



Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de San Luis Potosí
Departamento de Sistemas y Computación

Reporte final de trabajo de periodo sabático del:

ISC Juan Antonio Alvarado Cano

D.4 Elaboración de tesis para la obtención de grado

Resumen



El presente documento tiene como finalidad presentar las actividades finales de trabajo de periodo sabático.

En primer lugar, se anexa el Kardex actualizado con las materias finalizadas, la primera imagen es el Kardex obtenido del sistema <http://sii.itslp.edu.mx/> por medio del departamento de servicios escolares del ITSLP y en el cual se muestran las materias y calificaciones de los periodos:

agosto – diciembre 2022

enero - junio 2023

Donde se puede apreciar un avance reticular del programa de maestría del 32%.

|  TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO | |  | | | |
|---|---------|---|--------------|--|-----------------------|
| NÓ. DE CONTROL: 2218M002 SEMESTRE: 6 | | NOMBRE: JUAN ANTONIO ALVARADO CANO CARRERA: MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA | | PLAN DE ESTUDIOS: MPIEO-2011-13 ESPECIALIDAD: Sin Especialidad Seleccionada | |
| No. | MATERIA | CRÉDITOS | CALIFICACIÓN | EVALUACIÓN | OBSERVACIONES |
| [AGO-DIC/2022] | | | | | |
| 1 | MEA1 | PROGR. AVANZADA | 6 | 80 | Ev. Ord. 1ra. Opt. |
| 2 | MEA2 | MAT. AVANZADAS | 6 | 95 | Ev. Ord. 1ra. Opt. |
| 3 | MEA3 | SEM. TESIS I | 4 | 100 | Ev. Ord. 1ra. Opt. |
| 4 | MEA4 | OPT. FÍSICA | 6 | 71 | Ev. Ord. 1ra. Opt. |
| Promedio Semestral: | | | 86.5 | Créditos Cur./Aprob. | 22 / 22 |
| [ENE-JUN/2023] | | | | | |
| 5 | MEB3 | SEM. TESIS II | 4 | 90 | Ev. Ord. 1ra. Opt. |
| 6 | MEC1 | FIS MOD,Y OPTOLEC. BASICA | 6 | 88 | Ev. Ord. 1ra. Opt. |
| Promedio Semestral: | | | 89 | Créditos Cur./Aprob. | 10 / 10 |
| CREDITOS COMPLEMENTARIOS: | | | 0 | CRÉDITOS CURSADOS: | 32 |
| PROMEDIO CERTIFICADO: | | | 87.33 | CRÉDITOS APROBADOS: | 32 |
| PORCENTAJE DE AVANCE: | | | | 32 % | |

La siguiente imagen corresponde al resto del Kardex del programa de estudios de la Maestría, obtenido del sistema <https://cotech.slp.tecnm.mx/login> y a través del departamento de servicios escolares del ITS LP y en el cual se reflejan las materias y calificaciones de los periodos:

agosto – diciembre 2023

enero – junio 2024

agosto – diciembre 2024

y en la cual se puede apreciar un avance del 68% y que complementa el 32% registrado en el otro sistema y que al final suma el 100% de los créditos del plan de estudios del programa educativo de la Maestría en Ingeniería Electrónica.

Matrícula: 2218M002

Nombre: JUAN ANTONIO ALVARADO CANO

Semestre / grupo: 6/

Nivel: Grado Maestría

Plan de estudios: Maestría en Ingeniería Electrónica

CCT: 24DIT0018K

Asunto: Kardex

Lugar: Soledad de Graciano Sánchez, Slp

Fecha: 13 de enero de 2025

| Clave | Materia | Créditos | Calificación | Opción | Semestre | Periodo | Observaciones |
|------------|-------------------------------|----------|--------------|--------------------|----------|---------|---------------|
| MPIEO-0234 | INSTRUMENTACIÓN AVANZADA | 6 | 95 | NORMAL / ORDINARIO | 3 | 23/2 | |
| MPIEO-0110 | PROCESAMIENTO DE SEÑALES | 6 | 100 | NORMAL / ORDINARIO | 3 | 23/2 | |
| MPIEO-0303 | SEMINARIO DE TESIS III | 4 | 100 | NORMAL / ORDINARIO | 3 | 23/2 | |
| MPIEO-0215 | PROCESAMIENTO EN PARALELO | 6 | 100 | NORMAL / ORDINARIO | 4 | 24/1 | |
| MPIEO-0276 | SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE | 6 | 95 | NORMAL / ORDINARIO | 4 | 24/1 | |
| MPIEO-0304 | TESIS | 40 | 100 | NORMAL / ORDINARIO | 5 | 24/2 | |

Promedio ponderado: 98.33
 No. materias cursadas: 6
 No. Materias reprobadas: 0
 Créditos acumulados: 68 / 100

Promedio aritmético: 98.33
 No. Materias aprobadas: 6
 Índice de reprobación: 0 %
 % de avance: 68.00 %

Es importante mencionar que el trabajo para la obtención del grado de maestría se realizó durante la última materia de tesis, en la que además de cumplir con la entrega del documento final, también se tuvo que realizar la defensa de este, dicha defensa se llevó a cabo el 27 de noviembre del 2024 y cuya consecuencia fue la calificación aprobatoria de la tesis.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SAN LUIS POTOSÍ



TESIS

Optimización de recursos de red para acceso remoto seguro a equipo de cómputo de alto rendimiento para aplicaciones en micro y nano electrónica

NOMBRE DEL ALUMNO: JUAN ANTONIO ALVARADO CANO

NUMERO DE CONTROL: 2218M002

CARRERA: MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CORREO ELECTRONICO: JUAN.AC@SLP.TECNM.MX

ASESOR: DR. RAMÓN DÍAZ DE LEÓN ZAPATA

Vo. Bo.

Vo.Bo.

[Handwritten signatures and initials in blue ink]

SOLEDAD DE GRACIANO SÁNCHEZ, S.L.P. OCTUBRE DEL 2024

Contenido

| | |
|--|----|
| Capítulo 1. Introducción..... | 8 |
| <i>Componentes de una red</i> | 9 |
| <i>COMSOL Multiphysics®</i> | 14 |
| <i>Estructuras optoelectrónicas</i> | 16 |
| <i>Optoelectrónica</i> | 16 |
| <i>Nanopartículas</i> | 17 |
| Capítulo 2. Estado del arte | 17 |
| <i>Importancia de los laboratorios remotos y virtuales</i> | 17 |
| <i>Laboratorios virtuales</i> | 18 |
| Capítulo 3. Planteamiento del problema..... | 20 |
| Capítulo 4. Hipótesis | 20 |
| Capítulo 5. Objetivo | 20 |
| Capítulo 6. Justificación | 20 |
| Capítulo 7. Metodología | 21 |
| <i>El acceso a Internet</i> | 21 |
| <i>Arquitectura de red</i> | 22 |
| <i>Infraestructura tecnológica en el ITSLP</i> | 24 |
| <i>Configuraciones de seguridad de infraestructura de red</i> | 26 |
| <i>Proteger el acceso administrativo a un switch.</i> | 29 |
| <i>Configuración de VLAN´s en switches</i> | 31 |
| <i>Equipo de alto rendimiento en el ITSLP.</i> | 37 |
| <i>Configuración en Workstation</i> | 39 |
| <i>Configuración de acceso remoto FORTIGATE – VPN SSL</i> | 42 |
| <i>¿Qué tipo de VPN Cliente existen?</i> | 42 |
| <i>Configuración de VPN en Fortinet</i> | 43 |
| <i>Configuración de SSL FortiClient en dispositivos remotos</i> | 49 |
| Capítulo 8. Colaboración en proyecto “Análisis y diseño de estructuras optoelectrónicas” | 51 |
| <i>Resumen</i> | 51 |
| <i>Introducción</i> | 51 |
| <i>Antecedentes</i> | 52 |
| <i>Desarrollo</i> | 68 |

| | |
|--|-----|
| <i>Conclusiones del equipo investigador</i> | 78 |
| Capítulo 9. Colaboración en proyecto “Análisis del seguimiento de partículas en fluidos” | 79 |
| <i>Introducción</i> | 79 |
| <i>Resumen</i> | 79 |
| <i>Antecedentes</i> | 79 |
| <i>Desarrollo</i> | 87 |
| <i>Conclusiones del equipo investigador</i> | 91 |
| Capítulo 10. Colaboración en proyecto “Sistema integrado en textiles para la generación eléctrica a partir del calor: propuesta de aplicación” | 93 |
| <i>Introducción</i> | 93 |
| <i>Resumen</i> | 93 |
| <i>Antecedentes</i> | 95 |
| <i>Desarrollo</i> | 97 |
| Capítulo 11. Discusión y conclusiones | 102 |
| Bibliografía..... | 105 |

Capítulo 1. Introducción

Los avances en tecnologías de red son, quizá, los agentes de cambio más significativos en el mundo actual. Gracias a estos avances, se puede crear un mundo en el que las fronteras nacionales, las distancias geográficas y las limitaciones físicas se vuelven menos importantes y se convierten en obstáculos cada vez más fáciles de sortear.

Internet cambió la manera en la que se producen las interacciones sociales, comerciales, políticas y personales. La naturaleza inmediata de las comunicaciones en Internet alienta la formación de comunidades mundiales. Estas comunidades permiten una interacción social que no depende de la ubicación ni de la zona horaria.

En la actualidad, el uso de supercomputadoras o computadoras de alto rendimiento para la solución de problemas de modelos numéricos es algo muy común, aunado a esto y a la constante evolución de las redes de datos, se ha venido a potenciar el procesamiento de algoritmos cada vez más complejos. El uso de las tecnologías de última generación puede revolucionar los resultados de la simulación y otras más aplicaciones que requieran el uso de recursos de alto procesamiento de cálculos científicos de forma remota.

Es muy normal, que los usuarios trabajen de forma local en los laboratorios institucionales, en redes que generalmente se limitan a zonas pequeñas llamadas LAN y algo que mejoraría la experiencia de los colaboradores en distintos proyectos de investigación sería el poder hacer uso del procesamiento concurrente y paralelo de las computadoras de alto rendimiento desde áreas amplias que van más allá del límite de una LAN. Una red WAN funciona más allá del ámbito geográfico de una LAN.

El presente estudio analiza los procesos más adecuados para la optimización de los recursos y configuraciones de red necesarias para que por medio de acceso remoto a sistemas de cómputo de alto rendimiento, se pueda realizar la ejecución de algoritmos de simulación numérica a través de una WAN, generando como beneficio el poder trabajar y monitorear procesos desde cualquier lugar y en cualquier momento, de forma segura y en beneficio de los profesionistas que se especializan en el estudio, análisis y

caracterización por simulación numérica de estructuras optoelectrónicas que operen como nano capacitores y/o nanoantenas (antenas ópticas).

