



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS
DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

UNIDAD ZACATENCO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

SECCIÓN DE BIOELECTRÓNICA

**“Diseño del mecanismo de un endoscopio flexible con
adaptación USB para entrenamiento”**

T E S I S

Que presenta

FRANCISCO DAVID PÉREZ REYNOSO

Para obtener el Grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

EN LA ESPECIALIDAD DE

INGENIERÍA ELÉCTRICA

Director de la Tesis: Dr. Daniel Lorias Espinoza

Ciudad de México.

Abril, 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo recibido en el transcurso de mis estudios

A Cecilia Reynoso Velázquez mi mamá y Francisco Pérez Pereyra mi papá, por ser mi ejemplo, mis amigos, mis aliados, gracias por todo el apoyo en mi vida y toda su preocupación por siempre tener tiempo y paciencia para escucharme y ayudarme, sin ustedes esto no hubiera sido posible.

A Carolina Pérez Reynoso y Ricardo Pérez Reynoso mis hermanos, por formar parte de mi vida, por compartir alegrías y tristezas, estando siempre juntos en momentos difíciles y brindándome siempre su apoyo.

Al Doctor Daniel Lorias Espinoza por apoyarme en la realización de este proyecto, servir de guía y permitirme ser parte de su equipo de trabajo.

A Iveth Santana por la paciencia, apoyo y comprensión en el transcurso de mis estudios, siempre tuviste tiempo para calmar mis frustraciones y ayudarme a seguir con calma mis objetivos, apoyándome en los momentos más difíciles.

A los grandes amigos que hice en la maestría sin ustedes la estancia en el Cinvestav no hubiera sido la misma.

“Ser joven significa ser dueños de nuestra vida, de nuestro presente y estar dispuestos a desafiar nuestro porvenir; aceptar las circunstancias sin envidiar ni protestar; admitir la maravilla que somos y lanzarnos a conquistar nuestro propio destino.”

Miguel Ángel Cornejo

Índice

	Página
Tabla de figuras	III
Resumen	VII
Abstract	VIII
Planteamiento y Objetivos	IX
Introducción	1
Antecedentes	3
CAPÍTULO I	
1. Cirugía mínimamente invasiva	5
1.1. Tipos de endoscopia	6
1.2. Material para la endoscopia	8
1.3. La enseñanza y aprendizaje en la endoscopia	10
1.4. Herramientas de aprendizaje	13
CAPÍTULO II	
2. Características de los endoscopios	19
2.1. Endoscopios rígidos	19
2.2. Endoscopios operatorios	19
2.3 El endoscopio CCD “chip-on-the-tip”	20
2.4. Endoscopio Flexible	20
2.5. Sistemas de Iluminación	26
2.6. Sensor CCD	26
2.7. Parte distal flexible de un endoscopio	28
CAPÍTULO III	
3. Diseño del endoscopio flexible	30
3.1. Diagrama a bloques del prototipo a desarrollar	30
3.2. Diseño del extremo distal flexible	31

	3.3. Cámara boroscópica	34
	3.4. Sección flexible del endoscopio	35
	3.5. Mecanismo de activación	36
	3.6. Mecanismo a base de poleas	36
	3.7. Poleas fijas	37
	3.8. Diseño de las poleas	38
	3.9. Diámetro mínimo	39
	3.10. Longitud de la correa	39
	3.11. Diseño de la carcasa	40
	3.12. Análisis de elemento finito	52
	3.13. Método de la matriz de rigidez	54
	3.14. Análisis estático por computadora	55
CAPÍTULO IV	4. Ensamblaje del endoscopio flexible	61
	4.1. Piezas manufacturadas en torno	61
	4.2. Piezas generadas en impresión 3D	62
CAPÍTULO V	5. Pruebas realizadas al endoscopio flexible	67
	5.1. Prueba de curvatura	67
	5.2. Resultados de la prueba de curvatura	69
	5.3. Prueba de visualización	70
CAPÍTULO VI	6. Discusión	77
	6.1. Conclusiones	82
	6.2. Perspectivas	85
	Bibliografía	85

Tabla de figuras

		Página
Fig. 1	Partes de una torre de Endoscopia	10
Fig. 2	Simulador Symbionix	15
Tabla 1	Simuladores comerciales para entrenamiento de la endoscopia.	16
Fig. 3	Endoscopio rígido con cable de fibra óptica de Richard Wolf.	19
Fig. 4	Endoscopio urológico (cistoscopio) con tubo flexible de entrada y de salida, cable de fibra óptica y pinza introducida.	20
Fig. 5	Endoscopio EYEMAX CCD para laparoscopia de Richard Wolf GI Mentor.	20
Fig. 6	El nuevo cistoscopio LED CCD de Richard Wolf.	21
Fig. 7	Partes externas de un endoscopio flexible.	22
Fig. 8	Punta del endoscopio.	22
Fig. 9	Sistemas Internos de un Endoscopio	24
Fig. 10	Cubierta de un endoscopio Flexible.	24
Fig. 11	Canales internos de un endoscopio	25
Fig. 12	Microcircuito encargado de la transmisión de la señal captada por el CCD.	28
Fig. 13	Segmentos tubulares en flexión y tensión localizados en la parte distal frontal de un endoscopio	29
Fig. 14	Diagrama a bloques de un endoscopio flexible para entrenamiento	30
Fig. 15	Dibujo de piezas circulares de la parte distal del endoscopio.	32
Fig. 16	a) Extremo distal del endoscopio flexible acodado b) Extremo distal del endoscopio flexible acodado vista desde otra perspectiva c) Eslabón en forma de anillo que circunda a la cámara boroscópica en 3D	33

Fig. 17	Grados de libertad del extremo distal	34
Fig. 18	Cámara boroscópica a utilizar	35
Fig. 19	Partes que conforman la sección flexible del endoscopio de entrenamiento	36
Fig. 20	Principio de una polea la fuerza F que se ejerce es de la misma magnitud que la carga R	37
Fig. 21	Dibujo de polea empleado en el diseño del endoscopio	38
Fig. 22	Alineación del cable acerado perpendicularmente a los planos de la polea y los orificios del extremo distal	38
Fig. 23	Dibujo de la manija manipuladora	41
Fig. 24	Orientación de las poleas para el control de cada par de movimiento: derecha – izquierda y arriba – abajo	42
Fig. 25	Polea en donde se adapta la manija manipuladora y el eje externo	43
Fig. 26	Pieza adaptador que brinda la posición necesaria de las poleas así mismo el paso de los cables tensores y protección de la cámara	44
Fig. 27	Colocación de las poleas con la pieza de adaptación	45
Fig. 28	Dibujo de la parte derecha de la carcasa	46
Fig. 29	Dibujo de la parte izquierda de la carcasa	47
Fig. 30	Mecanismo completo de poleas con carcasa y adaptador	48
Fig. 31	Composición interna de la pieza Guía	49
Fig. 32	Pieza guía de los cables tensores.	49
Fig. 33	Mecanismo completo con todas las piezas que permiten el paso de los cables tensores	50
Fig. 34	Vista del mecanismo propuesto del endoscopio flexible	51
Fig. 35	Pieza sometida a deformación.	52
Fig. 36	Malla triangular para análisis de la polea.	53
Fig. 37	Estudio de Elemento Finito a la polea manufacturada en aluminio 1060.	57

Fig. 38	a) Carcasa izquierda sometida a deformación. b) Malla triangular. c) Estudio de Elemento Finito a la carcasa Izquierda.	59
Fig. 39	a) Carcasa derecha sometida a deformación. b) Malla triangular. c) Estudio de Elemento Finito a la carcasa Derecha.	59
Fig. 40	a) Pieza Guía sometida a deformación. b) Malla triangular. c) Estudio de Elemento Finito a la pieza guía.	60
Fig. 41	a) Pieza Adaptador sometida a deformación. b) Malla triangular. c) Estudio de Elemento Finito a la pieza adaptador.	60
Fig. 42	Poleas manufacturadas para integrar al mecanismo.	61
Fig. 43	Eslabón que conforma la parte distal en formato STL	62
Fig. 44	Carcasa parte Izquierda manufacturara en impresión de prototipos rápidos 3D	63
Fig. 45	Carcasa parte derecha manufacturada en impresión de prototipos rápidos 3D	64
Fig. 46	Manufactura pieza guía en impresión de prototipos rápidos 3D	65
Fig. 47	Manufactura de la parte distal flexible del endoscopio mediante impresora de prototipos rápidos 3D	65
Fig. 48	Endoscopio Flexible ensamblado en todas sus partes el mecanismo de activación unido a la parte distal flexible.	66
Fig. 49	Comparativa virtual y física del prototipo desarrollado ensamblado en su totalidad	66
Fig. 50	Endoscopio flexible conectado a la interfaz de visualización	67
Fig. 51	Escala graduada en la que se realiza la prueba de curvatura de la parte distal del endoscopio flexible	68

Fig. 52	Muestra la puesta a prueba de la curvatura del extremo distal en distintas referencias de la escala graduada	69
Fig. 53	Angulación del extremo distal dentro de contorno de estómago	70
Fig. 54	Código en lengua G desarrollado en LabVIEW para pruebas de visualización del endoscopio flexible	71
Fig. 55	Prueba para obtener el área de visión mediante la caracterización de la cámara.	72
Fig. 56	Área obtenida al caracterizar la cámara.	73
Fig. 57	Mascaras utilizadas para caracterizar la distancia a la cual la cámara presenta una buena respuesta en la retroalimentación visual.	73
Fig. 58	Prueba realizada a la máscara a base de rombos.	73
Fig. 59	Retroalimentación visual obtenida con la máscara a base de rombos.	74
Fig. 60	Prueba realizada a la máscara a base de líneas paralelas	74
Fig. 61	Retroalimentación visual obtenida con la máscara a base de líneas paralelas	74
Fig. 62	Prueba realizada a la máscara a base de círculos concéntricos.	75
Fig. 63	Retroalimentación visual obtenida con la máscara a base de círculos concéntricos.	75
Fig. 64	Prueba realizada en modelo sintético de estómago	76
Fig. 65	Retroalimentación visual obtenida del modelo sintético de estómago	76
Tabla 2	Análisis de ventajas y desventajas que presenta el prototipo propuesto de endoscopio flexible.	78
Fig. 66	Entrenamiento de la endoscopia con simuladores virtuales	83

Resumen

Palabras clave: Endoscopio Flexible, diseño mecánico, visualización, entrenamiento, portabilidad.

Resumen

El objetivo principal de este trabajo es diseñar un mecanismo que permita la adaptación de una cámara boroscopica a la operación de un endoscopio flexible y obtener la retroalimentación visual como si fuese adquirida en una torre de endoscopia, adaptando dicho dispositivo a una computadora portátil que brinde a los cirujanos una herramienta útil durante el entrenamiento de la técnica quirúrgica. El mecanismo propuesto es diseñado en conjunto con un software de dibujo asistido por computadora mediante planos y croquis que simulen el movimiento distal de un endoscopio flexible, además de seleccionar el material más apropiado con el que se debe fabricar. El endoscopio flexible propuesto consta de tres etapas en su funcionamiento, en la primera de ellas se diseñan piezas que permitan la angulación de la parte distal frontal que sirve a los cirujanos para lograr un campo de visión más amplio, una segunda etapa de activación de dicho mecanismo por medio de poleas que logre tensar los cables de acero, acoplados a las piezas que hagan la angulación requerida, y finalmente la tercera se hace una adaptación a una cámara boroscopica que permita la adquisición de imágenes en tiempo real por medio del protocolo de comunicación USB (Universal Serial Bus), en una computadora portátil en la que se programa una interfaz gráfica de usuario que permita la captura de imágenes y el despliegue en formato de video de la cámara del endoscopio flexible desarrollado.

Abstract

The main objective of this work is to design a mechanism for adapting a boroscopic camera to the operation of a flexible endoscope and get visual feedback as if it was acquired in a tower endoscopy, adapting the device to a laptop that provides a surgeons a useful tool for training the surgical technique. The proposed mechanism is designed in conjunction with a software computer aided drawing plans and sketches by simulating the distal movement of a flexible endoscope, in addition to selecting the most appropriate material which must be manufactured. The flexible endoscope proposed consists of three stages in its operation, in the first of these parts to enable angulation of the front distal portion serving surgeons to achieve a field of view wider, a second step of activating said designed mechanism by pulleys to achieve tensioning steel cables coupled to the parts that make the required angulation, and finally the third is an adaptation to a boroscopic camera that allows the acquisition of images in real time via the communication protocol ago USB (Universal Serial Bus), on a laptop in a graphical user interface that allows image capture and display video format camera developed flexible endoscope.

Planteamiento y objetivos

Planteamiento

Se propone el diseño de una herramienta para la retroalimentación visual en el entrenamiento de la endoscopia, dirigida a cirujanos que se inician en el estudio de esta técnica, incorporando computadoras portátiles a equipos de práctica. Debido a las características multimedia que proporcionan la visión necesaria, al desarrollar el mecanismo de un endoscopio flexible que pueda adaptarse y adquirir imágenes por medio del protocolo de comunicación USB se disminuyen costos en la fase de aprendizaje al prescindir del uso de una torre de endoscopia.

Objetivos

General: Diseño de un mecanismo que emule los movimientos del endoscopio flexible permitiendo su portabilidad para entrenamiento en tareas de navegación.

Particulares:

- Adquirir imágenes a través del protocolo de comunicación USB en una computadora portátil mediante una interfaz gráfica de usuario que permita visualizar la información obtenida de la cámara en tiempo real.
- Comprender el funcionamiento de un endoscopio flexible y proponer el diseño mecánico del mismo, mediante software asistido por computadora, aplicando análisis de esfuerzo mecánico, que permita la angulación a 140° del extremo distal en cuatro grados de libertad de movimiento.

Descripción de la Solución

El diseño del endoscopio flexible es asistido mediante el software de dibujo asistido por computadora SolidWorks®, para ello se estudia el comportamiento mecánico de un endoscopio comercial, implementando la activación de los cables tensores por medio de poleas, el extremo distal del endoscopio tiene una angulación de 140° con respecto a un eje vertical, se diseñan piezas que permitan esa flexión así como los estudios de los materiales a aplicar.

Una vez estudiado el mecanismo del endoscopio flexible se pone a prueba el funcionamiento de las piezas diseñadas con un ensamblaje simulado, estudiando las tolerancias entre las piezas así como su comportamiento dentro del mecanismo tomando en cuenta choque entre caras, la resistencia de los materiales y puntos críticos de ruptura.

Se dibujan planos de las piezas acotando las dimensiones y tolerancias para su manufactura, se verifica mediante las pruebas de análisis estático las máximas deformaciones a las que se somete el material con los que se fabrica el prototipo ya que además de ser funcional debe ser ergonómico y fácil de usar.

La ventaja del endoscopio flexible propuesto sobre los endoscopios comerciales, es que se obtiene la visualización que brinda una torre de endoscopia a través de una laptop, ya que el mecanismo del dispositivo actúa mecánicamente para flexionar su extremo distal con una angulación de 140° adquiriendo imágenes por el protocolo de comunicación USB, disminuyendo los costos de aprendizaje.

Introducción

Endoscopia

Podemos definir a la endoscopia como una técnica basada en la exploración de las cavidades naturales, por medio de un endoscopio, que es un instrumento formado por un tubo rígido o flexible dotado de iluminación, con el que se penetra en el interior del paciente con mínimas alteraciones. La realización del examen endoscópico se puede dividir en dos grandes grupos: endoscopia por orificio natural (esofagoscopia, gastroscopia, duodenoscopia, colonoscopia, rinoscopia, laringoscopia, etc.) y endoscopia por apertura artificial (artroscopia, laparoscopia, neuroendoscopia, etc.).

En la actualidad un endoscopio dependiendo de su uso, puede contener varias herramientas que permiten observar en detalle un área en el interior del cuerpo, realizar biopsias, extirpar tumores, detener un sangrado y extraer cuerpos extraños, en este trabajo se propone el desarrollo del mecanismo que adapta una cámara boroscópica a la cinemática de un endoscopio flexible con el propósito de adquirir imágenes e implementar el prototipo en sistemas de entrenamiento futuros, ya que el cirujano requiere práctica en el manejo de la cámara y el equipo de endoscopia.

Una torre de endoscopia está conformada por un insuflador, fuente de luz, lentes, videocámaras, monitores y sistema de almacenamiento de imágenes, por lo que la renta del equipo completo aumenta el costo del entrenamiento. Por esta razón se propone implementar dispositivos mecánicos que permitan a estudiantes y médicos en la especialidad de cirugía a iniciarse en el uso de la endoscopía, aprovechando la tecnología implementada en una computadora portátil para tener la retroalimentación visual que requieren al realizar su preparación.

Los endoscopios modernos son dispositivos que se emplean en la medicina, en la producción industrial y también en la investigación. A menudo se encuentran conectados a una fuente de luz de gran intensidad luminosa y recientemente, están provistos de una fuente de luz LED integrada. De este modo es posible iluminar e inspeccionar lugares de difícil acceso. Los endoscopios destinados a las aplicaciones industriales y médicas están equipados muchas veces con canales de trabajo y fibras ópticas.

Podemos encontrar diferentes tipos de endoscopios, el primero de ellos son los endoscopios rígidos cuyo sistema óptico se compone de varias lentes y prismas.

Los endoscopios operatorios están equipados adicionalmente con canales de irrigación y de aspiración, así como canales para la introducción de instrumentos de trabajo, como, por ejemplo, pinzas de biopsia, tijeras, pinzas sacabocados, pinzas de agarre.

Los endoscopios flexibles disponen de un canal de trabajo integrado y la imagen se transmite a través de fibras ópticas dispuestas de forma ordenada. Gracias a su flexibilidad permiten una mejor vista general del área a examinar.

Antecedentes

La palabra endoscopia proviene, etimológicamente de las palabras griegas éndo que significa dentro, y skopein que significa observar o mirar. Fue en 1853 que el cirujano francés Antoine Jean dio el término endoscopio añadiendo lentes condensadoras a su prototipo y es considerado como el padre de la endoscopia.

En 1881 Max Nitze coloca una fuente de luz en el extremo del endoscopio para iluminar directamente las cavidades del cuerpo humano. Además añadió una serie de prismas y lentes que ampliaban las imágenes. Fue este invento el que permitió la primera visualización de la vejiga a través de la vía uretral.

Desde la invención del primer endoscopio hasta prácticamente comienzos del siglo XX todo lo que existían eran endoscopios rígidos sin la menor capacidad de doblarse para facilitar su paso por las vías del cuerpo humano. Esto limitaba muchísimo el espacio al cual podían acceder y hacían de la endoscopia una labor bastante desagradable para el paciente. Sin embargo, la invención de la bombilla eléctrica fue la que permitió el paso de los endoscopios rígidos a los flexibles gracias a su innovadora fuente de iluminación.

En 1898 Kellingin inventó el primer endoscopio parcialmente flexible (el extremo final podía doblarse en un ángulo de 45°) para llegar hasta el estómago. En 1936 Schindler mejoró el aparato para hacerlo más flexible y estrecho, con lentes que mejoraban la imagen, y fue ampliamente utilizado durante esa época.

Con la invención de la fibra óptica en 1952 por el físico Narinder Singh Kapany, capaz de conducir y transmitir impulsos luminosos de uno a otro de sus extremos se han desarrollado endoscopios flexibles con una mejor visión al explorar cavidad en los estudios de endoscopia, la iluminación en este tipo de endoscopios es proporcionada por un equipo de fuente de luz que utiliza lámparas de halógeno o xenón y más recientemente tecnología de luz LED. Con la invención del transistor de efecto de campo se han desarrollado chips que permiten la adquisición de imágenes, ya que en el extremo de la punta distal del endoscopio se encuentra un chip integrado a base de silicio que funciona bajo el efecto fotoeléctrico, es decir que convierte la luz en impulsos eléctricos para lograr transmitir imágenes de alta calidad, este chip es llamado CCD (Charged Coupled Device).

Con el desarrollo de sistemas embebidos digitales de mejor capacidad en memoria para el procesamiento y almacenamiento, permite incorporar a ellos tarjetas de gráficos potentes para el manejo de imágenes, así mismo la invención del protocolo de comunicación USB, que fue diseñado para estandarizar la conexión entre periféricos se ha logrado adquirir imágenes mediante este puerto de comunicación, en cuanto al ramo del software se han programado librerías que permiten la adquisición de información con cámaras de bajo costo, es así como toda esta tecnología permite mejorar la portabilidad en equipos médicos, En los simuladores actuales se han incorporado a los endoscopios flexibles sensores que permiten una retroalimentación física que al extraer biopsias en el simulador el usuario siente la fuerza de extirpación como si se tratase de un procedimiento terapéutico real, además incorpora imágenes virtuales de la trayectoria que lleva un endoscopio al ingresar a cavidades naturales. Debido al alto costo que tienen estos simuladores no están disponibles en todos los centros de aprendizaje por lo que para el desarrollo de habilidades básicas se necesitan desarrollar prototipos que permitan obtener una retroalimentación visual a costos más accesibles.

1. Cirugía mínimamente invasiva

Se trata de aquellos procedimientos en los que se evita abrir las cavidades del organismo a favor de una cirugía cerrada y local. El experto introduce un endoscopio en la cavidad que se va a estudiar (en el tórax, en el abdomen, en la articulación, etc.) Obteniendo una imagen de las estructuras en un monitor. Gracias a esta visión, y con manipulación externa de otros instrumentos, se puede realizar la exploración de los órganos que contiene la cavidad y operar sobre ellos.

Las intervenciones mínimamente invasivas no precisan de heridas importantes para acceder a la zona del organismo que necesita ser operada, esto hace que el postoperatorio sea más corto y menos doloroso, con una alta hospitalaria menor y una incorporación rápida a la vida normal y al trabajo. El riesgo de infecciones y de hernias es menor pues, al haber una manipulación mínima de los tejidos, hay una menor reacción inflamatoria en la zona. Existe una reducción importante de los riesgos típicos de la cirugía, especialmente los relacionados con las complicaciones pulmonares y cardio-circulatorias, más típicas en enfermos mayores y en los pacientes con obesidad.

El inconveniente es que no todos los órganos y tejidos del cuerpo humano pueden ser operados con estas modernas técnicas. Las principales limitaciones son de carácter técnico, dado que los instrumentos no pueden acceder a determinadas regiones del organismo. Si bien estas limitaciones van desapareciendo día a día [1].

1.1. Tipos de endoscopia

Para mirar dentro del cuerpo mediante una sonda flexible existen casi tantos tipos de procedimientos como especialidades quirúrgicas. A continuación se definen:

Angioscopia: Permite la visión endoscópica del interior de los vasos sanguíneos (arterias y venas). Se pueden realizar pequeñas operaciones como identificar y eliminar pequeños trombos (coágulos) y placas de ateromatosis (grasa). Realizada por primera vez en el año 1993, permite realizar muy diversos tratamientos en las enfermedades vasculares.

Artroscopia: Es un tipo de endoscopia. Consiste en la visualización de una articulación, como puede ser la rodilla, con el fin de observar el menisco y el resto de su anatomía interna. Esto se logra con el uso de un artroscopio, un instrumento parecido al endoscopio, de menor longitud, y adaptado de cierta forma para ser más utilizable en una articulación.

Broncoscopia: Es el examen endoscópico del interior de los bronquios. Además de ser indispensable para el diagnóstico de multitud de enfermedades bronquiales y pulmonares, permite aplicar técnicas de extirpación curativa de tumores y colocación de prótesis.

Colposcopia: Examen del cuello uterino y de la vagina mediante un endoscopio especialmente diseñado para este estudio. Permite cirugías de tumores e inspecciones de estos órganos.

Culdoscopia: Examen de los órganos pélvicos femeninos (trompas, ovarios y útero) con el uso de un endoscopio que se introduce en la cavidad abdomino-pélvica a través de la pared posterior de la vagina.

Cistoscopia: Examen endoscópico de la vejiga. Muy conocida pues permite tratar enfermedades de la próstata sin abrir. También trata enfermedades de los uréteres.

Laringoscopia: Procedimiento gracias al cual, mediante un endoscopio especialmente diseñado, se puede examinar y operar la laringe.

Toracoscopia: Es una técnica quirúrgica mínimamente invasiva por medio de la cual se puede acceder a la cavidad torácica con la finalidad de hacer procedimientos diagnósticos o terapéuticos.

