

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Las últimas dos décadas han presenciado un enorme desarrollo en la nanotecnología y en la invención de nanodispositivos. Actualmente se ha seguido el modelo nanotecnológico propuesto en 1959 por el premio Nobel Richard Feynman de construir el mundo desde abajo, manipulando objetos a una pequeña escala [25]. El primero de los retos que dio Feynman en la plática en el California Institute of Technology (Caltech), fue construir un motor de $\frac{1}{64}$ de pulgada cúbica, que fue logrado por William McLellan.

El término nanotecnología fue introducido por vez primera por Norio Taniguchi para referirse a la tecnología relacionada con la fabricación de materiales con una precisión de 1nm (nanómetro). Caracterizando a los nanomateriales por tener dimensiones de menos de 100nm, es decir, son del tamaño promedio de un virus. Para fabricar estos nanomateriales, es necesario separar, consolidar y formar materiales átomo por átomo o molécula por molécula, lo que ocurre en una longitud de 0.1 a 0.2nm [72]. Esta perspectiva ha sido resumida en el concepto de ensamble convergente, donde los componentes de tamaño nanométrico pueden ser manipulados de manera controlada para componer dispositivos de tamaño macroscópico [47]. En la Figura 1.1, a manera de ejemplo, se muestran imágenes de nanopartículas tomadas por dos tipos de microscopios: Microscopio electrónico de transmisión (TEM (a,b,c)) y Microscopio electrónico de barrido (SEM (d)) por sus siglas en inglés.

El desarrollo significativo de la nanotecnología en México en los últimos años permite prever la importancia de desarrollar este tipo de investigación [4], en la medida en que puede beneficiar a la innovación e invención nanotecnoló-

gica en México. Es por ello que la investigación en esta área es muy importante por lo cual se ve un nicho de oportunidad presente y futuro en la investigación en el país. En este contexto se inicia este proyecto de investigación basado en un dispositivo manipulador nano o micrométrico, llamado Pinza Óptica (PO).

La pinza óptica permite la manipulación de objetos de tamaño microscópico o nanométrico sin tener que emplear puntas afiladas que en ocasiones pueden dañar las muestras. Las PO han sido usadas ampliamente por físicos, biólogos, químicos, entre otros, en una gran variedad de aplicaciones, la mayoría de ellas basadas en la necesidad de atrapar o mover una partícula. En este sentido, las pinzas ópticas puede emplearse para crear, manipular y aplicar nanomateriales, en los que se aprovechan las propiedades físico-químicas y eléctricas que poseen, debido a los efectos cuánticos asociados con su tamaño [31].

1.2. Objetivos

Actualmente poca atención se le ha dedicado al desarrollo de métodos formales que permitan manipular con precisión y exactitud este tipo de dispositivos, esto último puede deberse a que las pinzas ópticas han encontrado diversas aplicaciones en los campos de la química, la biología y la medicina, por ende, su utilización se ha basado en la prueba y el error, obligando a repetir en considerables ocasiones los experimentos.

1.2.1. Objetivo general

En este proyecto de investigación el objetivo es proveer estrategias de control que permitan la manipulación de una pinza óptica, fundamentadas en la aplicación de la teoría de control, basados en un modelo *Euler-Lagrange*.

Con la intención de proveer de recursos que permita a ingenieros y científicos hacer un uso más eficiente de la pinza óptica y por otra parte, proveer a la comunidad de teoría de control un marco que motive a seguir desarrollando nuevas aplicaciones desde la perspectiva de control al manejo de este tipo de dispositivos.

1.2.2. Objetivos específicos

Obtener una estrategia de control que permita la manipulación de una partícula mediante una pinza óptica utilizando el enfoque de *plattitud diferencial*.

Realizar simulaciones para evaluar la eficiencia de la estrategia de control propuesta, para tres tareas de seguimiento de trayectoria.

- Seguir una línea recta pasando a través del origen.
- Seguir una trayectoria elíptica con centro en el origen.
- Manipular la pinza óptica para mover una partícula desde una posición inicial en reposo a una posición final deseada en reposo a través de una trayectoria suave.

Obtener una estrategia de control que permita la manipulación de una partícula mediante una pinza óptica en presencia de ruido térmico.