Las estructuras optoelectrónicas han existido desde los orígenes de la electrónica moderna. Estas estructuras han seguido evolucionando y han encontrado nuevas aplicaciones que se adecúan a las necesidades y exigencias modernas de nuestro país y el mundo al ser parte coadyuvante para el aprovechamiento de las energías limpias y/o renovables. Conocer a fondo sus características de operación, nos permite avanzar en la independencia tecnológica y aportar así a la soberanía energética, además de contribuir directamente a presentar soluciones viables del adecuado uso de la energía ante el cambio climático que son aspectos de prioridad nacional.

Componentes de una red

Host

Para poder dar acceso a un dispositivo de cómputo a una comunidad en línea lo primero que se debe hacer es formar parte de una red, la cual debe estar conectada a internet. Todas las computadoras que están conectadas a una red y participan directamente en la comunicación de la red se clasifican como hosts o dispositivos finales a los que se asigna un número para fines de comunicación. Este número identifica el host dentro de una red determinada. Este número se denomina dirección de protocolo de Internet (IP). Una dirección IP identifica el host y la red a la que está conectado el host.

Los servidores son computadoras con software que les permite proporcionar información, como correo electrónico o páginas web, a otros dispositivos finales de la red. Cada servicio requiere un software de servidor independiente. Una computadora con software de servidor puede proporcionar servicios simultáneamente a muchos clientes diferentes.

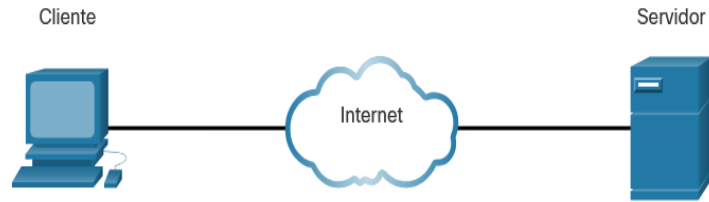


Fig. 1 Arquitectura Cliente-Servidor

Dispositivos intermediarios

Los dispositivos intermedios conectan los dispositivos finales individuales a la red y proporcionan conectividad y garantizan el flujo de datos en toda la red.

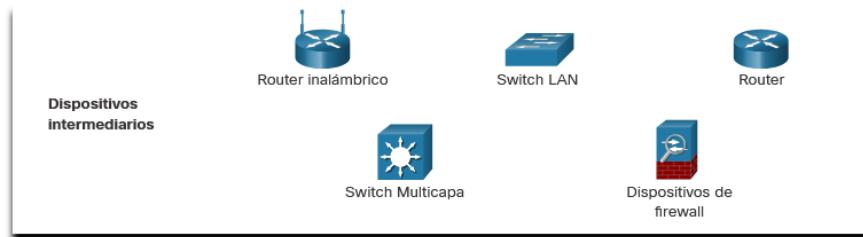


Fig. 2 Dispositivos intermediarios

Estos dispositivos pueden admitir algunas de estas funciones o todas ellas:

- 1) Regenerar y retransmitir señales de comunicación.
- 2) Conservar información acerca de las rutas que existen a través de la red.
- 3) Notificar a otros dispositivos los errores y las fallas de comunicación.
- 4) Dirigir los datos a lo largo de rutas alternativas cuando hay una falla en el enlace.
- 5) Clasificar y dirigir mensajes de acuerdo con las prioridades.
- 6) Permitir o denegar el flujo de datos de acuerdo con los parámetros de seguridad.

Medios de red

La comunicación se transmite a través de una red de medios. El medio proporciona el canal por el cual viaja el mensaje desde el origen hasta el destino. Las redes modernas utilizan principalmente tres tipos de medios para interconectar dispositivos:

- 1) Hilos metálicos dentro de cables - Los datos se codifican en impulsos eléctricos.
- 2) Fibras de vidrio o plástico (cable de fibra óptica) - Los datos se codifican como pulsos de luz.
- 3) Transmisión inalámbrica - Los datos se codifican a través de la modulación de frecuencias específicas de ondas electromagnéticas.

Redes de diferentes tamaños

Los dos tipos más comunes de infraestructuras de red son las redes de área local (LAN) y las redes de área amplia (WAN). Una LAN es una infraestructura de red que proporciona acceso a usuarios y dispositivos finales en un área geográfica pequeña. Normalmente, una LAN se utiliza en un departamento dentro de una empresa, un hogar o una red de pequeñas empresas. Una WAN es una infraestructura de red que proporciona acceso a otras redes en un área geográfica amplia, que generalmente es propiedad y está administrada por una corporación más grande o un proveedor de servicios de telecomunicaciones.

1) Redes LAN

Una LAN es una infraestructura de la red que abarca un área geográfica pequeña. Las LANs tienen características específicas:

1. Las LANs interconectan terminales en un área limitada, como una casa, un lugar de estudios, un edificio de oficinas o un campus.

2. Por lo general, la administración de las LAN está a cargo de una única organización o persona. El control administrativo se aplica a nivel de red y rige las políticas de seguridad y control de acceso.
3. Las LANs proporcionan ancho de banda de alta velocidad a dispositivos finales internos y dispositivos intermedios.

2) Redes WAN

1. Una WAN es una infraestructura de la red que abarca un área geográfica extensa. Las WAN generalmente son administradas por proveedores de servicios (SP) o proveedores de servicios de Internet (ISP).
2. Las WANs tienen características específicas:
3. Las WAN interconectan LAN a través de áreas geográficas extensas, por ejemplo, entre ciudades, estados, provincias, países o continentes.
4. Por lo general, la administración de las WAN está a cargo de varios proveedores de servicios.
5. Normalmente, las WAN proporcionan enlaces de velocidad más lenta entre redes LAN.

Internet

El Internet es una colección global de redes interconectadas (internetworks o internet para abreviar).

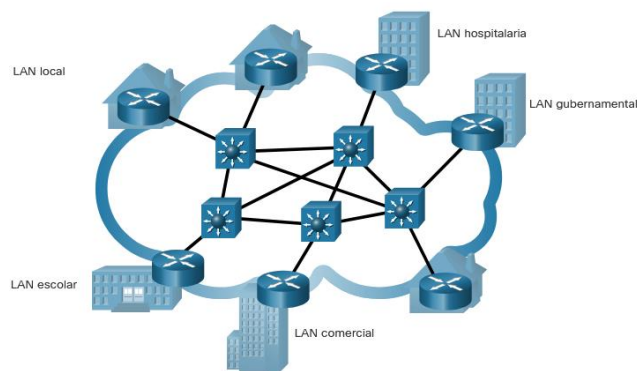


Fig. 3 Forma de ver a la Internet como una colección de LAN y WAN interconectadas

Internet no pertenece a una persona o un grupo. Garantizar una comunicación efectiva en esta infraestructura heterogénea requiere la aplicación de estándares y tecnologías uniformes, y comúnmente reconocidas, así como también la cooperación de muchas agencias de administración de redes. Hay organizaciones que se desarrollaron para ayudar a mantener la estructura y la estandarización de los protocolos y procesos de Internet. Entre estas organizaciones, se encuentran el Grupo de trabajo de ingeniería de Internet (IETF: Internet Engineering Task Force), la Corporación de Internet para la Asignación de Nombres y Números (ICANN: Internet Corporation for Assigned Names and Numbers) y el Consejo de Arquitectura de Internet (IAB: Internet Architecture Board), entre muchas otras.

Intranets y extranets

Hay otros dos términos que son similares al término internet: intranet y extranet. El término intranet se utiliza para referirse a la conexión privada de LAN y WAN que pertenecen a una organización. Una intranet está diseñada para que solo puedan acceder a ella los miembros y empleados de la organización, u otras personas autorizadas.

Es posible que una organización utilice una extranet para proporcionar acceso seguro a las personas que trabajan para otra organización, pero requieren datos de la empresa. Tal como una empresa que proporciona acceso a proveedores y contratistas externos o un hospital que proporciona un sistema de reservas a los médicos para que puedan hacer citas para sus pacientes.

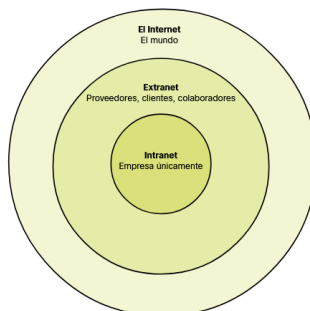


Fig. 4 Niveles de acceso a una intranet de la empresa, a una extranet de la empresa y a Internet.

COMSOL Multiphysics®

Es un potente entorno interactivo para el modelado y resolución de todo tipo de problemas de ciencia e ingeniería. El software provee una interfaz con un constructor de modelos o figuras, donde se puede obtener una apreciación global de las características del modelo y, a través de la interfaz se puede acceder a todas las funcionalidades que se deseen simular.

Con COMSOL Multiphysics se pueden fácilmente extender los modelos convencionales para algún tipo de proceso físico en modelados con los que se pueden resolver complejos problemas de fenómenos físicos acoplados simultáneamente. Tener al alcance toda esta potencia de cálculo no requiere un conocimiento muy profundo de matemáticas avanzadas ni de análisis numérico.

Usando las interfaces preconstruidas y el soporte avanzado de las bases de datos de las propiedades de los materiales comunes, es posible construir modelos definiendo únicamente las características físicas más relevantes como cargas, compresiones, fuentes y flujos y pueden seleccionarse las ecuaciones predefinidas por COMSOL para estas variables.

Es posible también escribir las expresiones o definiciones matemáticas de casos particulares para las variables.

Una vez que se han definido las características generales en este modelo, COMSOL Multiphysics compila un conjunto de ecuaciones que representan al modelo. Se puede acceder a la potencia de cálculo y procesamiento de COMSOL como un producto independiente a través de su interfaz gráfica amigable o a través de programación externa de “scripts” o pequeños programas en Java o MATLAB (esto último requiere del módulo “LiveLink for MATLAB”). Usando estas interfaces físicas, se pueden implementar varios tipos de estudios que incluyen:

- Estudios estacionarios y dependientes del tiempo
- Estudios Lineales y No Lineales
- Estudios de respuesta modal, en Frecuencia

Para resolver los modelos, COMSOL Multiphysics usa el probado método del Elemento Finito (FEM) para las ecuaciones diferenciales parciales que los definen. El software ejecuta el análisis de elemento finito en conjunto con un mallado (en caso de que así sea seleccionado) y un control de errores usando una variedad de motores (algoritmos) de resolución numérica. Los estudios pueden hacer uso de sistemas con múltiples procesadores (procesamiento paralelo masivo) y “clusters” (arreglos) de computadoras y por tanto pueden realizarse trabajos de procesos por lotes. Una descripción más detallada de estos métodos matemáticos y sus fundamentos numéricos pueden encontrarse en la guía de referencia de COMSOL Multiphysics [4].

