilizó un filtro de respuesta infinita al impulso IIR aplicado a los valores de las posiciones de cada eje de coordenadas, tal como lo indica la ecuación 2, donde la variable suavizado es el porcentaje de filtrado entre cero y cien. La variable x depende de su valor anterior y la nueva posición recibida $X0$. El valor de suavizado se estableció en 80, y fue encontrado mediante ensayo y error ajustándolo mediante la observación de la respuesta del simulador. La ecuación 2 se aplica para la posición en cada eje cambiando x por y , z .

$$x=(x*\text{suavizado}+X0*(100-\text{suavizado}))/100 \quad \text{Ecuación (2)}.$$

3.4 Abrir o cerrar pinzas

En un procedimiento quirúrgico, además de desplazar los instrumentos en todas las direcciones es necesario halar o cortar lo cual se realiza mediante pinzas. El instrumento puede estar abierto, cerrado o en posiciones intermedias para permitir tareas como cortar, separar tejidos o sostener órganos. En el simulador el grado de apertura de pinzas virtuales en el simulador se establece mediante la distancia que separa las puntas de los dedos pulgar e índice de la mano izquierda (ver Figura 34), como lo describe el evento B de la Tabla 6.

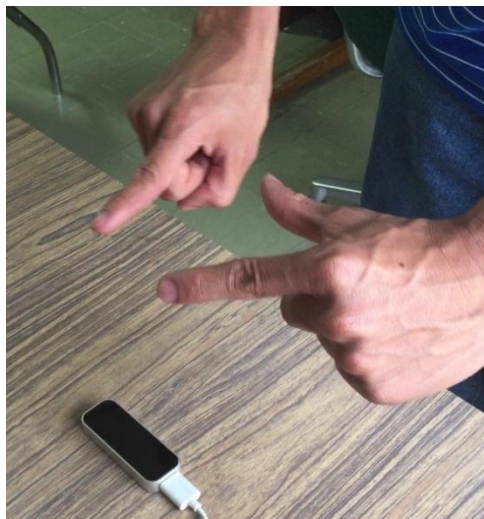


Figura 34. Posición correcta de los dedos para abrir y cerrar pinza.

En la Figura 35 izquierda se muestra la posición correcta de mano izquierda y sus dedos para manejar las pinzas. En la imagen derecha se observa como la herramienta cambia su estado imitando la condición de la mano. Para colocar las grapas se utiliza el mismo principio, cerrando los dedos para ubicar cada una de ellas.

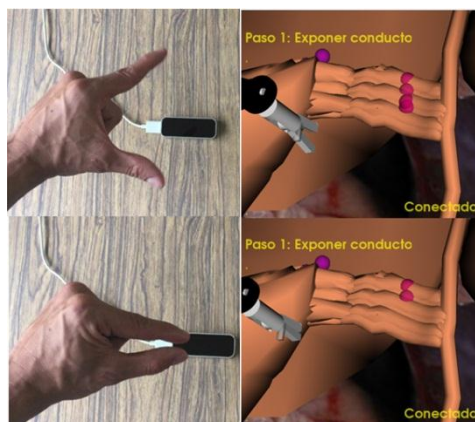


Figura 35. Posición para abrir o cerrar las pinzas.

3.5 Posicionamiento de la cámara

Durante la ejecución de un procedimiento de laparoscopia es necesario modificar la posición y orientación de la cámara, esta acción normalmente es realizada por un auxiliar que atiende las órdenes del cirujano, pero existen propuestas de trabajos donde plantean que esta tarea la realice el mismo especialista sin la necesidad de asistencia mediante diferentes técnicas tales como: comandos de voz, gestos ejecutados con la cabeza o cambio de control para manipular el endoscopio en lugar de las herramientas. En esta aplicación se implementa el evento D, donde es necesario presionar el botón que activa esta funcionalidad y el usuario deja una sola mano con los dedos extendidos, con lo cual se puede posicionar la cámara como lo indica la Figura 36.



Figura 36. Posicionamiento de la cámara interna.

3.6 Restricciones.

Debido a que el sistema requiere de tiempo real de trabajo se establecen las siguientes restricciones para la manipulación correcta:

- Las manos o dedos no pueden traslaparse por que el Leap Motion no encuentra ningún objeto válido y no entregará información.
- La posición de las manos para la manipulación de pinzas se mantiene durante todo el procedimiento y en ella se abren o cierran, o se coloca clips.

3.7 Protocolo para la ejecución de colecistectomía.

El protocolo consiste en el conjunto de etapas que componen la cirugía, en esta aplicación se busca representar los órganos y las herramientas involucradas con movimientos y acciones próximos a la realidad, para tener un entorno aceptable que

permita manipular los robots con los gestos y obtener opiniones concluyentes. A continuación se presenta la secuencia de las acciones para ejecutar la colecistectomía virtual.

Secuencia del protocolo.

- a. Selección del instrumento para cada robot en la interfaz de usuario de Qt (pinza, bisturí, cauterizador, grapadora), para lo cual un auxiliar debe mantener presionado el botón de cambio de ventana.
- b. Colocar las manos en el espacio definido.
- c. Orientar y disponer la mano izquierda para abrir la pinza adecuadamente.
- d. Si las manos se encuentran en la región próxima a la vesícula, se pasan las coordenadas de las manos a los robots Lapbot derecho e izquierdo con el fin de trasladar los instrumentos según el movimiento de cada mano.
- e. Ejecutar el procedimiento de colecistectomía descrito en la sección 2.4, realizando las siguientes etapas:
 - i. Exposición del conducto y arteria císticos, que corresponde a la fase 1 y fase 2.
 - ii. Ubicación de clips en conductos, cumpliendo la primera parte de la fase 3.
 - iii. Sección del conducto y la arteria císticos, completa la segunda parte de la fase 3
 - iv. Disección de la vesícula del lecho hepático, corresponde a la fase 4.
 - v. Extracción de la vesícula biliar, o fase 5.

Puesta en marcha.

Para activar la secuencia se colocan las dos manos sobre el dispositivo Leap Motion. Cuando se encuentra en la posición definida como área de operación se habilita el movimiento de los robots, los cuales serán dirigidos independientemente. La posición de las manos se proporciona a las articulaciones del robot para dirigir el órgano terminal hasta la posición deseada.

Etapas.

Como primera medida se debe seleccionar el electrocauterio en la herramienta derecha. Durante la ejecución la mano izquierda permanece en disposición de manejar la pinza, mientras que la mano derecha se mantiene solo con el dedo índice extendido. La punta del electrocauterio se desplaza hasta las esferas que representan el punto de corte del tejido que cubre los conductos, como lo indica la Figura 37. Cuando se ejecute correctamente este paso las esferas desaparecen al igual que el tejido, exponiéndose la parte interna.

Durante todo el procedimiento hay que evitar tener contacto con los órganos adyacentes. En el caso del contacto con el hígado por ejemplo, se activa una alarma que indica que se está en una ubicación de riesgo.

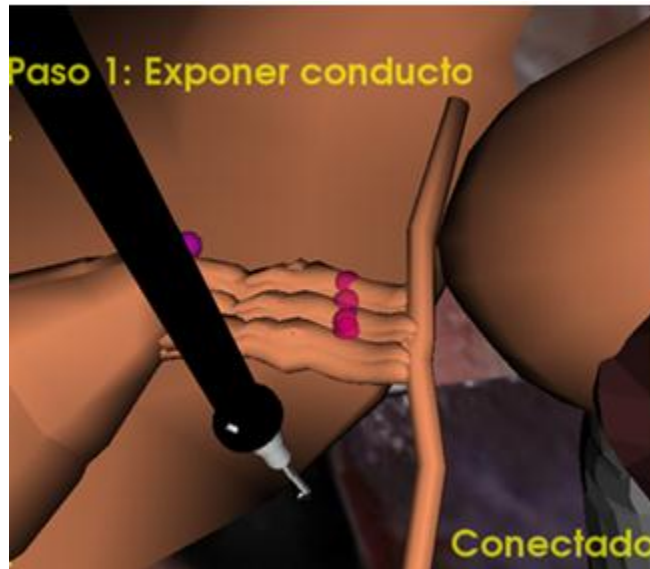


Figura 37. Etapa uno sobre el triángulo de Calot.

La Figura 38 muestra los conductos internos, que a su vez poseen las esferas guía que establecen el lugar correcto para colocar los clips. En la parte superior un mensaje guía al usuario con el próximo paso del procedimiento, mientras que en la parte inferior el mensaje indica el estado actual.

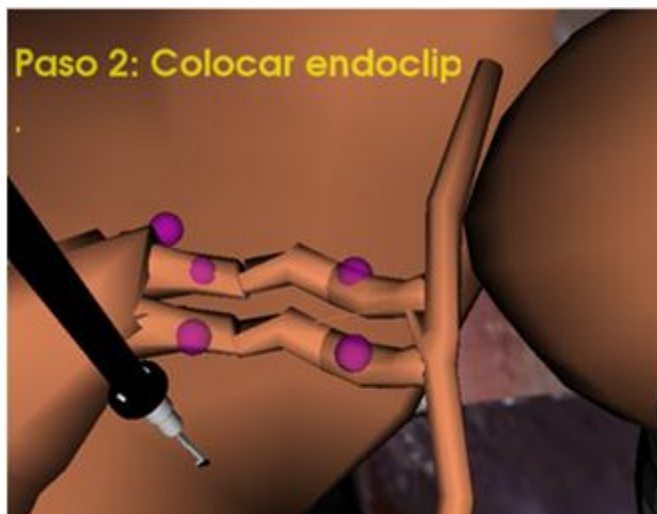


Figura 38. Conductos expuestos.

Etapa dos.

Una vez terminado el paso anterior el usuario debe cambiar la herramienta izquierda seleccionando endoclip (evento C). Luego manteniendo los dedos índice y pulgar abiertos se dirige el robot hasta las guías, ahora con mucha precisión se ubica la base del endoclip en la esfera guía. Solo en ese momento se cierran y se colocan los clips, este proceso se repite dejando dos clips en la arteria y dos en el conducto cístico, sin que importe el orden como lo indica la Figura 39.

La colocación de clips impide que los fluidos se derramen y ocasionen peligro para el paciente.



Figura 39. Ubicación exacta de los clips.

Etapa tres.

Después de asegurar los conductos, con la mano derecha se dirige el robot correspondiente con el electrocauterio en su extremo hasta las guías ubicadas en medio de los conductos. Luego con cuidado se realiza el corte desapareciendo la sección central de los ductos, como lo indica la Figura 40.



Figura 40. Corte de los conductos.

Etapa cuatro.

Como la vesícula está adherida al lecho hepático, mediante el electrocauterio se corta cada uno de los ligamentos con el cuidado de no tocar el hígado, en caso contrario un mensaje de advertencia se muestra en pantalla

Etapa cinco.

En este paso se selecciona la pinza para el robot izquierdo, una vez se cumpla esta condición, acercarse y sostenerla vesícula de la parte superior como lo indica la Figura 41.

Luego sujetando adecuadamente la vesícula y manteniendo cerrada la pinza, llevarla hasta la esquina superior izquierda, en ese momento un mensaje de finalización aparecerá en pantalla.



Figura 41. Extracción de la vesícula.