1.3. Planteamiento del problema

Se desea que dada una partícula, siga una trayectoria suave de referencia normalizada. En otras palabras, ¿Cómo mover el centro geométrico de la pinza óptica de tal forma que la partícula siga una trayectoria determinada o simplemente cambie de posición?. Se debe de tomar en consideración que la fuerza ejercida por la pinza óptica es muy débil y de un pequeño rango de acción.

1.4. Hipótesis

Se procederá a estudiar y analizar un modelo basado en el uso de la mecánica clásica. Se desarrollarán un conjunto de estrategias de control para manipular adecuadamente una partícula mediante el uso de una pinza óptica.

El modelo del control de la pinza óptica, consiste en ver al sistema y a la partícula, como un resorte no lineal controlado en una región muy pequeña, acoplado a una partícula. En donde la variable a controlar es la posición de la partícula y la variable de control es la posición del láser.

Esto quiere decir que manipulando la posición del centro geométrico del láser, que es el lugar donde se concentra la mayor fuerza de atracción, es posible dirigir la trayectoria de una partícula.

1.5. Aportaciones

Se desarrollarán estrategias de control para la manipulación eficiente de una partícula mediante una pinza óptica. Las cuales hasta ahora no están bien estructuradas.

Se hará la simulación numérica para la implementación y pruebas de las estrategias de control. Tomando en cuenta la eficiencia de los algoritmos de control.

Se proveerá de recursos que permita a ingenieros y científicos hacer un uso más eficiente de la pinza óptica y por otra parte, proveerá a la comunidad de teoría de control un marco que motive a seguir desarrollando nuevas aplicaciones desde la perspectiva de control del manejo de este tipo de dispositivos.

1.6. Limites y alcance de la tesis

Ya que la implementación en un sistema real es muy costoso y no se cuenta con la posibilidad económica de adquirir el equipo necesario para hacer la pruebas físicas. Por tal razón las pruebas se harán a nivel de simulación numérica.

El modelo de la pinza óptica se ha analizado en condiciones ideales, esto implica que las partículas a manipular son esferas ideales, dieléctricas y en su movimiento no se considera la rotación. Los efectos cuántico y relativista no son considerados en este proyecto de investigación.

Se debe tomar en cuenta la factibilidad de las estrategias de control debido a que muchas de estas implican grandes cantidades de procesamiento de datos numéricos. Como ejemplo Lee et al. realizó una simulación con duración de 20 horas en un equipo con 4 procesadores [37].

Hay que enfatizar que los desarrollos en este proyecto de investigación no pretenden explicar los fundamentos físicos del funcionamiento de la pinza óptica, que de ninguna manera son triviales, ni tampoco proponer un nuevo modelo de la misma. Más concretamente este proyecto se enfocará en desarrollar técnicas de control para manipular una partícula atrapada por una pinza óptica, que permitan trasladarla de una posición inicial a una final.

1.7. Organización de la tesis

El principal propósito de este proyecto de investigación es diseñar estrategias de control para la manipulación de partículas mediante una pinza óptica

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

y no se intenta indagar en la física fundamental detrás de la pinza óptica. En concordancia con los objetivos planteados anteriormente, se organizó la tesis de la siguiente manera:

En el Capítulo 2 se expone el estado del arte del proyecto de investigación, en el cual se hace una reseña histórica, una descripción general y las aplicaciones que tiene actualmente las pinzas ópticas. También se expone la teoría de Lyapunov y de plitud diferencial que es esencial para el proyecto de investigación.

En el Capítulo 3 se explica de una forma somera la física de la pinza óptica y las fuerzas que intervienen en el proceso de captura de una partícula. Se describen los actuales modelos teóricos que rigen a las PO, para luego exponer algunos modelos utilizados para las pinzas ópticas.

En el Capítulo 4 se desarrolla un esquema de control basado en plitud diferencial, para controlar una partícula mediante una pinza óptica. La estrategia de control usa una función de saturación en conjunción con el controlador de asignación de polos. Para comprobar el rendimiento del controlador se hacen simulaciones numéricas para tres tareas comunes: seguir una trayectoria en línea recta, seguir una trayectoria elíptica y finalmente manipular una partícula desde una posición inicial en reposo a otra posición final en reposo.