COMSOL Multiphysics crea secuencias para grabar todos los pasos con los que se construyeron las geometrías, mallado, estudios y propiedades del motor de cálculo, así como de la presentación y visualización de los resultados. También resulta sencillo parametrizar cualquier parte del modelo: basta con cambiar algún nodo del modelo en la sección del proyecto correspondiente y volver a ejecutar los cálculos. El programa recordará y volverá a aplicar toda la información y datos del modelo sin requerir rehacerlo por completo [3].

Dado que la precisión de las aproximaciones por elemento finito de las ecuaciones diferenciales parciales depende en gran medida de la suavidad con que converja la solución analítica bajo consideración, suposiciones precisas sobre la regularidad de la solución o de los datos obtenidos pueden ser convenientemente formulados considerando la clase adecuada de funciones con propiedades de diferenciabilidad e integralidad apropiadas llamadas espacios de la función [5].

Así pues, lograr la convergencia con eficacia y suavidad implicará la selección de la geometría y dimensiones en que se llevará a cabo la división de la estructura bajo análisis; por la posibilidad de abarcar espacios geométricos generales y por ende

algunos de ellos que pudieran ser complejos, se hace uso de triángulos (para estructuras bidimensionales) o tetraedros (para estructuras tridimensionales) como la forma geométrica a ser utilizada en las aproximaciones polinomiales pero es factible seleccionar también otros tipos de elementos para los mallados, como hexaedros, pirámides y prismas en tres dimensiones o cuadriláteros para dos dimensiones.

Estructuras optoelectrónicas

Las estructuras optoelectrónicas han existido desde los orígenes de la electrónica moderna. Estas estructuras han seguido evolucionando y han encontrado nuevas aplicaciones que se adecúan a las necesidades y exigencias modernas de nuestro país y el mundo al ser parte coadyuvante para el aprovechamiento de las energías limpias y/o renovables. Conocer a fondo sus características de operación, nos permite avanzar en la independencia tecnológica y aportar así a la soberanía energética, además de contribuir directamente a presentar soluciones viables del adecuado uso de la energía ante el cambio climático que son aspectos de prioridad nacional.

Optoelectrónica

La optoelectrónica es un campo en rápido crecimiento que combina la electrónica y la óptica para utilizar la luz en el tratamiento de la información.

Se basa en los fenómenos de interacción de la luz y otras formas de radiación electromagnética con materiales semiconductores. Esto permite convertir las señales eléctricas en ópticas y viceversa. Los dispositivos optoelectrónicos utilizan efectos como la fotoelectricidad, la fotovoltaica, la fotoemisión o la electroluminiscencia para detectar, emitir y modular la luz.

La optoelectrónica combina los logros de la química, la física del estado sólido y la electrónica para crear un campo interdisciplinar con un amplio espectro de aplicaciones. Incluye las tecnologías de adquisición, transmisión, tratamiento y presentación de la información por medio de la luz. Permite diseñar dispositivos rápidos y eficaces, como láseres, detectores de radiación, moduladores ópticos o pantallas.

La optoelectrónica desempeña un papel fundamental en las telecomunicaciones y los sistemas informáticos actuales. Permite la transmisión ultrarrápida de enormes cantidades de datos mediante fibras ópticas. También se utiliza en medicina, industria, transporte y muchos otros campos. Su importancia crecerá a medida que el mundo se digitalice y aumente la necesidad de sistemas de procesamiento de la información cada vez más rápidos. Podría decirse que la optoelectrónica está impulsando la revolución digital y es una tecnología clave del futuro.

Nanopartículas

Las nanopartículas son partículas ultrafinas del tamaño del orden de los nanómetros. “Nano” es un prefijo que denota la potencia menos novena de diez, es decir, una milmillonésima (10^{-9}). Aquí significa nanómetro (nm) aplicado a la longitud. Un nm es una longitud extremadamente pequeña que corresponde a una milmillonésima de 1 m. Un cabello humano promedio tiene aproximadamente 60.000 nanómetros de espesor. Los nanómetros se usan para medir las longitudes de onda de la luz y las distancias entre los átomos de las moléculas.

Capítulo 2. Estado del arte

Importancia de los laboratorios remotos y virtuales

La formación en experimentación es esencial [6-8]; algunos autores han citado que la experimentación es el corazón del aprendizaje en ciencia e ingeniería y que los resultados de aprendizaje obtenidos en la experimentación tienen un fuerte impacto en los resultados de aprendizaje de los estudiantes [9, 10].

Las desventajas de la experimentación presencial y la necesidad de cubrir la enseñanza en experimentación en universidades a distancia [11], ha llevado a que uno de los principales desafíos en la educación de las ciencias y la ingeniería sea el aprovechamiento de las tecnologías de la información para la experimentación en campos de física e ingeniería [8]. De esta forma se han introducido dos nuevos tipos de enseñanza denominados usualmente como laboratorios virtuales o laboratorios remotos.

Para tener claras las diferentes modalidades de experimentación, es preciso tener en cuenta dos criterios, como cita [6]:

- De acuerdo con el medio por el cual se accede al ambiente, remoto o local.
- De acuerdo con la naturaleza física del laboratorio, simulado o montaje experimental real.

Combinando estos dos tipos de criterios se encuentran cuatro tipos de experimentación:

1. Laboratorio físico real con acceso local: es el tipo de laboratorio tradicional donde el estudiante o usuario está al frente del montaje experimental.
2. Laboratorio simulado con acceso local: el ambiente es simulado, no existe un entorno real y se accede localmente.
3. Acceso remoto a montaje físico real (laboratorio remoto): existe un ambiente real, al cual se accede a través de internet.
4. Acceso remoto, ambiente virtual (laboratorio virtual): el ambiente es simulado, y el estudiante o usuario accede a través de internet.

Laboratorios virtuales

Los laboratorios virtuales consisten en la simulación de un laboratorio real a través de software. Este tipo de laboratorios se desarrollan en plataformas de programación basadas en la mayoría de los casos en clases y objetos. La estructura general de un laboratorio virtual se basa en un servidor donde se encuentran el software desarrollado y en un cliente que accede a través de internet.

Uno de los primeros referentes en laboratorios virtuales es la Universidad de Massachusetts, Amherst, con la implementación en 2007 del proyecto Open Network Laboratory, para la enseñanza en computación, que al ser evaluado evidenció resultados positivos respecto a la efectividad en el aprendizaje, incentivando a que este tipo de enseñanza ganara mayor relevancia [10]. El proyecto Virtual Reality Laboratory Accidents, desarrollado por la Universidad de Illinois, fue implementado con el objetivo de que los estudiantes pudieran interactuar y manejar parámetros para observar las

configuraciones que producían accidentes, este tipo de enseñanza demostró ser más efectiva que hojas de especificaciones, con la ventaja de que evita los accidentes reales [10]. El proyecto VccSSe (Virtual Community Collaborating Space for Science Education) fue un proyecto de tres años iniciado en el 2006 y financiado por la Unión Europea, éste fue creado para el campo de la enseñanza en física, química y biología; las temáticas tratadas en física fueron: transporte de calor, circuitos DC y AC incluyendo fenómenos de resonancia. El proyecto TEALsim (Technology Enabled Active Learning), es un proyecto con libre acceso desde el MIT. Su principal objetivo fue incrementar la apropiación conceptual y el entendimiento analítico de los fenómenos electromagnéticos (<http://web.mit.edu/viz/soft/visualizations/tealsim>). Esta aplicación se puede correr en Java o Applet y permite a los estudiantes observar las líneas de flujo magnético [12]. En términos generales, de las experiencias en estos proyectos iniciales en el campo de los laboratorios virtuales, se puede destacar que, en su implementación los diseñadores pueden remover detalles que lleven a la confusión del estudiante [13], sin embargo, los estudiantes pueden evidenciar fenómenos que en un laboratorio físico o remoto no son posibles, como; el paso de los electrones por un conductor, o que durante el movimiento de un objeto se puedan observar las magnitudes de las fuerzas. Otra de las bondades que se evidencian en los laboratorios virtuales para la enseñanza de la ciencia, es la inclusión de gráficas que van mostrando la evolución temporal de las magnitudes físicas tenidas en cuenta durante la simulación como: velocidad, aceleración, energía cinética, energía potencial, energía térmica, etc. A través de estas gráficas el estudiante relaciona directamente observaciones con las ecuaciones que modelizan los fenómenos. Los estudios de efectividad en el aprendizaje siempre han resaltado que los laboratorios virtuales acentúan el aprendizaje conceptual debido a estas herramientas adicionales. Una de las principales ventajas citada con antelación [8], es la posibilidad de simular laboratorios de última tecnología como puede ser: espectrómetro de masas, acelerador de partículas, reactores nucleares; permitiendo a estudiantes en zonas no desarrolladas interactuar con este tipo de sistemas y sus variables. Los laboratorios virtuales han avanzado permitiendo simulaciones en 3D y utilizando realidad aumentada, adicionalmente, existen diferentes referentes en el campo de robótica y mundos virtuales como cita [12].

Capítulo 3. Planteamiento del problema

Proponer un protocolo de configuración óptima de red, para permitir utilizar software de simulación numérica de forma remota y desde distintos contextos de uso, de forma concurrente y paralela en equipos de alto rendimiento para soluciones de investigación tecnológica en el ITSLP y poder coadyuvar en el desarrollo de proyectos de simulación numérica para los cuales es necesaria su aplicación por medio de este proceso.

Capítulo 4. Hipótesis

Desarrollo, análisis y seguimiento de forma remota para la implementación de un algoritmo evolutivo que genere geometrías optimizadas de estructuras optoelectrónicas con aplicaciones en la captación y/o almacenamiento-conversión de energía electromagnética en energía eléctrica, aplicando procesos de simulación numérica con elemento finito.

Capítulo 5. Objetivo

Aplicar a través de conexiones remotas el cálculo y simulación numérica con el método del elemento finito (MEF) en virtud de que dicho método permite evaluar prácticamente cualquier tipo de geometría, especialmente útil en geometrías complejas, donde cada interacción del elemento finito respecto de los ubicados a su alrededor, resulta en una matriz proporcional al número de elementos para la que su resolución por métodos computacionales exige memoria (RAM real o virtual) y aritmética básica más que capacidades superiores de microprocesador.

Capítulo 6. Justificación

Implementar un sistema de comunicaciones WAN para que, por medio de acceso remoto a sistemas de cómputo de alto rendimiento, se pueda realizar la ejecución de algoritmos de simulación numérica haciendo uso de procesamiento concurrente y paralelo generando como beneficio el poder trabajar y monitorear desde cualquier lugar y en cualquier momento, de forma segura.

Capítulo 7. Metodología

La estructura general de un laboratorio virtual se basa en un servidor donde se encuentran el software y en un cliente que accede a través de internet.



Fig. 5 Servidores en la nube.