3.7.1 Procedimiento utilizando Joystick

En el sistema desarrollado se implementó también la ejecución del procedimiento utilizando Joystick, lo cual representa la forma convencional de manipulación de robots quirúrgicos, con lo cual se pretende que el usuario experimente con los dos sistemas y le sea posible establecer un punto de referencia al comparar el uso de gestos vs el uso de joystick. En la Figura 42 se muestra el Joystick Genius F-23 utilizado donde cada botón se identifica por números.

Modo de uso.

El movimiento en las tres dimensiones del robot ahora será gobernado por el Joystick donde el desplazamiento en los ejes (x, z) corresponden a la palanca, mientras que el eje (y) se modifica mediante el giro de la perilla (3).

Como el simulador quirúrgico dispone de tres robots los cuales deben ser manipulados por un solo joystick, el sistema permite el cambio entre robots, pulsando el botón (4), hasta encontrar el robot deseado, con la ayuda de un mensaje en la ventana interna que muestra el robot seleccionado.

La acción de cerrar la pinza se ejecuta presionando el botón (6), en caso contrario permanece abierta, del mismo modo se coloca cada clip.

Para cambiar la herramienta de cada robot se utiliza el botón (8) para cambiar la herramienta izquierda (pinza o endoclip), y el botón de disparo (5) para cambiar la herramienta derecha (gancho o electrocauterio). El botón (7) no es utilizado.



Figura 42. Botones para el uso del Joystick en el procedimiento.

El procedimiento para ejecutar la colecistectomía mediante el Joystick es el mismo que se indicó en el apartado anterior, con la diferencia de que los movimientos se realizan con la palanca del Joystick (ejes x, z) más la perilla lateral para los desplazamientos del eje y; mientras que el cambio del robot controlado, herramientas y apertura de pinza se realiza con cada botón descrito.

Nota importante: La ubicación de la punta del instrumento en el espacio virtual presentó cierta complejidad para los usuarios, por este motivo los desplazamientos en el eje “y” fueron restringidos a tres posiciones específicas que se marcaron en la perilla. Con esta ayuda para el usuario se logró ejecutar el procedimiento, de no haber realizado este ajuste los tiempos de ejecución hubieran sido aún más largos porque dependían de la habilidad del manejo de esta herramienta.

4. RESULTADOS.

Para la evaluación del trabajo se realizó un experimento en el que los participantes recibían una breve instrucción sobre el manejo del sistema y ejecución de la extracción de la vesícula tanto con el sistema de gestos como con el Joystick. Los participantes fueron estudiantes de la especialización en cirugía de la Universidad del Cauca, y algunos de ellos de ingeniería automática de la misma institución.

En este trabajo se realiza la evaluación de la experiencia de usuario de la herramienta mediante una encuesta de percepción usando una escala de Likert de 7 puntos, en el cual el usuario expone su posición respecto a una afirmación con siete opciones que van desde estar muy de acuerdo a totalmente en desacuerdo, las afirmaciones consideran la ejecución del ejercicio con el sistema de gestos y usando Joystick para que pueda establecer un punto de comparación.

Convencionalmente para el análisis de los datos presentados por la escala de Likert se presentan los porcentajes obtenidos para cada opción, de tal manera que brinde la información detallada de la percepción de las personas encuestadas, sin necesidad de sesgar, o filtrar los resultados.

Las condiciones de las pruebas se muestran en la Tabla 7, que se presenta a continuación.

Participantes.	13
Edad promedio.	28
Cirujanos (E)	5
Ingenieros (E)	8
Tarea	Procedimiento virtual con gestos y joystick
Procedimiento	Explicación, ensayo, ejecución. Medición del tiempo. Cuestionario. (A, D)

Tabla 7. Parámetros de las pruebas realizadas.

Condiciones de las pruebas.

Lugar. Hospital Universitario San José de Popayán Cauca Col, y Facultad de Electrónica de la Universidad del Cauca.

Equipo: Computador Dell Vostro 250 de 4 Gigas de RAM y procesador de 1,5 Ghz, Leap Motion, Joystick Genius F-23

Software: Simulador quirúrgico G4SR, visualizador básico de Leap Motion.

Secuencias de proceso en las pruebas:

Para ejecutar el procedimiento con los participantes se realizan los siguientes pasos.

Paso 1: Descripción del sistema Software, Leap Motion y Joystick.

Paso 2. Familiarización con dispositivo mediante visualizador.

Paso 3. Demostración y práctica de las siguientes tareas:

- Desplazamiento de los dos robots.
- Orientación de la cámara.
- Selección de herramientas.
- Como abrir pinzas.
- Posición adecuada de las manos y el cuerpo.

Paso 4. Demostración del procedimiento de extracción de la vesícula con gestos.

Paso 5. Demostración del procedimiento de extracción de la vesícula con Joystick.

Paso 6. Ejecución del procedimiento por parte del participante con primero con gestos en tres oportunidades y con Joystick en dos oportunidades, consignando el tiempo utilizado en cada prueba en una tabla.

Nota: el orden de la prueba es primero con gestos y luego con joystick, considerando que se busca evaluar la experiencia de usuario al usar gestos, pero consideramos que el orden no influye, con el joystick se hicieron dos pruebas por que los participantes cirujanos no disponían de mucho tiempo.

Paso 7. Solución de test por parte del participante.

En las siguientes sesiones se describen los resultados obtenidos para cada una de las preguntas realizadas.

4.1 Tiempo utilizado en el ejercicio.

Durante la ejecución de cada prueba el participante repitió el ejercicio con gestos y con Joystick para tomar un tiempo promedio, los datos encontrados se muestran en la Figura 43. Para la ubicación de gestos el tiempo promedio fue de 1.420 minutos, para uso de Joystick el tiempo fue de 3.153 minutos. Este resultado podría indicar que al usar los gestos el procedimiento se desarrolla en menos de la mitad del tiempo que cuando se usa Joystick.

Tiempo promedio del ejercicio.

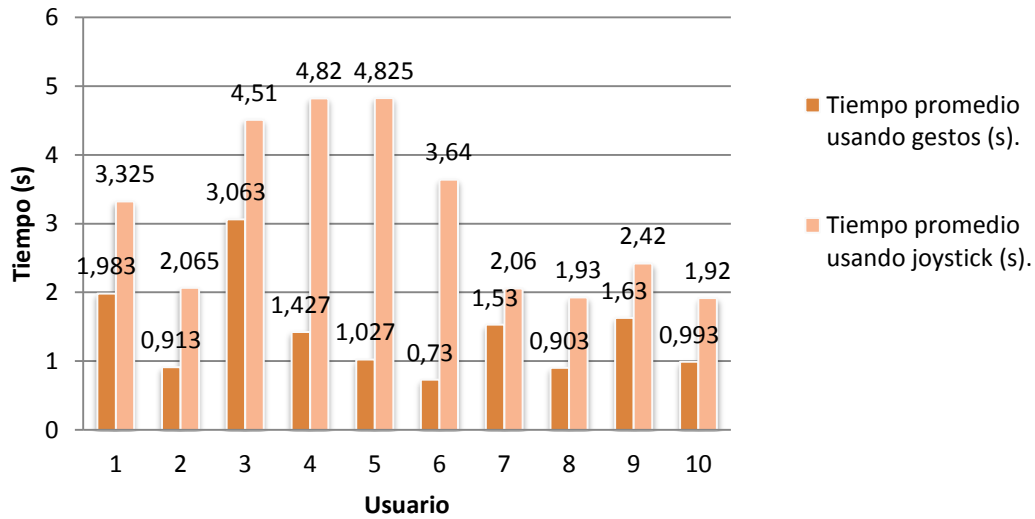


Figura 43. Tiempo utilizado para realizar el ejercicio.

Nota: se excluyeron 3 usuarios por que se presentaron inconvenientes técnicos que impidieron medir el tiempo exacto, pero por la cantidad de usuarios es algo que no interfiere en la medida.

4.2 Resultados obtenidos en el cuestionario.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir del cuestionario entregado a los participantes. Cada pregunta cuenta con un gráfico donde el eje “x” representa la percepción de cada participante respecto de la afirmación presentada, la cual puede ser Muy de acuerdo (MA), De acuerdo (A), Ligeramente de acuerdo (LA), Neutral (N), Ligeramente en desacuerdo (LD), En desacuerdo (D) o Muy en desacuerdo (MD), y el eje “y” indica el porcentaje encontrado para cada una de estas.

Evaluar la experiencia de usuario requiere establecer la opinión de cada uno, por lo cual es un parámetro muy subjetivo, por esta razón se diseñaron preguntas que permitieran valorar lo que sintieron, el grado de satisfacción y su respuesta emocional. En la Figura 44 se presentan los resultados de todos los participantes, en la Figura 45, se muestran solo los resultados de los estudiantes de cirugía y en la Tabla 8, se detallan las preguntas mostradas en las gráficas correspondientes.

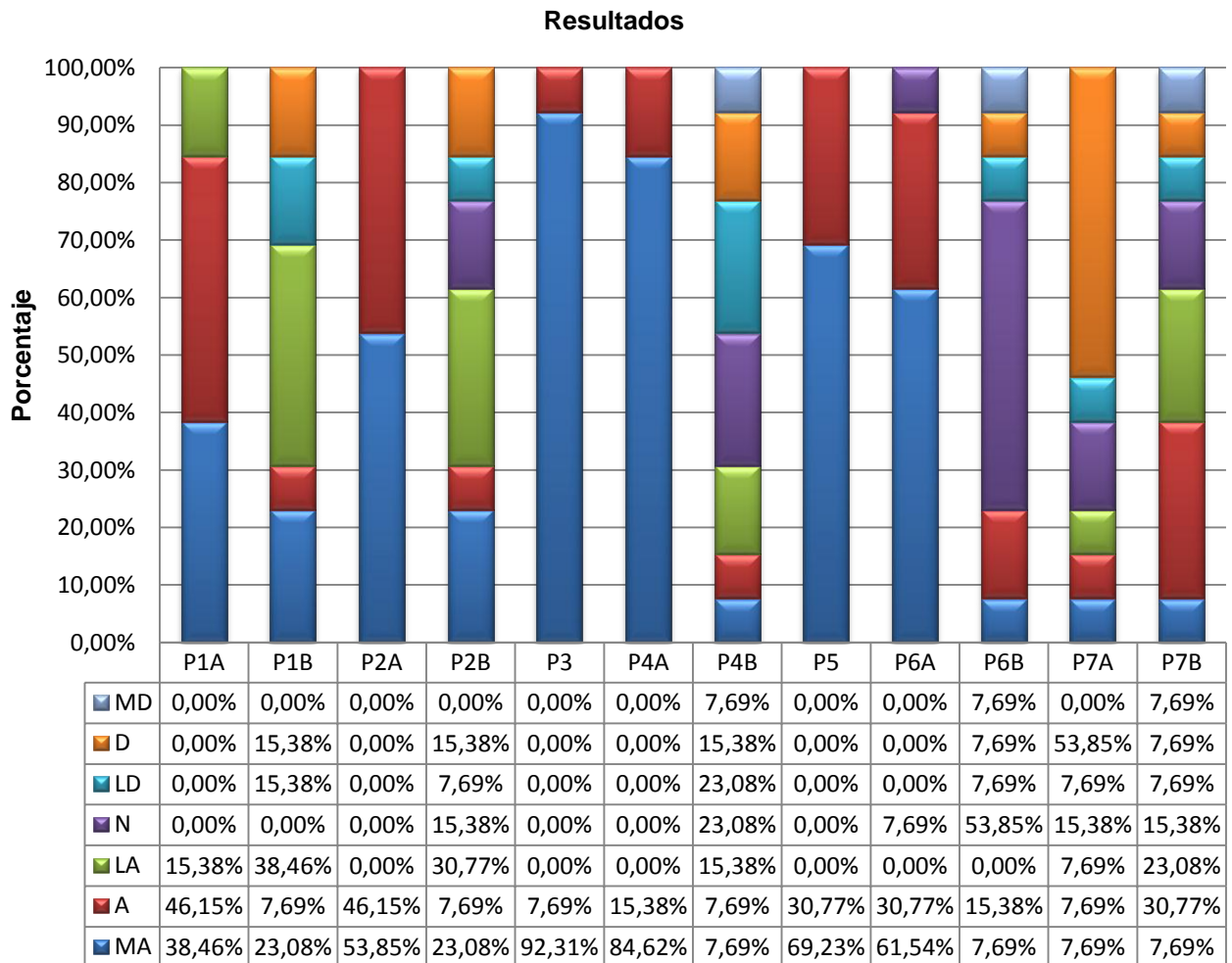


Figura 44. Resultados del cuestionario para todos los participantes.

