



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ROBOT MANIPULADOR CON 5 GRADOS DE
LIBERTAD

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Ingeniero Mecatrónico

PRESENTA:

Jorge Adrian Benítez Hernández
Eduardo Alanis Vásquez

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Juan Mauricio Ángeles Cervantes



México, D.F., 2018

*A la Facultad de Ingeniería y a la Universidad, por la formación que me han dado.
Es gracias a ustedes que es posible el presente trabajo.
En verdad, gracias.
Jorge.*

*A la Facultad de Ingeniería y a la Universidad, por la formación que me han dado.
Es gracias a ustedes que es posible el presente trabajo.
En verdad, gracias.
Eduardo.*

Reconocimientos

También quisiera reconocer a ... por ...CONACYT, PAPIIT / etc. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Resumen

El presente trabajo corresponde al diseño e implementación de

Índice general

Índice de figuras	IX
Índice de tablas	XI
1. Introducción	1
1.1. Presentación	1
1.2. Objetivo	2
1.3. Motivación	3
1.4. Planteamiento del problema	3
1.5. Metodología	3
1.6. Contribuciones	3
1.7. Estructura de la tesis	4
2. Marco teórico	5
2.1. Articulaciones y grados de libertad	5
2.2. Cinemática del manipulador	7
3. Diseño del experimento	9
3.1. Sección	9
3.2. Sección en color azul	9
3.2.1. Subsección	9
3.2.2. Otra subsección	11
4. Análisis de Resultados	13
4.1. Resultados	13
5. Conclusiones	15
A. Código/Manuales/Publicaciones	17
A.1. Apéndice	17

Índice de figuras

1.1. Manipulador robótico y sus partes equivalentes en el cuerpo humano . .	2
2.1. Grados de libertad en movimiento plano y en movimiento tridimensional	5
2.2. Tipos de pares cinemáticos y su representación	6
3.1. Descripción de la planta	10

Índice de tablas

3.1. Parámetros dinámicos del carro-péndulo	10
---	----

Introducción

1.1. Presentación

El progreso de la tecnología en las últimas décadas ha hecho posible que las máquinas realicen tareas que anteriormente eran confiadas solo a los seres humanos. La primera concepción de la palabra robot proviene de la obra *Rossum's Universal Robots* del novelista checo Karel Capek[1]. En la lengua checa *robota* significa trabajo, y la RAE [2] define a un robot como *Máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas*.

En la industria, los robots más utilizados son conocidos como robots manipuladores, cuya estructura se asemeja a los brazos humanos como se muestra en la figura (1.1) [3]. Su estructura está formada por eslabones unidos mediante articulaciones para brindar libertad de movimiento en el entorno de trabajo, donde uno de los extremos del manipulador permanece fijo mientras que el otro extremo cuenta con una herramienta que le permite realizar una tarea para la que fue programado. Los robots manipuladores son utilizados en gran parte de las tareas como seleccionar y distribuir objetos, o para realizar modificaciones en su entorno como pintar o ensamblar, entre muchas otras, reduciendo los tiempos de operación y minimizando la necesidad de supervisión.

Un robot manipulador se constituye de tres sistemas fundamentales. El primero es un sistema mecánico que le da forma al cuerpo del robot y está constituido principalmente por eslabones y articulaciones que permiten el movimiento en su espacio de trabajo, aunque también forman parte del sistema mecánico elementos de transmisión de potencia, como engranes, cadenas y poleas; elementos que otorgan estabilidad al robot, como los sistemas de contrapesos, ya sean fijos o móviles; y elementos de unión, como soldadura y tornillos. El segundo es un sistema eléctrico-electrónico que otorga energía para el movimiento de los motores, para la activación de sensores y la distribución de señales. El tercer sistema pertenece al control, que describe de manera matemática al robot y permite su manipulación para la realización de una tarea asignada.