Dentro de la endoscopia tenemos la del aparato digestivo, respiratorio y urogenital. Así nos referiremos a endoscopia digestiva superior (esofago-gastro-duodenoscopia) e inferior (recto-colonoscopia); (rino-laringo-traqueo-broncoscopia) cuando visualicemos nariz, laringe, tráquea y bronquios, uretro-cistoscopia y vagino-histeroscopia si hablamos de la inspección interna de la uretra y vejiga, así como vagina y útero respectivamente.

Por el contrario, el término laparoscopia se refiere a la visualización telescópica de la cavidad abdominopélvica.

1.2. Material en la endoscopia

En la endoscopia se precisa, además del endoscopio en sí, de pinzas, asas o cualquier otro material para realizar maniobras endoscópicas que van más allá de las simplemente exploradoras. Con dichos instrumentos se puede palpar, presionar, aspirar, inyectar, dilatar, cortar, cauterizar, movilizar tejido y extraer cuerpos extraños.

Este instrumental puede ser manipulado a través del canal de biopsias del endoscopio o de forma independiente, con lo que podríamos denominarla cirugía endoscópica vía oral, vaginal o anal.

Así pues el material imprescindible para realizar este tipo de procedimientos es: el endoscopio (fibroscopio o videoendoscopio) y el material auxiliar (pinzas) acompañado de sistemas de insuflación-aspiración, fuente de luz y un monitor. Un videograbador y una impresora no son fundamentales para hacer endoscopia aunque sí muy recomendable tanto para el aprendizaje como para la documentación.

Para la endoscopia completa en el aparato digestivo lo ideal es un endoscopio flexible pues con él se puede trabajar desde el esófago hasta el duodeno y desde el recto hasta el íleon dada su longitud y su carácter flexible nos permite, mediante la manija de control de mandos de su cabezal, dirigir su luz hacia cualquier zona. Lamentablemente su precio de adquisición es significativamente superior que el endoscopio rígido.

Las torres de endoscopia es el conjunto de diversos elementos de imagen y auxiliares interconectados técnicamente de una forma adecuada para la realización de las exploraciones y tratamientos endoscópicos, tiene al menos los accesorios que se relacionan a continuación:

Endoscopios terapéuticos: La torre viene dotada con dos endoscopios terapéuticos que se utilizan en técnicas de exploración gastro-endoscópicas y colono–endoscópicas.

Procesador digital de imágenes: Permite al menos el procesamiento de los siguientes parámetros: Salida digital de imágenes, regulación automática de la exposición y balance de blancos automático. En el procesador digital de imágenes se incorporan todas las interfaces que aseguren la conectividad del mismo con los demás elementos de imagen que se suministren o se conecten al equipo. El formato de imagen que suministra es HD a una resolución de 1920 x 1080 píxeles.

Fuente de Luz: La fuente de luz tiene una potente lámpara de Xenón con una potencia no superior a 300 W. Dispone de regulación manual de la intensidad luminosa y brillo.

Monitor: El equipo dispone de un monitor tipo LCD en color de alta definición (HD) con una resolución de imagen de 1920 x 1200 píxeles.

Carro Torre: El carro tiene las medidas suficientes para alojar en su interior todo el equipo del que consta la torre de endoscopia.

Insuflador: Es un dispositivo para insuflar CO₂ a la cavidad manipulada. Se gradúa la presión del abdomen en forma previa, desde 1 litro hasta 20 litros por minuto. Es automático porque insufla cuando baja de la presión programada y se detiene al llegar a ella, lo que permite que el espacio de trabajo sea constante y facilite la cirugía.

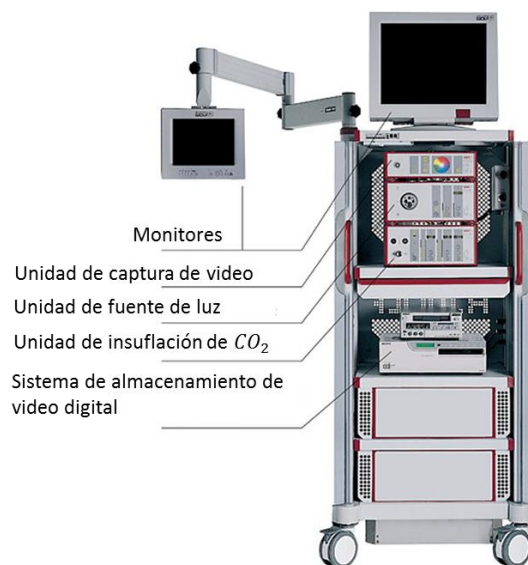


Fig. 1 Partes de una torre de Endoscopia.

1.3. La enseñanza y aprendizaje en la endoscopia

A pesar de los grandes adelantos de la tecnología que se han producido durante los últimos cuarenta años, ha habido muy pocos cambios en la forma de enseñar la endoscopia. Los estudiantes necesitan de la enseñanza y la supervisión personalizadas de endoscopistas experimentados con las habilidades y la motivación necesarias. La enseñanza demanda mucho tiempo. Aparte del entrenamiento básico, se enseñan procedimientos avanzados y se dan cursos de posgrado para gastroenterólogos certificados y en actividad. Todavía se necesitan endoscopistas experimentados para supervisar y evaluar a los demás profesionales de forma periódica, y ésta es la razón por la cual la enseñanza, el entrenamiento y la supervisión deben ser el objetivo permanente de las sociedades de endoscopia nacionales e internacionales.

Antes de realizar una exploración endoscópica, el estudiante debe adquirir conocimientos teóricos y prácticos relacionados con el equipo que va a utilizar, su funcionamiento, la anatomía endoscópica del órgano que ha de explorar y las imágenes normales y anormales que pueden hallarse. Con respecto al equipo, resulta sorprendente

descubrir que la mayoría de los endoscopistas no conoce a la perfección el funcionamiento y los grados de flexión posibles de los instrumentos empleados, con lo cual no logra la coordinación necesaria entre los ojos que exploran el cuerpo a través de una pantalla de video y las manos que manejan el endoscopio. Es importante dedicar cierto tiempo para aprender a manejar el equipo y la manipulación precisa de las pinzas de biopsia para lograr gestos automáticos que permitan eliminar errores en estas técnicas.

Los efectos de la fuerza de insuflación tampoco se comprenden bien. Sólo se necesita colocar el endoscopio dentro de un globo para ver la fuerza de insuflación y entender que el dedo no debe presionar constantemente el botón de insuflación y que, de vez en cuando, se debe presionar también el botón de aspiración para permitir la salida del aire inyectado.

La flexibilidad del cuerpo del endoscopio es una característica mecánica que varía, un ejemplo de esto son los endoscopios pediátricos que si no se tiene cuidado en su manejo pueden producirse movimientos involuntarios, así como la introducción forzada del endoscopio puede ocasionar una perforación.

Es obligatorio conocer las características técnicas de la endoscopia. Entre las que se considera como más importantes las siguientes:

- Características ópticas: El ángulo de visión es de hasta 140° para calcular mejor el campo de visión que puede tener el endoscopio.
- Flexibilidad de los endoscopios: Los endoscopios tienen distintos grados de flexibilidad es aquí donde se considera el diámetro del tubo.
- Los endoscopios deben adaptarse a las condiciones del paciente, en especial, en los casos de cirugía ginecológica.

Otro requerimiento es el reconocimiento de las imágenes endoscópicas normales. El estudiante debe ser capaz de reconocer los diferentes puntos de referencia en las cavidades que va a explorar y conocer su situación en el espacio.

El proceso de reconocimiento visual está influido por las propiedades ópticas del instrumento utilizado. En la endoscopia flexible, la resolución de la imagen no sólo depende de las características técnicas del dispositivo como el número de píxeles, sino también de factores ópticos, como el foco cercano y el campo de visión. El despliegue de los colores es una fuente potencial de errores durante la evaluación. En la endoscopia electrónica, los colores se visualizan en el sistema rojo, verde y azul. Las variaciones en el despliegue de las imágenes observadas durante la endoscopia se encuentran sobre todo en el espectro completo del color rojo y azul, esto depende en medida de la marca y el modelo del instrumento. El endoscopista puede llevar a cabo ajustes libres en el sistema de los colores en el procesador o en el monitor de video pero, desafortunadamente, los efectos de estos ajustes no siempre son beneficiosos. El potencial completo del endoscopio de alta calidad sólo se obtiene, cuando éste se acopla con un monitor de video de calidad similar. Al desplegar las imágenes hay diferencias significativas entre el endoscopio de fibra convencional, en el que el observador mira a través de una lente ocular, y la endoscopia electrónica en la que el operador mira a través de un monitor [2].

El proceso de reconocimiento visual nos permite, gracias a la estimulación de la retina, diferenciar un objeto en particular y determinar sus propiedades. Cuando se reconoce visualmente un objeto puede surgir dos problemas. En primer lugar, la relación entre el estímulo que llega a la retina y el objeto observado es muy variable: la forma del objeto, su color, su textura, su capacidad de reflejar la luz y su tamaño dependen de las ubicaciones relativas del objeto y el observador. Los endoscopistas entrenados que cuentan con capacitación adecuada tienen más posibilidades de resolver estas dificultades asociadas con las señales visuales.

1.4. Herramientas de aprendizaje

Durante los últimos cuarenta años se desarrollaron tres clases de herramientas: modelos in vitro, simuladores y modelos en animales.

Modelos in vitro: Los primeros modelos de experimentación empleados para el entrenamiento endoscópico estaban compuestos por látex y eran estáticos. Los modelos de entrenamiento estáticos nunca tuvieron una aceptación amplia, porque carecen de realismo y no suponen desafíos nuevos ni aportan retroalimentación. Estos modelos pueden emplearse para adquirir familiaridad con los movimientos básicos del endoscopio, se estableció que se necesitan alrededor de 25 exploraciones, como mínimo, a fin de obtener las habilidades básicas necesarias para manipular el endoscopio. Un interés particular mereció el sigmoidoscopio y el colonoscopio flexible, para los cuales se creó un colon artificial. Estos modelos se diseñaron para facilitar esa fase inicial del entrenamiento. Cuando un estudiante practica media hora en un modelo de estómago o colon e introduce el tubo bajo la guía de un endoscopista experimentado y luego emplea otra media hora para practicar solo, puede comprender mejor las relaciones espaciales y coordinar la visión del endoscopio con los movimientos correctos de los controles. En el modelo, la observación, la explicación y la práctica de un movimiento endoscópico básico resultan sencillas [2].

Después de una explicación breve, estas acciones no se olvidan y se practican muchas veces fuera del paciente, se puede lograr la manipulación correcta del instrumento. Desde este punto de vista, los modelos endoscópicos artificiales de entrenamiento son útiles para la enseñanza básica, pero solo en la etapa inicial.

Modelos in vivo: Los modelos en animales para la enseñanza de la endoscopia tienen algunas ventajas en relación con los artificiales. Estos modelos (con perros y cerdos

anestesiados) ofrecen un cuadro realista, pero es probable que las objeciones éticas y los costos limiten su disponibilidad, en especial, para el entrenamiento básico.

Dos grupos alemanes presentaron un experimento que conectó un modelo artificial con imágenes reales. Este modelo se basa en un estómago o un colon exteriorizado de cerdo. Los modelos de animales se utilizan con mayor frecuencia en estudios de experimentación para probar instrumental endoscópico o técnicas quirúrgicas endoscópicas nuevas. Se usó un modelo canino con varices esofágicas sangrantes para evaluar la eficacia de diferentes técnicas de hemostasia. La ventaja del modelo en animales es que permite investigar la incidencia de lesiones después de diversos tratamientos, lo cual es importante para aumentar la seguridad de los procedimientos terapéuticos. Estos modelos también permitieron desarrollar métodos de experimentación en otras condiciones.

Simulación computarizada: Dadas las limitaciones de los demás tipos de entrenamiento, la simulación computarizada es la forma más conveniente de enseñanza intensiva, ya que permite un entrenamiento a la vez básico y avanzado como alternativa de la enseñanza práctica. Como la endoscopia es, en sí misma, una técnica muy refinada y exigente, que combina procedimientos diagnósticos y terapéuticos nuevos, se debe establecer un programa de enseñanza continuo para los endoscopistas con experiencia.

Se desarrollaron dos clases de sistemas computarizados: uno puro, que funciona como un juego de endoscopia, y uno más complejo que integra un programa informático (software) con habilidades técnicas y un endoscopio conectado con el ordenador. El uso de entrenamiento práctico con simuladores endoscópicos computarizados comenzó al principio de la década de 1980. El primer sistema descrito empleó un modelo matemático tridimensional completo de colon y un endoscopio [2].

La simulación gráfica computarizada utilizaba un modelo matemático tridimensional para producir y animar imágenes que representan la visión real del operador. Al igual que en las técnicas que utilizan un equipo de video interactivo, el sistema está compuesto por un endoscopio, un soporte físico (hardware) adecuado y un programa informático (software). En la actualidad, los programas basados en modelos matemáticos tridimensionales son la mejor alternativa; resultan más económicos y son más realistas. Estos sistemas emplean pocos parámetros con valores que se pueden ajustar para proporcionar una amplia variedad de simulaciones posibles. El instrumento que recibe la información, un endoscopio simulado, no requiere un sistema óptico, una sección flexible ni los canales habituales y puede fabricarse con un bajo costo. Esto es importante porque representa una consideración fundamental si se desea ampliar la disponibilidad de la simulación endoscópica. Según las técnicas endoscópicas empleadas, se pueden desarrollar distintos tipos de simuladores, Symbionix (fig. 1) introdujo en el comercio el simulador más avanzado. Teniendo en cuenta su costo, el empleo se limita a los laboratorios farmacéuticos y a las actividades de aprendizaje para la fabricación de equipos endoscópicos [2].



Fig. 2 Simulador Symbionix

El uso de simuladores de animales requiere los costos iniciales de la unidad, además de la compra de órganos porcinos elaborados para cada simulador, mientras que las simulaciones computarizadas requieren la compra de la unidad que viene con los módulos básicos y equipo, los módulos más avanzados deben ser comprados por separado para el dispositivo Symbionix. Los precios de los simuladores disponibles se muestran en la Tabla 1.

Tabla1. Simuladores comerciales para entrenamiento de la endoscopia¹.

Fabricante	Nombre	Tipo de Simulador	Modelos/Módulos disponibles	Precio de Lista (Dólares)	Comentarios
Medical Innovations International Inc	Endo X Trainer	Compuesto plástico/animal	EGD / colonoscopia / CPRE / pólipos / sangrado Paquete órgano porcino	3449	Modelo-tipo de Erlangen con órganos porcinos
Endosim, LLC	EASIE-R	Compuesto plástico/animal	EGD / colonoscopia / CPRE / pólipos EUS / enteroscopia Paquete órgano porcino	2100	Modelo-tipo de Erlangen con órganos deben ser adquiridos por separado disponible por \$250 – 750
Delegge Medical	Endo Billy	Compuesto plástico/animal	EGD / colonoscopia / CPRE / pólipos / sangrado gastrointestinal Paquete órgano	2250 - 2850	Modelo-tipo de Erlangen con órganos deben ser adquiridos por separado

¹Di Giulio E, Fregonese D, Casetti T, et al. *Training with a computer-based simulator achieves basic manual skills for upper endoscopy: a randomized controlled trial.* Gastrointest Endosc 2004;60:196-200.

			porcino		disponible por \$135 – 250
Simbionix	GI Bronch Mentor	Realidad Virtual	Módulos de Gastroscofia y colonoscopia	64500	El paquete estándar no Incluye el duodenoscopio.
			Módulo de sangrado gástrico	6000	
			Sigmoidoscopia flexible	5000	
			Duodenoscopio	6000	Requerido para los módulos CPRE y la EE
			Módulos CPRE	15000	
			Módulo EUS	15000	
			Envío y dirección	2500	Instalación, capacitación, calibración, y garantía incluida
			Total	114000	
CAE Healthcare	Accu - Touch	Realidad Virtual	Paquete UGI	76750	Incluye cabeza alcance UGI, módulo EGD, módulo de la CPRE
			Paquete LGI		
			Paquete de sangrado gastrointestinal.	19000	Incluye dos monitores de pantalla plana.
			Total	141,500	

Los módulos se pueden comprar por separado:

Módulo Flex Sig 7175

Módulo
introdutorio de 7175
Colonoscopia

Módulo de biopsia
y colonoscopia 8650

Se necesitan estudios de costo-efectividad para determinar si los simuladores disminuyen el tiempo de formación y posteriormente el tiempo del procedimiento para compensar su costo. Se están realizando estudios necesarios para determinar si existe un beneficio de usar simuladores más allá de las fases iniciales del aprendizaje. Se desconoce si los simuladores informáticos mejoran el reconocimiento de la patología en el entorno clínico.

Simuladores de realidad virtual de tecnología suficiente podrían ser utilizados para simular procedimientos inusuales o difíciles que aún no sea dominado por el operador. Sin embargo, los simuladores existentes se limitan a escenarios programados de diversa dificultad. Simuladores con capacidad programable o inteligencia artificial todavía no existen para endoscopia digestiva.

Aprendizaje en seres humanos: Además de los métodos de enseñanza tradicionales, se tiene la posibilidad de llevar a cabo exploraciones o cirugías endoscópicas bajo la supervisión de un endoscopista experimentado. Los médicos bajo este método de aprendizaje tienen ya una amplia experiencia en endoscopia digestiva y desean aprender una técnica terapéutica en particular. Este es un estadio intermedio entre la experimentación in vivo y los métodos de entrenamiento tradicional que se ofrecen en la mayoría de las universidades.

2. Características de los endoscopios

Los endoscopios son dispositivos que penetran el organismo por cavidades normales y los artroscopios, laparoscopios y otros penetran a través de vías artificiales (ej. Una incisión).

2.1. Endoscopios rígidos

En los endoscopios rígidos el sistema óptico se compone de varias lentes y prismas. Los componentes principales son:

- El objetivo - para la generación de la imagen.
- El sistema de lentes cilíndricas - para la transmisión de la imagen.
- La lente ocular - para la ampliación de la imagen.



Fig. 3 Endoscopio rígido con cable de fibra óptica de Richard Wolf.

2.2. Endoscopios operatorios

Los endoscopios operatorios están equipados adicionalmente con canales de irrigación y de aspiración, así como canales para la introducción de instrumentos de trabajo, como, por ejemplo, pinzas de biopsia, tijeras, pinzas sacabocados, pinzas de agarre.



Fig. 4 Endoscopia urológica (cistoscopia) con tubo flexible de entrada y de salida, cable de fibra óptica y pinza introducida.

2.3. El endoscopio CCD “chip-on-the-tip”.

El endoscopio CCD supone un perfeccionamiento del endoscopio de fibra óptica. Dispone en la punta de un chip CCD miniaturizado que permite reproducir la imagen en una pantalla. La ventaja de esta nueva generación de endoscopios reside en una mejor profundidad de campo. Ya no es necesario realizar una focalización posterior al tratarse de tomas de corta distancia, dado que la imagen siempre posee una gran nitidez.



Fig. 5 Endoscopio EYEMAX CCD para laparoscopia de Richard Wolf.
GI Mentor.

2.4. Endoscopio flexible

Por lo general, los endoscopios flexibles disponen de un canal de trabajo integrado. En los llamados endoscopios de fibra óptica la imagen se transmite a través de fibras ópticas dispuestas de forma ordenada. Gracias a su flexibilidad permiten una mejor vista general del área a examinar.



Fig. 6 El nuevo cistoscopio LED CCD de Richard Wolf.

El endoscopio flexible constituye un dispositivo médico que se introduce en el cuerpo para proporcionar una imagen de video. Sus componentes le confieren funcionalidad, pero se requieren cuidados especiales para preservar la misma. Además de su estructura externa, los endoscopios poseen una estructura interna muy compleja desde el punto de vista del diseño de sus canales.

Dentro del tubo están los componentes electrónicos necesarios para obtener la imagen de video, los cables que permiten el control de la punta flexible y los canales que permiten el pasaje de dispositivos para obtener muestras de tejido, detener sangrados o extirpar pólipos.

El principio físico de la endoscopia es la reflexión total de la luz a través de la fibra óptica. Tiene en su interior un conductor de ondas en forma de filamento, generalmente de vidrio, es capaz de dirigir la luz a lo largo de su longitud usando la reflexión interna.

En una cámara de video, el endoscopio permite la visualización dentro de una cavidad en una pantalla gracias a una proyección de señales eléctricas otorgando una “visión binocular” y utilizando una “luz fría” (luz que no genera calor) a continuación se analizan las partes que lo componen.

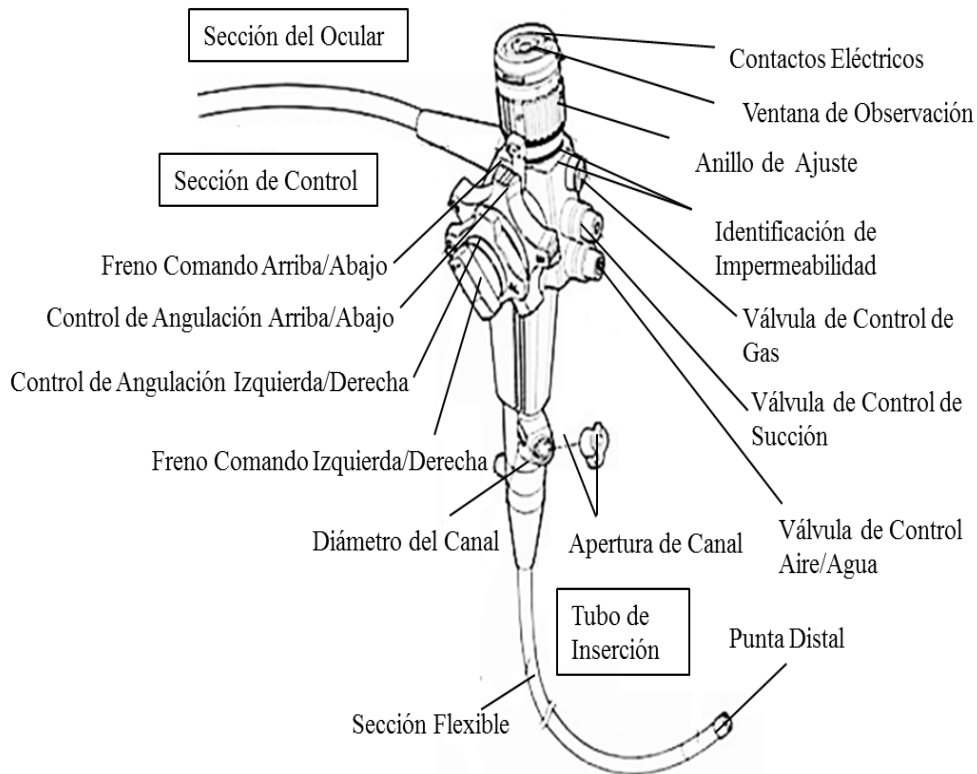


Fig. 7 Partes externas de un endoscopio flexible

El endoscopio incorpora una pieza distal al tubo de inspección que alberga un dispositivo optoelectrónico integrado por un lente objetivo y un sensor de iluminación CCD (charged coupled device). Este contiene una superficie sensitiva sobre la cual el lente objetivo forma la imagen de la cavidad observada [2].



Fig. 8 Punta del endoscopio

El endoscopio flexible contiene un trayecto de fibras ópticas que pasa por el cable central, el control de mandos, el tubo de inspección y la pieza distal. Permite iluminar la cavidad cuando el extremo proximal se encuentra conectado al generador de luz. Un procesador de imagen eléctricamente conectado al sensor CCD transmite la información de la imagen como una señal eléctrica (con la que se evita el deterioro que ocurriría a la imagen con el conjunto de fibras ópticas cuando algunas de éstas estuviesen dañadas).

Una pantalla de video, conectada al procesador de imagen y un tablero de control, permiten la observación al endoscopista y la realización de ajustes de imagen. Los endoscopios recientes pueden tener un sistema digital que permite congelar, procesar y almacenar imágenes mediante el control de mandos del endoscopio.

El procesador de video se encuentra integrado, ya sea en la manivela de control, en la unidad de conexión de la sonda o en la unidad externa que contiene el generador de luz. En los endoscopios, el lente objetivo a través del cual se captan las imágenes, puede estar colocado para permitir la visión frontal o lateral que es requerida para procedimientos quirúrgicos. Los endoscopios son impermeables y resistentes a las sustancias utilizadas para su desinfección. Los aditamentos externos incluyen, así como el endoscopio de fibra, la fuente de iluminación, el insuflador, la succión, la unidad electroquirúrgica y agregan la grabadora de video y la impresora de imágenes.