Tabla 8. Definición de cada pregunta del cuestionario

P1A	¿La manipulación mediante gestos es intuitiva, fácil de entender y utilizar?
P1B	¿La manipulación mediante Joystick es intuitiva, fácil de entender y utilizar?
P2A	¿Podría recordar fácilmente el modo de uso de los gestos?
P2B	¿Podría recordar fácilmente el modo de uso del Joystick?
P3	¿La manipulación mediante gestos es más agradable y confortable que el uso de Joystick?
P4A	¿Mediante los gestos se ejecuta el procedimiento de manera más rápida y precisa?
P4B	¿Mediante el Joystick se ejecuta el procedimiento de manera más rápida y precisa?
P5	¿Utilizar gestos permite mayor fluidez y agilidad en la manipulación del robot que el Joystick?
P6A	Utilizar gestos me parece divertido y disfruté de la actividad.
P6B	Utilizar Joystick me parece divertido, y disfrute de la actividad.
P7A	Utilizar gestos me causó frustración en algún momento.
P7B	Utilizar Joystick me causó frustración en algún momento.

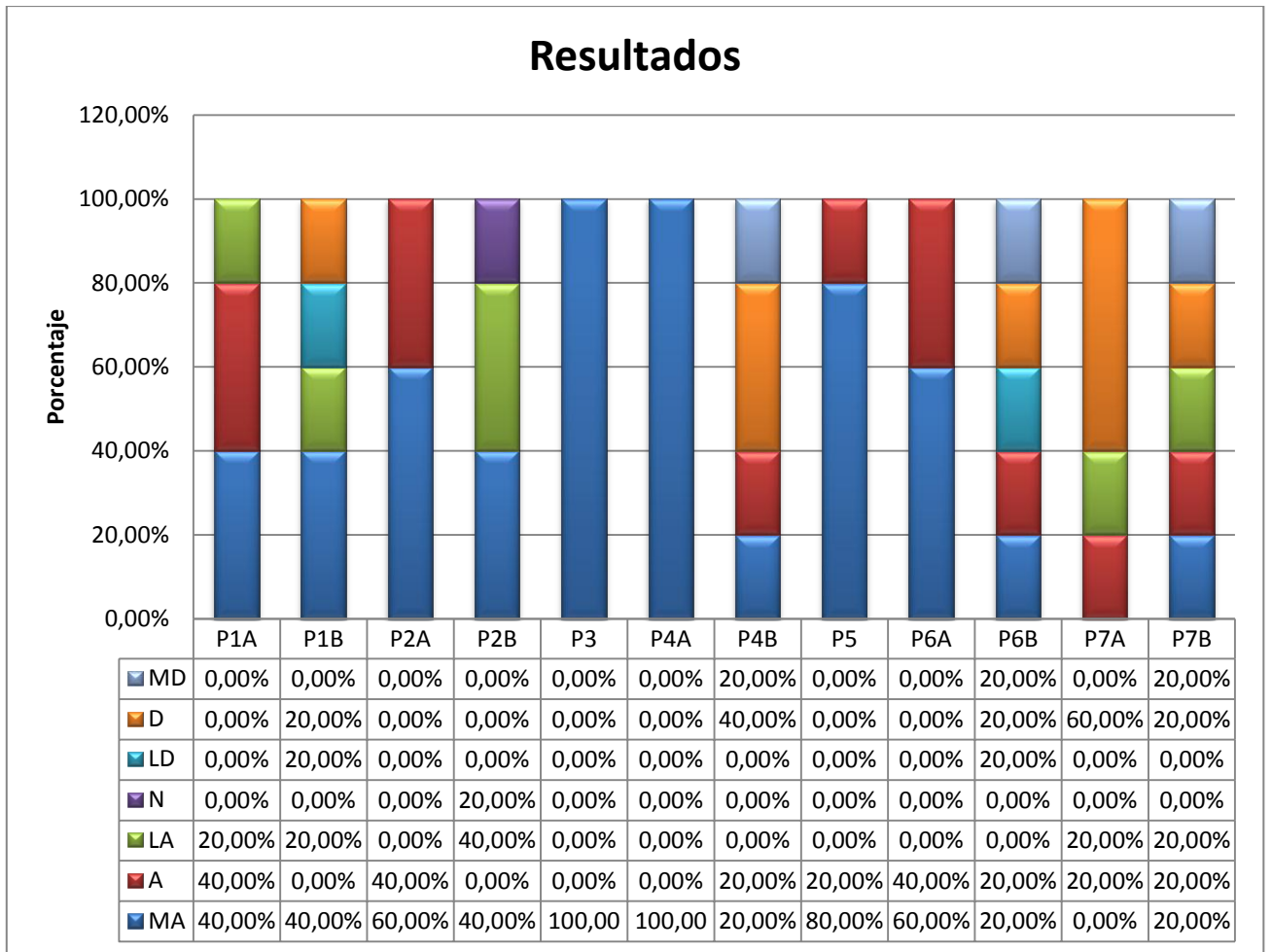


Figura 45 .Resultados del cuestionario de estudiantes de especialización de cirugía.

En las siguientes secciones se realiza una observación de cada una de las preguntas y al final en la sección de discusión se ofrece un análisis general.

4.2.1 Pregunta 1: ¿Cuál opción es intuitiva, fácil de entender y utilizar?

Confirmando una de las ventajas principales que ofrecen las interfaces naturales, los participantes manifestaron que utilizar gestos es intuitivo, fácil de entender y utilizar, el 38% manifestó estar muy de acuerdo y el 46% de acuerdo, en cambio a algunos de ellos no les pareció que el Joystick ofreciera esta característica (Figura 46).

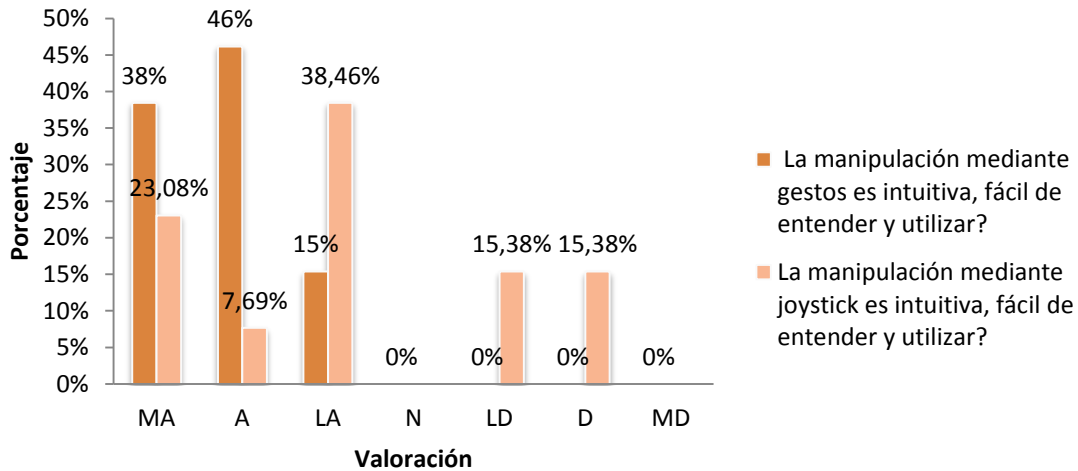


Figura 46. ¿Cuál opción es intuitiva, fácil de entender y utilizar?

4.2.2 Pregunta 2: ¿Qué opción se recuerda fácilmente?

Con el propósito de determinar la familiaridad y la percepción cognitiva se preguntó cuál sistema podría recordarse con mayor facilidad y se encontró que el 54% de los encuestados dijo estar muy de acuerdo, y el 46% en estar de acuerdo con que el uso de gestos se recordaría con mayor facilidad, se aprecia entonces que todos apoyan esta afirmación, este resultado indica que realizar gestos facilita la retención de nuevas habilidades (ver Figura 47). En el caso del uso del Joystick los resultados son distribuidos entre quienes están de acuerdo y quienes no, quizás por el hecho que esta interfaz mecánica sea la más conocida.

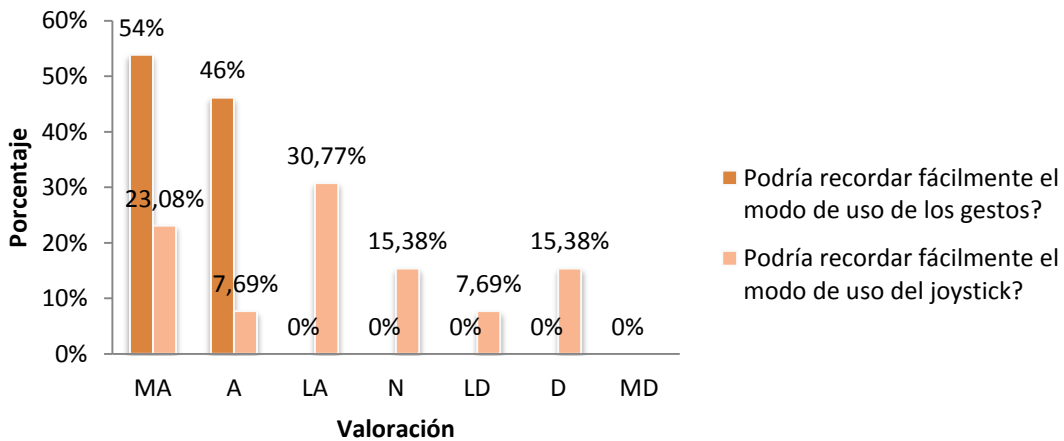


Figura 47. ¿Qué opción se recuerda fácilmente?

4.2.3 Pregunta 3. ¿Cuál interface es más agradable y confortable?

Para conocer la comodidad que ofrece el sistema se preguntó que apreciación tenían respecto a que usar gestos es más confortable y agradable que usar el Joystick, ante lo cual el 92% dijo estar muy de acuerdo (ver Figura 48), lo que indica que la afirmación no solo lleva el respaldo de los participantes sino que su percepción es de total convencimiento.