El acceso a Internet

Los usuarios domésticos, los trabajadores remotos y las oficinas pequeñas generalmente requieren una conexión a un ISP para acceder a Internet. Las opciones de conexión varían mucho entre los ISP y las ubicaciones geográficas. Sin embargo, las opciones más utilizadas incluyen banda ancha por cable, banda ancha por línea de suscriptor digital (DSL), redes WAN inalámbricas y servicios móviles.

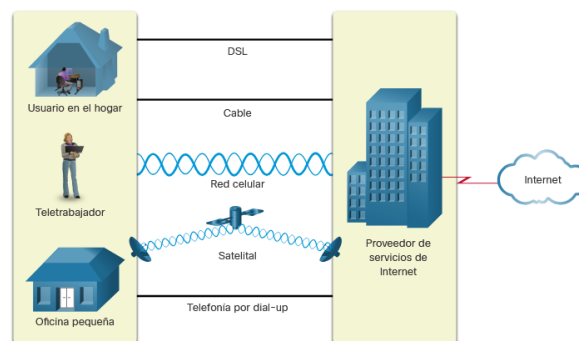


Fig. 6 Opciones de conexión a Internet.

- **Cable** - Típicamente ofrecido por los proveedores de servicios de televisión por cable, la señal de datos de Internet se transmite en el mismo cable que ofrece la

televisión por cable. Proporciona un gran ancho de banda, alta disponibilidad y una conexión a Internet siempre activa.

- **DSL** - Las líneas de suscriptor digital también proporcionan un gran ancho de banda, alta disponibilidad y una conexión permanente a Internet. DSL se transporta por la línea de teléfono. En general los usuarios de oficinas en el hogar o pequeñas se conectan mediante una línea de suscriptor digital asimétrica (ADSL), esto implica que la velocidad de descarga es mayor que la velocidad de carga.
- **Celular** - El acceso a internet celular utiliza una red de telefonía celular para conectarse. En cualquier lugar donde tenga cobertura de telefonía móvil, puede tener acceso a Internet. El rendimiento está limitado por las capacidades del teléfono y la torre celular a la que está conectado.
- **Satelital** - La disponibilidad de acceso a internet satelital es un beneficio en aquellas áreas que de otra manera no tendrían conectividad a internet. Las antenas parabólicas requieren una línea de vista despejada al satélite.
- **Telefonía por Dial-up** - Es una opción de bajo costo que funciona con cualquier línea telefónica y un módem. El ancho de banda que proporciona una conexión por módem, conexión por dial-up es bajo y, por lo general, no es suficiente para transferencias de datos masivas, si bien es útil para acceso móvil durante viajes.

La oferta de opciones de conexión varía según la ubicación geográfica y la disponibilidad de proveedores de servicios.

Arquitectura de red

Cuando se trabaja en línea y se presenta un fallo, se suele decir que el «Internet se cae», en realidad el Internet no se cayó, lo cierto es que se acaba de perder la conexión con él. Con tantas personas en el mundo que dependen del acceso a la red para trabajar y aprender, es imperativo que las redes sean confiables. En este contexto, la fiabilidad significa más que una conexión a Internet. La función de la red cambió de una red únicamente de datos a un sistema que permite conectar personas, dispositivos e información en un entorno de red convergente y con gran variedad de medios. Para que

las redes funcionen eficazmente y crezcan en este tipo de entorno, se deben crear sobre la base de una arquitectura de red estándar.

Las redes también admiten una amplia gama de aplicaciones y servicios. Deben operar sobre muchos tipos diferentes de cables y dispositivos, que conforman la infraestructura física. En este contexto, el término arquitectura de red, se refiere a las tecnologías que dan soporte a la infraestructura y a los servicios y las reglas, o protocolos, programados que trasladan los datos a través de la red. A medida que las redes evolucionan, se ha aprendido que hay cuatro características básicas que los arquitectos de redes deben abordar para cumplir con las expectativas del usuario:

- 1) Tolerancia a fallas. Una red tolerante a fallas es aquella que limita la cantidad de dispositivos afectados durante una falla. Está construido para permitir una recuperación rápida cuando se produce una falla de este tipo. Estas redes dependen de varias rutas entre el origen y el destino del mensaje. Si falla una ruta, los mensajes se pueden enviar inmediatamente por otro enlace.
- 2) Escalabilidad. Una red escalable se expande rápidamente para admitir nuevos usuarios y aplicaciones. Lo hace sin degradar el rendimiento de los servicios a los que están accediendo los usuarios existentes.
- 3) Calidad de servicio (QoS). A medida que el contenido de datos, voz y vídeo sigue convergiendo en la misma red, QoS se convierte en un mecanismo principal para administrar la congestión y garantizar el envío confiable de contenido a todos los usuarios. La congestión se produce cuando la demanda de ancho de banda excede la cantidad disponible. El ancho de banda de la red es la medida de la cantidad de bits que se pueden transmitir en un segundo, es decir, bits por segundo (bps). Cuando se producen intentos de comunicaciones simultáneas a través de la red, la demanda de ancho de banda puede exceder su disponibilidad, lo que provoca congestión en la red. Cuando el volumen de tráfico es mayor de lo que se puede transportar en la red, los dispositivos colocan los paquetes en cola en la memoria hasta que haya recursos disponibles para transmitirlos.
- 4) Seguridad. La infraestructura de red, los servicios y los datos contenidos en los dispositivos conectados a la red son activos comerciales y personales muy

importantes. Los administradores de red deben abordar dos tipos de problemas de seguridad de red: seguridad de la infraestructura de red y seguridad de la información. Para alcanzar los objetivos de seguridad de la red, hay tres requisitos principales

- a. **Confidencialidad** - La confidencialidad de los datos se refiere a que solamente los destinatarios deseados y autorizados pueden acceder a los datos y leerlos.
- b. **Integridad** - Integridad de datos significa tener la seguridad de que la información no se va a alterar en la transmisión, del origen al destino.
- c. **Disponibilidad** - Significa tener la seguridad de acceder en forma confiable y oportuna a los servicios de datos para usuarios autorizados.

Infraestructura tecnológica en el ITSLP

Actualmente se cuenta con un anillo de fibra óptica y la implementación de equipos de alto rendimiento y mejora en las velocidades de conexión en puntos estratégicos, para lograr la optimización de la red con velocidades de 10 Gb y redundancia de enlaces para garantizar el servicio en caso de falla y así mantener la estabilidad de la red por un tiempo prolongado.

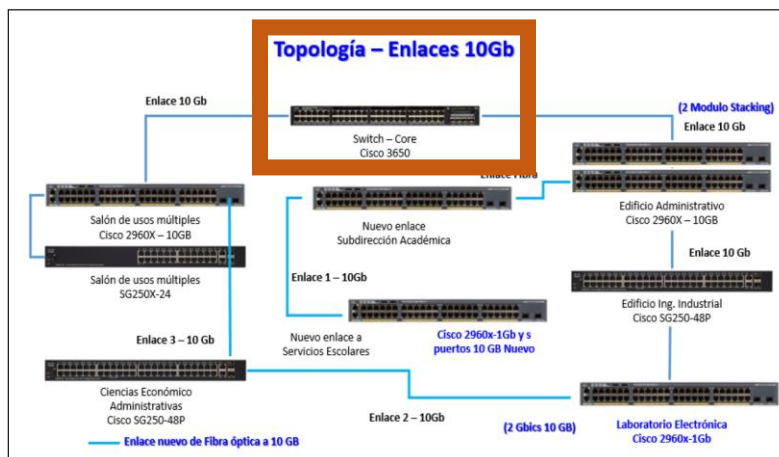


Fig. 7 Esquema parcial de arquitectura de red del ITSLP

Aunado a la infraestructura de red mencionada con anterioridad, la institución cuenta con dispositivos administrables que, además de la fiabilidad que proporcionan, abonan a la seguridad de la red y de los servicios que se brindan, a continuación, se describen los

dispositivos que soportan los servicios necesarios para la implementación de un laboratorio virtual:

- a) Fortinet FG-400F-BDL-950-36. Equipo de seguridad Firewall de próxima generación para medianas y grandes empresas. Es un sistema de seguridad que controla y supervisa el tráfico de una red, ya sea entrante o saliente, para protegerla de amenazas en línea.
- b) Switch-Core. Es el dispositivo principal de las redes empresariales y se encargan del enrutamiento y conmutación de alta velocidad. Tiene la función de controlar el tráfico de la red tanto a los dispositivos intermedios como de los dispositivos finales de la red institucional. El equipo que realiza dicha función es un Switch Core CISCO WS-3650-48PQ-S que consiste en un dispositivo de red administrable con funciones de conmutación y enrutamiento.
- c) Enlaces de Internet dedicado simétrico. El internet dedicado simétrico es una opción ideal para empresas y organizaciones que dependen de su conectividad para sus procesos o tienen grandes necesidades de ancho de banda. Se trata de una conexión exclusiva para un usuario la cual ofrece la misma velocidad de carga que de descarga de archivos. Esto es posible gracias a que se cuenta con un nodo exclusivo para el usuario, lo que no es posible con otros tipos de conexiones compartidas.

Actualmente el ITSLP funciona con dos enlaces dedicados y simétricos de 300 Mb cada uno, configurados en alta disponibilidad para brindar un servicio óptimo y con alta tolerancia a fallos o mal funcionamiento. Incluso son servicios de internet proporcionados por diferentes proveedores para que en el remoto caso de que se presente algún fallo en uno de los enlaces, se cuente con el servicio del otro para mantener los servicios funcionando. Es importante mencionar que la mayoría de los servicios tecnológicos busca cumplir con disponibilidad de funcionamiento alineado a la regla de los 5 nueves, es decir, procurar que los servicios se encuentren en funcionamiento el 99.999% del año, equivalente a tener una probable caída de servicios de sólo 5.256 minutos al año. En este punto, La mayoría de las compañías que ofrece el servicio de enlace dedicado lo

acompañan con un ANS de 99.9%, por lo que la fluctuación en la velocidad otorgada es mínima, o incluso inexistente. Cada ISP garantiza vía contrato la disponibilidad de sus servicios y la probabilidad de mal funcionamiento de los dos proveedores al mismo tiempo hace que sea todavía más remota la desconexión de la institución por lo que la estabilidad de la red permite una mejor continuidad en la carga de datos y, en consecuencia, estará siempre conectada a internet.

- d) Switch CISCO 2960 10/100/1000 24 puertos. Dispositivo de red intermediario administrable cuyo objetivo principal es proporcionar los servicios de red a los dispositivos finales que se encuentran en el edificio de posgrado y donde se encuentra el equipo a utilizarse para los experimentos virtuales que son el objetivo de este estudio, el Workstation HP Z4 G4.