En la figura 9 se observa un diagrama a bloques del flujo de información de la adquisición de imágenes a través del sensor CCD hacia el procesador de video, mientras que en la figura 10 se observa la parte interna de la cubierta flexible de un endoscopio comercial, es aquí donde observamos la disposición de los distintos cables con los que se transmite la información así como el control mecánico de la punta distal flexible.

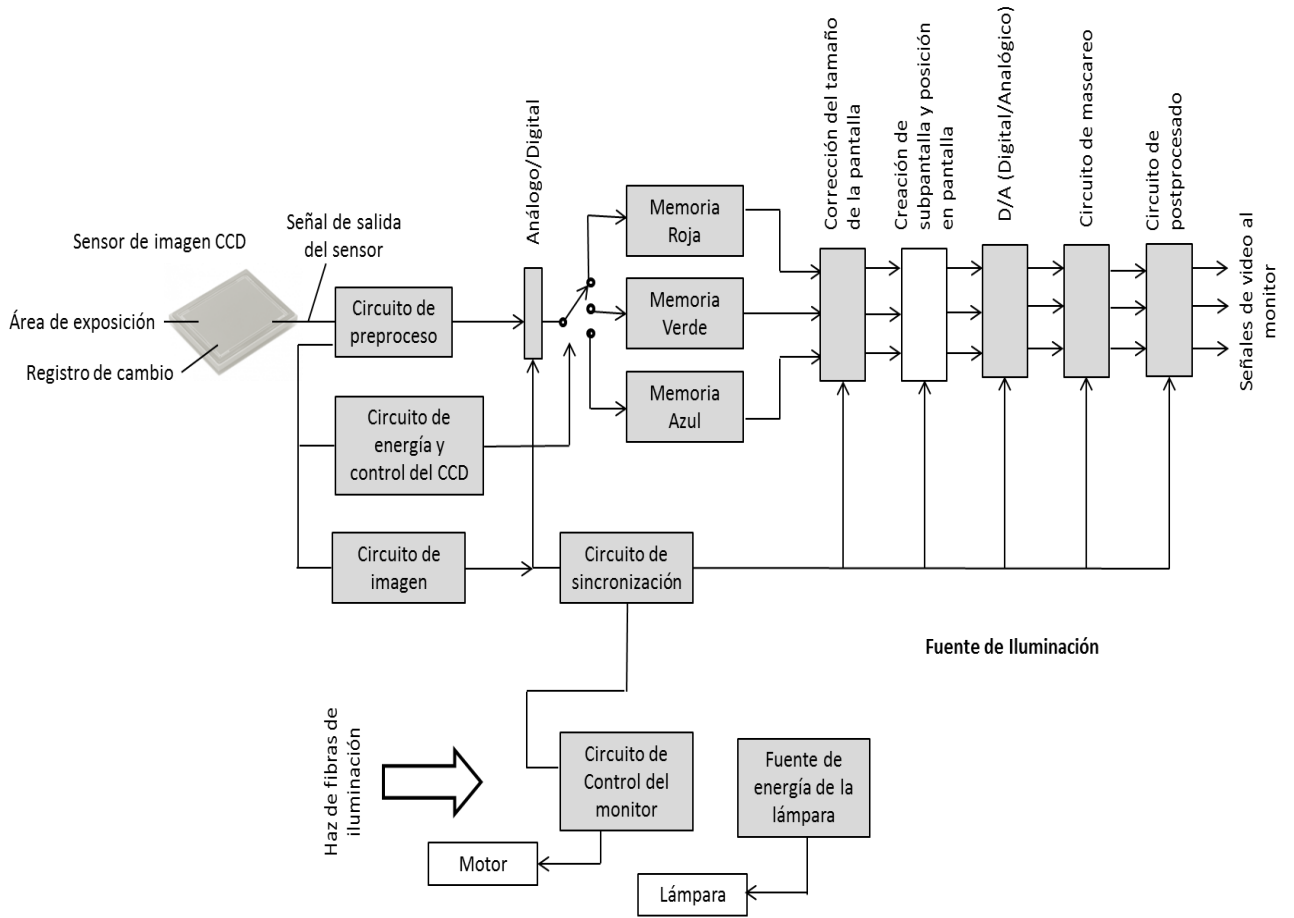


Fig. 9 Sistemas Internos de un Endoscopio.

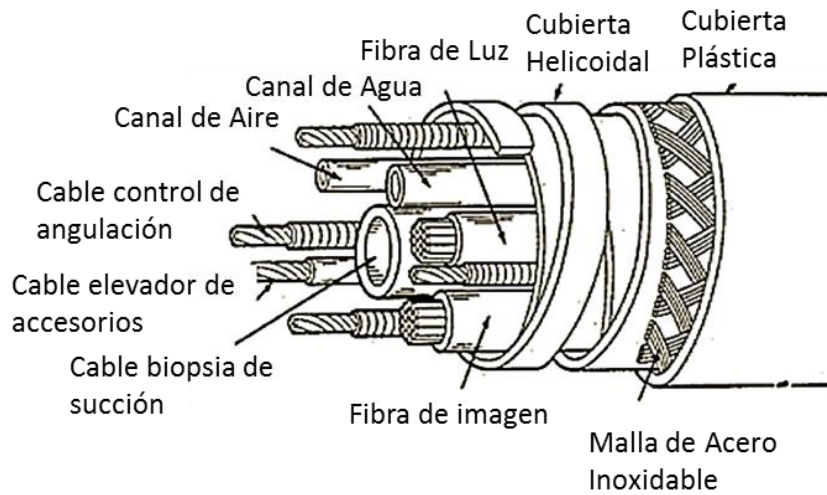


Fig. 10 Cubierta de un endoscopio Flexible.

Los canales de operación del endoscopio sirven para la entrada de instrumental quirúrgico, entrada de aire, agua y dióxido de carbono así como la succión de aire dentro de una cavidad, dichos canales y las partes externas del endoscopio deben lavarse meticulosamente, se lavan con líquidos especiales que contienen enzimas [2].

Se prueba el endoscopio para asegurar que no haya pérdidas de material biológico en sus canales de operación internos. Eso no sólo asegura el óptimo funcionamiento del endoscopio sino que también permite la detección inmediata de defectos internos que puedan representar un foco infeccioso potencial dentro del dispositivo.

En la figura 11 se muestra la estructura interna de los canales de trabajo de un endoscopio, se puede ver en forma de diagrama como cada uno de estos canales lleva hacia la punta distal, es aquí en donde se realiza el procedimiento terapéutico o quirúrgico, sin intervenir en la adquisición de imágenes por parte del endoscopio, ya que la electrónica del sensor de imagen y la fibra óptica están totalmente selladas para evitar cualquier daño sobre su configuración.

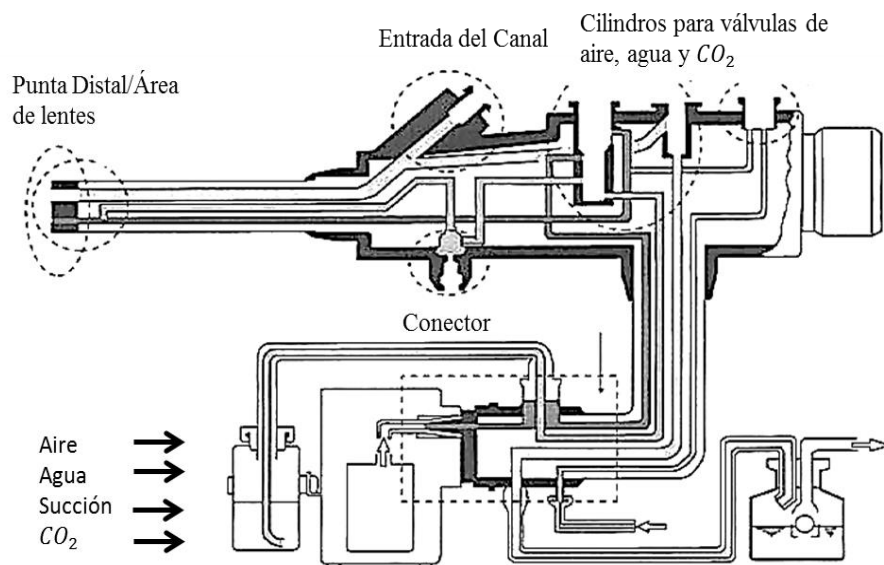


Fig. 11 Canales internos de un endoscopio.

2.5. Sistemas de Iluminación

Para tener una imagen, se requiere que el objeto a observar se encuentre iluminado. Los órganos corporales, al no contar con iluminación propia, requieren de una fuente externa que los ilumine.

El flujo luminoso es la cantidad de luz que emite un foco por segundo en todas direcciones. Éste, es medido en lúmenes. Existe una relación entre watts y lúmenes que se llama equivalente luminoso de energía. Un foco con mayor número de watts tendrá mejor iluminación. Watt es la medida de potencia del sistema internacional. Un Watt equivale a la potencia producida por la diferencia de potencial de un Volt en una corriente eléctrica de un Ampere. La iluminación del objetivo es provista por una fuente externa de alta intensidad que genera luz y la transporta a través de un conjunto de haces portadores de luz. Estos, no transmiten imágenes, por lo que las fibras dentro de ellos no requieren ordenamiento y están dispuestas al azar. Debido a que la intensidad de luz se reduce en cualquier interfaz óptica, los haces corren de forma ininterrumpida desde el punto de enfoque de la lámpara en el conector principal, siguiendo el cordón de la parte flexible del endoscopio, pasando por el control de mandos y el tubo de inserción hasta la punta a través de la cual se proyecta la luz al objetivo que se desea observar. Para transportar mayor cantidad de luz las fibras ópticas son tan gruesas como sea posible, sin comprometer su flexibilidad. En la actualidad, son de 30 micras de diámetro. Estos haces luminosos pueden proceder de lámparas de arco de xenón de 300 watts o de filamento relleno de tungsteno halógeno de 150 watts [2].

2.6. Sensor CCD

El dispositivo CCD, iniciales de su nombre en inglés, “Charge Coupled Device”, (Dispositivo de Cargas Eléctricas Interconectadas) es un sensor de imagen de estado sólido hecho de material semiconductor a base de silicio. Los CCD están formados por un circuito integrado que contiene un número determinado de capacitores enlazados. Bajo el control

del circuito interno, cada capacitor puede transferir su carga eléctrica a uno o varios de los capacitores que estén a su lado en el circuito impreso

El silicio en la superficie del sensor responde a la luz y exhibe un efecto fotoeléctrico igual que el observado en las celdas fotovoltaicas. Este efecto consiste en la conversión espontánea de la luz recibida en corriente eléctrica y sólo ocurren en algunos materiales.

Cuando un fotón choca en la superficie del CCD, desplaza un electrón del átomo de silicio. Esto produce un electrón libre cargado negativamente y un orificio cargado positivamente, creado por la ausencia del electrón en la estructura cristalina regular del silicio. La sensibilidad del sensor CCD depende de la cantidad de fotones que inciden sobre cada uno de sus detectores para producir una corriente eléctrica. En estos dispositivos, el número de electrones producido es proporcional a la cantidad de luz recibida.

A pesar de que un elemento fotosensible puede ser utilizado para medir la intensidad del brillo captado por el dispositivo, no puede reproducir una imagen. Para esto, se requiere dividir la superficie fotosensible en una matriz de fotositios pequeños independientes. Cuando una imagen es enfocada en la superficie del sensor CCD, la brillantez de cada punto en la imagen puede ser medida para reproducción posterior. Cada fotositio corresponde a un pixel. El patrón de luz que llega al CCD es convertido de manera instantánea en un arreglo de cargas eléctricas.

Las cargas creadas en cada fotositio se encuentran aisladas de las cargas vecinas. El CCD transforma la imagen óptica en una representación eléctrica precisa. El mayor número de cargas es generado en áreas de mayor intensidad luminosa. Cada pixel puede desarrollar

cualquier cantidad de carga en forma continua; desde un mínimo hasta un nivel máximo, dependiendo de la brillantez de la luz incidente.

Al doblar el número de fotones que caen en un pixel, se duplica el número de cargas generadas hasta que el potencial de almacenamiento de electrones se llena. Gracias a esta relación lineal, la carga desarrollada en cada fotositio o pixel, equivale a la brillantez o intensidad luminosa de la luz que incide y el tiempo de exposición de dicha luz. Sin embargo, como dicho tiempo es el mismo para todos los fotositios, lo que determina la imagen son los variantes de intensidad luminosa en cada fotositio [2].

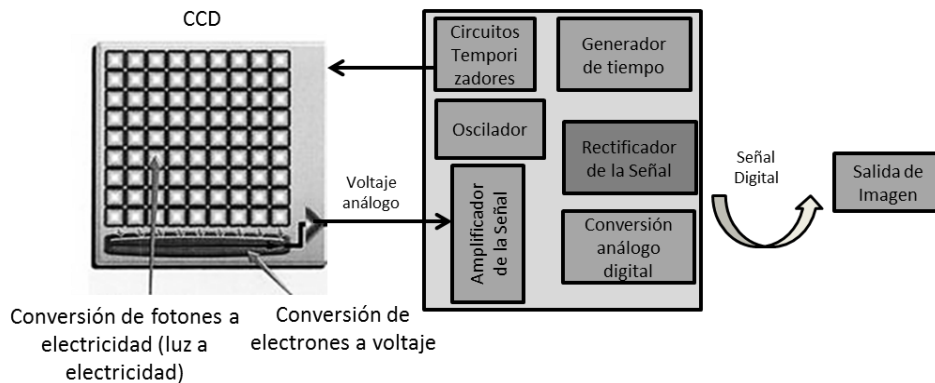


Fig. 12 Microcircuito encargado de la transmisión de la señal captada por el CCD.

2.7. Parte distal flexible de un endoscopio

Es un tramo flexible del endoscopio que está dispuesto en el extremo distal y que comprende una pluralidad de segmentos tubulares, presentando cada uno de estos segmentos tubulares unidos actuando en conjunto con los medios de unión del segmento tubular siguiente, así como cables de control con los que se puede dirigir la flexión.

La disposición de los medios de unión en los lados frontales correspondientes de los distintos segmentos debe poder flexionarse en un plano o de forma tridimensional, es decir, en dos planos, están dispuestos dos medios de unión, respectivamente, que se desplazan

140° en la dirección de contorno una respecto a otra. Visto en la dirección axial, los ejes de giro de estos medios de unión en los distintos segmentos tubulares se alternan.

No obstante, en caso de que el tramo flexible deba poder flexionarse de forma tridimensional, los distintos segmentos tubulares también deben ser giratorios unos respecto a otros y colocados en forma desplazada 90° entre sí.

Los medios de unión están realizados como lengüetas que sobresalen de los lados frontales correspondientes de los segmentos tubulares, en los que se introducen pernos que se extienden en la dirección radial. Esto significa, que estos medios de unión, especialmente los salientes en forma de lengüetas, deben superponerse unos a otros, por lo que están dobladas hacia fuera o hacia dentro partiendo de la superficie lateral de los segmentos tubulares [3].

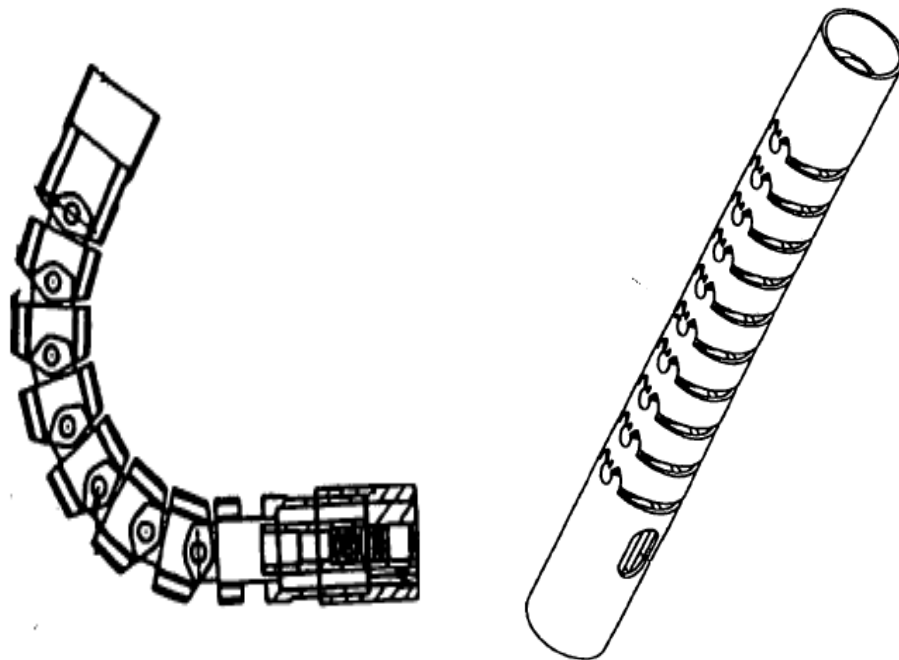


Fig. 13 Segmentos tubulares en flexión y tensión localizados en la parte distal frontal de un endoscopio.

3. Diseño del endoscopio flexible

Debido al alto costo de entrenadores virtuales en endoscopia, así como la falta de un endoscopio flexible para la preparación de esta técnica que sea amigable con el usuario en cuanto portabilidad y que proporcione una retroalimentación visual en computadoras portátiles, es que se propone el diseño de un endoscopio flexible con adaptación USB para la adquisición de imágenes en tiempo real, en la que una interfaz gráfica ejecutada en una laptop proporcione la herramienta de visión y permita al cirujano que se inicializa en el estudio de la endoscopia habituarse al uso mecánico del mismo, en este capítulo se explica el diseño del mecanismo que fue desarrollado en SolidWorks®, y como es que se ha logrado la adaptación de una cámara boroscópica a la angulación de un extremo distal flexible de un endoscopio comercial.

3.1. Diagrama a bloques del prototipo a desarrollar

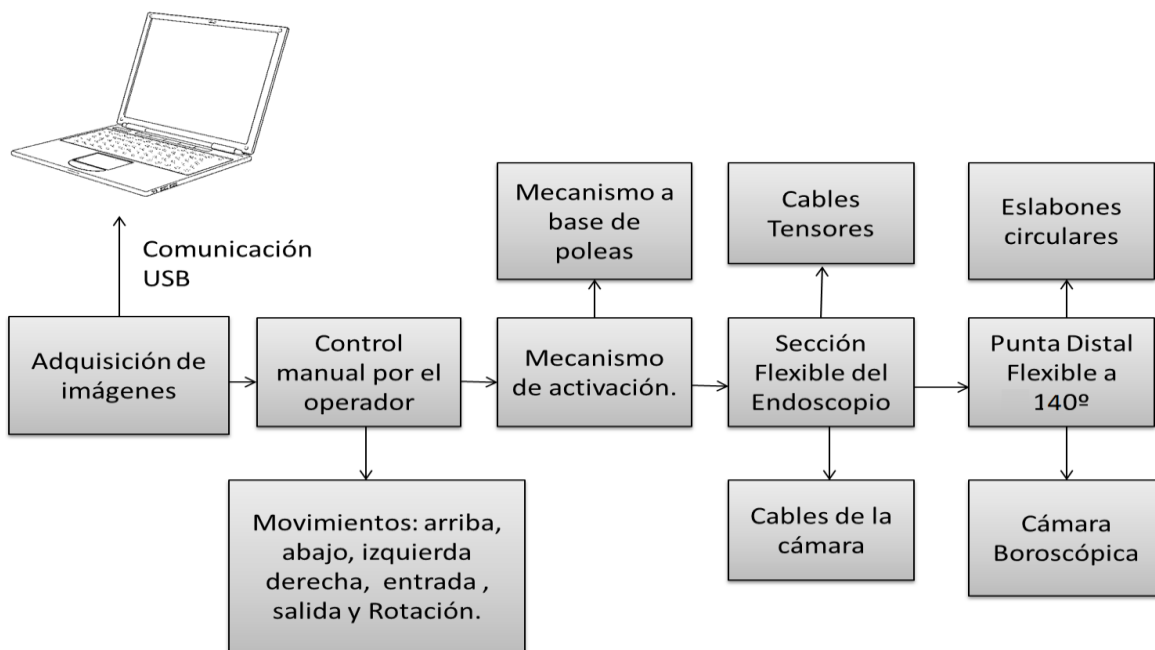


Fig. 14 Diagrama a bloques de un endoscopio flexible para entrenamiento

De acuerdo a los estudios realizados del endoscopio flexible, un entrenador no está completo sin la visualización, ya que es la retroalimentación que tiene el cirujano desde el interior del paciente, es por esto que para diseñar un endoscopio flexible debe tener básicamente los elementos representados en la figura 14.

3.2. Diseño del extremo distal flexible

Para lograr la adaptación de una cámara boroscópica USB a un extremo distal de un endoscopio flexible se propone diseñar piezas que circunden la cámara para conseguir la angulación de un endoscopio flexible comercial, estas piezas deben tener canales para los hilos de maniobra que servirán de guía en el extremo distal al doblarlo.

Al diseñar las piezas del extremo del endoscopio se implementa un software de diseño asistido por computadora el cual nos permita modelar la cinemática de un endoscopio flexible, para ello nos basamos del diseño de eslabones circulares acoplados en cuatro puntos de movimiento orientados a 90° cada par, que permita la angulación de 140° del extremo distal.

Las medidas de las piezas serán en función del diámetro de la cámara boroscópica ya que esta debe colocarse en el extremo del endoscopio, al igual que las piezas deben permitir la angulación aunque los cuerpos de estas piezas sean rígidas, ya que dicho movimiento debe ser controlado por el usuario de forma manual, es el cirujano quien decide el nivel de flexión que debe tener la puntal distal para tener una visión más general de la cavidad que observa, a continuación se muestra el dibujo de los eslabones.

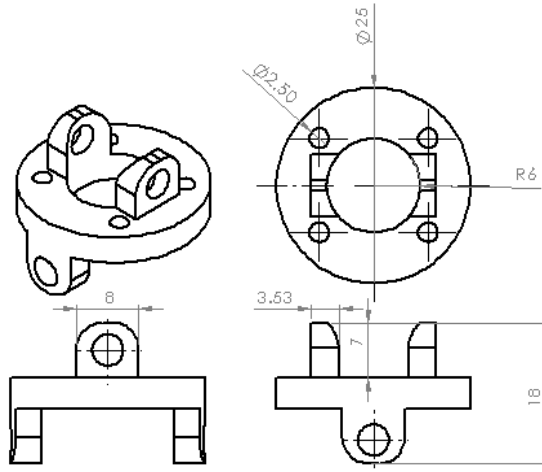


Fig. 15 Dibujo de piezas circulares de la parte distal del endoscopio.

Se tiene en la pieza cuatro canales por donde atraviesan los cables tensores que serán acoplados al mecanismo de activación del extremo distal, se ve que las lengüetas están orientadas 90° cada par esto para lograr la flexión en cuatro grados de libertad, arriba – abajo, derecha – izquierda, dentro – fuera y sobre el propio eje.

El extremo distal del endoscopio se compone de una multiplicidad de cuerpos en forma circular, apilados longitudinalmente unos sobre otros, de los cuales en cada caso situados diametralmente uno contra el otro configuran una capa de cuerpos y cada par de cuerpos inmediatamente adyacentes están desplazados en fase 90° uno con respecto a otro.

De esta manera es posible, mediante el correspondiente accionamiento de los eslabones que se encuentran en la misma posición angular el desplazamiento del extremo distal en la dirección deseada, provocando un angulación bajo el efecto tensor de los cables de control.