Las interfaces de tipo Joystick presentan restricciones mecánicas por lo cual el usuario debe limitarse al rango de movimientos permitidos, adicionalmente para mantener la palanca de joystick en alguna posición se ejerce presión sobre él.

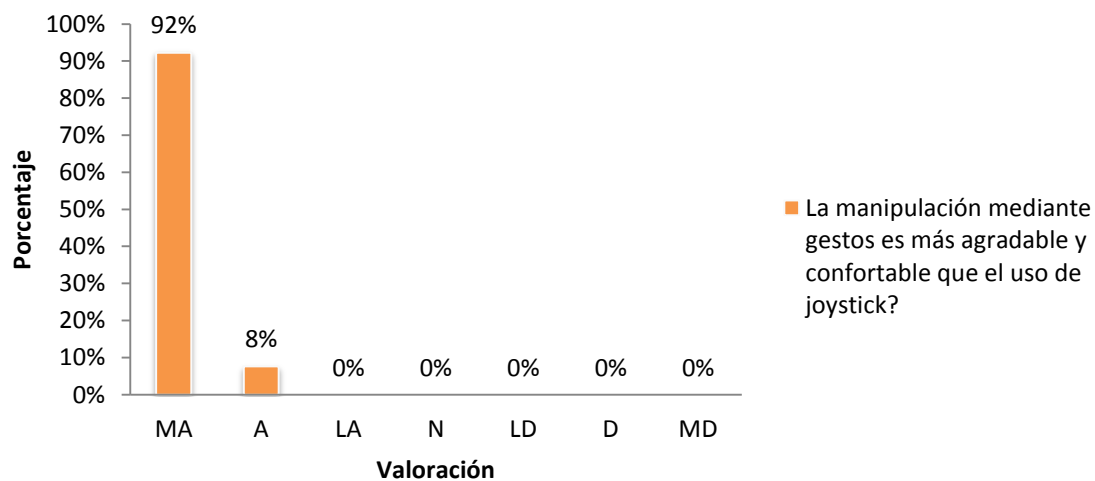


Figura 48. ¿Cuál interface es más agradable y confortable?

4.2.4 Pregunta 4. ¿Qué interface permite mayor velocidad y precisión?

El 85% de los encuestados afirmó estar muy de acuerdo en que usar gestos es más rápido y preciso (ver Figura 49), lo cual es consecuencia de la ausencia de restricciones, además la precisión depende de la escala en la que se establezcan los movimientos de las manos respecto del terminal. La importancia de este resultado radica en que la mayoría de participantes nunca había utilizado este tipo de interface y con tan solo unos pocos minutos de entrenamiento se logran resultados aceptables, contrario al Joystick que requiere de un periodo más extenso para su dominio, por esta razón el 23% tiene una percepción neutra.

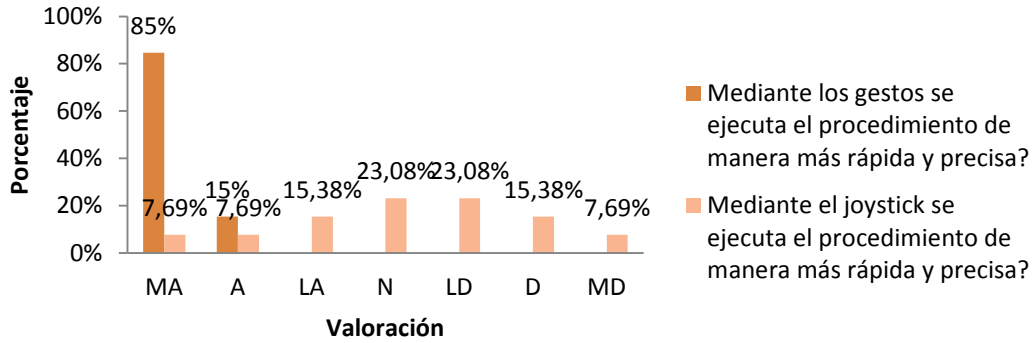


Figura 49. ¿Qué interface permite mayor velocidad y precisión?

4.2.5 Pregunta 5. ¿Qué interface permite mayor fluidez y agilidad?

Al respecto de la forma en que se logra realizar el ejercicio todos afirmaron que usar gestos permite mayor agilidad y fluidez en la manipulación del robot, esto puede ser consecuencia de la ausencia de artefacto mecánico, lo que posibilita la naturalidad de los movimientos. (ver Figura 50).

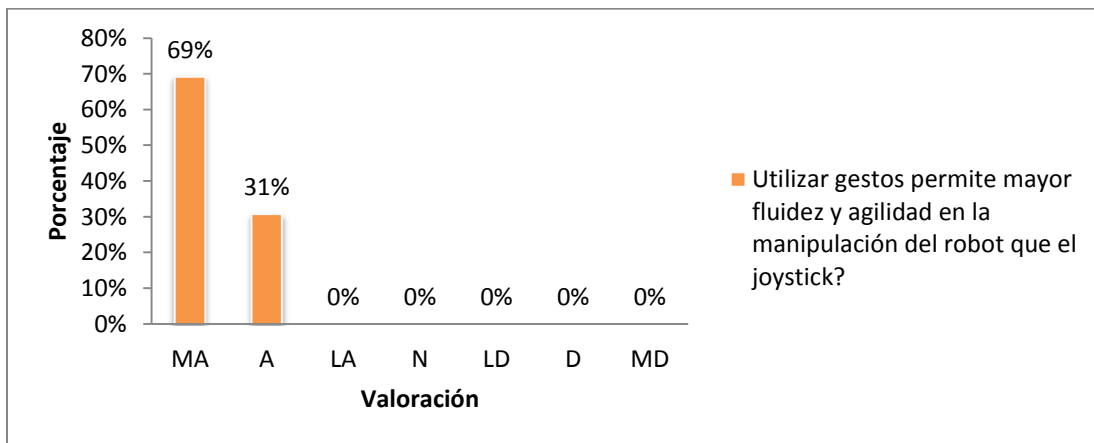


Figura 50. ¿Qué interface permite mayor fluidez y agilidad?

4.2.6 Pregunta 6. ¿Cuál interface es más divertida?

Tanto para la usabilidad como para la experiencia de usuario es necesario establecer el grado de familiaridad y empatía entre el beneficiario y la aplicación. Al respecto más del 90% afirmaron que les parece divertido y disfrutaron de la actividad al realizarla con

gestos, mientras que con joystick presentan una percepción neutral del 53%, como se muestra en la Figura 51.

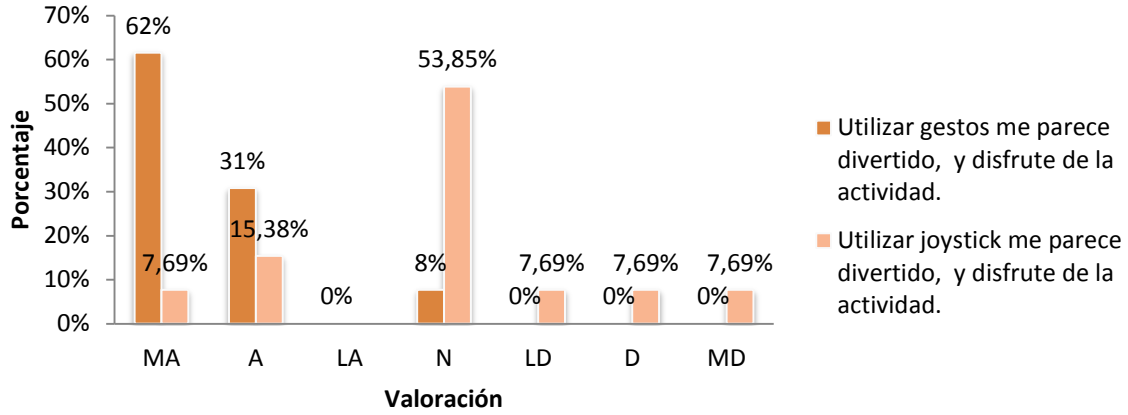


Figura 51. ¿Cuál interface es más divertida?

4.2.7 Pregunta 7. ¿Cuál interface causó frustración?

Al consultar sobre las emociones acontecidas durante el ejercicio el 54% afirmó que no estaba de acuerdo con que usar gestos le cause frustración, más el 37% afirma que el Joystick si la produjo, esta valoración indica que utilizar gestos permite una interacción amena y cómoda a diferencia de utilizar Joystick (ver Figura 52).

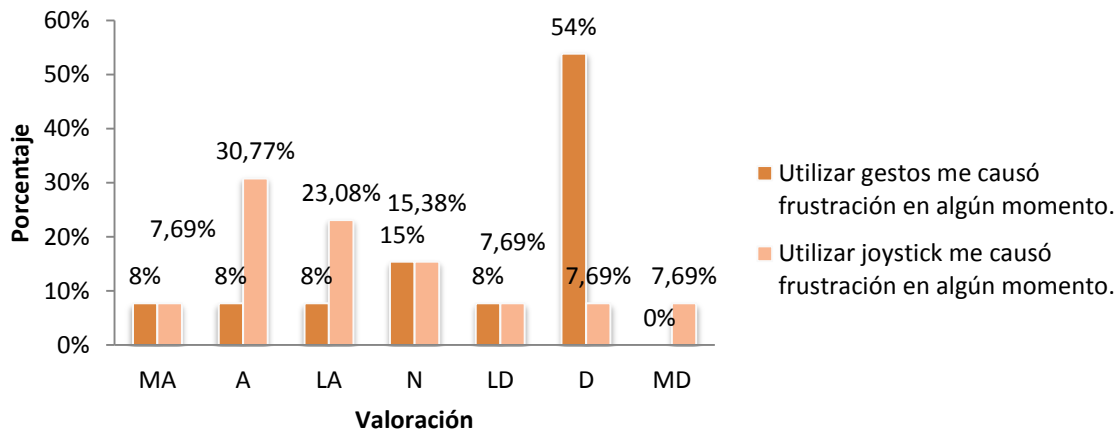


Figura 52. ¿Cuál interface causó frustración?

5. DISCUSION

En el cuestionario suministrado a los participantes, cada pregunta se diseñó para abstraer la perspectiva de los usuarios respecto de distintos tópicos importantes para definir la experiencia de usuario y la consecuente factibilidad para utilizar las interfaces naturales en tareas de especial atención como la manipulación de robots para procedimientos quirúrgicos.

Es importante resaltar que los resultados de los cirujanos graficados por separado muestran patrones de respuesta similares a los resultados de todos los participantes, excepto en las preguntas 4B y 6B que tienen carácter muy subjetivo y que están orientadas al uso de joystick, lo cual podría confirmar que los resultados encontrados son una buena captura de las percepciones, además confirma lo mencionado por Nielsen⁵ que tan solo 5 personas son suficientes para evaluar la usabilidad.

Los datos encontrados en las pruebas realizadas muestran que utilizar la interfaz natural ofrece una llamativa e interesante forma de interactuar con aplicaciones, con lo cual se puede optimizar y mejorar la eficiencia de las tareas ejecutadas. Además debido a la facilidad para adquirir pericia mediante el uso de interfaces naturales, combinado con la sencillez para asociar y recordar los fundamentos de manejo y la cualidad de los movimientos de ser intuitivos, podría ser posible disminuir los periodos de entrenamiento en el uso de alguna herramienta con todas las ventajas inherentes. De igual manera existe menor riesgo de ambigüedad o errores en los movimientos debido a que estos son similares a los que se utilizan con objetos reales.