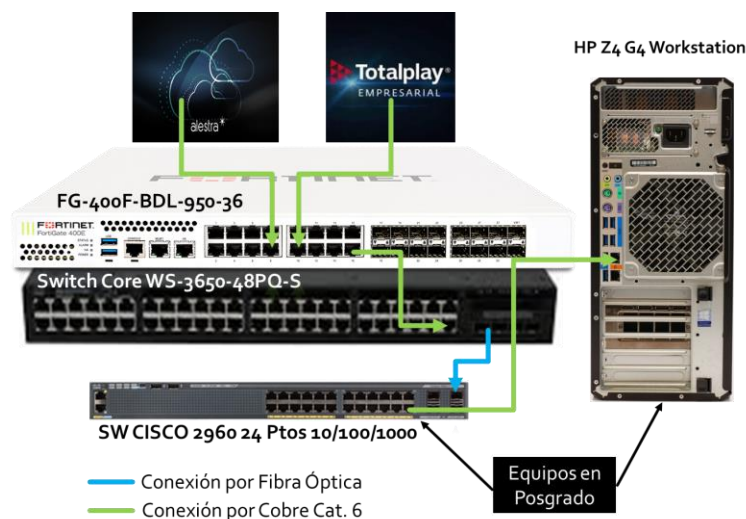


Fig. 8 Esquema de red para la conectividad del HP Z4 G4 Workstation

Configuraciones de seguridad de infraestructura de red

Todos los dispositivos finales y dispositivos de red requieren un sistema operativo (OS). La parte del Sistema Operativo que interactúa directamente con el hardware de la PC se

conoce como kernel. La parte que interactúa con las aplicaciones y el usuario se conoce como shell. El usuario puede interactuar con el shell mediante la interfaz de línea de comandos (CLI) o la interfaz gráfica del usuario (GUI).

Cuando se usa una CLI, el usuario interactúa directamente con el sistema en un entorno basado en texto ingresando comandos en el teclado en un símbolo del sistema. El sistema ejecuta el comando y, por lo general, proporciona una respuesta en forma de texto. La CLI necesita muy poca sobrecarga para operar. Sin embargo, exige que el usuario tenga conocimientos de la estructura subyacente que controla el sistema. Una GUI como Windows, macOS, Linux KDE, Apple iOS o Android le permite al usuario interactuar con el sistema utilizando un entorno de iconos gráficos, menús y ventanas. Las GUI también pueden fallar, colapsar o simplemente no operar como se les indica. Por eso, se suele acceder a los dispositivos de red mediante una CLI. La CLI consume menos recursos y es muy estable en comparación con una GUI.

La familia de sistemas operativos de red utilizados en muchos dispositivos Cisco se llama Cisco Internetwork Operating System (IOS). Cisco IOS se utiliza en muchos routers y switches de Cisco, independientemente del tipo o tamaño del dispositivo. Cada router o tipo de switch de dispositivo utiliza una versión diferente de Cisco IOS. Otros sistemas operativos de Cisco incluyen IOS XE, IOS XR y NX-OS. El sistema operativo de los routers domésticos generalmente se denomina firmware. El método más frecuente para configurar un router doméstico consiste en utilizar un explorador web para acceder a una GUI.

Un sistema operativo basado en CLI como el Cisco IOS en un switch o router, permite que un técnico de red realice lo siguiente:

- Utilice un teclado para ejecutar programas de red basados en la CLI.
- Utilice un teclado para introducir texto y comandos basados en texto.
- Vea resultados en un monitor.

Los dispositivos de red de Cisco ejecutan versiones especiales de Cisco IOS. La versión de IOS depende del tipo de dispositivo que se utilice y de las características necesarias.

Si bien todos los dispositivos traen un IOS y un conjunto de características predeterminados, es posible actualizar el conjunto de características o la versión de IOS para obtener capacidades adicionales.



Fig. 9 Lista de versiones de software IOS para un switch Cisco

Existen varios programas de emulación de terminal que se pueden usar para conectarse a un dispositivo de red, ya sea mediante una conexión en serie a través de un puerto de consola o mediante una conexión SSH / Telnet.

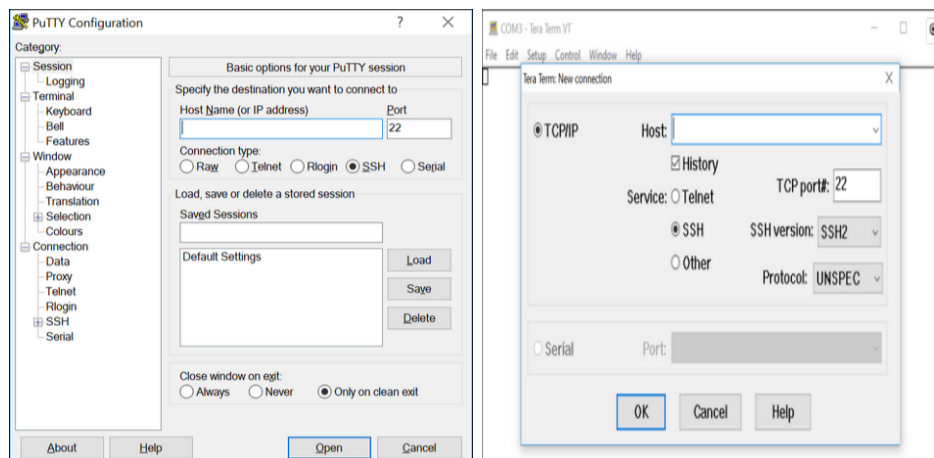


Fig. 10 Ejemplo de programas de emulación de terminal PuTTY y Tera Term

Proteger el acceso administrativo a un switch.

Asignar un nombre de dispositivo

Una organización debe elegir una convención de nomenclatura que haga que sea fácil e intuitivo identificar un dispositivo específico. Los nombres de host utilizados en el IOS del dispositivo conservan el uso de caracteres en mayúscula y minúscula. Cuando se ha identificado la convención de nomenclatura, el siguiente paso es usar la CLI para aplicar los nombres a los dispositivos.

```
Switch# configure terminal
Switch(config) # hostname Sw-Posgrado-1
Sw-Posgrado-1(config) #
```

Proteger el modo EXEC del usuario

Cuando se conecta inicialmente a un dispositivo, se encuentra en modo EXEC de usuario. Este modo está protegido usando la consola.

```
Sw-Posgrado-1# configure terminal
Sw-Posgrado-1(config) # line console 0
Sw-Posgrado-1(config-line) # password pass_user
Sw-Posgrado-1(config-line) # login
Sw-Posgrado-1(config-line) # end
Sw-Posgrado-1#
```

El acceso a la consola ahora requerirá una contraseña antes de permitir el acceso al modo EXEC del usuario.

Proteger el acceso a EXEC privilegiado

Para tener acceso de administrador a todos los comandos del IOS, incluida la configuración de un dispositivo, debe obtener acceso en modo EXEC privilegiado. Es el método de acceso más importante porque proporciona acceso completo al dispositivo.

```
Sw-Posgrado-1# configure terminal
Sw-Posgrado-1(config) # enable secret pass_priv
Sw-Posgrado-1(config) # exit
Sw-Posgrado-1#
```

Proteger el acceso a VTY

Las líneas de terminal virtual (VTY) permiten el acceso remoto mediante Telnet o SSH al dispositivo. Muchos switches de Cisco admiten hasta 16 líneas VTY que se numeran del 0 al 15.

```
Sw-Posgrado-1# configure terminal
Sw-Posgrado-1(config)# line vty 0 15
Sw-Posgrado-1(config-line)# password pass_vty
Sw-Posgrado-1(config-line)# login
Sw-Posgrado-1(config-line)# end
Sw-Posgrado-1#
```

Cifrar todas las contraseñas de texto simple

Los archivos startup-config y running-config muestran la mayoría de las contraseñas en texto simple. Esta es una amenaza de seguridad porque cualquiera puede descubrir las contraseñas si tiene acceso a estos archivos.

```
Sw-Posgrado-1# configure terminal
Sw-Posgrado-1(config)# service password-encryption
Sw-Posgrado-1(config)#
```

Mostrar un banner de inicio de sesión.

Aunque solicitar contraseñas es una forma de mantener al personal no autorizado fuera de la red, es vital proporcionar un método para declarar que solo el personal autorizado debe intentar acceder al dispositivo. Para hacerlo, agregue un aviso a la salida del dispositivo. Los avisos pueden ser una parte importante en los procesos legales en el caso de una demanda por el ingreso no autorizado a un dispositivo. Algunos sistemas legales no permiten la acusación, y ni siquiera el monitoreo de los usuarios, a menos que haya una notificación visible.

```
Sw-Posgrado-1# configure terminal
Sw-Posgrado-1(config)# banner motd #Acceso Sólo Personal
Autorizado#
```

Guardar configuraciones

Existen dos archivos de sistema que almacenan la configuración de dispositivos.

- **startup-config** - Este es el archivo de configuración guardado que se almacena en NVRAM. Contiene todos los comandos que usará el dispositivo al iniciar o reiniciar. Flash no pierde su contenido cuando el dispositivo está apagado.
- **running-config** - Esto se almacena en la memoria de acceso aleatorio (RAM). Refleja la configuración actual. La modificación de una configuración en ejecución afecta el funcionamiento de un dispositivo Cisco de inmediato. La memoria RAM es volátil. Pierde todo el contenido cuando el dispositivo se apaga o se reinicia.

El comando de modo EXEC **show running-config** privilegiado se utiliza para ver la configuración en ejecución. Para ver el archivo de configuración de inicio, use el comando **show startup-config** EXEC privilegiado.

Si se corta la energía al dispositivo o si este se reinicia, se perderán todos los cambios de configuración a menos que se hayan guardado. Para guardar los cambios realizados en la configuración en ejecución en el archivo de configuración de inicio, utilice el comando **copy running-config startup-config** del modo EXEC privilegiado.

Es importante aplicar esta misma configuración en cada uno de los equipos intermediarios de la red respetando la nomenclatura de los nombres y las contraseñas definidas para cada dispositivo.

Configuración de VLAN's en switches

Organizar una red en redes más pequeñas hará que la red sea más fácil de administrar. Dentro de una red conmutada, las VLAN proporcionan la segmentación y la flexibilidad organizativa. Un grupo de dispositivos dentro de una VLAN se comunica como si cada dispositivo estuviera conectados al mismo cable. Las VLAN se basan en conexiones lógicas, en lugar de conexiones físicas. Mediante las VLAN, los administradores de red pueden implementar políticas de acceso y seguridad de acuerdo con grupos específicos de usuarios. Cada puerto de switch se puede asignar a una sola VLAN.

Las VLAN se utilizan por diferentes razones en las redes. Algunos tipos de VLAN se definen según las clases de tráfico. Otros tipos de VLAN se definen según la función específica que cumplen. A continuación, se listan los diferentes tipos de VLAN que se tienen en un conmutador o switch administrable.

VLAN predeterminada

La VLAN predeterminada para los switches Cisco es la VLAN 1. Por lo tanto, todos los puertos del switch están en VLAN 1 a menos que esté configurado explícitamente para estar en otra VLAN. Todo el tráfico de control de capa 2 se asocia a la VLAN 1 de manera predeterminada.