1. INTRODUCCIÓN

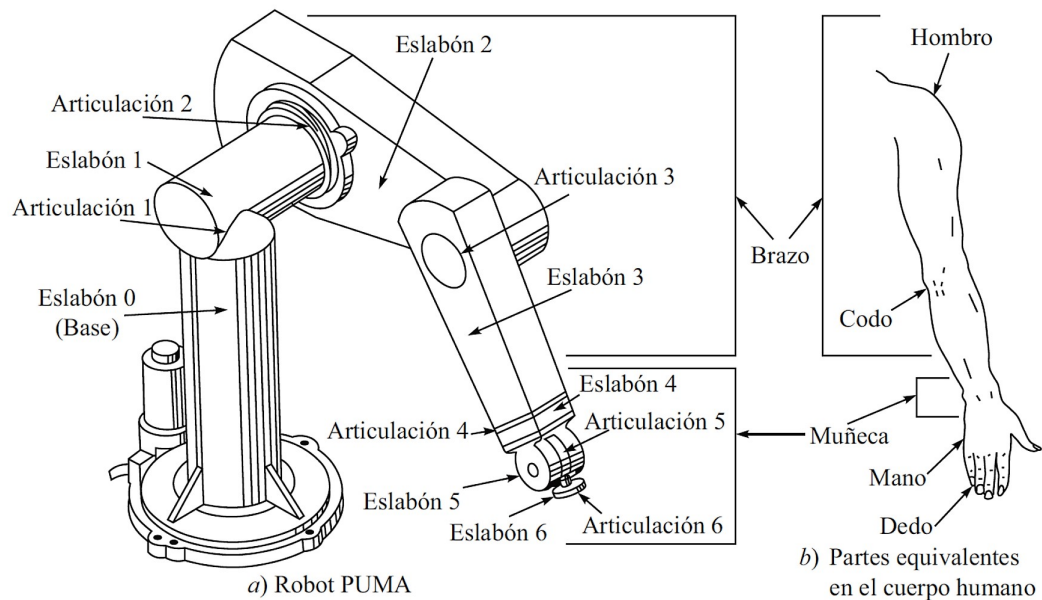


Figura 1.1: Manipulador robótico y sus partes equivalentes en el cuerpo humano

A pesar de la existencia de robots comerciales de tipo industrial, diseñar controladores para robots sigue siendo un área compleja y constantemente estudiada por parte de los constructores de robots, así como por centros de investigación en control y robótica alrededor del mundo. Podría argumentarse que los robots industriales actuales son capaces de realizar correctamente una gran variedad de tareas, por lo que pareciera innecesario el desarrollo de investigaciones sobre el tema de control de robots. Sin embargo, este último tema, además de interesante, tiene muchos retos que ofrecer en el marco teórico, y más importante aún, su estudio es indispensable en aplicaciones específicas que no pueden ser llevadas a cabo mediante los robots comerciales actuales.

1.2. Objetivo

Diseño, manufactura y control de un robot manipulador con 5 grados de libertad capaz de realizar seguimiento de trayectorias.

1.3. Motivación

Los robots manipuladores tienen un amplio uso en la industria y en áreas donde se pretende replicar el trabajo que realiza una persona, ya sea porque es demasiado complejo o se trata de procesos donde se requiera una gran precisión, por encontrarse en ambientes peligrosos o tóxicos, etcétera. Sin embargo, los robots manipuladores también pueden ser de gran utilidad en el ámbito educativo. Los estudiantes de robótica suelen tener acceso nulo o restringido a manipuladores ya sea por su delicadeza o por la intención de no dañar al robot debido a los elevados costos de reparación. La creación de un manipulador con 5 grados de libertad a un bajo costo pondrá al alcance de los estudiantes una herramienta práctica en el área de la robótica industrial.

1.4. Planteamiento del problema

El diseño de robots manipuladores es una temática ampliamente abarcada en los trabajos escolares de nivel licenciatura, aunque la mayor parte de esa literatura tiene por objetivo demostrar conceptualmente las capacidades de los robots manipuladores. La construcción del prototipo funcional es un elemento que no se suele llevar a término.

1.5. Metodología

El proceso de construcción del manipulador comienza con el diseño, para ello se plantean los requerimientos y se traducen a especificaciones del robot. Posteriormente se elabora un diseño asistido por computadora donde se obtiene la geometría y espacio de trabajo del manipulador. Se realiza la descripción analítica del movimiento mediante la cinemática directa e inversa, se manufacturan las piezas y se ensambla el prototipo. Finalmente, se realiza la instrumentación, se diseña el control y se pone en marcha.

1.6. Contribuciones

La principal contribución de este trabajo es la simplificación del proceso de construcción para un robot manipulador con 5 grados de libertad, con los elementos necesarios para ser replicado en posteriores trabajos y reduciendo los costos asociados a la fabricación, además de ser de código abierto para posteriores modificaciones.

1.7. Estructura de la tesis

En este capítulo se hace una breve descripción del trabajo a desarrollar, el objetivo y algunas ideas generales de robots manipuladores, en el siguiente capítulo se encuentran los fundamentos teóricos que sirven para entender las generalidades de los manipuladores, su composición y la forma de operarlos. En el tercer capítulo se aborda el diseño mecánico junto con un análisis de los elementos que conforman al manipulador, las geometrías y los espacios de trabajo que definirán la movilidad. En el capítulo cuatro se lleva a cabo la construcción del prototipo. En el quinto capítulo se habla del control, la instrumentación y la programación del manipulador. En el sexto capítulo se analizan los resultados obtenidos donde se observa la capacidad real del robot manipulador construido y en el último capítulo se tratan las conclusiones y el posible trabajo a futuro del proyecto.