En el Capítulo 5 se presentan dos estrategias de control para mover una partícula atrapada por una pinza óptica desde una posición inicial en reposo hasta una posición final en reposo. La primera estrategia de control esta basada en el hecho que el coeficiente de amortiguamiento que esta presente en el medio es conocido, mientras que en la segunda estrategia este coeficiente es desconocido. Las estrategias de control se derivan de la aplicación del método de Lyapunov en conjunción con el uso de una función de saturación. Se hacen simulaciones numéricas para mostrar el rendimiento del controlador.

El Capítulo 6 corresponde a las conclusiones de los Capítulos 4, 5 y la conclusión final del proyecto de investigación.

El Apéndice A contiene las demostraciones, pruebas y comentarios que complementan los diversos capítulos.

Finalmente en el Apéndice B se muestra la producción (artículos, congresos, simposios) que se generaron a partir del presente proyecto de investigación.

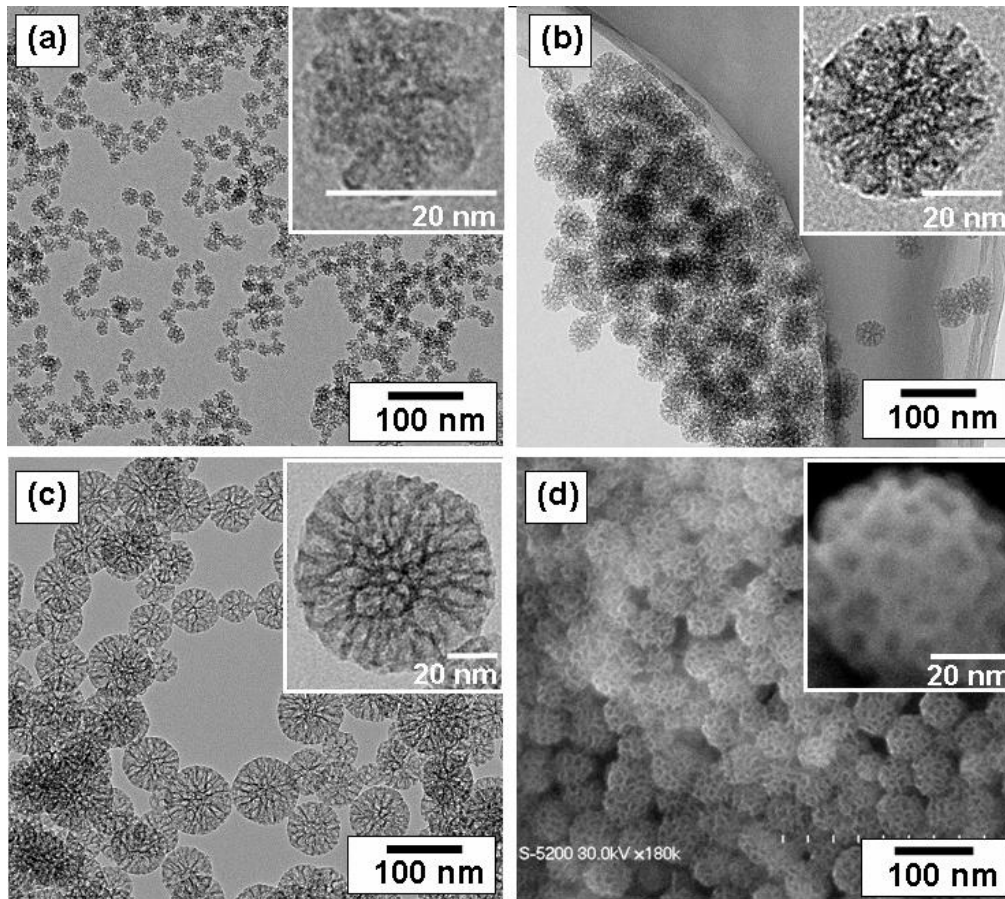


Figura 1.1: TEM (a, b, y c) imágenes de nanopartículas de sílice mesoporoso con un diámetro exterior promedio de: (a) 20nm, (b) 45nm, y (c) 80nm. SEM (d) la imagen que corresponde a (b). Las inserciones tienen un gran aumento de las partículas de sílice mesoporoso.