Entre los datos importantes que hay que recordar acerca de la VLAN 1 se incluyen los siguientes:

- Todos los puertos se asignan a la VLAN 1 de manera predeterminada.
- De manera predeterminada, la VLAN nativa es la VLAN 1.
- De manera predeterminada, la VLAN de administración es la VLAN 1.
- No es posible eliminar ni cambiar el nombre de VLAN 1.

VLAN de datos

Las VLAN de datos son VLAN configuradas para separar el tráfico generado por el usuario. Las VLAN de datos se usan para dividir la red en grupos de usuarios o dispositivos. Una red puede tener muchas VLAN de datos en función de los requisitos organizativos. No se debe permitir el tráfico de administración de voz y red en las VLAN de datos.

VLAN nativa

El tráfico de usuario de una VLAN debe etiquetarse con su ID de VLAN cuando se envía a otro switch. Los puertos troncales se utilizan entre conmutadores para admitir la transmisión de tráfico etiquetado. Específicamente, un puerto troncal 802.1Q inserta una

etiqueta de 4 bytes en el encabezado de trama Ethernet para identificar la VLAN a la que pertenece la trama.

Es posible que un switch también tenga que enviar tráfico sin etiqueta a través de un enlace troncal. El tráfico sin etiquetas es generado por un switch y también puede provenir de dispositivos heredados. El puerto de enlace troncal 802.1Q coloca el tráfico sin etiquetar en la VLAN nativa. La VLAN nativa en un switch Cisco es VLAN 1 (es decir, VLAN predeterminada).

VLAN de administración

Una VLAN de administración es una VLAN de datos configurada específicamente para el tráfico de administración de red, incluyendo SSH, Telnet, HTTPS, HTTP y SNMP. De forma predeterminada, la VLAN 1 se configura como la VLAN de administración en un conmutador de capa 2.

VLAN de voz

Se necesita una VLAN separada para admitir la tecnología de voz sobre IP (VoIP). Para el tráfico de VoIP, se necesita lo siguiente:

- Ancho de banda garantizado para asegurar la calidad de la voz
- Prioridad de la transmisión sobre los tipos de tráfico de la red
- Capacidad para ser enrutado en áreas congestionadas de la red
- Una demora inferior a 150 ms a través de la red

Para cumplir estos requerimientos, se debe diseñar la red completa para que admita VoIP.

Los distintos switches Cisco Catalyst admiten diversas cantidades de VLAN. La cantidad de VLAN que admiten es suficiente para satisfacer las necesidades de la mayoría de las organizaciones. Por ejemplo, los switches de las series Catalyst 2960 y 3560 admiten más de 4000 VLAN. Las VLAN de rango normal en estos switches se numeran del 1 al 1005, y las VLAN de rango extendido se numeran del 1006 al 4094.

```

Sw-Posgrado-1# show vlan brief
VLAN Name                Status    Ports
-----
1      default                active    Fa0/1, Fa0/2, Fa0/3, Fa0/4
                                           Fa0/5, Fa0/6, Fa0/7, Fa0/8
                                           Fa0/9, Fa0/10, Fa0/11, Fa0/12
                                           Fa0/13, Fa0/14, Fa0/15, Fa0/16
                                           Fa0/17, Fa0/18, Fa0/19, Fa0/20
                                           Fa0/21, Fa0/22, Fa0/23, Fa0/24
                                           Gi0/1, Gi0/2
1002  fddi-default            act/unsup
1003  token-ring-default      act/unsup
1004  fddinet-default         act/unsup
1005  trnet-default           act/unsup

```

Rango Normal VLANs

Las siguientes son las características de las VLAN de rango normal:

- Se utiliza en redes de pequeños y medianos negocios y empresas.
- Se identifica mediante una ID de VLAN entre 1 y 1005.
- Las ID de 1002 a 1005 se reservan para las VLAN de Token Ring e interfaz de datos distribuidos por fibra óptica (FDDI).
- Las ID 1 y 1002 a 1005 se crean automáticamente y no se pueden eliminar.
- Las configuraciones se almacenan en un archivo de base de datos de VLAN llamado vlan.dat, que se guarda en la memoria flash.
- Cuando se configura, el protocolo de enlace troncal VLAN (VTP) ayuda a sincronizar la base de datos VLAN entre conmutadores.

Rango Extendido VLANs

Las siguientes son las características de las VLAN de rango extendido:

Los proveedores de servicios los utilizan para dar servicio a varios clientes y por las empresas globales lo suficientemente grandes como para necesitar identificadores de VLAN de rango extendido.

- Se identifican mediante una ID de VLAN entre 1006 y 4094.
- Las configuraciones se guardan en el archivo de configuración en ejecución.
- Admiten menos características de VLAN que las VLAN de rango normal.

- Requiere la configuración del modo transparente VTP para admitir VLAN de rango extendido.

Creación de VLAN

```
Sw-Posgrado-1# configure terminal
Sw-Posgrado-1(config)# vlan 4
Sw-Posgrado-1(config-vlan)# name Posgrado
Sw-Posgrado-1(config-vlan)# end
```

Asignación de puerto VLAN

```
Sw-Posgrado-1# configure terminal
Sw-Posgrado-1(config)# interface fa0/6
Sw-Posgrado-1(config-if)# switchport mode access
Sw-Posgrado-1(config-if)# switchport access vlan 4
Sw-Posgrado-1(config-if)# end
```

Las VLAN se configuran en el puerto del switch y no en el terminal. La PC Z4 se configura con una dirección IPv4 y una máscara de subred asociadas a la VLAN, que se configura en el puerto de switch. En este ejemplo, es la VLAN 4. Cuando se configura la VLAN 4 en otros switches, el administrador de red debe configurar las otras computadoras de posgrado para que estén en la misma subred que la PC Z4 (192.168.4.100/24).

Verificar la información de la VLAN

```
Sw-Posgrado-1# show interfaces fa0/6 switchport
Name: Fa0/6
Switchport: Enabled
Administrative Mode: static access
Operational Mode: static access
Administrative Trunking Encapsulation: dot1q
Operational Trunking Encapsulation: native
Negotiation of Trunking: Off
Access Mode VLAN: 4 (Posgrado)
Trunking Native Mode VLAN: 1 (default)
Voice VLAN: none
Administrative private-vlan host-association: none
(Output omitted)
```

Configuración de enlaces Troncales

Un enlace troncal de VLAN es un enlace de capa 2 del modelo OSI entre dos switches que transporta el tráfico para todas las VLAN (a menos que se restrinja la lista de VLAN permitidas de manera manual o dinámica).

| Tarea | Comando de IOS |
|--|---|
| Ingrese al modo de configuración global. | Switch# <code>configure terminal</code> |
| Ingrese el modo de configuración de interfaz. | Switch(config)# <code>interface interface-id</code> |
| Establezca el puerto en modo de enlace troncal permanente. | Switch(config-if)# <code>switchport mode trunk</code> |
| Cambie la configuración de la VLAN nativa a otra opción que no sea VLAN 1. | Switch(config-if)# <code>switchport trunk native vlan vlan-id</code> |
| Especifique la lista de VLAN que se permitirán en el enlace troncal. | Switch(config-if)# <code>switchport trunk allowed vlan vlan-List</code> |
| Vuelva al modo EXEC privilegiado. | Switch(config-if)# <code>end</code> |

Fig. 11 Lista de comandos para configurar puertos de interconexión como troncales

La configuración del puerto F0/25 en el conmutador de posgrado como puerto troncal. La VLAN nativa se cambia a VLAN 99 y la lista de VLAN permitidas se restringe a 4,10, 20, 30 y 99.

```
Sw-Posgrado-1(config)# interface fastEthernet 0/25  
Sw-Posgrado-1(config-if)# switchport mode trunk  
Sw-Posgrado-1(config-if)# switchport trunk native vlan 99  
Sw-Posgrado-1(config-if)# switchport trunk allowed vlan  
4,10,20,30,99  
Sw-Posgrado-1(config-if)# end
```

Esta configuración supone el uso de los switches Cisco Catalyst 2960 que utilizan de manera automática la encapsulación 802.1Q en los enlaces troncales. Es posible que otros switches requieran la configuración manual de la encapsulación. Siempre configure ambos extremos de un enlace troncal con la misma VLAN nativa. Si la configuración de enlace troncal 802.1Q no es la misma en ambos extremos, el software IOS de Cisco registra errores.

Verifique la configuración de enlaces troncales.

La salida del switch muestra la configuración del puerto del switch F0/25 en el switch Posgrado. La configuración se verifica con el comando **show interfaces** puerto **switchport interface-ID**.

```
Sw-Posgrado-1# show interfaces fa0/25 switchport
Name: Fa0/25
Switchport: Enabled
Administrative Mode: trunk
Operational Mode: trunk
Administrative Trunking Encapsulation: dot1q
Operational Trunking Encapsulation: dot1q
Negotiation of Trunking: On
Access Mode VLAN: 1 (default)
Trunking Native Mode VLAN: 99 (VLAN0099)
Voice VLAN: none
Administrative private-vlan host-association: none
Administrative private-vlan mapping: none
Administrative private-vlan trunk native VLAN: none
Administrative private-vlan trunk encapsulation: dot1q
Administrative private-vlan trunk normal VLANs: none
Administrative private-vlan trunk associations: none
Administrative private-vlan trunk private VLANs: none
Operational private-vlan: none
Trunking VLANs Enabled: 4,10,20,30,99
Pruning VLANs Enabled: 2-1001
(output omitted)
```

En el área superior resaltada, se muestra que el modo administrativo del puerto F0/25 se estableció en **trunk**. El puerto está en modo de enlace troncal. En la siguiente área resaltada, se verifica que la VLAN nativa es la VLAN 99. Más abajo en el resultado, en el área inferior resaltada, se muestra que las VLAN 4,10,20,30 y 99 están habilitadas en el enlace troncal.

Equipo de alto rendimiento en el ITSLP.

Equipo de cómputo especializado tanto para tareas de diseño y simulación como edición de video y aprendizaje automático, esta estación de trabajo de escritorio puede manejar cargas de trabajo altamente demandantes de recursos de la actualidad y aún tiene espacio para expandirse a medida que cambian las demandas de su industria. Cuenta con procesamiento de alta frecuencia, múltiples núcleos y GPU potentes [15].

Tiene capacidad de Ejecución de aplicaciones profesionales exigentes con hasta 18 núcleos para obtener un rendimiento y una productividad potentes. Evita fallas del sistema en medio de su flujo de trabajo con la memoria con código de corrección de errores (ECC) que detecta y corrige errores leves en el sistema de memoria sobre la marcha [15].