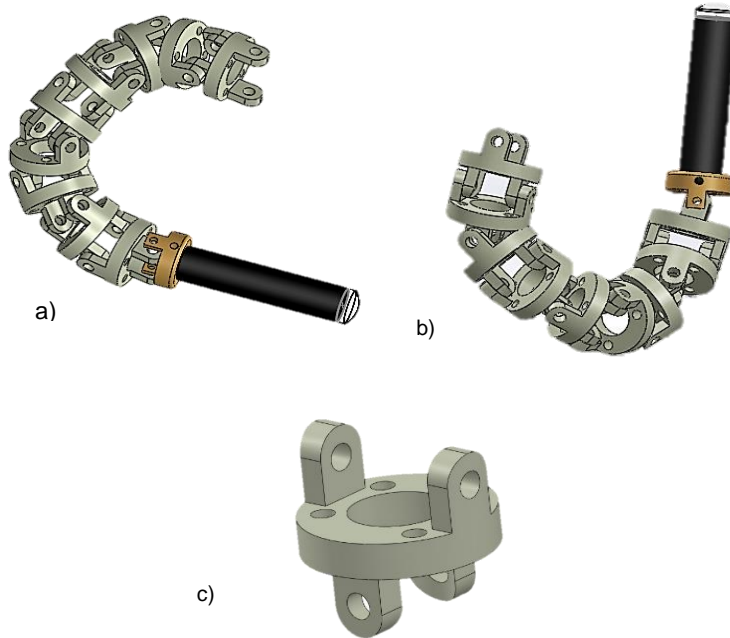


Fig. 16 a) Extremo distal del endoscopio flexible acodado b) Extremo distal del endoscopio flexible acodado vista desde otra perspectiva c) Eslabón en forma de anillo que circunda a la cámara boroscópica en 3D.

Este diseño es un mecanismo de cuatro grados de libertad, esto para permitir una mejor visión al examinar cuando el cirujano este dentro de una cavidad, aunque también cabe señalar que dicho mecanismo permite la entrada y salida del equipo por el orificio hecho al paciente así también la rotación de la cámara.

Los eslabones se encuentran unidos por remaches en las lengüetas de las piezas que le permitan al mecanismo moverse fijando las piezas sin desprenderse, los cables tensores que atraviesan los eslabones son de acero inoxidable, debido a que dichos cables estarán sujetos a tensión y se conectan al mecanismo de activación.

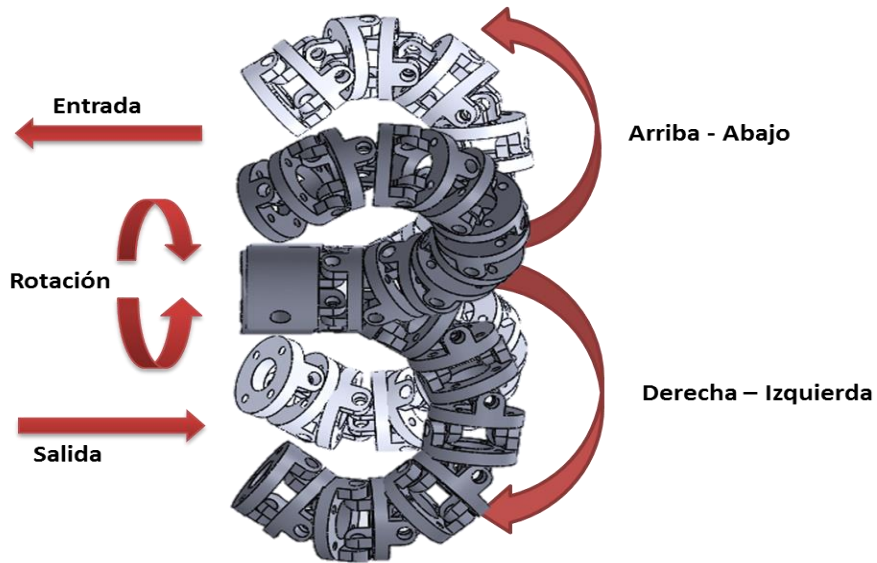


Fig. 17 Grados de libertad del extremo distal.

3.3. Cámara boroscopica

Esta cámara es apta para ver en lugares inaccesibles, dispone de un sensor VGA que a medida que la luz atraviesa un objetivo, éste enfoca en el sensor de imagen a un elemento conocido como pixel. Cada pixel de un sensor de imagen registra la cantidad de luz a la que se expone y la convierte en un número de electrones correspondiente. Cuando más brillante es la luz, más electrones se generan.

Este sensor es de tecnología CMOS ya que estos sensores reducen el coste total de los equipos por que contienen todas las funciones lógicas necesarias para fabricar cámaras, también tienen un tiempo menor de lectura (lo que resulta una ventaja cuando se requieren imágenes de alta resolución), por lo que dicha cámara fue la ideal para la aplicación del endoscopio. Con sus cuatro leds de luz blanca nos permite ver en lugares oscuros como si se tratase de una fuente de luz que ilumina una cavidad.

El grado de protección que tiene la cámara boroscópica a utilizar es IP67 la cual hace referencia a los datos técnicos de equipamiento eléctrico o electrónico. En este caso IP67 nos indica que las letras “IP” identifican al estándar Ingress Protection, el valor 6 en el primer dígito describe el nivel de protección ante polvo, en este caso el polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia, mientras que el valor 7 en el segundo dígito describe el nivel de protección frente a líquidos (normalmente agua), en este caso el objeto debe resistir (sin filtración alguna) la inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos.

La longitud de la cámara es de cinco metros para dar espacio a la sección flexible del endoscopio, es en esta parte en donde irán los cables de alimentación y visualización de la imagen desde la lente en la punta distal del endoscopio hasta el sistema de adquisición USB que será conectado a una computadora portátil o laptop.



Fig. 18 Cámara boroscópica a utilizar

3.4. Sección flexible del endoscopio

Esta parte del endoscopio flexible es lo que lo distingue del endoscopio rígido debido a que es manipulable por el cirujano para poder acceder a las cavidades con mayor facilidad, dentro del endoscopio flexible comercial se encuentran canales de agua, canales de extracción de cuerpos, entrada y salida de aire, así como los cables tensores que controlan el movimiento de la parte distal flexible.

El material de los cables tensores es de cable acerado de 1/8 de pulgada de diámetro para soportar las tensiones a las cuales está sometido y que desde la manija de control de mandos activa el mecanismo de la parte flexible distal en cuatro grados de libertad, el cable tensor inicia desde la polea de activación del mecanismo ejerciendo fuerza de tensión hasta la parte superior de las piezas circulares que conforman el mecanismo distal flexible.

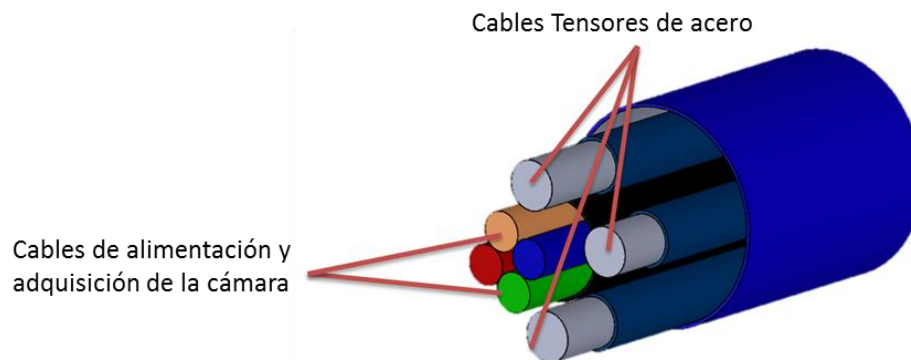


Fig. 19 Partes que conforman la sección flexible del endoscopio de entrenamiento.

3.5. Mecanismo de activación

Para lograr la angulación del extremo distal es necesario un mecanismo de activación, para esto se requiere de un movimiento lineal que tense los cables que atraviesan los canales de las piezas circulares, pero al mismo tiempo tiene que tener la propiedad de regresar a su estado inicial debido a que debe hacer la operación inversa, es decir tiene que tensar un solo cable mientras que el cable que está en su contraparte debe estar relajado, esto permite la máxima angulación de la parte distal.

3.6. Mecanismo a base de poleas

En el caso del endoscopio el tipo de movimiento que tiene el elemento de entrada, es decir los controles de mando por el operador (elemento motriz) coincide con el tipo de movimiento que tiene el elemento de salida (elemento conducido).

La polea es una forma de las denominadas máquinas simples. Permite transmitir una fuerza y ayuda a movilizar un peso, consiste en una rueda que tiene una ranura en su periferia, que gira alrededor de un eje que pasa por su centro. Esta ranura sirve para que, a través de ella, pase una cuerda que permite vencer una carga, atada a uno de sus extremos, ejerciendo una fuerza en el otro extremo. De este modo podemos mover pesos con menor esfuerzo [4].

3.7. Poleas fijas

Este tipo de polea es el que se implementara en la activación del endoscopio flexible ya que la polea se mantiene en punto fijo y aunque no disminuye la fuerza ejercida, facilita el trabajo de mover el extremo distal puesto que no estamos cargando ningún peso, solo es para lograr el movimiento.

Al mantenerse fija la polea se convierte en una palanca de primera clase con brazos iguales. Sirve únicamente para cambiar la dirección o el sentido de la fuerza, la carga solo es soportada por un segmento de la cuerda.

La polea girara alrededor de un eje fijo que estará anclada a la manija manual de control, dicha flecha pasa por el centro y en su periferia tiene una hendidura por la corre el cable acerado [4].

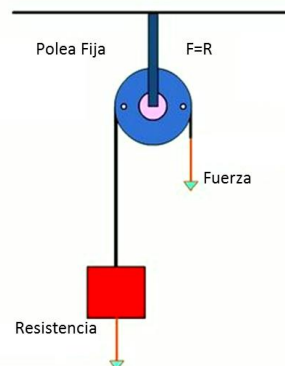


Fig. 20 Principio de una polea la fuerza F que se ejerce es de la misma magnitud que la carga R.

3.8. Diseño de las poleas

La colocación del cable acerado de manera correcta en el canal o ranura de la polea influye considerablemente en el rendimiento de la transmisión y en la vida útil del cable.

La colocación del cable acerado se realiza en la parte media de la polea. Para ello es necesario que el eje de la polea y las perforaciones donde se atornilla el cable acerado estén alineados, en la figura 21 se observa un boceto de la polea diseñada donde se muestra las medidas propuestas, mientras que en la figura 22 se ve el efecto tensor que provoca la polea sobre el extremo distal.

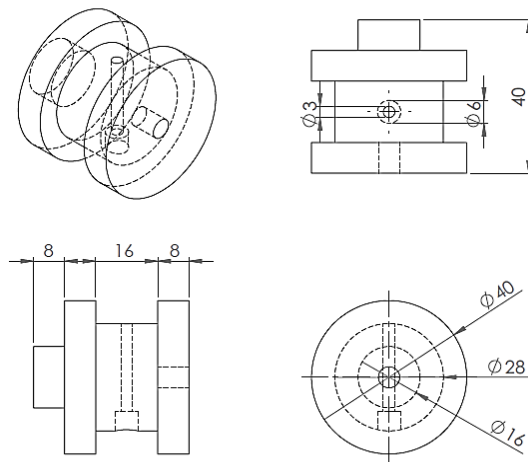


Fig. 21 Dibujo de polea empleado en el diseño del endoscopio

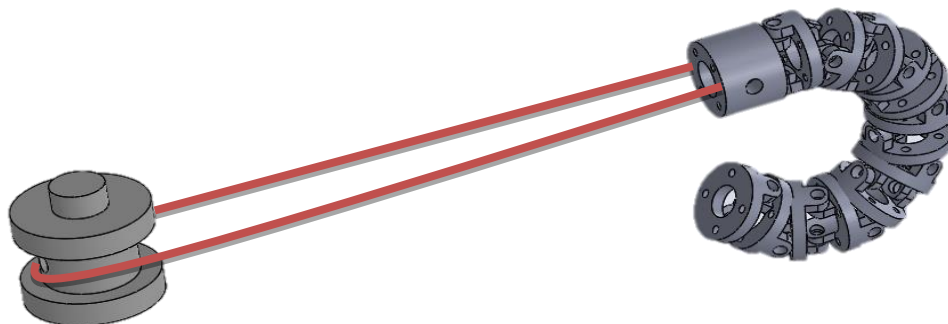


Fig. 22 Alineación del cable acerado perpendicularmente a los planos de la polea y los orificios del extremo distal.

Es síntoma de que existe un mal alineamiento entre poleas cuando uno de los flancos de la correa está más desgastado que el otro, o que un lado del canal aparece más pulido que el otro.

3.9. Diámetro mínimo

La elección del diámetro correcto de las poleas es sumamente importante, dado que un diámetro excesivamente pequeño para una sección de cable determinada significaría una flexión excesiva de ésta, lo que terminaría reduciendo su vida útil. Como norma general, al aumentar el diámetro de la polea aumentará la vida útil del cable.

Para determinar el diámetro mínimo a usar en una polea, se ha seleccionado de una lista los diámetros seguros, según la norma BS3790 que indica las tolerancias máximas permitidas para correas y poleas, en la que establece que por una longitud de cable de 1 metro en cada lado tensor de una polea esta debe tener como máximo 40 mm de diámetro [4].

3.10. Longitud de la correa

La longitud primitiva de la correa (L_p) de una transmisión se calcula directamente a partir de la ecuación (1) [4]:

$$L_p = 2E + \frac{\pi}{2} (D + d) + \frac{(D - d)^2}{4E} \quad (1)$$

Donde,

E es la distancia entre ejes de poleas

d es el diámetro de la polea menor

D es el diámetro de la polea mayor

Π es el número pi (3,14159265)

En este proyecto se hace el cálculo de la longitud de la correa simulando una polea menor con un diámetro de 20mm, este valor es el que tienen los eslabones que conforman el extremo distal del endoscopio diseñado y una polea de 40 mm de diámetro mayor que es el diámetro con el que se manufactura la polea, así mismo una distancia entre los ejes centrales de cada polea de 1 metro, cuyo valor se toma según la norma BS3790 para una polea de 40mm, aplicando estos datos en la ecuación (1) obtenemos el siguiente resultado.

$$L_p = 2(1m) + \frac{\pi}{2} (.040m + .020m) + \frac{(.040m - .020m)^2}{4(1m)} = 2.094m$$

Por lo que se utiliza un valor de 2 metros de cable acerado para lograr el efecto deseado de angulación en cada eje del mecanismo.

3.11. Diseño de la carcasa

Para el diseño de la carcasa hay que tomar en consideración la medida de las poleas, así como el paso de los cables tensores y la cámara, protegiendo los cables de posibles tensiones y enredamiento que afecten el buen funcionamiento. Las poleas necesitan estar fijas a un eje y deben ser controladas manualmente desde una manija para lograr la flexión del extremo distal de un endoscopio, así mismo deben ser manipuladas desde su eje sin movimiento, se debe desarrollar una carcasa que sea ergonómica y permita la funcionalidad requerida, manteniendo en su interior el mecanismo de poleas.

Puesto que en el eje central de la polea debe ir una manija manipuladora que permita el movimiento de derecha, izquierda, arriba y abajo, se añaden al sistema dos poleas para controlar cada par de movimientos. La polea tiene en un extremo un orificio con cuerda para la introducción de la manija manipuladora, mientras que en el otro extremo mantiene un eje al exterior del cuerpo principal como ilustra la figura 23.

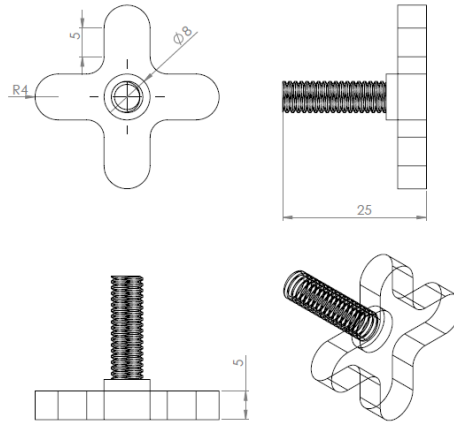


Fig. 23 Dibujo de la manija manipuladora.

A modo de conector hembra – macho el eje exterior de la polea embona en un cilindro que servirá como tope y guía, ya que lo que se desea implementar es una polea fija, por un lado la manija ocasionara el giro mientras que el eje exterior mantendrá a la polea en una sola posición.

Según las especificaciones de diseño de la polea el diámetro externo es de 40 mm, el diámetro interno es de 28 mm, mientras que la ranura tiene una longitud de 16 mm, el eje externo tiene un diámetro de 12 mm y un ancho de 8 mm, por lo tanto la carcasa debe diseñarse de tal manera que contenga en ella dos poleas, perpendiculares entre sí para el control de cada par de movimientos que debe realizar el extremo distal: derecha – izquierda y arriba – abajo.

Debe tener dos perforaciones que permita la salida de las manijas manipuladoras y ahorrar espacio para que el mecanismo sea del menor tamaño posible, al igual debe ser fácilmente manipulable para darle mantenimiento en caso de hacerlo, puesto que los endoscopios comerciales mantienen un estricto sellamiento del mecanismo de control, este diseño debe cumplir con el sellado del mecanismo de poleas para que el usuario no intervenga con el funcionamiento.

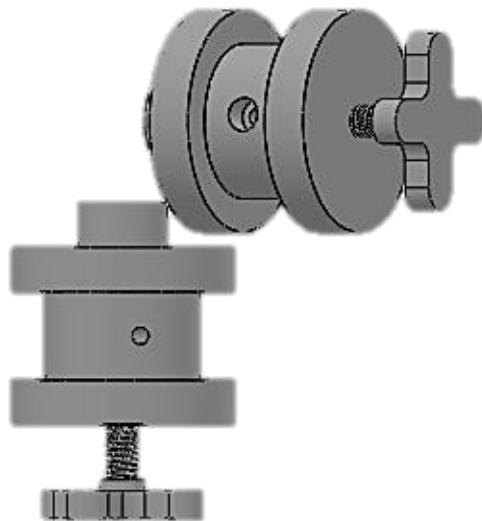


Fig. 24 Orientación de las poleas para el control de cada par de movimiento: derecha – izquierda y arriba – abajo.

Dentro de la carcasa hay que dejar espacio para que pasen los cables que vienen de la parte flexible del endoscopio, es decir los cables tensores y los cables de control de la cámara, el giro de las poleas no debe intervenir con el funcionamiento de la cámara.

La pieza debe permitir el control de giro de ambas poleas, así como la tensión y relajación de los cables manipuladores del extremo distal, sin que se enreden entre ellos y el libre paso de la cámara, en la figura 25 se observa el acoplamiento de la manija manipuladora con la polea.

Se diseña el prototipo de modo que cada par de movimiento de angulación del extremo distal sea controlado por una polea distinta para que el usuario tenga un mejor control de la visión.

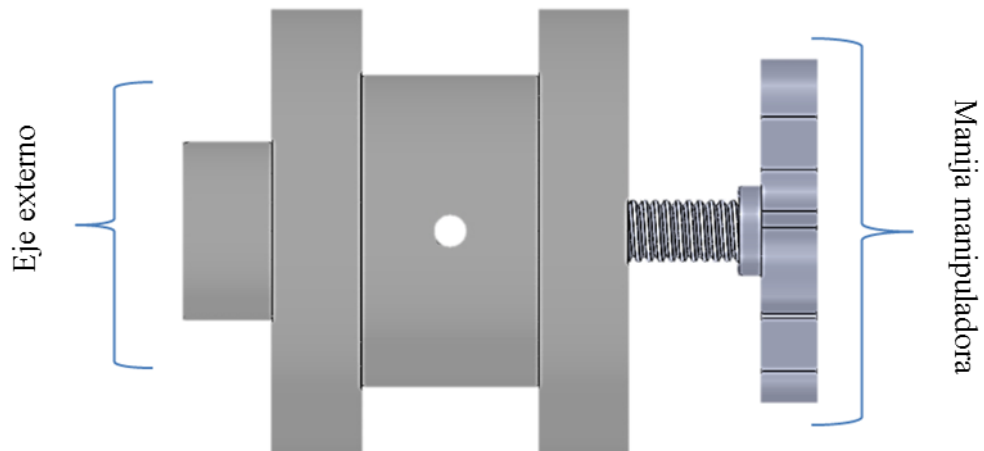


Fig. 25 Polea en donde se adapta la manija manipuladora y el eje externo.

La pieza llamada adaptador es la que cumple la función de acoplar las dos poleas en un ángulo de 90° grados entre sí, tiene a su vez dos canales rectangulares paralelos, que es por donde atraviesan los cables tensores, en la parte media de la pieza se encuentra un orificio que es el canal de paso de la cámara.

Se puede observar en la figura 26 el dibujo de la pieza propuesta que resuelve las necesidades que se han descrito, tiene en su parte inferior un cilindro hueco que es donde gira el eje externo de la polea que se encuentra en forma vertical, así mismo es esta pieza la que se fija a la carcasa para brindar firmeza al mecanismo y no existan vibraciones cuando se ejerza la fuerza en la polea para mover el extremo distal.

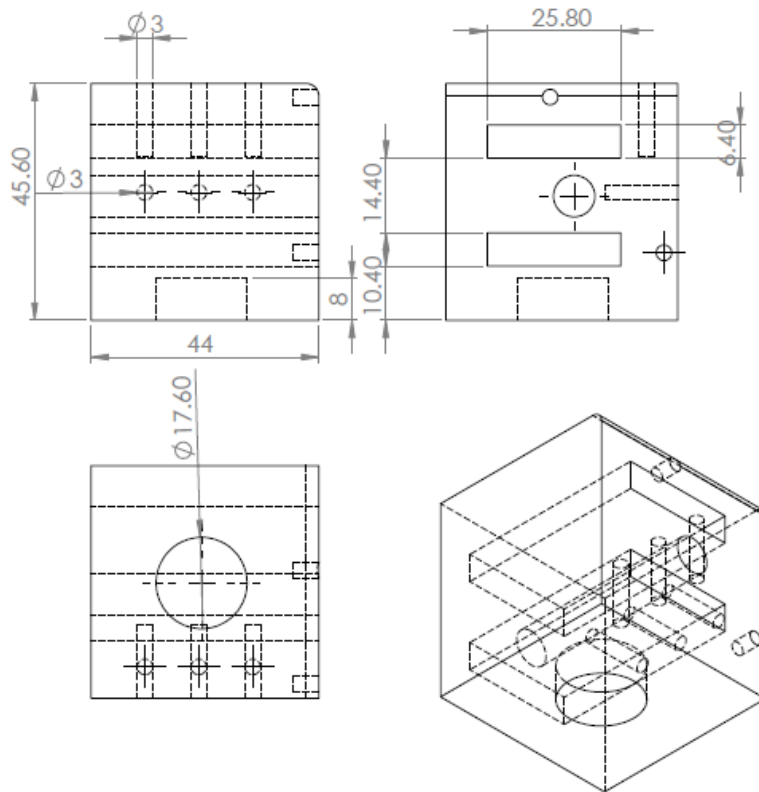


Fig. 26 Pieza adaptador que brinda la posición necesaria de las poleas así mismo el paso de los cables tensores y protección de la cámara.

La carcasa es la que debe proporcionar la propiedad de las poleas de ser fijas, facilita un canal en donde embona el eje exterior de la polea, el canal que por donde atraviesa la segunda polea orientada 90° con respecto al plano vertical, está en la pieza de adaptación quedando instaladas como muestra la figura 27.

Al realizar el giro manual de las manijas actúa mecánicamente como una polea fija, en la que se ejerce tensión en uno solo de sus cables manteniendo el otro extremo en relajación permitiendo así el máximo grado de angulación del extremo distal.

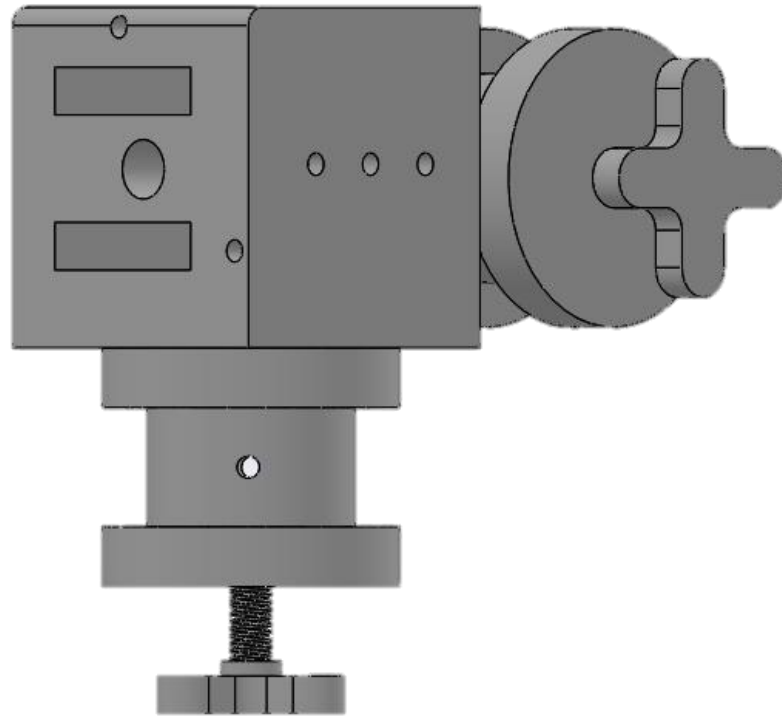


Fig. 27 Colocación de las poleas con la pieza de adaptación.