La agilidad, el correcto flujo de trabajo y facilidad para ejecutar movimientos puede permitir en el contexto de la manipulación de robots quirúrgicos ejecutar procedimientos más complejos o mejorar la eficiencia de los existentes, disminuyendo riesgos e incrementando la calidad de los mismos. Con relación al mecanismo de manipulación se infiere que la ausencia de artefactos mecánicos disminuye las complicaciones que se presentan por el desgaste de piezas, tales como disminución de las prestaciones del dispositivo o reemplazo por falla, además del mantenimiento asociado.

La facilidad para utilizar las interfaces naturales, proporcionan un ambiente cómodo, ameno y de baja carga cognitiva, lo cual mejora ostensiblemente la ejecución de labores extensas, aunque en este punto es importante aclarar que en ocasiones los procedimientos con cirugía robótica implican más tiempo que en la laparoscópica convencional, debido a la preparación o disposición adecuada del equipo, lo que no corresponde a la ejecución como tal.

Con la implementación y prueba del presente proyecto se logró como aporte, una exploración en el campo de la tele-operación mediante movimiento libre de los brazos y manos, en busca del mejoramiento de las deficiencias de los controladores mecánicos,

⁵ Why You Only Need to Test with 5 Users. Nielsen Norman Group.
<http://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>

mediante gestos o posiciones que son definidas como condiciones para que el robot las ejecute.

La interacción mediante gestos responde al cumplimiento de las condiciones que determinan la respuesta del simulador, por ejemplo si el sistema encuentra una sola mano y los cinco dedos extendidos, se habilita la manipulación del robot porta endoscopio, de igual forma si el sistema detecta dos manos se habilita el desplazamiento del robot izquierdo y el derecho, y si a esta situación se suma tener solo el pulgar e índice extendidos, con la distancia entre las puntas de los dedos se establece la apertura de las pinzas virtuales. La selección de las herramientas es una condición particular dado que requiere cambiar el estado de operación del simulador y mover las manos en dirección horizontal hasta alcanzar y seleccionar la herramienta deseada.

Utilizar interfaces que carecen de sistemas mecánicos, es un área de investigación de reciente aparición, que requiere el desarrollo de múltiples aspectos antes de su implementación comercial, uno de ellos es el cansancio que produce mantener los brazos suspendidos sin apoyo, para lo cual es necesario definir las pruebas respectivas que permitan proponer las soluciones pertinentes tales como colocar los codos sobre una banda de apoyo tal como lo hace el sistema de control del robot Da Vinci. Además aunque tener los brazos suspendidos puede ocasionar cansancio después de un periodo prolongado, esta situación es compensada con el aumento de la precisión y facilidad en la traslación del robot, adicionalmente en cualquier momento el sistema puede colocarse en espera o suspensión, lo cual no es posible con el sistema de cirugía laparoscópica convencional, en donde los brazos no tienen ningún punto de apoyo porque sostienen las pinzas en todo momento para evitar lesionar al paciente. Este enfoque es una propuesta que brindaría buenas posibilidades en este campo tal como lo señala un trabajo similar desarrollado por Travaglini [71] en el cual utilizan un Leap Motion para tele-operar un robot tubular concéntrico continuo utilizado para cirugías de hipófisis endonasal, ellos contrastaron el sistema con el uso de una interfaz Omni-Phantom, encontrando resultados similares entre interfaces y mencionan que el uso de Leap Motion es prometedor en esta área, gracias a la precisión que ofrece a pesar que las pruebas desarrolladas duraron en promedio 14 minutos.

6. CONCLUSIONES.

Utilizar robots para procedimientos quirúrgicos, es un enfoque novedoso con buena aceptación a razón de integrar toda la técnica desarrollada en sistemas de control automático, en conjunto con las grandes ventajas de la cirugía mínimamente invasiva, logrando mayor eficiencia en las operaciones, menor tiempo de recuperación, menor dolor posoperatorio, menores incidencias estéticas, favoreciendo e incrementando el bienestar de los pacientes. En este orden de ideas en la Universidad del Cauca, Colombia, se desarrollaron dos robots de asistencia quirúrgica, el robot Lapbot para manejar el instrumental y el robot Hibou para orientar el endoscopio. Al igual que todos los sistemas de robótica quirúrgica, el usuario dirige los movimientos del robot, lo cual es realizado mediante interfaces mecánicas de tipo joystick, para el desplazamiento y orientación en las tres dimensiones.

Estas interfaces pueden ser reemplazadas por control mediante gestos y movimientos de las manos, lo cual permite mayor comodidad y naturalidad, debido a que la operación es intuitiva.

Con este propósito, en el presente trabajo se utilizó el dispositivo Leap Motion, que detecta la posición y orientación de las manos, para la manipulación de los robots quirúrgicos mencionados. Adicionalmente se implementó una colecistectomía (extracción de la vesícula) virtual con sus etapas básicas que la describen, encontrando que es posible ejecutar el procedimiento con el desplazamiento de ambas manos en el aire sin usar artefactos mecánicos.

El sistema fue probado por varios usuarios entre ellos estudiantes de especialización en cirugía, los cuales respondieron un cuestionario para evaluar la experiencia de usuario y de esta manera determinar la potencialidad del sistema.

Se encontró que al utilizar gestos los participantes relacionan fácilmente que los movimientos del extremo del robot son proyección de los desplazamientos que realizan sus propias manos; del mismo modo abrir o cerrar las pinzas refleja la intención del usuario. Se infiere por lo tanto que utilizar gestos permite un mejor flujo de trabajo así como una conexión estrecha entre el robot y quien lo controla permitiendo que la ejecución sea “natural”, como si el terminal fuera una extensión del cuerpo con buena agilidad, de tal manera que las tareas se ejecutan mejor y más rápido. Es precisamente por este motivo que la totalidad de los participantes manifestaron que es más agradable y confortable que utilizar el joystick.

Trasladar el órgano terminal del robot mediante el movimiento libre de las manos es más rápido que utilizar cualquier interfaz tipo joystick debido a que no presenta ninguna restricción al movimiento. En las pruebas se encontró que el tiempo disminuye en un 45%.

El 84% de los encuestados manifestaron que utilizar gestos es algo intuitivo, y de fácil comprensión, el 92 % estuvo muy de acuerdo en que es más agradable y confortable que

utilizar la interface mecánica. Respecto a que los gestos permiten mayor velocidad el 85%, dijo estar muy de acuerdo. Además, más del 69% acepta que permite mayor fluidez y agilidad. Estos resultados corroboran que el uso de interfaces naturales en este tipo de sistemas incrementa la interrelación entre el usuario y el robot, haciendo transparente el mecanismo de manipulación.

En el presente trabajo se logró lo siguiente:

1. Se desarrolló un prototipo para la ejecución de una cirugía virtual mediante interface natural.
2. Se planteó una forma natural para la manipulación virtual de un robot quirúrgico.
3. Se evaluó la percepción de estudiantes de especialización en cirugía en la ejecución de una colecistectomía virtual mediante interface natural.

Los primeros resultados del proyecto fueron divulgados con presentación oral en el XIX Simposio Internacional de Tratamiento de Señales, Imágenes y Visión Artificial 2014, Armenia, Colombia, cuyas memorias aparecen en IEEE Xplore. El título del artículo es **“Gesture Recognition System for Surgical Robot’s Manipulation”**. Además se encuentra en proceso de evaluación el artículo **Manipulación de robot quirúrgico mediante interface natural**, en la **Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica**, que se encuentra clasificada como A2, SCOPUS, Scielo, EBSCO, LATINDEX y CONACYT.

6.1 Trabajos futuros.

Utilizar gestos en la manipulación de robots es un campo que requiere de abundante investigación para brindar la suficiente seguridad a los pacientes, para esto se proponen los siguientes enfoques:

- En el trabajo presentado es necesario presionar un botón para pasar al estado de cambio de herramientas y estado de posicionamiento de la cámara, acción que puede ser reemplazada por pedales, que el usuario presione a su voluntad.
- Integrar al sistema un mecanismo de parada de emergencia o pausa, para que el usuario deshabilite el seguimiento temporalmente.
- Aprovechando las capacidades de la robótica, implementar un mecanismo para cambiar la escala de los movimientos del efector final, y de esta manera variar la precisión o rango de los desplazamientos.
- Aunque los robots quirúrgicos no son autónomos, se podrían diseñar módulos con trayectorias para acciones complejas y extensas tales como suturas o nudos.
- Desarrollar un experimento para evaluar la precisión mediante el seguimiento de varias trayectorias, con lo cual es posible determinar el porcentaje de error del uso de esta interfaz, además con pruebas de duración considerable es posible valorar el cansancio que genera utilizar gestos para tele operar robots quirúrgicos y de esta manera plantear mecanismos de solución.

7. REFERENCIAS

- [1] *Standard Laparoscopic Cholecystectomy*. [en línea]. Disponible: <http://www.laparoscopy.net/chole/choletech4.htm>.
- [2] *Endowrist®. "Instruments and Intuitive Masters"*, [en línea]. Disponible: http://biomed.brown.edu/Courses/BI108/BI108_2005_Groups/04/davinci.html.
- [3] Zhou, T.; Cabrera, M.; Wachs, J. "Touchless Telerobotic Surgery – Is It Possible at All", *Proceedings of the Twenty-Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence, Austin, Texas, USA*. pp. 4228-423, enero 2015.
- [4] Rosen, J. "Surgical Robotics". *Medical Devices: Surgical and Image Guided Technologies*, 1 Ed. John Wiley & Sons Inc. New Jersey, USA. 2013.
- [5] Puangmali, P.; Althoefer, K.; Seneviratne, L.; Murphy. "State-of-the-art in force and tactile sensing for minimally invasive surgery". *Sensors Journal, IEEE*, Vol. 8, pp. 371 -381, 2008.
- [6] Ruiz, D.; Pérez, V.; Betancur, M.; Bustamante, J. "Cirugía robótica mínimamente invasiva: análisis de fuerza y torque", *Revista ingeniería Biomédica*, Vol. 4, pp. 84-92, 2010.
- [7] Kim, Y.; Leonard, S.; Shademan, A.; Krieger, A.; Kim, P. "Kinect technology for hand tracking control of surgical robots: technical and surgical skill comparison to current robotic masters," *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, Vol. 28,, pp. 1993, Junio 2014.
- [8] Johnson, R.; O'Hara, K.; Sellen, A.; Cousins, C.; Criminisi, A. "Exploring the Potential for Touchless Interaction in Image-guided Interventional Radiology", *SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, New York, USA*, pp. 3323–3332, 2011.
- [9] Yaguchi, H.; Sato, K.; Kojima, M.; Sogen, K.; Takaoka, Y.; Tsuchinaga, M.; Yamamoto, T.; Inaba, M. "Development of 3D viewer based teleoperation interface for Human Support Robot HSR", *ROBOMECH Journal*, Springer International Publishing, 2014.
- [10] Pamungkas, D.; Ward, K., "Immersive teleoperation of a robot arm using electro-tactile feedback," *Automation, Robotics and Applications (ICARA)*, 2015 6th International Conference, pp.300-305, Queenstown, NZ, febrero 2015.
- [11] Fellmann, C.; Kashi, D.; Burgner, J. "Evaluation of Input Devices for Teleoperation of Concentric Tube Continuum Robots for Surgical Tasks", *Research Group CROSS, Center of Mechatronics (MZH), Leibniz Universität Hannover, Hanover, Alemania*, 2014.
- [12] Salman, A.; Seenii, A.; Bandara, Y. "Low cost dexterous teleoperation humanoid robotic hand with wearable remote controller", *International Research Symposium on Engineering Advancements Malabe*, Sri Lanka 2015.