Consta de 2 GPU NVIDIA RTX™ A6000. Las estaciones de trabajo Z de HP están probadas y certificadas por proveedores de software independientes de una variedad de industrias para ejecutar de manera confiable las aplicaciones más exigentes. Soporta hasta 512 GB DDR4-2933 ECC SDRAM para un rendimiento ultrarrápido en la edición de video y conjuntos de datos complejos. Permite un crecimiento de hasta 46 TB de disco duro con el cual se accede y almacenan grandes cantidades de datos sobre la marcha con cuatro bahías de almacenamiento y dos ranuras M.2 [15].



Fig. 12 Equipo de alto rendimiento HP Z4 G4 Workstation

Es una computadora de escritorio que ha sido sometida a 360.000 horas de pruebas rigurosas, pruebas de estándar militar, está certificada para ejecutar software líder en la industria y está diseñada para ejecutar cargas de trabajo de alta demanda de recursos las 24 horas, los 7 días de la semana [15].

Configuración en Workstation

Para lograr que los dispositivos finales se comuniquen entre sí, se debe asegurar de que cada uno de ellos tiene una dirección IP adecuada y está correctamente conectado. El uso de direcciones IP es el principal medio para permitir que los dispositivos se ubiquen entre sí y para establecer la comunicación completa en Internet. Cada terminal en una red se debe configurar con direcciones IP. Los ejemplos de dispositivos finales incluyen los siguientes:

- PC (estaciones de trabajo, PC portátiles, servidores de archivos, servidores web)
- Impresoras de red
- Teléfonos VoIP
- Cámaras de seguridad
- Teléfonos inteligentes
- Dispositivos portátiles móviles (tal como los escáneres inalámbricos para códigos de barras)

La estructura de una dirección IPv4 se denomina notación decimal punteada y se representa con cuatro números decimales entre 0 y 255. Las direcciones IPv4 son números asignados a los dispositivos individuales conectados a una red.

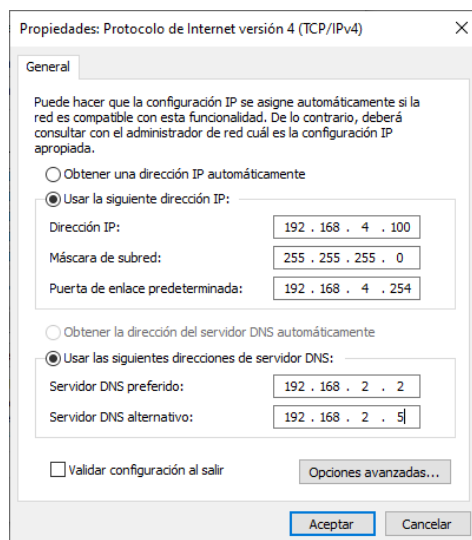


Fig. 13 Configuración de ip en edificio de posgrado en ITSLP

Dirección IP

La dirección IP es la dirección que te asigna tu ISP y sirve para identificarte dentro de Internet cuando te conectas. Nadie puede navegar por la red sin una IP, y ninguna página web puede estar online si no tiene una IP asociada, ya que cuando escribes la dirección de una web, lo que hace el navegador es traducirla a su dirección IP para encontrar y conectarte al servidor donde está.

Para que el equipo de cómputo pueda conectarse a Internet dentro del ITSLP se debe asignar una dirección IP privada, dicha dirección la proporciona el administrador de la red y en este caso se utiliza la **192.168.4.100**

La información de la dirección IPv4 se puede ingresar en los dispositivos finales de forma manual o automática mediante el Protocolo de configuración dinámica de host (DHCP). Para configurar manualmente una dirección IPv4 en un host de Windows, se abre **Panel de control > Centro de redes y recursos compartidos > Cambiar opciones del adaptador** y se elige el adaptador. A continuación, se hace clic con el botón derecho y se selecciona **Propiedades** para mostrar las **Propiedades de conexión de área local**, como se muestra en la Fig. 13.

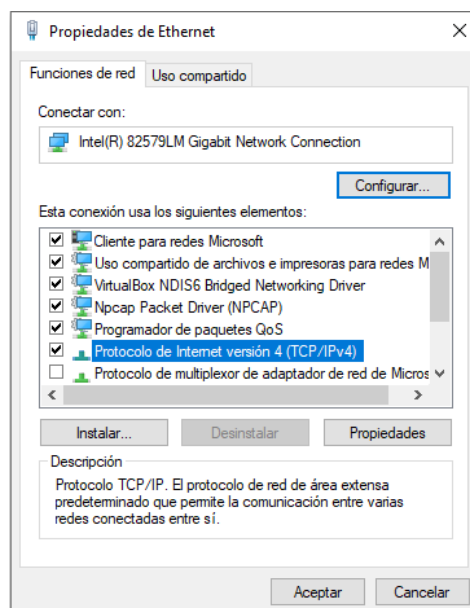


Fig. 14 Configuración manual de IP en SO Windows

Resaltar Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4) y hacer clic en **Propiedades** para abrir la respectiva ventana de configuración que se muestra en la Fig. 13 y realizar así, la configuración pertinente de la Fig. 12.

Máscara de subred

La IP por sí sola no es suficiente para identificar un dispositivo en la red. Esta dirección se tiene que acompañar siempre de la máscara de subred. A efectos prácticos se trata de otra IP, pero cuya numeración casi siempre va a estar compuesta por ceros y 255. En este caso es la **255.255.255.0**, que suele ser la que normalmente tiene una PC para una IP privada clase C.

La misión de esta segunda IP es la de ayudar a distinguir las direcciones IP que son muy parecidas. Si se tienen varios dispositivos con una IP en la que lo único que cambia es el último número, la máscara servirá para saber cuáles son los números que varían dentro de las IPs de la red.

Dirección de Gateway Predeterminado (Default Gateway)

La dirección de gateway predeterminado es la dirección IP del router que el host utilizará para acceder a las redes remotas, incluso a Internet, en esta configuración es la **192.168.4.254** y al igual que la IP del equipo de cómputo, esta es proporcionada por el administrador de la red institucional.

Direcciones de Servidor de DNS

La dirección del servidor DNS es la dirección IPv4 del servidor del sistema de nombres de dominio (DNS), que se utiliza para traducir direcciones IP a direcciones web, como **slp.tecnm.mx**.

En el ITSLP se utilizan dos direcciones de servidor DNS una primaria y una secundaria. La razón por la que se configuran 2 es para evitar pérdida de servicio de traducción de direcciones en el caso de fallo de uno de los dos servidores.

- Dirección DNS primaria en el ITSLP **192.168.2.2**
- Dirección DNS secundaria en el ITSLP **192.168.2.5**

Configuración de acceso remoto FORTIGATE – VPN SSL

Una VPN (Virtual Private Network) es una conexión privada y a la vez encriptada que se realiza a través de Internet, para crear una conexión o red privada dentro la red pública. Normalmente las conexiones VPN pueden ser [14]:

- **Site to Site:** Conexión entre distintas sedes de una organización.
- **Site to Client:** Conexiones privadas desde ordenadores, móviles y tabletas hacia una organización.

Para la conectividad con el equipo de cómputo de posgrado se requiere configurar las conexiones de Sitio a Cliente.

Para conectar de forma remota y segura, es necesario un pequeño software que realizará dicha conexión. Una vez conectados al ITSLP y dependiendo de la configuración de la VPN se tendrá acceso a toda la organización o a ciertos recursos (Servidores, segmentos de red, etc.)

¿Qué tipo de VPN Cliente existen?

Básicamente existen 2 tipos de conexiones VPN Cliente [14]:

- **IPSec VPN Client.** Estas conexiones utilizan el protocolo IPSec, estas conexiones son las más comunes y pueden configurarse en la mayoría de routers y firewalls que tienen funciones de VPN. El único inconveniente es que utilizan puertos UDP (4500 y 500), con lo que, si se quiere conectar a alguna red con restricciones, no se podrá conectar.
- **SSLVPN Client.** Estas conexiones, utilizan el puerto 443 con lo que se tienen las restricciones de conexiones wifi, ya que se utiliza el puerto de navegación https estándar.

Antes de empezar con la configuración de la SSLVPN, es necesario asegurar que se tenga el puerto 443 redirigido a la IP de nuestro Firewall que conecta con el router de Internet.

Configuración de VPN en Fortinet

En la interfaz de configuración de FORTINET, se ven los 2 apartados que hacen referencia a las SSL-VPN ubicados en la opción de Security Profiles [14].

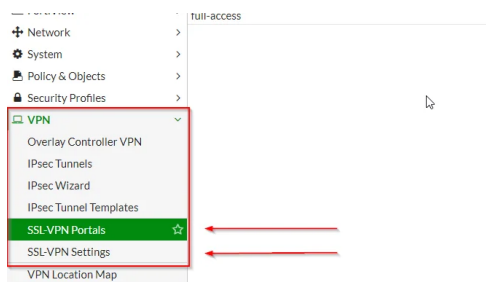


Fig. 15 Menú de perfiles de seguridad de FORTINET

- **SSL-VPN Portal:** es el sitio donde se definen las configuraciones propias y a donde se quiere redirigir a un grupo de usuarios cuando intenten conectarse a la VPN.
- **SSL-VPN Settings:** es donde se define la configuración general de todas las conexiones VPN y donde se mapean los portales. Es en este apartado donde se configura en el firewall qué usuarios debe dirigir a qué Portal concreto.

Lo primero que se debe hacer es crear un objeto–dirección que incluirá el rango de direcciones IP que se van a usar para los equipos que se conecten a través de esta VPN, para ello se crea desde **Políticas y Objetos > Dirección > Crear nuevo > Dirección**, donde se puede encontrar todo lo que está enlazado al FORTINET.

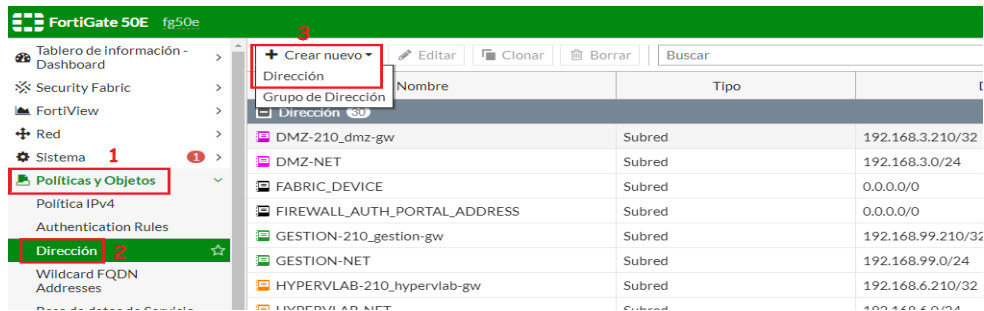


Fig. 16 Interfaz para crear nuevas direcciones y grupos de acceso

Se observan objetos que hacen referencia a direcciones IP, a redes, a FQDN (como nombres o Wildcard de algún dominio) o grupos de direcciones.