Al tener estas piezas ya diseñadas toma el turno de la carcasa, esta pieza es la que cubre, protege, fija las poleas y brinda soporte al mecanismo teniendo en cuenta las especificaciones del diseño.

Se puede observar en cada uno de los diseños la disposición de la tornillería para lograr el sellado del mecanismo y la adaptación de las dos manijas de control.

Al igual permiten la protección del cuerpo del endoscopio y los cables tensores que pasan desde el mecanismo de activación al extremo distal de curvatura.

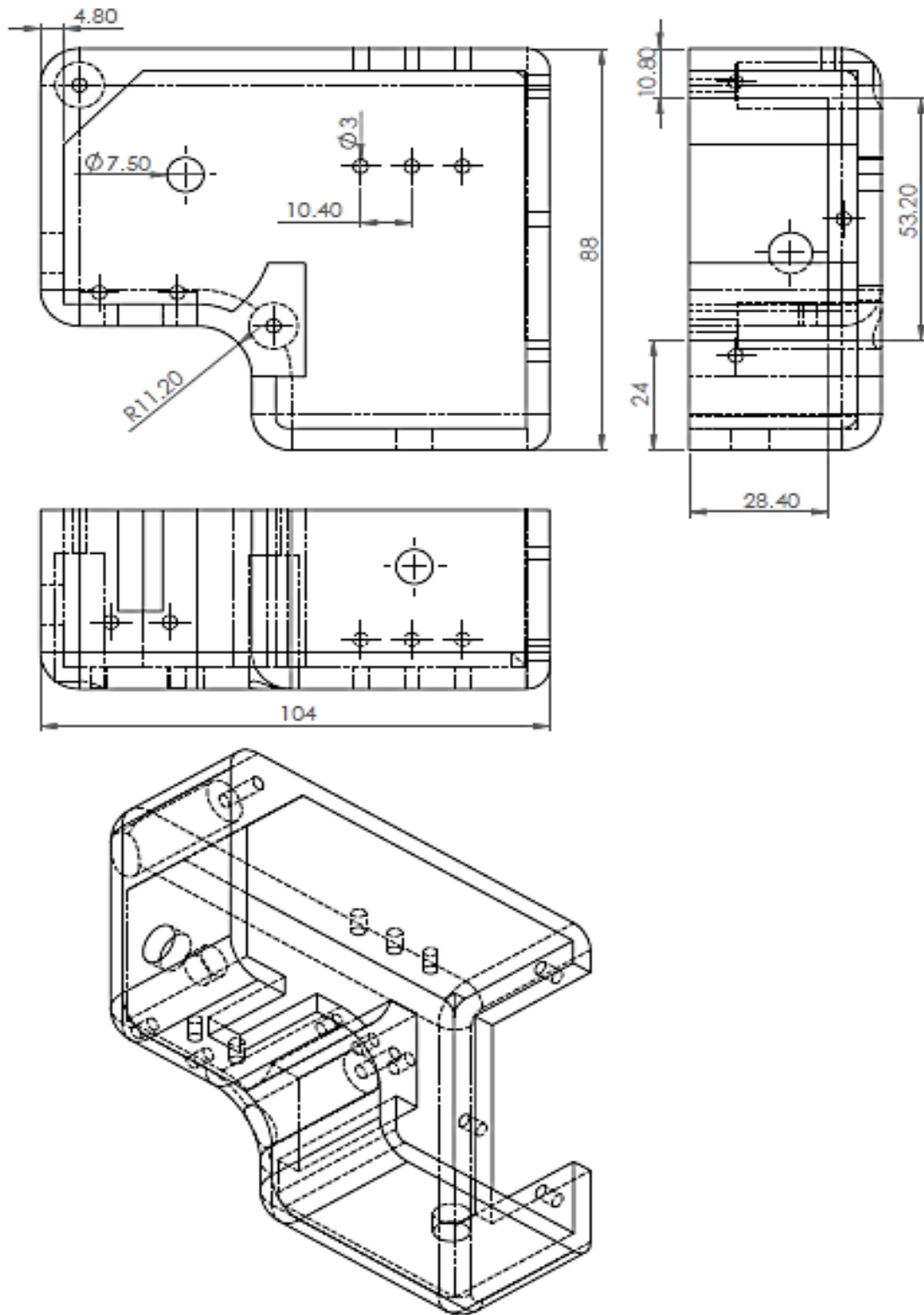


Fig. 28 Dibujo de la parte derecha de la carcasa.

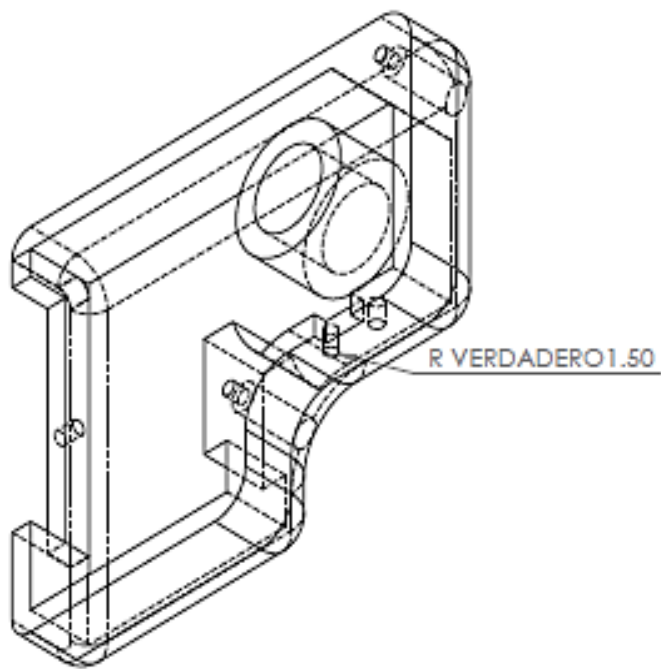
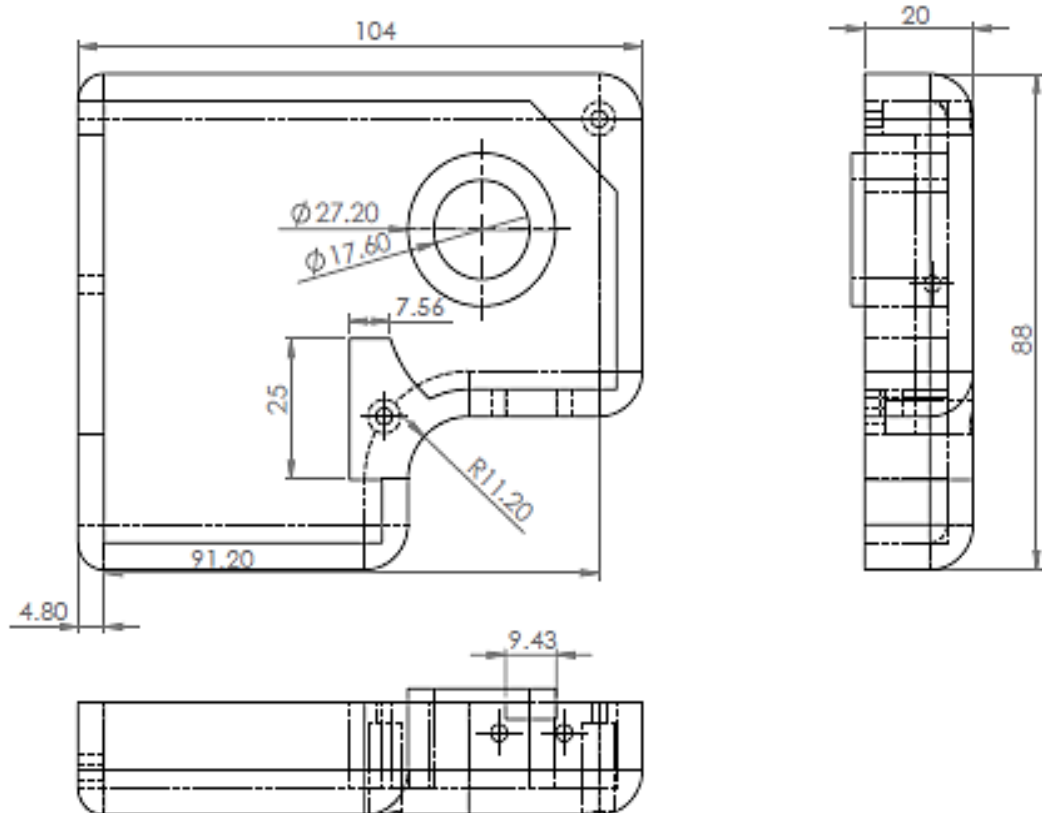


Fig. 29 Dibujo de la parte izquierda de la carcasa.

Como se observa en las figuras 28 y 29 el diseño de la carcasa ocupa el mínimo espacio para el menor consumo de material y manufactura, debido a que se aplica la operación de vaciado, es decir paredes con espesor y sin relleno, tiene cilindros internos para fijar las poleas en un eje, permite el paso de los cables tensores, el paso de la cámara y la adaptación de un mango para mejor comodidad de manipulación.

El diseño del mecanismo necesita una pieza más que guíe el camino de los cables tensores acoplados a las poleas que les corresponde el control de cada par de movimiento, brinde soporte al tubo flexible del endoscopio, que es por donde circula la cámara y el cable acerado guía, así como un paso libre de distribución y tope entre la parte flexible del endoscopio y la carcasa.

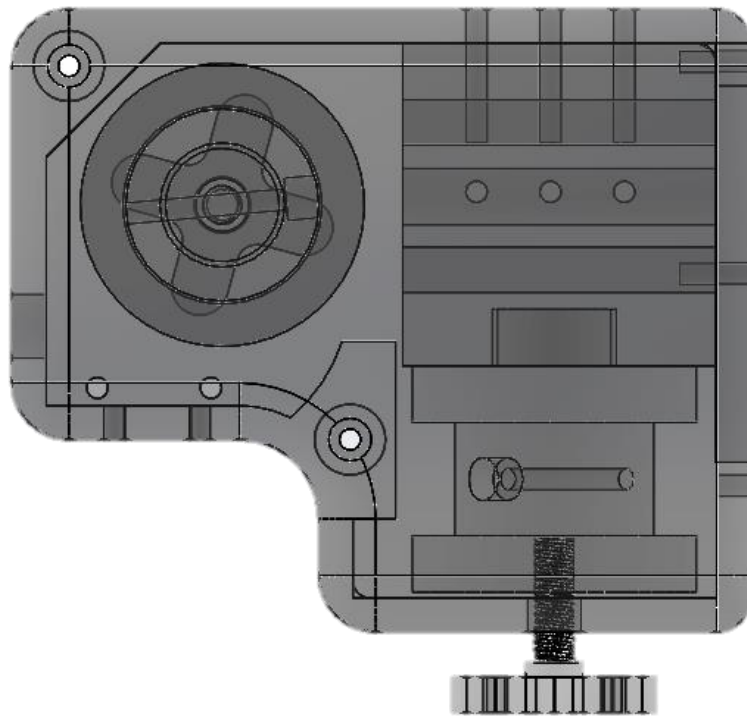


Fig. 30 Mecanismo completo de poleas con carcasa y adaptador.

La pieza guía tiene en su interior un canal cubierto por una pared de espesor de 5 mm esto para que no se enreden los cables al llegar a las poleas y les proporcione un camino resistente a la tensión a la cual estarán sujetos, al igual esta pieza sirve de conexión entre el mecanismo de poleas y la parte flexible del endoscopio. En la figuras 31 y 32 se observa el diseño propuesto de la pieza que cumple estas funciones y recibe el nombre de pieza guía.

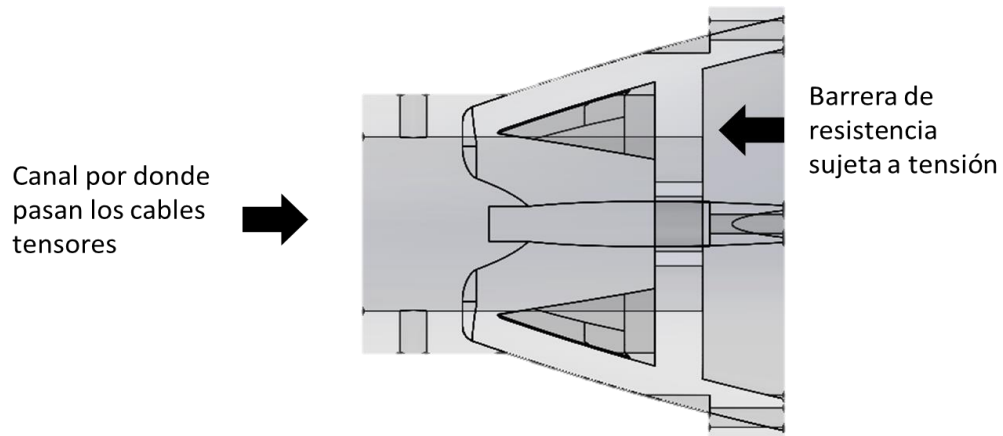


Fig. 31 Composición interna de la pieza Guía.

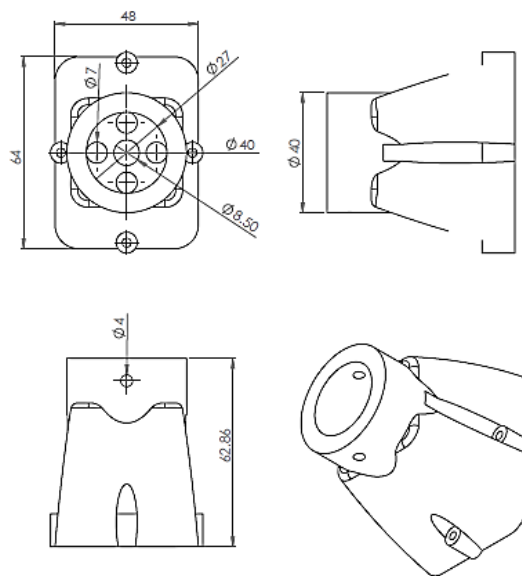


Fig. 32 Pieza guía de los cables tensores.

Es así como se llega al diseño completo del mecanismo de activación en donde las manijas, las poleas, la pieza adaptador, la pieza guía, la carcasa derecha y la carcasa izquierda quedan acoplados para el funcionamiento de tensión del cable acerado, cumpliendo la función para la que se ha diseñado, el software SolidWorks® permite realizar un ensamble completo para verificar si el mecanismo propuesto cumple con las especificaciones de medida y tolerancias.

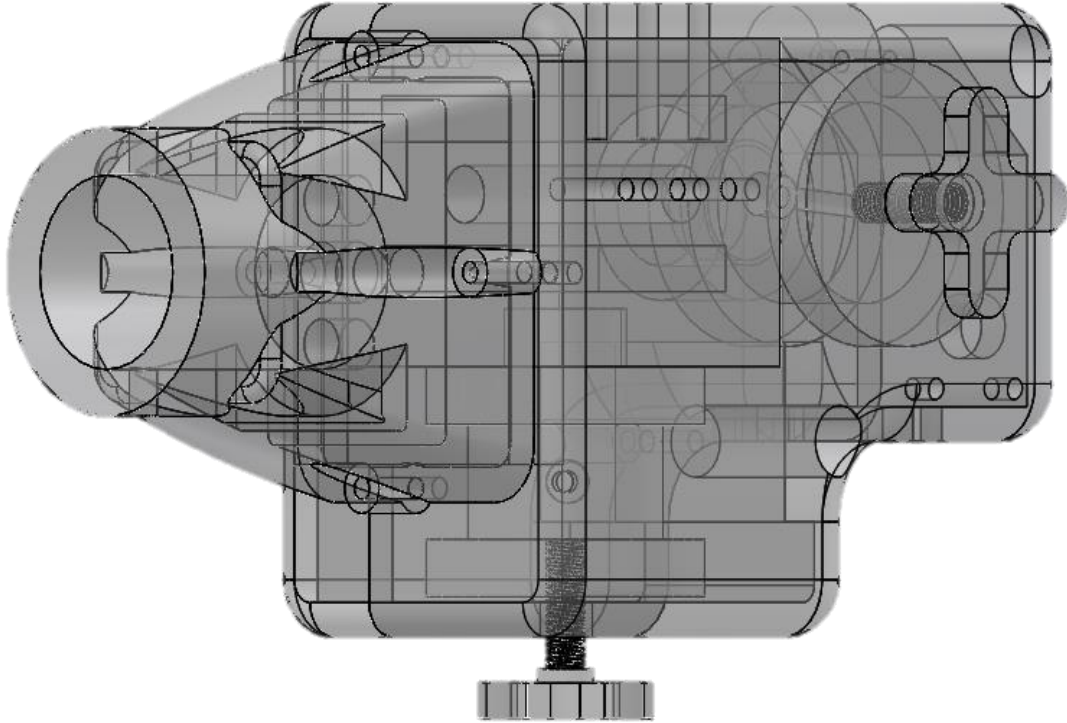


Fig. 33 Mecanismo completo con todas las piezas que permiten el paso de los cables tensores.

En la figura 34 se muestra la vista del mecanismo que contempla cada una de las partes explicadas anteriormente y como es que el mecanismo debe ser ensamblado y la función de cada una de las piezas.

Así mismo si en algún momento el usuario desea realizar alguna revisión le permite ver cómo es que debe ser distribuido el mecanismo de forma correcta para volverlo a ensamblar.

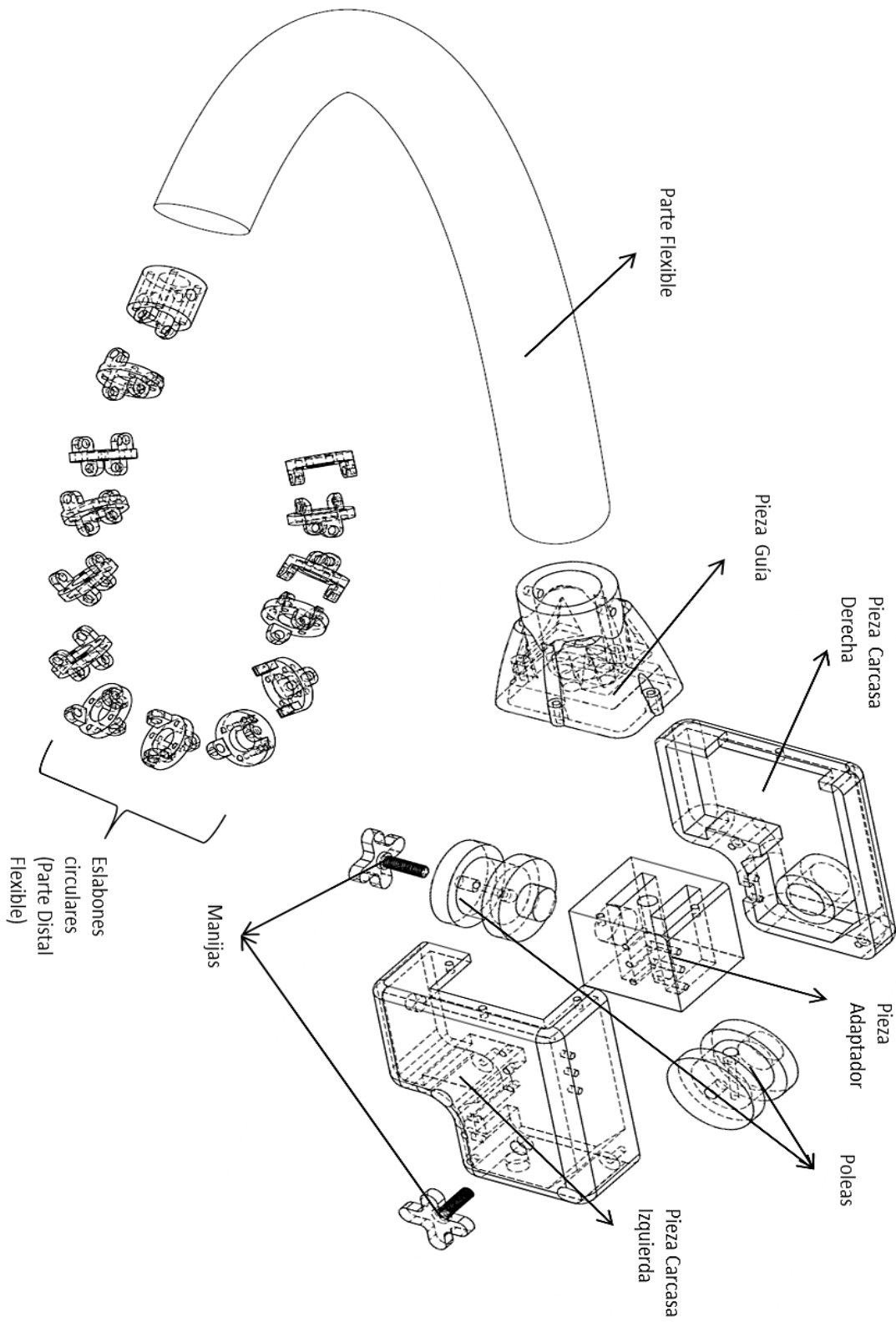


Fig. 34 Vista del mecanismo propuesto del endoscopio flexible.

3.12. Análisis de elemento finito

El método de los Elementos Finitos es un procedimiento numérico de resolución de problemas de Mecánica de Sólidos que resulta de gran importancia por su utilidad práctica. Es una herramienta de cálculo muy potente que permite resolver infinidad de problemas. Sin embargo, es un método que no proporciona la solución “exacta” a un problema dado, sino que, en realidad, posibilita obtener una solución aproximada.

Su idea básica es: dado un sólido, sometido a un sistema de cargas, consiste en subdividir el sólido en pequeñas partes (elementos) interconectados entre sí a través de nodos, de manera que suponemos que, el campo de desplazamientos en el interior de cada elemento, puede expresarse en función de los desplazamientos que sufren los nodos del elemento (desplazamientos nodales); posteriormente, se podrá determinar la matriz de rigidez de cada elemento, las cuales una vez ensambladas (siguiendo los pasos del análisis matricial de estructuras), permitirán la obtención de los desplazamientos en los nodos de cada elemento. De esta manera, una vez conocidos dichos desplazamientos podríamos determinar, de una forma aproximada, las tensiones y las deformaciones en el interior del elemento.

Se considera que tenemos una pieza de dimensiones finitas, sometida a tracción en sus lados superior e inferior, y que posee un orificio circular, de radio de 6mm, en su centro [6].

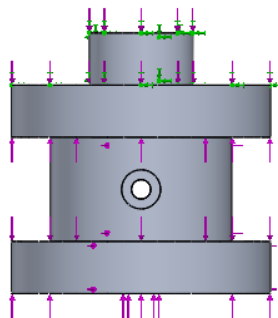


Fig. 35 Pieza sometida a deformación.

El modelado por elementos finitos de esta pieza, empleando elementos triangulares se representa en la figura 36.

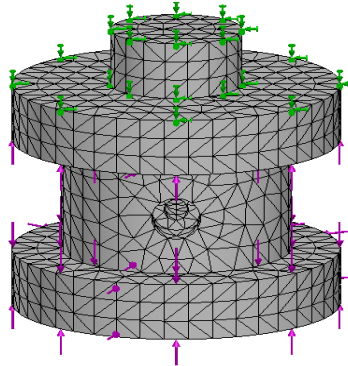


Fig. 36 Malla triangular para análisis de la polea.

La pieza ha sido subdividida en elementos triangulares, de forma que estos elementos se suponen interconectados a través de sus vértices. Evidentemente, dado el número de elementos que hemos utilizado, el agujero circular de la pieza, por ejemplo, ya no es circular se convierte en un decágono.