- [13] Ballantyne, G.; Moll, F. "The da Vinci telerobotic surgical system: The virtual operative field and telepresence surgery" *Surgical Clinics of North America*, vol. 83, no. 6, pp. 1293–1304, 2003."
- [14] Hagn, U.; Konietzschke, R.; Tobergte, A.; Nickl, M.; Jörg, S.; Kubler, B.; Passig, G.; "DLR MiroSurge: a versatile system for research in endoscopic telesurgery," *Computer Assisted Radiology and Surgery*, vol. 5, no. 2, pp. 183–193, 2010.
- [15] Garcia, C.; Gomez, I. "Algoritmos de aprendizaje: KNN y KMEANS, inteligencia en redes de telecomunicación", Universidad Carlos III de Madrid, [en línea]. Disponible: <http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/08-09/06.pdf>.
- [16] Álvarez, M.; Henao, R. "Modelos ocultos de Markov en espacios de disimilaridad: alternativas para la selección de prototipos" , *Scientia et Technica, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, Agosto 2007*.
- [17] Medrano, J.; Avilés, H.; Gómez D. "Un Esquema 3D para la Descripción Visual de Gestos Dinámicos", *La Mecatrónica en México*, Vol. 3, No. 3, pp. 84-91, [en línea]. Disponible: www.mecamex.net/revistas/LMEM , Septiembre 2014.
- [18] Gonzales, A. "Modelos de clasificación basados en máquinas de vectores soporte", Departamento de Economía Aplicada, Universidad de Sevilla, [en línea]. Disponible: <http://www.asepelt.org/ficheros/File/Anales/2003%20-%20Almeria/asepeltPDF/55.pdf>.
- [19] Vapnik, V. "Statistical Learning Theory", John Wiley & Sons, Inc, New York, USA 1998.
- [20] Colmenares, G. "Inteligencia Artificial, Máquinas de Vectores de Soporte", [en línea]. Disponible: http://www.webdelprofesor.ula.ve/economia/gcolmen/programa/economia/maquinas_vectores_soporte.pdf.
- [21] Carmona, E. "tutorial sobre máquinas de vectores soporte (SVM)", Dpto. de Inteligencia Artificial, ETS de Ingeniería Informática, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid 2014, [en línea]. Disponible: , <http://www.ia.uned.es/~ejcarmona/publicaciones/%5B2013-Carmona%5D%20SVM.pdf>.
- [22] Ferng, L.; Bor, J. "Reconocimiento Robusto y en Tiempo Real de Gestos". *Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas*, Mayo 2010. [en línea]. Disponible: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103649>.
- [23] Nope, S.; Loaiza, H.; Caicedo, E. "Modelo Bio-inspirado para el Reconocimiento de Gestos Usando Primitivas de Movimiento en Visión". *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (RIAI)*, Vol. 5, No. 4, pp. 69 – 76. 2008.
- [24] Hasanuzzamana, M; Zhanga, T.; Ampornaramvetha, V; Gotodaa, H.; Shiraib, Y.; Uenoa, H. "Adaptive visual gesture recognition for human–robot interaction using a knowledge-based software platform", *Journal Robotics and Autonomous Systems* , Vol. 55, No. 8., pp 643-657, 2007, vol. pp 643-657, 2007.
- [25] Nickel, K; Stiefelhagen, R." *Visual recognition of pointing gestures for human–robot interaction*", *Journal*

Image and Vision Computing. Vol. 25 No. 12, pp. 1875 – 1884. 2007.

- [26] Van den Bergh, M.; Carton, D.; de Nijs, R. ; Mitsou, N.; Landsiedel, C.; Kuehnlencz, K. ; Wollherr, D. ; Van Gool, L. ; Buss, M. "Real-time 3D Hand Gesture Interaction with a Robot for Understanding Directions from Humans", *IEEE RO-MAN*, Atlanta, GA, USA, pp., 357 - 362, Julio 2011.
- [27] Kumar, P.; Rautaray, S.; Agrawal, A. "Hand Data Glove: A New Generation Real-Time Mouse for Human-Computer Interaction", *Recent Advances in Information Technology (RAIT), 2012 1st International Conference*. Dhanbad, India, pp. 750 - 755. Marzo 2012.
- [28] Murugesu, P.; Yaacob, S.; Zamar, M.; Rajkumar, P. "A phoneme based sign language recognition system using interleaving feature and neural network", *Universiti Malaysia Perlis (UniMAP)*, 2012.
- [29] Lacolina, S.; Soro, A.; Scateni, R. "Natural exploration of 3D models", *Proceedings of the 9th ACM SIGCHI Italian Chapter International Conference on Computer-Human Interaction: Facing Complexity*, Alghero, Italia. pp. 118–121, 2011.
- [30] Staub, C.; Can, S. ; Knoll, A. ; Nitsch, V. ; Karl, I. ; Farber, B. "Implementation and Evaluation of a gesture-based Input Method in Robotic Surgery". *IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and Games (HAVE) Hebei China*, pp. 1 - 7., Oct 2011.
- [31] Guanglong, D.; Ping, Z; Jianhua, M.; Zeling, L. "Markerless Kinect-Based Hand Tracking for Robot Teleoperation", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, pp. 91-110, julio 2012.
- [32] Wigdor, D.; Wixon, D. "Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture", *Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, USA*. 2011.
- [33] Valli, A. "Notes on natural interaction", 2005 [en línea]. Disponible: <http://www.idemployee.id.tue.nl/g.w.m.rauterberg/Movies/NotesOnNaturalInteraction.pdf>.
- [34] Jain, J.; Wixon, A.; Lund, D. "The future of natural user interfaces". *Proceedings of the 2011 Annual Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '11, Vancouver, Canada*, pp. 211–214, 2011.
- [35] Hinckley, K.; Wigdor, D. "The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications", *Taylor & Francis*. pp. 1–49. Boca raton, Florida, USA 2002.
- [36] UI Group Community. "New Community Open" [en línea]. Disponible: [http://nuigroup.com/log/comments/forums_launched/..](http://nuigroup.com/log/comments/forums_launched/)
- [37] Rautaray, S.; Agrawal, A. "Vision based hand gesture recognition for human computer interaction: a survey", *Artificial Intelligence Review*, Vol. 43, pp. 1-54, Enero 2015.
- [38] Hardenberg, C.; Bérard, F. "Bare-hand Human-computer Interaction," in *Workshop on Perceptive User Interfaces*, New York, NY, USA, pp. 1–8, 2001.

- [39] OpenNI. "Open Natural Interaction: Organización y Biblioteca de Desarrollo de Aplicaciones de Interacción Natural". [en línea]. Disponible: <http://www.openni.org>.
- [40] Zhou, R.; Jingjing, M.; Junsong, Y.; Zhengyou, Z. "Robust hand gesture recognition with kinect sensor", Proceedings of the 19th International Conference on Multimedia 2011, Scottsdale, AZ, USA, November 2011.
- [41] Zhou, R.; Junsong, Y.; Jingjing, M.; Zhengyou, Z. "Robust Part-Based Hand Gesture Recognition Using Kinect Sensor", *Multimedia, IEEE Transactions*, Vol. 15. pp 1110 - 1120. 2013.
- [42] Sirui, R.; Gastélum, A.; Lau, A.; Lutteroth, C.; Hin, Y.; Delmas, P. "Bimanual natural user interaction for 3D modelling application using stereo computer vision", *Proceedings of the 13th International Conference of the NZ Chapter of the ACM's Special.*, Dunedin, New Zealand, pp. 44-51, 2012.
- [43] Hodson, H. "Leap Motion hacks show potential of new gesture tech". *New Scientist*, Vol. 218, pp. 21, april 2013.
- [44] Leap Motion Inc®. "Leap Motion SDK" [en línea]. Disponible: <https://developer.leapmotion.com/>.
- [45] Wachs, J.; Stern, H.; Edan, Y.; Gillam, M.; Handler, J.; Feied, C.; Smith, M. "A Gesture-based Tool for Sterile Browsing of Radiology Images", *Journal of American Medical Informatics Association*, pp. 321–323, 2008 [en línea]. Disponible., <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2410001/>.
- [46] Jacob, M.; Wachs, J.; Packer, R. "Hand-gesture-based sterile interface for the operating room using contextual cues for the navigation of radiological images", *Journal of American Medical Informatics Association*, pp. 183-186, mayo 2013.
- [47] Jacob, M.; Li, Y.; Wachs, J. "Gestonurse: A Multimodal Robotic Scrub Nurse", *Human-Robot Interaction (HRI)*, 2012 7th ACM/IEEE International Conference, Boston, MA, pp.153 - 154, Marzo 2012.
- [48] Kosi, K.; Arzensek, B.; Vogrincic, M.; Kuhar, S. "Towards New User Interfaces Based on Gesture and Sound Identification", *Proceedings of the 2nd Workshop of Software Quality Analysis, Monitoring, Improvement, and Applications*, Novi Sad, Serbia, pp. 45-52,, September 2013 [en línea]. Disponible: <http://ceur-ws.org/Vol-1053/sqamia2013paper6.pdf>.
- [49] Innovative Medical Solutions, Adora system, (Mayo, 2015). [en línea]. Disponible: <http://www.adora-med.com/>.
- [50] Kim, Y.; Leonard, S.; Shademan, A.; Krieger, A. "Kinect technology for hand tracking control of surgical robots: technical and surgical skill comparison to current robotic masters". *Journal Surgical Endoscopy*, Springer US. 2014.
- [51] Instituto Nacional del Cancer. "Cáncer de vesícula biliar: Tratamiento", [en línea]. Disponible: <http://www.cancer.gov/espanol/pdq/tratamiento/vesiculabiliar/Patient/page1>.