Marco teórico

2.1. Articulaciones y grados de libertad

La movilidad de un sistema puede expresarse en función de los parámetros independientes mínimos que se necesitan para describir de manera única su posición y orientación en un instante de tiempo (Norton, 2009). Estos parámetros reciben por **nombre grados de libertad** (GDL). El número de GDL también depende de las dimensiones del espacio en el que se trabaje. Para ejemplificar el caso del movimiento en un espacio plano de dos dimensiones se puede tomar un cuadrado de papel y colocarlo sobre un escritorio, el papel puede moverse de manera vertical (primer GDL), horizontal (segundo GDL) o girar (tercer GDL). Dichos movimientos también pueden limitarse. Si ahora se toma un alfiler y se clava el cuadrado de papel sobre el escritorio se han restringido los movimientos horizontales y verticales, quedando únicamente la rotación alrededor del alfiler (solamente un GDL).

En el caso del movimiento plano, los cuerpos rígidos sin restricción cuentan con tres GDL, dos que indican posición y uno que indica orientación. Si se considera ahora el espacio tridimensional, los cuerpos rígidos cuentan con seis GDL, se necesitan tres para definir la posición y otros tres que definen la orientación. Se ilustran estos ejemplos en la figura (2.1).

Los eslabones que componen a un robot manipulador están conectados de tal manera que se permita cierto tipo de movimiento. Existen dos movimientos a partir de los cuales

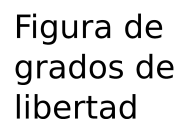


Figura de
grados de
libertad

Figura 2.1: Grados de libertad en movimiento plano y en movimiento tridimensional

2. MARCO TEÓRICO

se derivan cualquier movimiento complejo conocido: la traslación pura y la rotación pura. Estas conexiones entre eslabones reciben el nombre de articulaciones o pares cinemáticos.

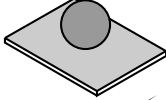

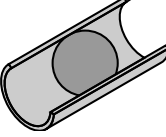

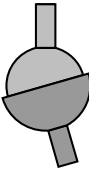

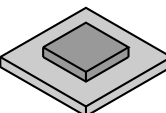

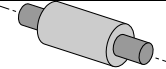



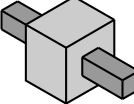

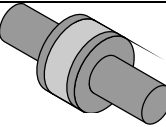
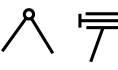
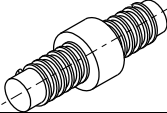
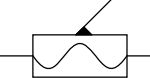
Clase del par	Condiciones de enlace	Grados de Libertad	Nombre	Dibujo	Representación Esquemática
I	1	5	Esfera - plano		
II	2	4	Esfera - cilindro		
III	3	3	Esférica o rótula		
III	3	3	Plana		
IV	4	2	Cilíndrica		
IV	4	2	Rótula con pasador		
V	5	1	Prismático		
V	5	1	Rotación		
V	5	1	Helicoidal		

Figura 2.2: Tipos de pares cinemáticos y su representación

2.2. Cinemática del manipulador

Diseño del experimento

En este capítulo, se presenta la introducción al desarrollo de la tesis, ya sea el modelo matemático o las bases del proyecto, etc. Ejemplo de cita [?] Ejemplo de cita [?]

3.1. Sección

El sistema blah, blah. Ejemplo de cita (?) La figura (3.1) ilustra los componentes de la planta.

3.2. Sección en color azul

3.2.1. Subsección

Antes de comenzar, se definen en la tabla 3.1 los parámetros y variables utilizadas

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

3. DISEÑO DEL EXPERIMENTO



Figura 3.1: Descripción de la planta

Nombre Parámetro/Variable	Símbolo
Masa del péndulo	m
Masa del carro	M
Distancia del eje de giro al centro de masa	l
Aceleración gravitatoria	g
Momento de inercia péndulo respecto del eje de giro	J
Ángulo del péndulo respecto del eje vertical	θ
Velocidad angular del péndulo	$\dot{\theta}, \omega$
Distancia del carro respecto al centro del riel	x
Velocidad del carro	\dot{x}, v

Tabla 3.1: Parámetros dinámicos del carro-péndulo - Estos son los valores de parámetros utilizados en el diseño y las simulaciones, corresponden a los valores reales.

3.2.2. Otra subsección

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis

3. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Análisis de Resultados

4.1. Resultados

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Conclusiones

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Código/Manuales/Publicaciones

A.1. Apéndice

Apéndice