En general, en cada pieza que analicemos por el método de los elementos finitos, conoceremos las fuerzas exteriores aplicadas en algunos de sus nodos y los valores de los desplazamientos en otros. La clave del método está en que, tras su aplicación, obtendremos una expresión del tipo: $\{F\} = [k] \{u\}$, en la que, $\{F\}$ es un vector columna, conocido como vector de cargas, en el que están todas las fuerzas exteriores que actúan sobre el sólido, en el miembro de la derecha nos encontramos al vector $\{u\}$, denominado vector de desplazamientos nodales, que representa, de manera ordenada, todos los desplazamientos que experimentan los nodos del modelo, y la matriz $[k]$, que se conoce como matriz de rigidez del sistema estructura[6].

Este método se basa en estimar las relaciones de rigidez para resolver las fuerzas o los desplazamientos mediante una computadora. Las propiedades de rigidez del material son agrupados en una única ecuación matricial que gobierna el comportamiento interno de la

estructura idealizada. Los datos que se desconocen de la estructura son las fuerzas y los desplazamientos que pueden ser determinados resolviendo esta ecuación.

3.13. Método de la matriz de rigidez

El método de rigidez es la aplicación más común del método de los elementos finitos, consiste en asignar a la pieza un objeto matemático, llamado matriz de rigidez, que relaciona los desplazamientos de un conjunto de puntos de la pieza llamados nodos, con las fuerzas exteriores que es necesario aplicar para lograr esos desplazamientos. La matriz de rigidez relaciona las fuerzas nodales equivalentes y desplazamientos sobre los nodos de la estructura, mediante la ecuación (2).

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & \dots & k_{3n} \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \dots \\ u_n \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Donde

$[k]$ es la matriz de rigidez propiedad de cada material

$\{F\}$ es un vector columna que representa las fuerzas nodales

$\{u\}$ es un vector columna que representa los desplazamientos nodales

La matriz de rigidez es una propiedad de la pieza, no cambia en función del estado de cargas o de condiciones de contorno a que se someta. Sólo se verá afectada si se introduce algún elemento adicional.

Cada columna representa las acciones necesarias para conseguir un desplazamiento unitario en el grado de libertad definido por el índice de la columna, a la vez que se quedan fijados a cero el resto de los grados de libertad [6].

Una fila es un conjunto de multiplicadores que operados sobre el vector desplazamiento completo proporciona el valor de la fuerza correspondiente al grado de libertad definido por el índice de la fila.

Cada término de la matriz se puede considerar una función del peso, que representa la proporción de la contribución a la fuerza del grado de libertad i debido al desplazamiento del grado de libertad j . En caso de que su valor sea cero significa que ambos grados de libertad no están relacionados [6].

3.14. Análisis estático por computadora.

A través de la Ingeniería Asistida por Computadora (CAE), se puede modelar casi cualquier pieza o sistema con una precisión prácticamente real. Ayudándose del Análisis por Elementos Finitos, se puede no solo visualizar el modelo sino prever su comportamiento bajo unas condiciones reales de trabajo, sin necesidad de fabricar prototipos.

Esto tiene ventajas como las que a continuación se mencionan:

- Se reduce el costo de las pruebas de campo ya que se puede simular previamente el comportamiento del modelo.
- Permite adelantar la comercialización del producto, puesto que se reduce el número de ciclos de desarrollo del mismo.
- Da la opción de mejorar el producto rápidamente mediante el rediseño del modelado de las piezas de forma virtual antes de su fabricación.

Esta herramienta, nos permiten evaluar el comportamiento del modelo bajo una gran variedad de condiciones como pueden ser: Cargas Estáticas, Cargas Térmicas, Fatiga y

Dinámicas. En el caso que nos ocupa, veremos las características generales de los Análisis Estáticos [8].

Mediante los análisis estáticos de piezas o modelos compuestos, se pueden simular los desplazamientos, las fuerzas de reacción, las tensiones y las deformaciones unitarias que se producen en el modelo tridimensional bajo unas condiciones de contorno previamente definidas.

Además, podemos evaluar el factor de seguridad de un modelo simulado, permitiendo rediseñar la pieza para evitar problemas durante el funcionamiento real de la pieza. Por lo tanto, podemos optimizar el diseño sin necesidad de fabricar ningún modelo ni realizarle pruebas de campo que encarecen el producto final.

Los análisis estáticos, se realizan bajo dos condiciones:

Suposición Estática: Esto implica que las cargas se aplican lenta y gradualmente hasta que alcanzan sus magnitudes completas. A partir de este punto, las cargas permanecerán constantes. Debido a esto, se puede ignorar por ejemplo las fuerzas inerciales y de las de amortiguamiento, ya que las aceleraciones y velocidades son pequeñas.

Linealidad: Es decir, la relación entre cargas y la respuesta del material es lineal. Cuando se duplica la carga, también lo harán las deformaciones unitarias, desplazamientos o las tensiones. La suposición de la linealidad supone:

- Se cumple la ley de Hooke en los materiales a estudiar. Esto implica que la tensión es directamente proporcional a la deformación unitaria.

- Los desplazamientos provocados son lo suficientemente pequeños para que no se tenga en cuenta la rigidez que es causada por la carga.
- Las condiciones de contorno no variaran durante el proceso de carga del sistema. Estas cargas deben ser constantes en magnitud, dirección y distribución, y por tanto no cambiar durante la deformación del modelo [8].

A continuación se muestra cada una de las piezas en las que se ha aplicado el método del elemento finito.

Lo que se observa en dichos modelos es la deformación que sufren las piezas al aplicarles una fuerza con valor de una unidad (1 Newton) sobre cada parte triangular en la que se ha dividido el modelo para su estudio, indicando los valores de deformación con una unidad de medida en milímetros, presentando los mínimos valores en azul negruzco hasta los máximos valores en rojo [9].

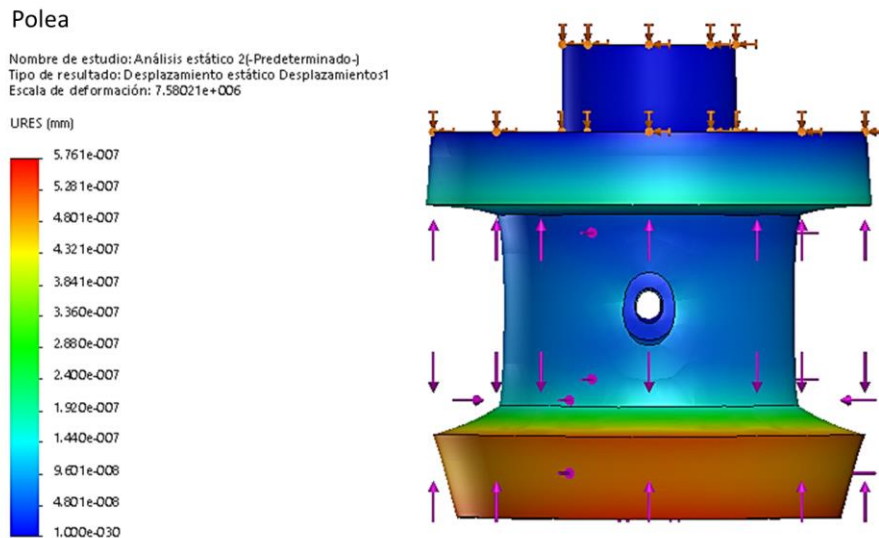


Fig. 37 Estudio de Elemento Finito a la polea manufacturada en aluminio 1060

Las demás piezas serán modeladas en un tipo de plástico denominado Acrilonitrilo Butadieno Estireno o ABS es un plástico muy resistente al impacto, utilizado en la industria. El ABS se considera un termoplástico amorfo.

Los bloques de acrilonitrilo proporcionan rigidez, resistencia a ataques químicos y estabilidad a alta temperatura así como dureza.

Los bloques de butadieno, que es un elastómero, proporcionan tenacidad a cualquier temperatura. Esto es especialmente interesante para ambientes fríos, en los cuales otros plásticos se vuelven quebradizos. El bloque de estireno aporta resistencia mecánica y rigidez.

Esta mezcla de propiedades, llamada sinergia, indica que el producto final contiene mejores propiedades que la suma de ellos.

Este tipo de material es ampliamente utilizado en las impresoras de prototipos rápidos 3D, es así como fueron manufacturados la carcasa del endoscopio flexible, la pieza guía y la pieza adaptador que en las figuras 38 a 41 se muestra el análisis resultante por el método del elemento finito, exponiendo así las máximas deformaciones cuando en las caras de la pieza se aplica una fuerza unitaria en cada segmento de la malla.

El análisis estático nos permite ver cuáles son las partes más vulnerables al desgaste mecánico dependiendo del material, el software nos admite elegir entre una amplia gama de materiales, desde aleaciones de aluminio, acero, cobre, hierro, así como plásticos de nueva generación como lo es el ABS.

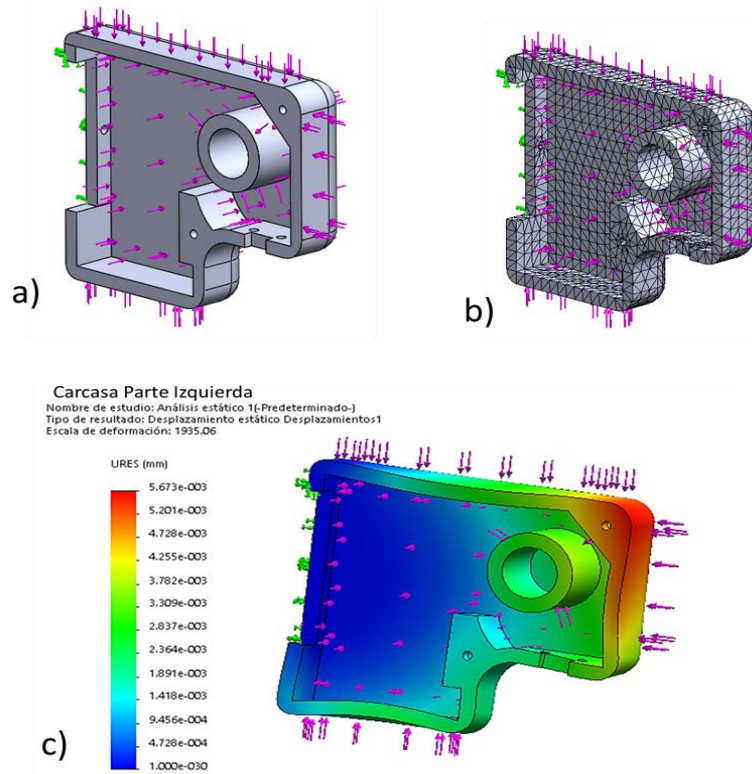


Fig. 38 a) Carcasa izquierda sometida a deformación. b) Malla triangular. c) Estudio de Elemento Finito a la carcasa Izquierda

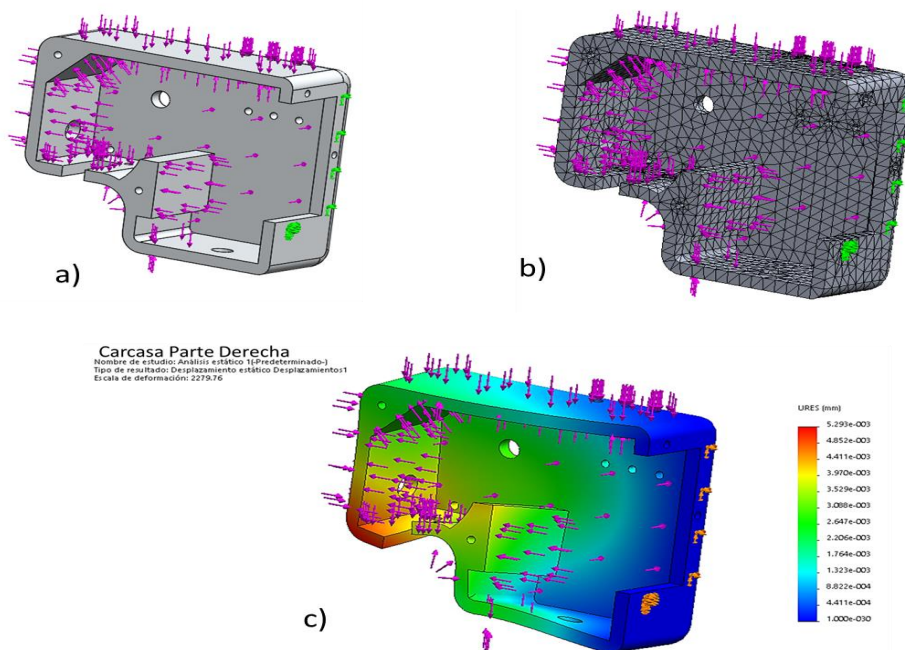


Fig. 39 a) Carcasa derecha sometida a deformación. b) Malla triangular. c) Estudio de Elemento Finito a la carcasa Derecha.

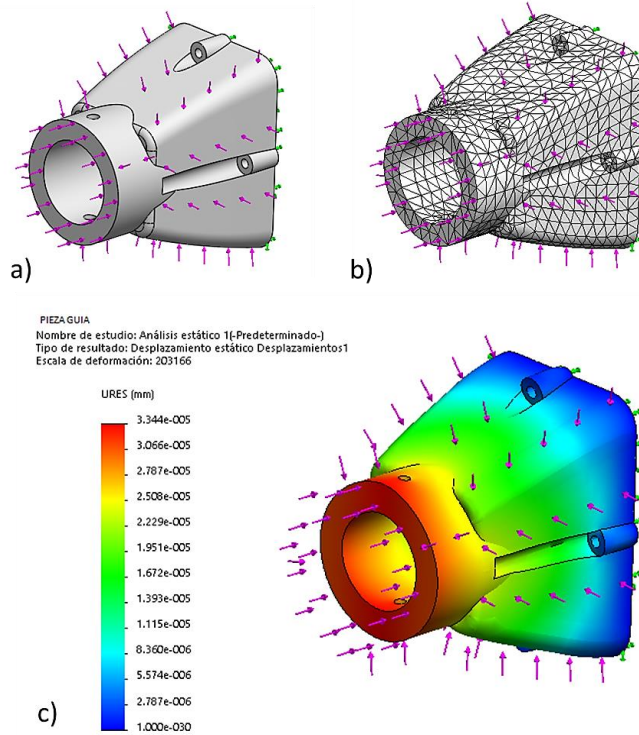


Fig. 40 a) Pieza Guía sometida a deformación. b) Malla triangular. c) Estudio de Elemento Finito a la pieza guía.

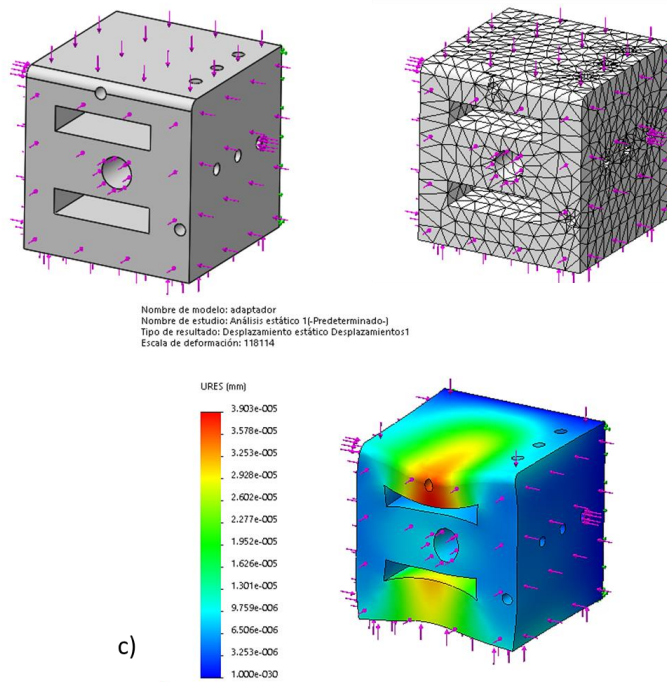


Fig. 41 a) Pieza Adaptador sometida a deformación. b) Malla triangular. c) Estudio de Elemento Finito a la pieza adaptador.

4. Ensamblaje del endoscopio flexible

4.1. Piezas manufacturadas en torno

Como conclusión del análisis estático se observa en las figuras 38 a 41 que los desplazamientos no son mayores a los 5 milímetros cuando se aplica una fuerza constante de 1 Newton, puesto que las poleas son las piezas en las que se ejerce mayor tensión es necesario un material más resistente a la deformación que el material ABS, como mejor opción tenemos el aluminio debido a que es un material que resiste la tensión y no tiene un peso considerable a comparación del fierro.

Las poleas que ejercen la tensión para la angulación del extremo distal del endoscopio flexible han sido manufacturadas en una aleación de aluminio 1060 bajo la técnica de torneado. Este tipo de aluminio se caracteriza por una resistencia a la corrosión y excelentes propiedades para ser maquinado. Hierro y silicio son las principales impurezas.



Fig. 42 Poleas manufacturadas para integrar al mecanismo.

4.2. Piezas generadas en impresión 3D.

Las impresoras 3D son poderosas herramientas que permiten la fabricación de piezas y modelos tangibles y en tres dimensiones, por medio de la técnica de manufactura aditiva, que como su nombre lo indica basa su funcionamiento en la adición de material en una sucesión de capas hasta formar un volumen.

En el proceso elegido se parte de un modelo virtual diseñado en SolidWorks® que después debe ser exportado a un formato STL. Posterior a esto el modelo virtual es cargado y procesado dentro del software de segmentación propio a la impresora 3D, donde el modelo se rebana en secciones horizontales paralelas que luego se materializan superponiendo capa sobre capa hasta completar la pieza., la cual representa una aproximación del modelo virtual.

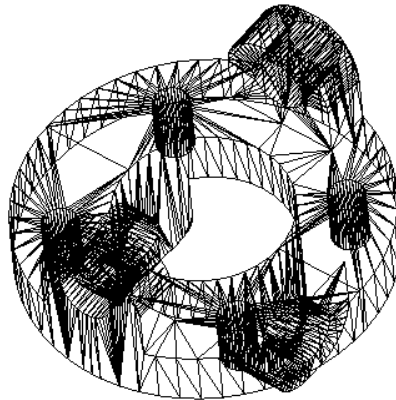


Fig. 43 Eslabón que conforma la parte distal en formato STL

La complejidad de piezas y modelos que pueden ser fabricados, no representa un problema para este tipo de maquinas. Consecuencia de estas virtudes, es que el tiempo de desarrollo de un producto puede reducirse considerablemente, permitiendo efectuar, en un tiempo corto, diversas pruebas para las piezas, validar la geometría definitiva y emprender la producción en serie rápidamente, con costes de desarrollo lo más ajustados posibles. En la figura 44 se muestra la pieza de la carcasa parte Izquierda manufacturada bajo este proceso.

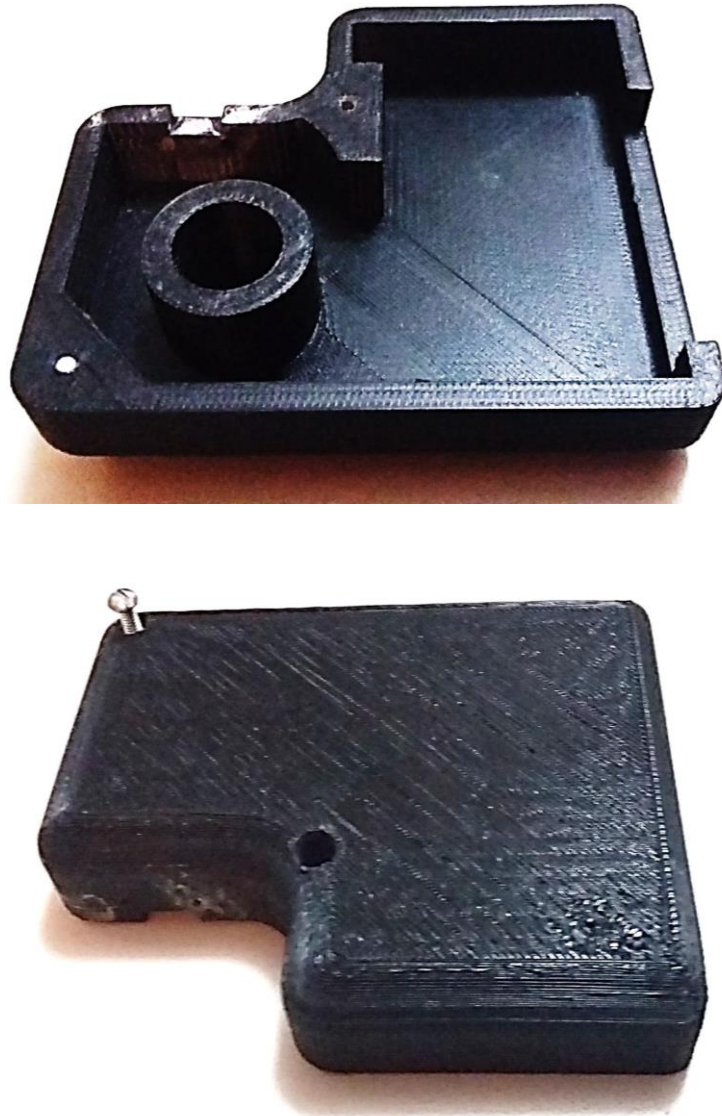


Fig. 44 Carcasa parte Izquierda manufacturara en impresión de prototipos rápidos 3D.

La impresión 3D o prototipado rápido, nos apoya a evaluar efectivamente, organizar y comunicar el diseño del prototipo. Usando las piezas en etapas tempranas del desarrollo de producto, resultando en decisiones que tienen un efecto considerable en el costo de manufactura del producto.

Se muestra la parte derecha de la carcasa resultado de un prototipo 3D desarrollado en SolidWorks® esta pieza junto a su contraparte serán las utilizadas en la ensamble del prototipo propuesto ya que en ellas está contenido el mecanismo a base de poleas.



Fig. 45 Carcasa parte derecha manufacturada en impresión de prototipos rápidos 3D.

En la figura 46 se muestra el resultado de la impresión de la pieza guía la cual es la que soporta el tubo flexible y sirve de pauta para que no se enreden los cables tensores que controlan cada par de movimiento de la parte distal.



Fig. 46 Manufactura pieza guía en impresión de prototipos rápidos 3D.

En la figura 47 se observa como circundan los eslabones impresos a la cámara boroscopica para lograr el movimiento controlado de angulación es así que se forma la parte distal flexible del endoscopio.

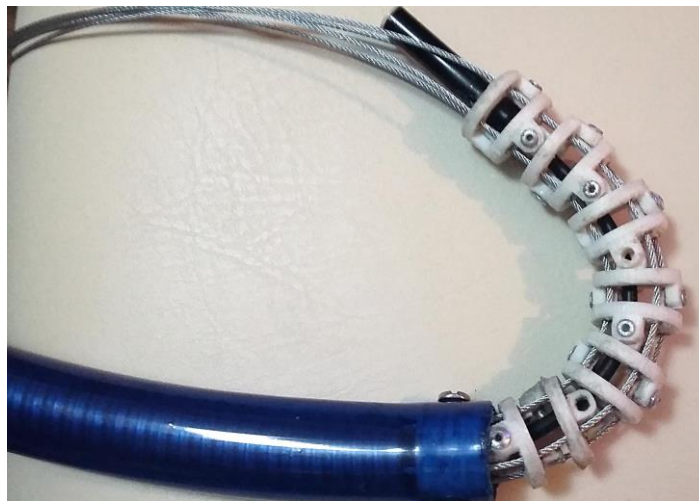


Fig. 47 Manufactura de la parte distal flexible del endoscopio mediante impresora de prototipos rápidos 3D.

En la figura 48 se observa el armado completo de la carcasa y la disposición de las poleas junto con los cables tensores, los cuales embonaron correctamente para evitar vibraciones o desgaste mecánico del prototipo.