- [52] *Clinical Gate*. "Biliary tract", [en línea]. [en línea]. Disponible: <http://clinicalgate.com/biliary-tract/>.
- [53] Díaz, S.; Correa, M.; Giraldo, L.; Ríos, D.; Solórzano, F.; Wolff, J.; Londoño, R.; Martínez, J.; Matallana, R.; Vanegas, L. "Experiencia en colecistectomía por laparoscopia en la Clínica Universitaria CES", *Revista Colombiana de Cirugía*, Vol. 27, Bogotá,., Octubre 2012.
- [54] *Robodoc*. "Vista general". [en línea]. Disponible: http://www.robodoc.com/pro_about_faqs.html.
- [55] *Mazor Robotics*. "Powered by Clinically Validated Technology — Highly Accurate and Safe", (Abril, 2015). [en línea]. Disponible: <http://mazorrobotics.com/renaissance/>.
- [56] *Culjat, M; Singh, R.; Lee, H.* "Medical devices: surgical and image-guided technologies", *John Wiley & Sons Inc. New Jersey* pp. 80 - 93. 2012.
- [57] *Salinas, S.; Vivas O.* "Modelado, simulación y control del robot para cirugía laparoscópica lapbot", *Revista Chilena De Ingeniería, Universidad De Tarapaca* Vol. 17 pp. 317 - 328. Chile, Diciembre 2009.
- [58] *Méndez, C.; Torres, V.* "Diseño y simulación en 3D de un robot porta endoscopio para cirugía laparoscópica", *Tesis pregrado Ingeniería en Automática Industrial, Universidad del Cauca*, 2010.
- [59] *Cae HealthCare*, "CAE Promis Laparoscopic Simulator", (Abril, 2015). [en línea]. Disponible: <http://caehealthcare.com/images/uploads/brochures/ProMIS.pdf>.
- [60] *Mentice*, "VIST-Lab Simulator", (Abril, 2015). [en línea]. Disponible: <http://www.mentice.com/our-simulators/vist-lab/>.
- [61] *Simbionix USA Corporation*. "Lap Mentor, Only Simbionix Provides Basic and Advanced Surgical Simulation Training", (Abril, 2015). [en línea]. Disponible: <http://simbionix.com/simulators/lap-mentor/>.
- [62] *MedSim*, "Ultrasound Training and Simulation", (Abril, 2015). [en línea]. Disponible: <http://www.medsim.com>.
- [63] *Allard, J.; Bensoussan, J.; Faure, F.; Cotin, S.; Grisoni, G.; Delingette, H.; Poyer, F.* "SOFA an Open Source Framework for Medical Simulation", *CIMIT Sim Group - Harvard Medical School*, (Abril, 2015). [en línea]. Disponible., <http://www.lifl.fr/~grisoni/MMVR07.pdf>.
- [64] *Inria*, "SOFA Framework", (Abril, 2015). [en línea]. Disponible: <https://www.sofa-framework.org>.
- [65] *Enciso, S.; Sánchez, F.; Díaz, I.; Usón, J.* "Validación preliminar del simulador físico Simulap y de su sistema de evaluación para cirugía laparoscópica", *Cirugía Española*, Vol. 90, pp.38-44. Enero 2012.
- [66] *Brooke, J.* "SUS - A quick and dirty usability scale", *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189–194. 1996. [en línea]. Disponible: <http://hell.meiert.org/core/pdf/sus.pdf>.
- [67] *D'Hertefelt, S.* "Emerging and future usability challenges: designing user experiences and user communities". [en línea]. Disponible: <http://www.interactionarchitect.com/future/vision20000202shd.htm>.

- [68] Vera, D.; , Vivas, O. "Ambiente virtual para el entrenamiento de cirugías laparoscópicas utilizando robots", *Pan American Health Care Exchanges (PAHCE), Medellin (Col), pp. 1 - 6, Mayo, 2013.*
- [69] V-collide. "Collision Detection for Arbitrary Polygonal Objects",[en línea]. Disponible: <http://gamma.cs.unc.edu/V-COLLIDE/>.
- [70] Mercedes, L. "Geometria Descriptiva", (Marzo, 2015). [en línea]. Disponible: http://ingenieroluismercedes.blogspot.com/p/geometria-descriptiva_9734.html.
- [71] Travaglini, T.; Swaney, P.; Weaver, K.; Webster,R. "Initial Experiments with the Leap Motion as a User Interface in Robotic Endonasal Surgery", *Robotics and Mechatronics, de series Mechanisms and Machine Science, Vol. 37, Springer International Publishing," pp. 171-179,Septiembre 2015.*
- [72] Nope, S.; Caicedo, E.; Loaiza, H "aplicaciones del movimiento y su representacion biologica en el reconocimiento de gestos", *Ingeniería y Competitividad, Vol. 8, No. 2, pp. 55 - 63. 2006.*
- [73] Yi, L. "Multi-scenario gesture recognition using Kinect", *17th International Conference on Computer Games (CGAMES), Louisville KY USA, pp. 126 - 130. Julio 2012.*
- [74] Hagn, U.; Konietschke, R.; Tobergte, A.; Nickl, M.; Jörg, S.; Kubler, B.; Passig, G.; "DLR MiroSurge: a versatile system for research in endoscopic telesurgery," *Computer Assisted Radiology and Surgery, vol. 5, no. 2, pp. 183–193, 2010.*

ANEXO A: Cuestionario.

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Programa de Maestría en Automática

Proyecto: Sistema de manipulación de robots quirúrgicos mediante gestos.

Cuestionario para la evaluación de experiencia de usuario, en la utilización del sistema de manipulación de robots quirúrgicos.

Descripción: Inicialmente usted recibirá las indicaciones correspondientes para el uso de la herramienta, luego procederá a utilizarla mediante el uso de gestos y de Joystick para posteriormente responder el presente cuestionario.

Fecha: _____

Nombre: _____

Edad: _____

Profesión: _____

Escolaridad: _____

Sexo: _____

Utiliza regularmente videojuegos? Siempre __ Ocasionalmente __ En el pasado __ Nunca __

	Preguntas	Muy de acuerdo	De acuerdo	Ligeramente de acuerdo	Neutral	Ligeramente en desacuerdo	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
1	La manipulación mediante gestos es intuitiva, fácil de entender y utilizar?							
	La manipulación mediante joystick es intuitiva, fácil de entender y utilizar?							
2	Podría recordar fácilmente el modo de uso de los gestos?							
	Podría recordar fácilmente el modo de uso del joystick?							
3	La manipulación mediante gestos es más agradable y comfortable que el uso de joystick?							
4	Mediante los gestos se ejecuta el procedimiento de manera más rápida y precisa?							
	Mediante el joystick se ejecuta el procedimiento de manera más rápida y precisa?							
5	Utilizar gestos permite mayor fluidez y agilidad en la manipulación del robot que el joystick?							
6	Utilizar gestos me parece divertido, y disfruté de la actividad.							
	Utilizar joystick me parece divertido, y disfruté de la actividad.							
7	Utilizar gestos me causó frustración en algún momento.							
	Utilizar joystick me causó frustración en algún momento.							

Firma: _____

ANEXO B. Manual de usuario

1. Instalación.

Para la instalación del software de manejo mediante gestos para robots quirúrgicos (*Gestures for Surgical Robots*), G4SR, es necesario establecer la ubicación correcta de los archivos que contienen los modelos 3D, así como las librerías, para este propósito en la raíz del disco principal "C", se descomprime el archivo "simulador_Leap.rar", en el interior de la carpeta se ejecuta el archivo de instalación Setup, durante el proceso el sistema pregunta por la carpeta de destino la cual se establece como "c:/simulador_Leap/install", luego de estos pasos encontrará un acceso directo en el escritorio y en el menú inicio con el nombre "Simulador_Leap".

2. Descripción.

La aplicación cuenta con menú de opciones como se muestra en la figura 1, cada una de las cuales se describe a continuación:

- La pestaña de Control permite seleccionar el tipo de sistema para su manejo ya sea con Leap Motion o Joystick
- La pestaña Restaurar como lo indica, restaura las posiciones y estado inicial del sistema gráfico y lógico, permitiendo repetir el ejercicio.
- En la pestaña ayuda se encuentra información sobre la aplicación.



Figura 1. Menú de opciones.

3. Ventanas.

La figura 2, es el monitor donde se aprecia el interior del paciente virtual, en el cual se encuentran los órganos, como el hígado, la vesícula, el triángulo de calot, el tejido que cubre el conducto y la arteria cística, además se muestra las extremos de los robots que son orientados a voluntad del usuario. Las etiquetas de texto brindan apoyo visual indicando en que paso se encuentra el ejercicio desarrollado, y alarma en el caso de realizar movimientos que impliquen riesgo en el paciente.



Figura 2. Ventana de vista interna

En la figura 3 se muestra distintos ángulos de la ventana externa en la cual se encuentra el quirófano, conformado por la camilla, el paciente virtual, dos robots Lapbot, un robot Hibou, y las esferas que ayudan a seleccionar las herramientas, cuyo nombre lo indican las etiquetas de texto ubicadas en la parte inferior.

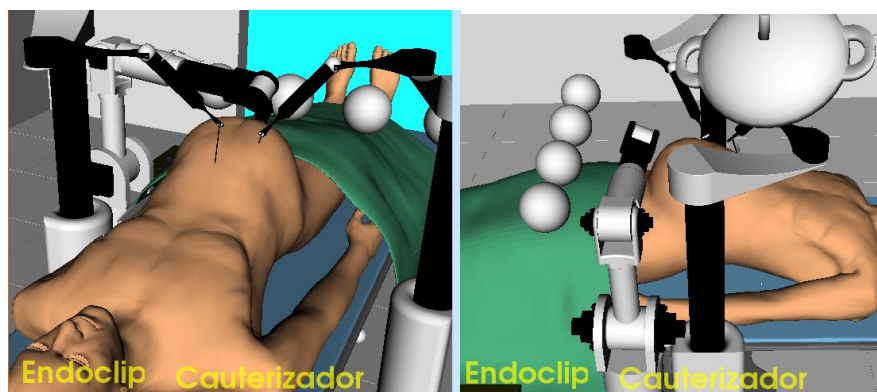


Figura 3. Tres ángulos de la vista externa.

1. Instrumentos utilizados.

La aplicación cuenta con los instrumentos básicos, para el robot Lapbot derecho se asignó el electrocauterio y el gancho, los cuales se indican en la figura 4 superior, el robot izquierdo utiliza el endoclip para las grapas y la pinza para sostener la vesícula (ver figura 4 inferior)

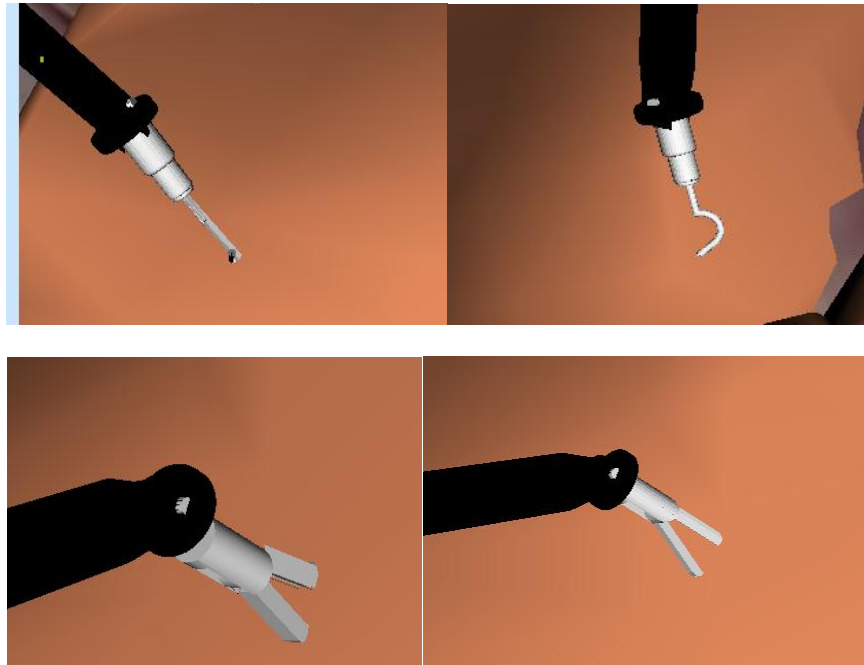


Figura 4. Instrumentos utilizados en los extremos de los robots.

2. Guías para la ejecución de las tareas.

Con el propósito de suministrarle al usuario la forma adecuada de realizar cada tarea, el sistema cuenta con varias esferas como las mostradas en la figura 5, las cuales indican el lugar correcto donde dirigir el extremo del instrumental o ubicar las grapas



Figura 5. Guías del procedimiento.

3. Grapas.

En el procedimiento de colecistectomía es fundamental sellar los conductos, que ingresan a la vesícula, para que no existan derrames en el momento de cortarlos, el mecanismo más aceptado para tal fin es colocar grapas o clips, como se muestra en la figura 6.

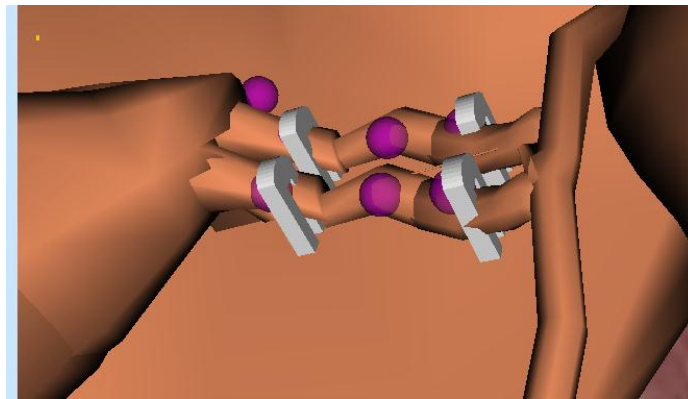


Figura 6. Posicionamiento de las grapas.

4. Botones de apoyo.

Para la ejecución correcta del procedimiento el usuario requiere cambiar de herramienta y posicionar la cámara, estos estados de la aplicación se activan al presionar el botón correspondiente como lo indica la figura 7. Esta acción la ejecuta un auxiliar quien utiliza el botón de “Cambio” para habilitar la ventana derecha y permitir la selección de herramientas con Leap Motion, al soltarlo se habilita la ventana izquierda para operar los robots. Con el botón “Cam”, se activa el robot portaendoscopio para reubicar la cámara

interior, esta tarea se realiza colocando una sola mano sobre el dispositivo, extendiendo y separando los dedos.



Figura 7. Botones de apoyo

5. Posicionamiento de la cámara

Para el posicionamiento de la cámara, es necesario mantener presionado el botón “cam”, y colocar una sola mano y extender sus dedos como lo indica la imagen, la aplicación corresponderá desplazando el punto de observación de la cámara. El usuario debe practicar este movimiento hasta llegar el punto donde tenga una mejor vista para realizar el procedimiento (ver figura 8).



Figura 8. Posicionamiento de la cámara interna.

6. Posición del usuario

La posición establecida para utilizar la aplicación es la que se muestra en la figura 9, donde las manos deben ubicarse justo sobre el Leap Motion, desplazándolas suavemente hasta que el dispositivo detecte sus posiciones y corresponda con el movimiento de los robots.



Figura 9. Ubicación para usar la aplicación.

7. Familiarización

Para muchos usuarios quizás sea la primera vez que utilicen una herramienta de este tipo, por esta razón, antes de utilizarla se recomienda una breve familiarización, mediante dos juegos simples que provee la SDK del Leap Motion, como se muestra en la figura 10, en la imagen de la derecha el programa genera una representación virtual de las manos, las cuales tratan de seguir todos los movimientos de las mismas, y con sofisticado algoritmo trata de representar hasta los estados de las articulaciones, en este juego el propósito es quitar los pétalos de una flor, en la imagen derecha el objetivo es colocarle la cabeza en varios robots que se mueven aleatoriamente.

Ambas aplicaciones permiten que el usuario relacione sus movimientos con la aplicación, para que al utilizar el programa G4SR, le sea familiar, ejecutar el procedimiento.



Figura 10. Juegos de familiarización.

8. Abrir o cerrar pinzas.

Luego de conocer la forma en que los gestos y posiciones son reconocidos y representados por la herramienta el usuario debe, abrir la herramienta, colocar las dos manos sobre el Leap Motion, y desplazarlas suavemente observando como los extremos de los robots siguen la el estado y posición de las manos. El manejo de las pinzas se realiza mediante la mano izquierda, colocándola como lo indica la figura 11, los dedos pulgar e índice deben extenderse y ubicarse en frente del dispositivo.



Figura 11. Posición correcta de los dedos para abrir y cerrar pinza.

Para abrir y cerrar las pinzas, se separan y acercan los dedos como lo indica la Figura 35 izquierda, en correspondencia la pinza del robot hace lo mismo. El usuario debe practicar este movimiento hasta dominarlo adecuadamente.

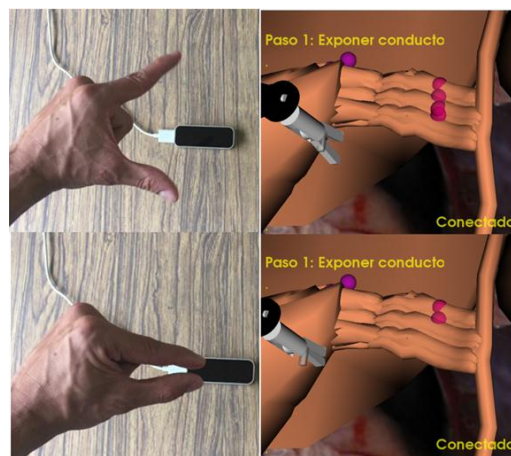


Figura 12. Posición para abrir o cerrar las pinzas.

Recomendación.

Durante la ejecución tener en cuenta que el Leap Motion pierde la detección en los siguientes casos: si el usuario traslapa las manos, cuando no reconoce las dos manos o alguna de ellas sale de la zona activa

Etapa uno.

- Seleccionar el electrocauterio en la herramienta derecha.
- Mantener la mano izquierda en disposición de manejar la pinza como se indicó antes.
- Mantener la mano derecha con el dedo índice extendido.
- Desplazar el electrocauterio hasta las esferas que representan el punto de corte del tejido que cubre los conductos (ver figura 13).
- Evitar tener contacto con los órganos adyacentes, en el caso del contacto se activa una alarma o etiqueta de texto que indica algún riesgo.



Figura 13. Triangulo de Calot.

- Una vez se ha expuesto los conductos el simulador mostrara la imagen 14 izquierda, en la derecha se observa la representación tradicional.

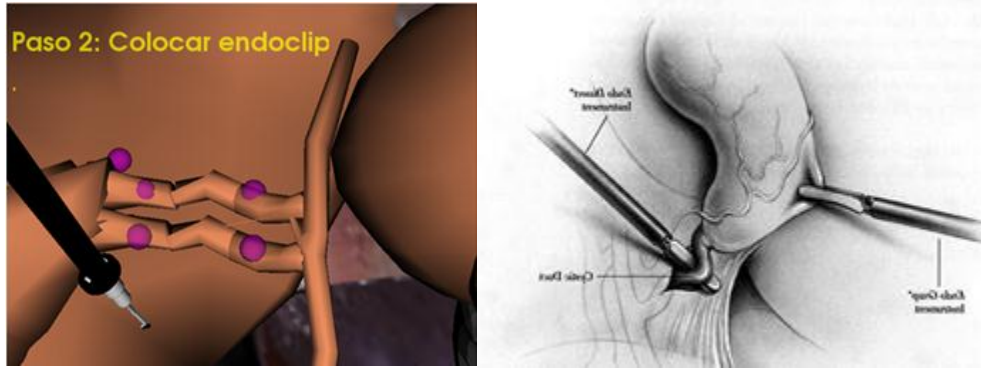


Figura 14. Conductos expuestos.

Etapa dos.

Una vez terminado el paso anterior el usuario debe cambiar la herramienta izquierda seleccionando endoclip. Luego manteniendo los dedos índice y pulgar abiertos se dirige el robot hasta las guías, ahora con mucha precisión se ubica la base del endoclip en la esfera guía. Solo en ese momento se cierran y se colocan los clips, este proceso se repite dejando dos clips en la arteria y dos en el conducto cístico, sin que importe el orden como lo indica la figura 15 izquierda, en la derecha se representa la forma convencional.

La colocación de clips impide que los fluidos se derramen y ocasionen peligro para el paciente.

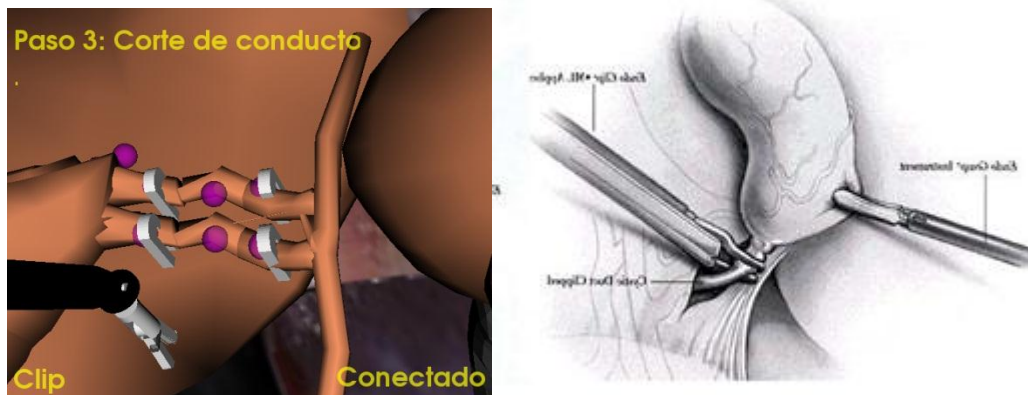


Figura 15. Ubicación exacta de los clips.

Etapa tres.

Después de asegurar los conductos, con la mano derecha se dirige el robot correspondiente con el electrocauterio en su extremo hasta las guías ubicadas en medio de los conductos. Luego con cuidado se realiza el corte desapareciendo la sección central de los ductos, como lo indica la figura 16 izquierda con su correspondencia en la derecha.



Figura 16. Corte de los conductos.

Etapa cuatro.

Como la vesícula está adherida al lecho hepático, mediante el electrocauterio se corta cada uno de los ligamentos con el cuidado de no tocar el hígado, en caso contrario un mensaje de advertencia se muestra en pantalla

Etapa cinco.

En este paso se selecciona la pinza para el robot izquierdo, una vez se cumpla esta condición, acercarse y sostenerla de la parte superior como lo indica la Figura 41.

Luego sujetando adecuadamente la vesícula y manteniendo cerrada la pinza, llevarla hasta la esquina superior izquierda, en ese momento un mensaje de finalización aparecerá en pantalla.

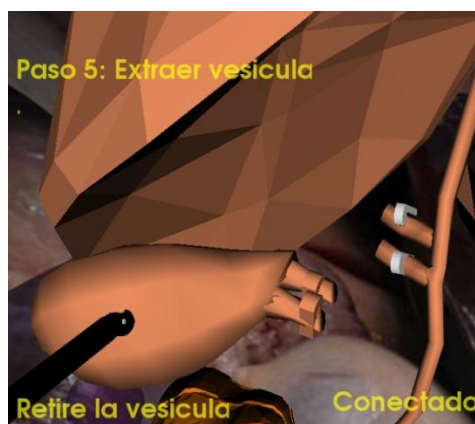


Figura 17. Extracción de la vesícula.