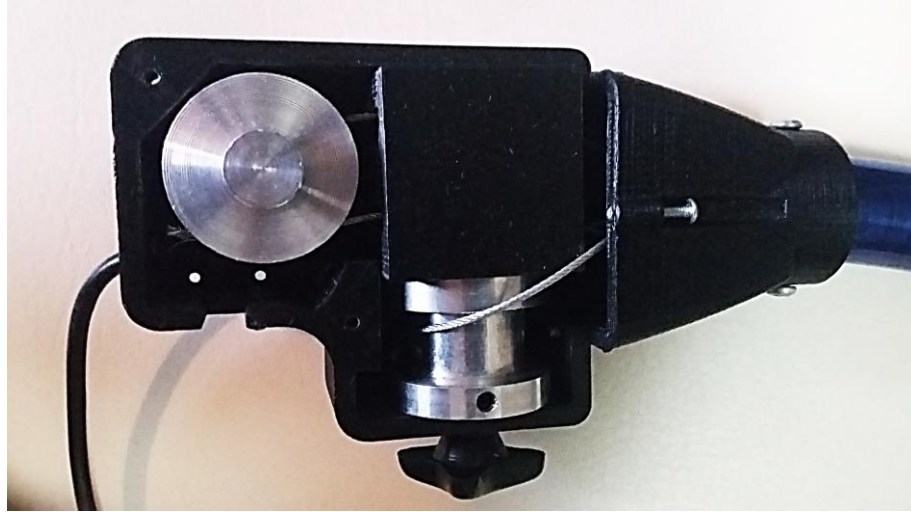


Fig. 48 Mecanismo Interno del endoscopio Flexible según las especificaciones del diseño en SolidWorks.

El realizar un diseño virtual de un mecanismo nos permite verificar si el prototipo cumple con los requerimientos y el objetivo para el que es diseñado ahorrando también tiempo en manufactura, en la figura 49 se hace una comparativa del modelo virtual y el modelo físico.

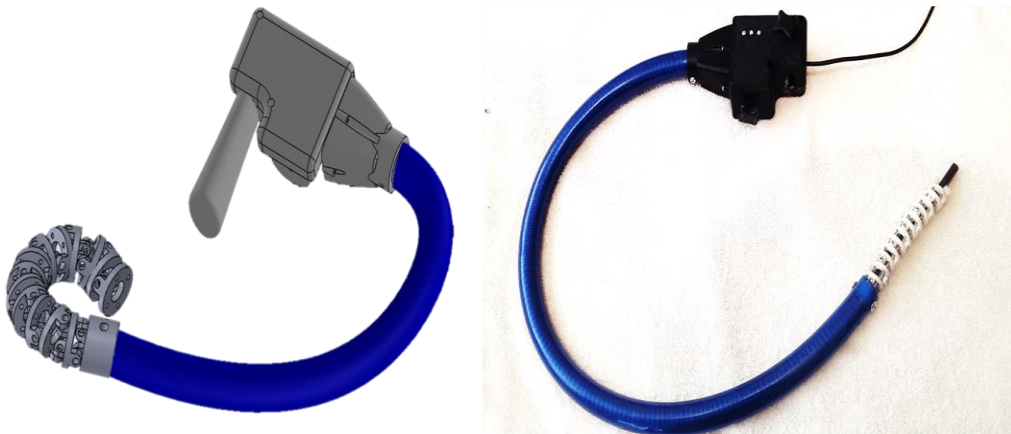


Fig. 49 Comparativa virtual y física del prototipo desarrollado ensamblado en su totalidad.

5. Pruebas realizadas al endoscopio flexible

Al tener completa la construcción del prototipo se realizan pruebas en las que el usuario debe verificar la practicidad, ergonomía y funcionamiento del sistema, en las siguientes líneas se describen cada una de ellas.



Fig. 50 Endoscopio flexible conectado a la interfaz de visualización. .

5.1. Prueba de curvatura

Se demuestra el funcionamiento de la parte distal del endoscopio, que es controlada por las manijas manipuladoras. Lo que se busca es la angulación de la parte distal flexible a 140° que es la máxima curvatura posible obtenida en endoscopios profesionales.

Para ello nos valemos de una escala graduada que permita medir la angulación con respecto a la normal en una posición cero, es así como en la graduación se colocan distintas posiciones al ser activado, se puede observar en la figura 51 la escala propuesta para realizar las mediciones, en ella están las referencias para las pruebas con flechas rojas al interior de la estructura de la parte distal flexible apuntando a la escala graduada, esto para lograr una mejor

percepción de la angulación, en una posición inicial tenemos la punta distal flexible de color naranja con posición a 0° , la punta distal flexible de color azul se encuentra en una posición de 38° , la punta distal flexible de color verde está en una posición de 80° , mientras que la punta distal flexible de color morado apunta a 140° que es la máxima curvatura requerida. Es como en esta prueba se evalúa la destreza del usuario de colocar la punta distal flexible a distintos ángulos en ambos sentidos de giro.

Las instrucciones para realizar esta prueba es colocar la punta del endoscopio en la escala graduada, haciendo coincidir el último eslabón físico del prototipo con el eslabón del dibujo y activar el mecanismo con las manijas manipuladoras para lograr la curvatura deseada haciendo coincidir el mecanismo con cada una de las referencias presentes en la escala.

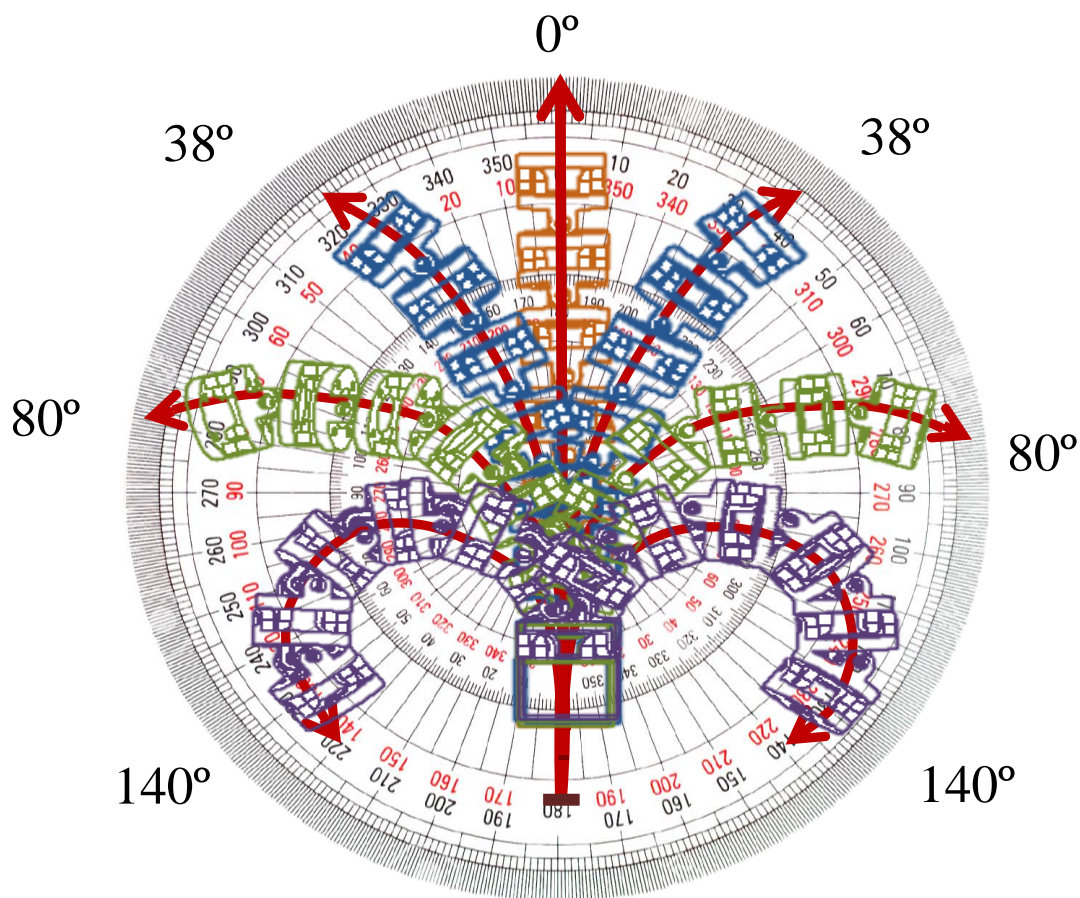


Fig. 51 Escala graduada en la que se realiza la prueba de curvatura de la parte distal del endoscopio flexible.

5.2 Resultados obtenidos en la prueba de curvatura

Se muestra en la figura 52 el resultado de comparar la punta distal flexible con la escala graduada en cada uno de los ángulos de prueba que se tienen como referencia, es así como se demuestra que el mecanismo desarrollado a partir de eslabones realiza el movimiento de un endoscopio flexible comercial a 140° de angulación. El resultado fue el mismo para cada grado de libertad del mecanismo propuesto.

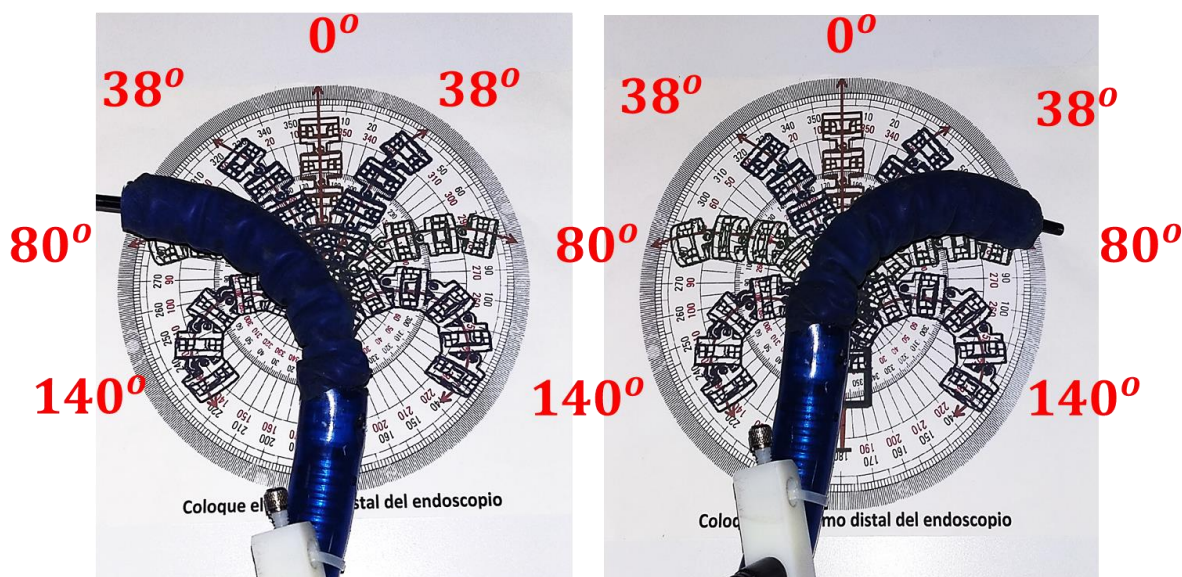


Fig. 52 Muestra la puesta a prueba de la curvatura del extremo distal en distintas referencias de la escala graduada.

Otra prueba realizada fue colocar en el contorno de un estomago el endoscopio flexible para visualizar como sería la exploración dentro de una cavidad y permitir la angulación del mecanismo. Se puede observar como el endoscopio flexible puede ser manipulado en modelos de entrenamiento para cirugía mínimamente invasiva ya que se obtiene la retroalimentación visual. Lo que se muestra al realizar esta prueba es la adaptación que puede tener esta herramienta a un modelo artificial que permite a un cirujano iniciarse en la endoscopia pues brinda la visión en una computadora portátil para tareas de entrenamiento.

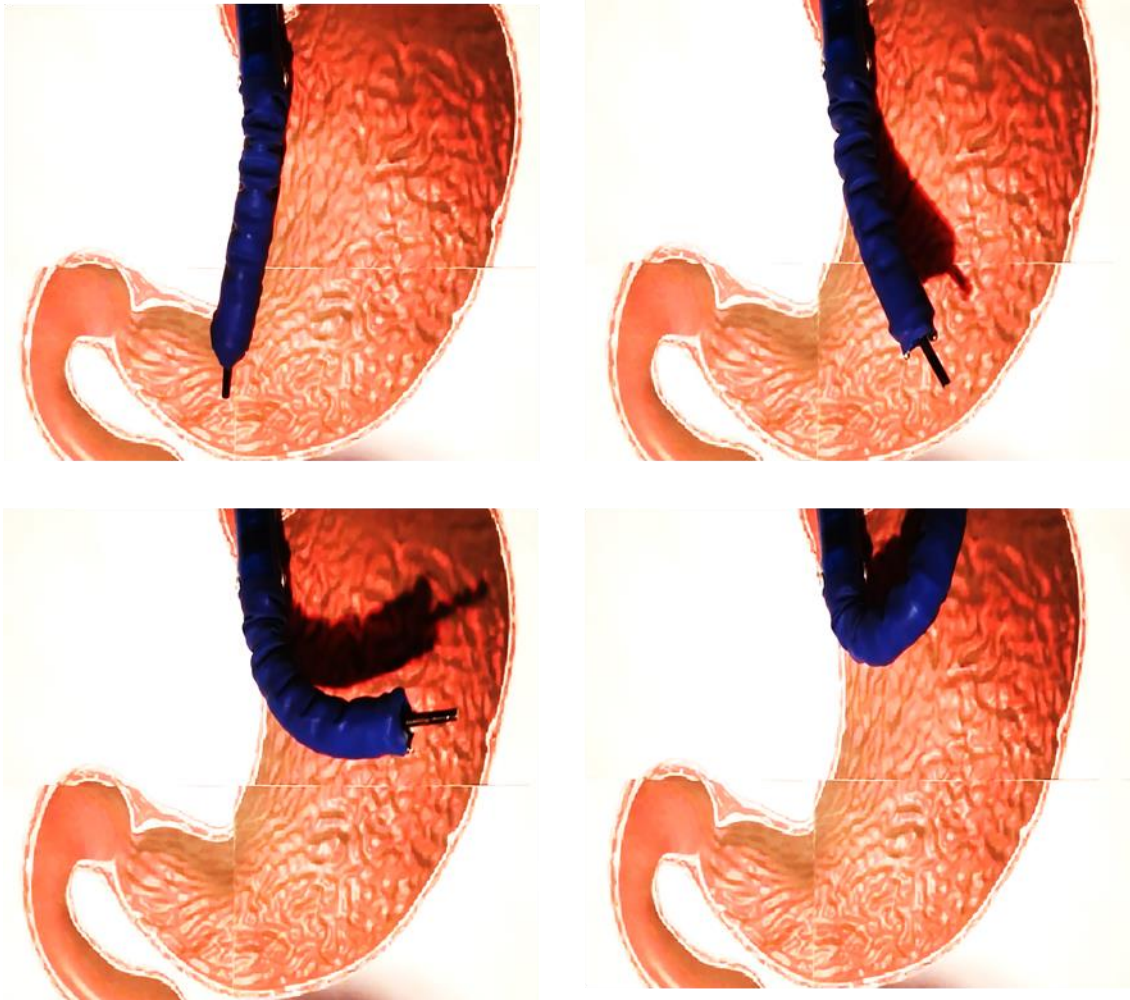


Fig. 53 Angulación del extremo distal dentro de contorno de estómago.

5.3. Prueba de Visualización.

La interfaz de visualización se ha desarrollado en el software LabVIEW. El software de visión de National Instruments (NI) se encuentra disponible en dos paquetes: el software de adquisición para visión (NI Vision Acquisition Software) y el módulo de desarrollo de visión (NI Vision Development Module) [11].

Existe un paquete que se llama NI-IMAQ que contiene las librerías que controlan la adquisición de imágenes y los instaladores que permiten utilizar dispositivos de adquisición de imágenes de National Instruments o de estándares reconocidos como las cámaras IEEE.

A continuación se describen los instrumentos virtuales utilizados en el desarrollo de la interfaz, el desarrollo del programa de visualización se muestra en la figura 54, se genera el espacio de memoria necesario para adquirir imágenes a partir del VI IMAQ Create referenciando al nombre de la cámara de adquisición, se hace una configuración para realizar una captura en modo continuo con el VI IMAQ Grab en donde a su salida se coloca un Image Display todo este código se encuentra insertado dentro de una estructura While loop que es controlado con un botón de paro que al presionarlo permite la captura de una imagen, a la salida cierra la sesión de la cámara USB con el VI IMAQdx Close Camera que fue inicializado con IMAQ Create, así mismo a la salida de la estructura While se encuentra el VI IMAQ Copy para obtener la copia de la imagen capturada y colocarla a través de la ruta de acceso al archivo del VI actual, es decir almacena la imagen en la ruta donde se haya guardado el archivo.

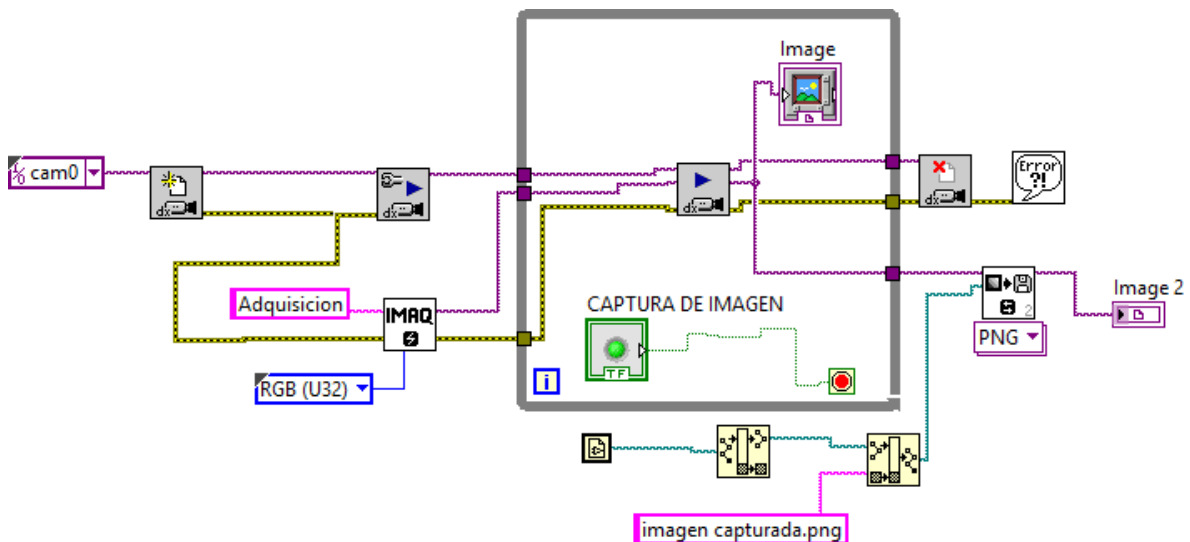


Fig. 54 Código en lengua G desarrollado en LabVIEW para pruebas de visualización del endoscopio flexible.

Es mediante el uso de la interfaz gráfica que podemos medir el área visual de trabajo, esto se hace con una prueba en la que se pone la punta distal del endoscopio dirigida de frente a un plano cartesiano graduado. En las figuras 55 y 56 se observa a detalle el resultado de la caracterización de la cámara cuya área visual de trabajo es de 12 cm^2 a una distancia mínima de 6 cm.

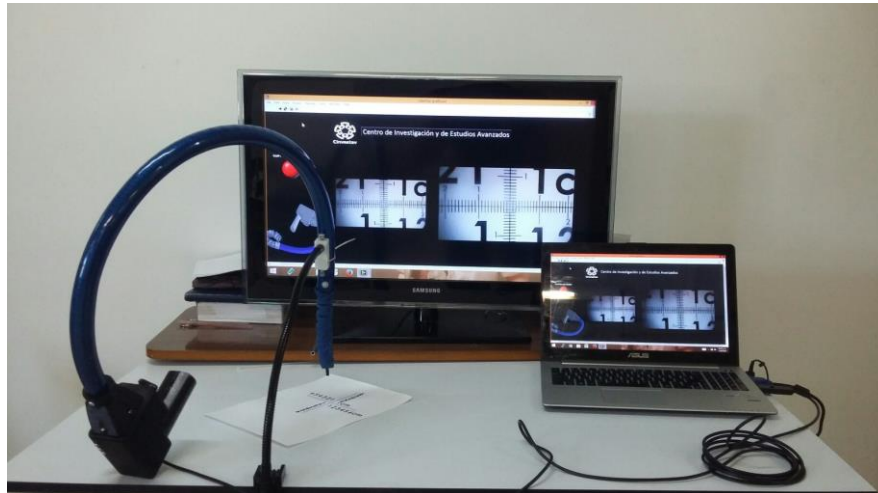


Fig. 55 Prueba para obtener el área de visión mediante la caracterización de la cámara.



Fig. 56 Área obtenida al caracterizar la cámara.

Se realizan pruebas en las que se verifica el grado de distorsión de la visión obtenida con distintas máscaras mostradas en la figura 57, las cuales están delimitadas por un círculo de 6 cm de diámetro, la cámara fue colocada a una distancia sobre el objetivo de 6 cm.

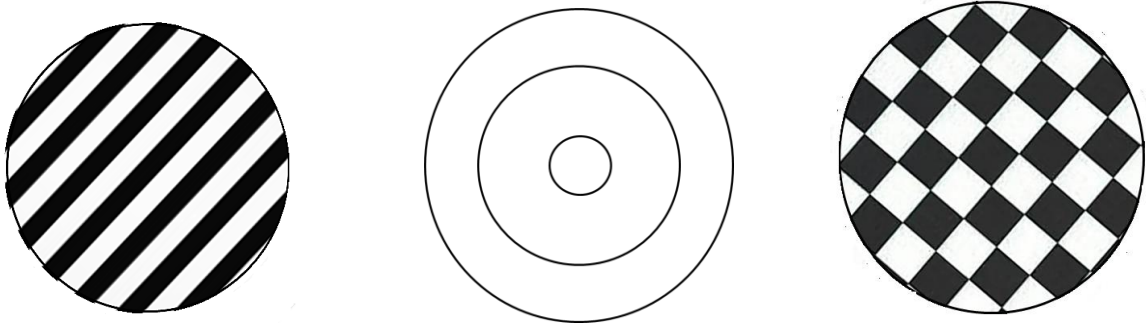


Fig. 57 Máscaras utilizadas para caracterizar la distancia a la cual la cámara presenta una buena respuesta en la retroalimentación visual.

En la figuras 58, 60 y 62 se observa el procedimiento de ensayo al dirigir el objetivo de la cámara a las máscaras mencionadas anteriormente cuya retroalimentación visual se muestra en la figuras 59, 61 y 63, se puede analizar de estos resultados que la cámara no presenta alguna distorsión significativa que afecte el uso del prototipo. Aunque el sistema de visión es de baja fidelidad no afecta el rendimiento y las habilidades básicas que deben desarrollar los residentes.

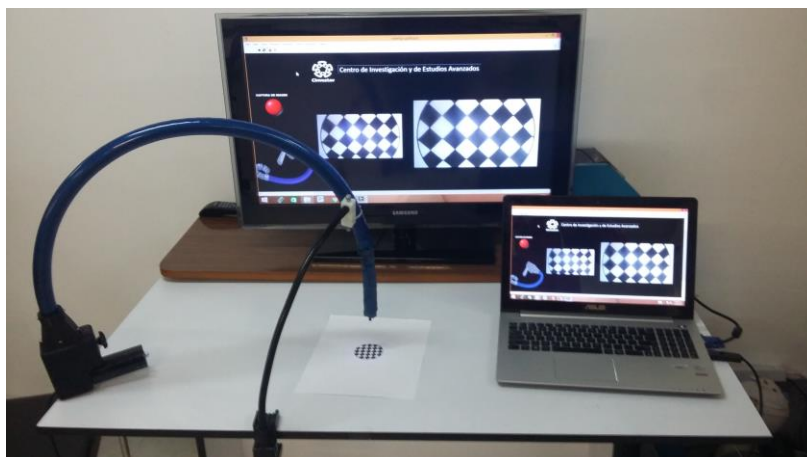


Fig. 58 Prueba realizada a la máscara a base de rombos.

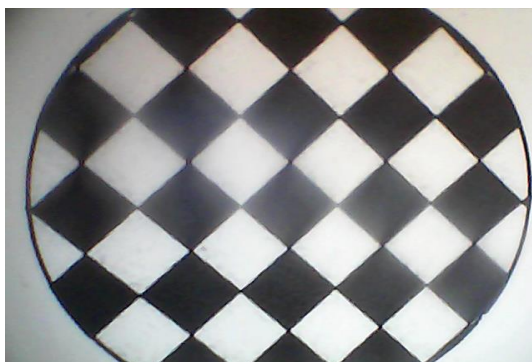


Fig. 59 Retroalimentación visual obtenida con la máscara a base de rombos.



Fig. 60 Prueba realizada a la máscara a base de líneas paralelas

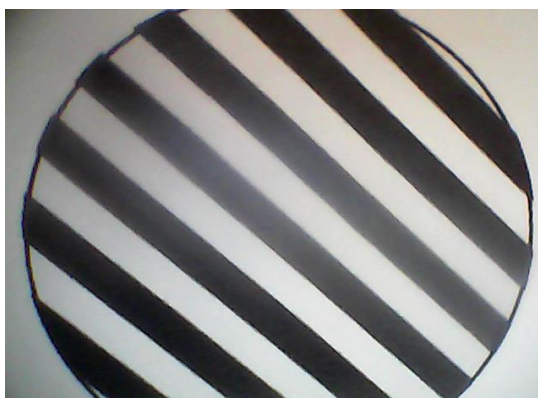


Fig. 61 Retroalimentación visual obtenida con la máscara a base de líneas paralelas.



Fig. 62 Prueba realizada a la máscara a base de círculos concéntricos.

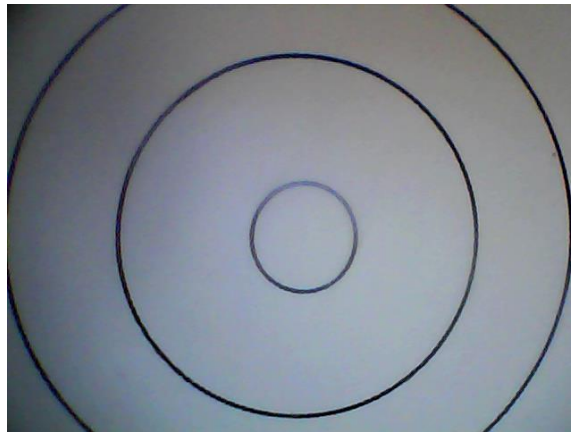


Fig. 63 Retroalimentación visual obtenida con la máscara a base de círculos concéntricos

Al haber caracterizado la cámara se hace una prueba de retroalimentación visual en un modelo sintético de estómago cuya textura interna es similar a la del órgano biológico, este prototipo es una herramienta para iniciarse en el estudio de la endoscopia fiable en tareas de navegación, al incorporar esta prueba permite aproximar el uso del endoscopio desarrollado a un simulador de bajo costo que además de brindar la retroalimentación visual permita el manejo mecánico de la punta distal.

En la figura 64 se muestra como se acopla el endoscopio flexible al modelo sintético de estómago, el usuario puede accionar los movimientos de la punta distal realizando una angulación a 140° permitiéndole tener una mejor visión de la cavidad. En la figura 65 se muestra la retroalimentación visual obtenida al realizar pruebas de navegación.

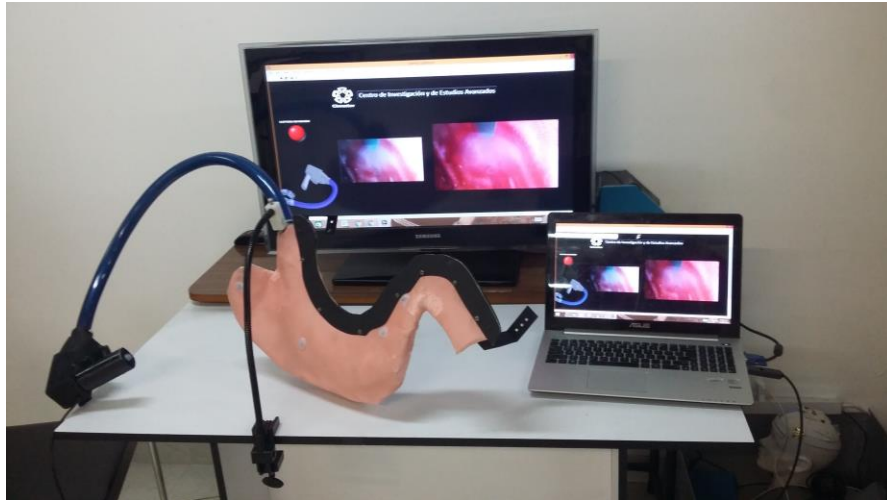


Fig. 64 Prueba realizada en modelo sintético de estómago.

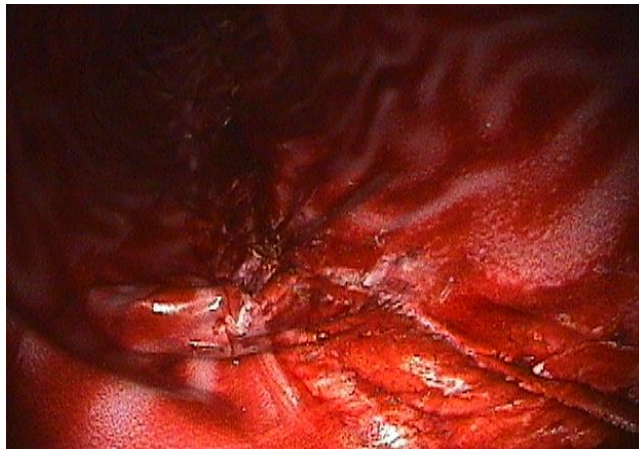


Fig. 65 Retroalimentación visual obtenida del modelo sintético de estómago.

Se presenta un sistema de retroalimentación visual, en el que una cámara boroscópica es adaptada para tener el funcionamiento mecánico de un endoscopio flexible, se diseña este prototipo a través de herramientas de dibujo asistido por computadora, cuyas piezas fueron impresas en prototipos 3D, la parte distal del endoscopio tiene una angulación a 140° con cuatro grados de libertad para permitir una visualización global de una cavidad, el endoscopio flexible desarrollado pesa aproximadamente 400 g, lo que hace que sea portátil, además este equipo es del uso “plug and play” por lo que se puede conectar a cualquier computadora con una conexión USB.

Las observaciones realizadas al prototipo es que no cumple con las dimensiones reales de un endoscopio comercial, los eslabones circulares que rodean a la cámara boroscópica tienen un diámetro de 25 mm y circundan a dicha cámara cuyo diámetro es de 10 mm, así mismo la retroalimentación visual es de baja fidelidad cuando se encuentra a una distancia superior de los 6 cm, sin embargo se tienen ventajas como la portabilidad y el fácil acoplamiento a simuladores ya que se conecta a una computadora para obtener una retroalimentación visual de fácil acceso, no se necesita entrenamiento previo o configuración del equipo para poder obtener dicha visualización, ya que por medio de la interfaz gráfica solo debe seleccionar la cámara que obtendrá la adquisición y captura de imagen del endoscopio..

Al usar un sistema físico de retroalimentación visual para entrenamiento que tiene la capacidad de actuar mecánicamente como si fuese un endoscopio comercial, apto para practicar tareas como el control de angulación, navegación dentro de una cavidad y control de

la cámara. Estos tipos de tareas deben llevarse a cabo mediante el uso de sistemas con retroalimentación visual y de fuerza física, los modelos basados en realidad virtual se consideran de menor utilidad que los sistemas físicos ya que reproducen la experiencia quirúrgica [14].

Tabla 2. Análisis de ventajas y desventajas que presenta el prototipo propuesto de endoscopio flexible.

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Al utilizar una laptop, que actualmente cuentan con mejores características de audio y video se logra disminuir el costo de desarrollo, ya que una computadora portátil tiene un menor costo que una fuente de luz o monitores de grado médico.	La intensidad de iluminación de una cámara boroscopica USB es débil en comparación a un equipo profesional de endoscopia.
Al operar el endoscopio flexible propuesto tiene una mejor portabilidad y facilidad de uso porque son más livianos que los comerciales.	La calidad de imagen es baja comparada con un equipo comercial.
El endoscopio es una herramienta que brinda una retroalimentación visual sin necesidad de rentar o comprar una torre de endoscopia completa tan solo conectando dicho dispositivo a una laptop se tiene la posibilidad de obtener dicha retroalimentación.	No se puede utilizar en procedimientos terapéuticos o clínicos. El mecanismo propuesto está orientado a ser utilizado en simuladores.
No se necesita de preparación técnica previa para operar el prototipo propuesto debido a que el control de las manijas es de uso sencillo.	Se limita al uso educativo, no es para uso clínico.

En comparación con el entrenamiento básico del uso de un endoscopio flexible en animales donde para obtener una retroalimentación visual es necesario una fuente de luz, una cámara con fibra óptica, monitores de grado médico y procedimientos de anestesia para introducir el equipo al interior de una cavidad, el endoscopio flexible desarrollado no requiere mantenimiento previo o técnicas especiales quirúrgicas para poder usarlo [15].

Hay diferentes opciones para la formación profesional en el estudio de la endoscopia, desde sistemas con características básicas a la más avanzada tecnología [18]. La tecnología de video interactivo utiliza imágenes endoscópicas almacenadas en un disco y los muestra en tiempo real en respuesta a los movimientos endoscópicos del usuario. Así mismo la simulación de gráficos computarizados utiliza imágenes mostradas en respuesta a la endoscopia que se realiza. Un híbrido de los dos permite el movimiento en tiempo real de accesorios e instrumental endoscópicos mostrando imágenes virtuales de un procedimiento quirúrgico [20].

Con respecto a sistemas de entrenamiento que incorporen un módulo de retroalimentación visual en base de un simulador de endoscopia flexible existen al menos dos sistemas comerciales: el GI-Bronch Mentor (Simbionix, Cleveland, Ohio) y el CAE Healthcare AccoTouch (CAE Healthcare, Montreal, Canadá). El primero de ellos se compone de un maniquí de plástico en un carro con ruedas. El maniquí tiene una boca y nariz para la endoscopia superior y un ano para la endoscopia inferior. El interior del maniquí contiene sensores que permiten la retroalimentación háptica para el usuario, tiene una pantalla táctil plana para la visualización de la imagen y el sistema de operación está unido a la base del carro en un brazo móvil. El sistema viene con un endoscopio (Pentax ECS-3840F) para la endoscopia superior e inferior y un duodenoscopio (Pentax ED-3440T) si se utiliza el módulo para CPRE (colangiopancreatografía retrógrada endoscópica) [20]. Estos endoscopios han sido modificados y no se pueden utilizar para la atención real del paciente. La punta del endoscopio contiene un sensor que permite a la computadora generar una visión endoscópica dinámica en respuesta a los movimientos del usuario en lugar de una lente real. La parte del mango del

endoscopio contiene herramientas similares a los dispositivos endoscópicos estándar, pero tiene sensores en su punta para simular que se realiza un procedimiento (por ejemplo polipectomía). El simulador es móvil dentro de una habitación pero requiere desmontaje de expertos para trasladarse a otra ubicación. Todo el sistema pesa menos de 170 Kg y puede ser usado repetidamente sin preparación especial entre los procedimientos.

Los módulos disponibles incluyen escenarios con diferentes grados de dificultad de la anatomía y la complejidad de tareas. El sistema básico consiste en el simulador y módulos para tareas básicas, tanto para la endoscopia superior e inferior. Otros módulos se pueden comprar como complementos, incluidos los casos terapéuticos como los de entrenamiento en CPRE (colangiopancreatografía retrógrada endoscópica) y hemostasia. El usuario maniobra un endoscopio para ver una presentación en tiempo real de la patología en donde aprende a interpretar las imágenes recibiendo así una retroalimentación inmediata.

El dispositivo AccuTouch es otro simulador de realidad virtual de endoscopia. Al igual que el simulador Symbionix, es un dispositivo en un carro montado con una pantalla plana en un brazo móvil. Tiene una placa desmontable para representar ya sea la cara o los glúteos para simular la endoscopia superior o inferior [21]. Una interfaz robótica proporciona al usuario retroalimentación háptica para simular la sensación de una endoscopia real. Tiene módulos de entrenamiento de procedimientos terapéuticos como por ejemplo: CPRE, biopsia, polipectomía y la hemostasia. El AccuTouch también simula signos vitales del paciente y las respuestas a administración de sedación y al dolor. Hay métricas disponibles para la evaluación del rendimiento de los usuarios por ejemplo el porcentaje de mucosa visualizado [25].

El simulador de sigmoidoscopia AccuTouch tiene la capacidad de distinguir entre usuarios novatos y expertos. Sin embargo en estudios clínicos posteriores al ensayo con el dispositivo, los estudiantes no muestran una mejora en sus habilidades comparado con grupos

clínicamente entrenados, a pesar de esto cuando el grupo de prueba tiene un entrenamiento de 2 a 3 horas los pacientes reportan menos molestias a los exámenes realizados por dichos endoscopistas[26].

Hay dos tipos de estudios: entrenamiento con un simulador y los ensayos clínicos [26]. La validez de un equipo de simulación refiere si este puede distinguir entre los cirujanos novatos y expertos, medido a través de variables tales como la duración del procedimiento, el grado de procedimiento alcanzado y el reconocimiento de la patología. Los estudios en un simulador son importantes para una etapa inicial del entrenamiento, pero los ensayos clínicos son necesarios para determinar si el uso del simulador se traduce en una mejor endoscopia.

La calidad de imagen en algunos simuladores basados en cámaras USB es de 811 x 508 pixeles (Universal Serial Bus Endoscope 1800PC) en este sistema se reporta que la retroalimentación visual es útil para el entrenamiento en cadáveres pero en comparación con los endoscopios estándar la calidad de visualización es muy limitada [15].

En el endoscopio flexible desarrollado, la calidad de la óptica se considera suficiente para la formación y permite la angulación del extremo distal a 140° como un equipo estándar de endoscopia.

Otro factor importante a considerar es el costo que determina la viabilidad de un sistema. Por ejemplo, los precios de compra obtenidos en el año 2004 de algunos sistemas existentes son de US \$ 3449 (Endo X Trainer), US \$ 2100 (EASIE-R), US \$ 64500 (GI Bronch Mentor), US \$ 76750 (AccuTouch), los precios de los módulos de entrenamiento para procedimientos terapéuticos son de US \$ 64500 (Módulos de Gastroscofia y colonoscopia), US \$ 6000 (Módulo de sangrado gástrico), US \$ 5000 (Sigmoidoscopia Flexible), US \$ 6000 (Duodenoscopia), US \$ 15000 (Módulos CPRE) [17]. El uso de un endoscopio flexible que es

usado para procedimientos terapéuticos y clínicos puede encarecer el entrenamiento para aprender habilidades básicas, estos equipos pueden ser fácilmente dañados y los costos de mantenimiento no son económicos. El costo del endoscopio flexible desarrollado con adquisición USB tiene un precio de US \$ 170, incluyendo la óptica.

Es así como este prototipo permite al estudiante desarrollar habilidades básicas del control mecánico de un endoscopio flexible y obtener una retroalimentación visual para entrenamiento, por lo tanto se puede mencionar que los objetivos planteados al inicio del proyecto fueron cumplidos, ya que se logró emular el movimiento mecánico del extremo distal del endoscopio, proporcionando la retroalimentación visual requerida en una interfaz gráfica de usuario.

6.1. Conclusiones

A partir del desarrollo de este proyecto se puede constatar que los simuladores existentes para el entrenamiento de la endoscopia son muy costosos para desarrollar habilidades básicas como el manejo del endoscopio flexible y la retroalimentación visual que se obtiene de él. Entre varios factores están la falta de centros de capacitación, la larga curva de aprendizaje y las complicaciones asociadas a estos procedimientos. Los modelos actuales disponibles requieren una alta tecnología para su utilización como por ejemplo de torres de endoscopia, modelos robóticos y endoscopios flexibles acoplados con sensores que obtiene una retroalimentación visual virtual, lo cual no está disponible en todos los centros de aprendizaje.

Es parte de este trabajo mencionar las ventajas de la simplicidad de la técnica endoscópica así como su bajo riesgo. La endoscopia también puede documentar las enfermedades generando videos y fotografías, es de vital importancia que deban desarrollarse dispositivos como el aquí presentado, aprovechando las tecnologías emergentes en cuanto a computadoras portátiles, que actualmente son más comunes en nuestra vida cotidiana y que sirva para entrenamiento y documentación.

Los simuladores actuales ofrecen un entorno más realista para el entrenamiento y desarrollo de habilidades mediante imágenes virtuales disponibles, lo que permite a los estudiantes familiarizarse en la técnica de procedimientos gastrointestinales y de broncoscopia mediante el aprovechamiento de realidad virtual en el desarrollo de casos de pacientes. Incluyendo tecnología háptica que proporciona retroalimentación de fuerza activa durante la inserción del endoscopio flexible y eliminación de patologías en procedimientos terapéuticos.

Recientemente, la llegada de la imagen digital y de las computadoras portátiles ha contribuido a una creciente variedad de instrumentos industriales y médicos que pueden ser de enlace a estos sistemas portátiles inteligentes.



Fig. 66 Entrenamiento de la endoscopia con simuladores virtuales.

El endoscopio flexible diseñado en cuanto a la retroalimentación visual no tiene percepción clínica de retardo de imagen durante la adquisición de vídeo. La fuente de luz LED y la calidad de imagen en general se consideran adecuados, proporcionando un detalle apropiado para la simulación quirúrgica endoscópica en el laboratorio. El costo de este prototipo es menor en proporción de uno a cien con respecto a un sistema de endoscopia estándar o de alta definición.

En conclusión, aunque los equipos que se pueden encontrar en una torre de endoscopia ofrecen la capacidad a los cirujanos de almacenar información y visualización de calidad superior que una computadora portátil, estos dispositivos han mejorado sus características multimedia al tener tarjetas de gráficos más potentes, permitiéndole al usuario mayor portabilidad en donde la visualización es primordial, el prototipo del endoscopio flexible con adquisición USB es diseñado para tareas de entrenamiento pero en un futuro puede ser escalado a procedimientos de diagnóstico básico.

6.2. Perspectivas

El principal objetivo de este proyecto es que el endoscopio flexible esté al alcance de los cirujanos para su entrenamiento, aunque sería de gran interés que se pudiese automatizar el movimiento de la parte distal flexible, es decir que desde la interfaz gráfica el usuario pudiese tener el control de la angulación del endoscopio flexible, cuando el cirujano se encuentre dentro de la cavidad a explorar, este pueda responder a las necesidades de navegación a través de un software de visualización y control. Así mismo lograr que dicho prototipo sea escalado al uso clínico debido a que solo se ha cumplido el objetivo de brindar una herramienta de retroalimentación visual en una computadora portátil, logrando mover la cámara de la misma forma que un endoscopio comercial a través de su extremo distal por medio del mecanismo de poleas, a dichas poleas como se mencionaba anteriormente se puede llegar a automatizar al acoplarle unos motores que respondan a las órdenes directamente emitidas por el usuario desde su interfaz gráfica en su computadora y obtener la visión nítida como si estuviese adquiriendo imágenes en una torre de endoscopia, permitiéndole tener estos archivos como parte de un historial clínico, y que además de brindar la visión permita realizar estudios terapéuticos.

Bibliografía

- [1] García, L. (2007). *Gastroenterología: endoscopia diagnóstica y terapéutica*. Buenos Aires México: Medica Panamericana.
- [2] Iglesias, J., Aguirre, P. & Coleman, L. (2008). *Endoscopia digestiva: diagnóstica y terapéutica*. Buenos Aires: Médica Panamericana.
- [3] Webster, J. (2006). *Encyclopedia of medical devices and instrumentation*. Hoboken, N.J: Wiley-Interscience.
- [4] Shigley, J. & Mischke, C. (2002). *Diseño en ingeniería mecánica*. México: McGraw-Hill.
- [5] González, S. (2008). *SolidWorks*. Barcelona México Alfaomega: Marcombo.
- [6] Navarra, E. & Zienkiewicz, O. (1995). *Cálculo de estructuras por el método de elementos finitos: análisis estático lineal*. Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.
- [7] Ganzález, S. (2010). *SolidWorks Simulation*. México, D. F: Alfaomega Ra-Ma.
- [8] Kurowski, P. (2015). *Engineering analysis with SolidWorks simulation 2015*. Mission, KS: SDC Publications.
- [9] Lee. (2014). *Mechanics of materials labs with SolidWorks simulation 2014*. Mission, KS: SDC Publications.
- [10] González, S. (2012). *SolidWorks® práctico*. Barcelona: Marcombo, S.A.
- [11] Vizcaíno, J. & Sebastián, J. (2011). *Labview: entorno gráfico de programación*. México Barcelona: Alfaomega Marcombo.
- [12] Relf, C. (2004). *Image acquisition and processing with LabVIEW*. Boca Raton: CRC Press.
- [13] Fernández, J. (2011). *LabVIEW: programación para sistemas de instrumentación*. Madrid: Ibergarceta.
- [14] McElwain J, Malik MA, Harte BH, Flynn NM, Laffey JG: *Comparison of the C-MAC videolaryngoscope with the Macintosh, Glidescope, and Airtraq laryngoscopes in easy and difficult laryngoscopy scenarios in manikins*. *Anaesthesia* 65: 483-489, 2010

- [15] Luis A. Dias, Harry Gebhard, Estomih Mtui, Vijay K. Anand, Theodore H. Schwartz; *The Use of an Ultraportable Universal Serial Bus Endoscope for Education and Training in Neuroendoscopy* 79 [2]: 337-340, 2013
- [16] Cooper RM: *Use of a new videolaryngoscope (GlideScope) in the management of a difficult airway*. Can J Anaesth 50:611-613, 2003.
- [17] Di Guilio E, Fregonese D, Casetti T, et al. *Training with a computer-based simulator achieves basic manual skills for upper endoscopy: a randomized controlled trial*. Gastrointest Endosc 2004;60:196-200.
- [18] Hochberger J, Matthes K, Maiss J, et al. *Training with the compactEASIE biologic endoscopy simulator significantly improves hemostatic technical skill of gastrointestinal endoscopy Volume 73, No. 5 : 2011 www.giejournal.org* nical skill of gastroenterology fellows: a randomized controlled comparison with clinical endoscopy training alone. Gastrointest Endosc 2005;61:204-15.
- [19] Haycock A, Youd P, Bassett P, et al. *Simulator training improves practical skills in therapeutic GI endoscopy: results from a randomized, blinded, controlled study*. Gastrointest Endosc 2009;70:835-45.
- [20] Maiss J, Pratt F, Wiesnet J, et al. *The complementary Erlangen Active Simulator for Interventional Endoscopy training is superior to solely clinical education in endoscopic hemostasis - the French training project: a prospective trial*. Eur J Gastroenterol Hepatol 2006;18:1217-25.
- [21] May A, Nachbar L, Schneider M, et al. *Push-and-pull enteroscopy using the double-balloon technique: method of assessing depth of insertion and training of the enteroscopy technique using the Erlangen EndoTrainer*. Endoscopy 2005;37:66-70.
- [22] Bittner J, Mellinger J, Imam T, et al. *Face and construct validity of a computer-based virtual reality simulator for ERCP*. Gastrointest Endosc 2010;71:357-64.
- [23] Sedlack R, Petersen B, Binmoeller K, et al. *A direct comparison of ERCP teaching models*. Gastrointest Endosc 2003;57:886-90.
- [24] Neumann M, Mayer G, Ell C, et al. *The Erlangen Endo-Trainer: life-like simulation for diagnostic and interventional endoscopic retrograde cholangiography*. Endoscopy 2000;32:906-10.
- [25] Kim S, Spencer G, Makar G, et al. *Lack of a discriminatory function for endoscopy skills on a computer-based simulator*. Surg Endosc 2010: 3008-15.
- [26] Sedlack RE, Kolars JC. *Colonoscopy curriculum development and performance-based assessment criteria on a computer-based endoscopy simulator*. Acad Med 2002;77:750-1.

[27] Sedlack RE, Kolars JC. *Validation of a computer-based colonoscopy simulator*. *Gastrointest Endosc* 2003;57:214-8.

[28] Grantcharov TP, Carstensen L, Schulze S. *Objective assessment of gastrointestinal endoscopy skills using a virtual reality simulator*. *JSLs* 2005; 9:130-3.

[29] Mahmood T, Darzi A. *A study to validate the colonoscopy simulator*. *Surg Endosc* 2003;17:1583-9.

[30] Eversbusch A, Grantcharov TP. *Learning curves and impact of psychomotor training on performance in simulated colonoscopy: a randomized trial using a virtual reality endoscopy trainer*. *Surg Endosc* 2004;18:1514-8.

[31] Mahmood T, Darzi A. *The learning curve for a colonoscopy simulator in the absence of any feedback: no feedback, no learning*. *Surg Endosc* 2004;18:1224-30.