Para poder conectar a una VPN SSL se hace uso de un direccionamiento o de un objeto que haga referencia a un pool de direcciones. FORTINET ya trae por defecto un pool de direcciones, es el SSLVPN_TUNNEL_ADDR1 que se muestra en la Fig. 17 y que permite hasta 11 conexiones de VPN de forma simultánea y el cual puede ser modificado a las necesidades de la organización para permitir más o menos conexiones.



Fig. 17 Pool de direcciones por defecto de FORTINET

Sin embargo, también se tiene la opción de crear un pool completamente nuevo y propio del administrador por medio de la función **Crear nuevo (3)** en la Fig.16, con el nombre de la organización, en este caso ITSLLP:

Nombre: SSL-PosgradoITSLLP

Tipo: Rango de IP

Rango: 192.168.4.151-192.168.4.200

A continuación, se deben definir los usuarios que van a hacer uso de la conexión y para esto es necesario acceder a la opción **Usuario y Dispositivo > Definición de usuario**

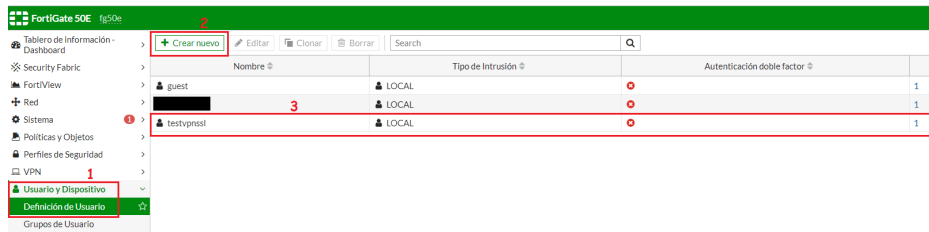


Fig. 18 Interfaz para crear un Nuevo Usuario

Se configura un nuevo usuario en **Crear nuevo (2)** de la Fig. 18 y seleccionando el tipo de Usuario Local. Para la creación del usuario se requiere proporcionar el usuario y la contraseña con la que se conectará:

Username: Luis

Passowrd: *****

Este paso se debe repetir para cada usuario al que se quiera permitir acceso a la red por medio de la VPN.

Para realizar la gestión del acceso a una VPN de una forma más recomendable es necesario configurar un grupo a través de la opción **Usuario y Dispositivo > Grupos de usuario** en **Crear nuevo (3)** en Fig.19 a nivel de **Firewall**, asignando un nombre al grupo y posteriormente se debe seleccionar a los usuarios que van a formar parte de dicho grupo.

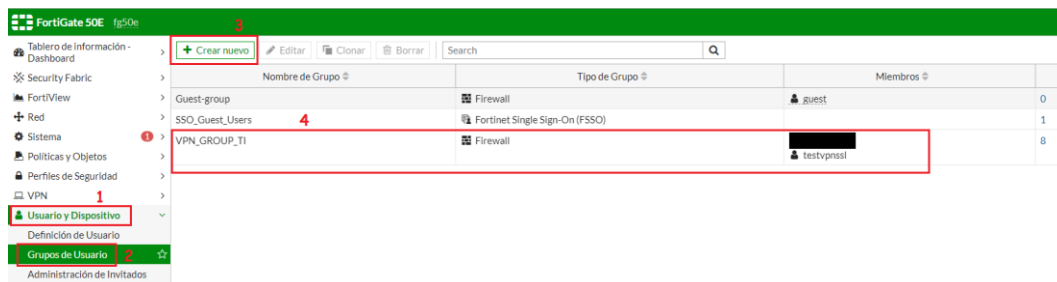


Fig. 19 Interfaz para crear un Grupo de Usuarios

Una vez creados los usuarios y grupos, se debe configurar los portales SSL-VPN en la opción **VPN > Portales SSL VPN > Editar**. Por defecto, vienen creados tres y se va a editar el portal **full-access (3)** en Fig. 20.

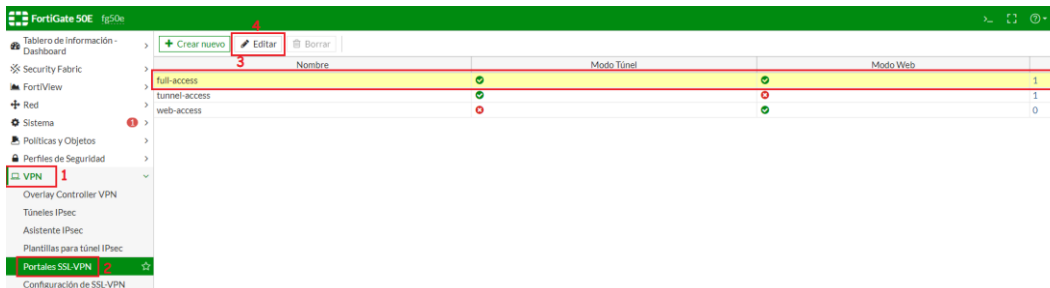


Fig. 20 Interfaz para configurar los Portales VPN

Es necesario asegurarse de configurar los campos en **Portal SSL VPN > full-access > Editar** con la información que se muestra a continuación:

Nombre: full-access

Activar Modo Tunnel

Activar Habilitar Split Tunneling

Pools IP origen: SSL-PosgradoITSLP

Activar Habilitar Modo Web

Mensaje del portal: SSL-VPN Portal ITSLP

El siguiente paso es configurar la VPN SSL en **VPN > Configuración VPN SSL** y debe revisarse que se vea como la interfaz de la Fig. 21 con la siguiente información:

Escuchar en interfaz: Alestra ITSLP, Totalplay ITSLP

Rango de IP: SSL-PosgradoITSLP

Servidor DNS #1: 192.168.2.2

Servidor DNS #2: 192.168.2.5

Usuarios/Grupos: VPN_GROUP_TI (o VPN_Posgrado ITSLP si así se nombra al grupo)

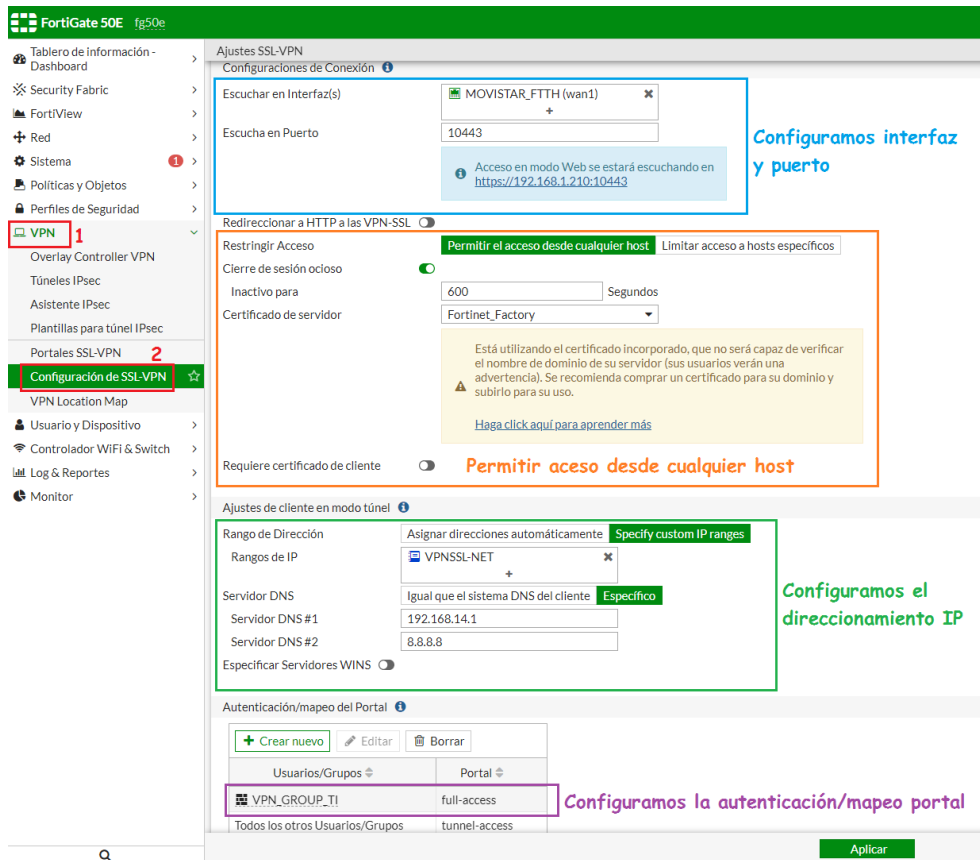


Fig. 21 Interfaz para configuración de SSL-VPN

Por último, se deben crear las reglas o políticas en **Políticas y Objetos > Política IPv4 > Crear nuevo**, para que los equipos que se conecten a través de la VPN tengan acceso a las redes internas configuradas en el firewall.

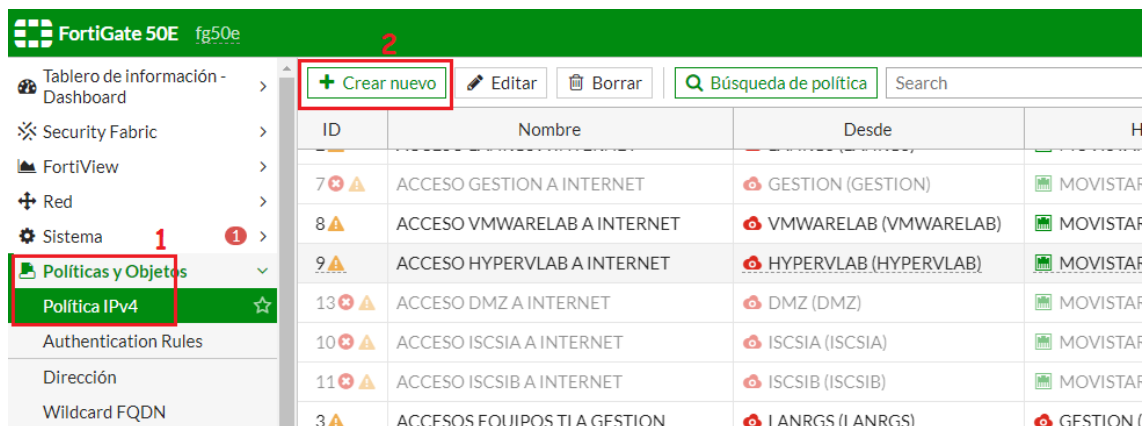


Fig. 22 Interfaz para configuración de nuevas Políticas

La configuración debe realizarse como se ve en la Fig. 23 cambiando la siguiente información:

Nombre: VPNSSL_ACCESS_LANITSLP

Interfaz de salida: LANITSLP

Origen: SSL-PosgradoITSLP

VPN_Posgrado_ITSLP

Destino: LANITSLP-NET

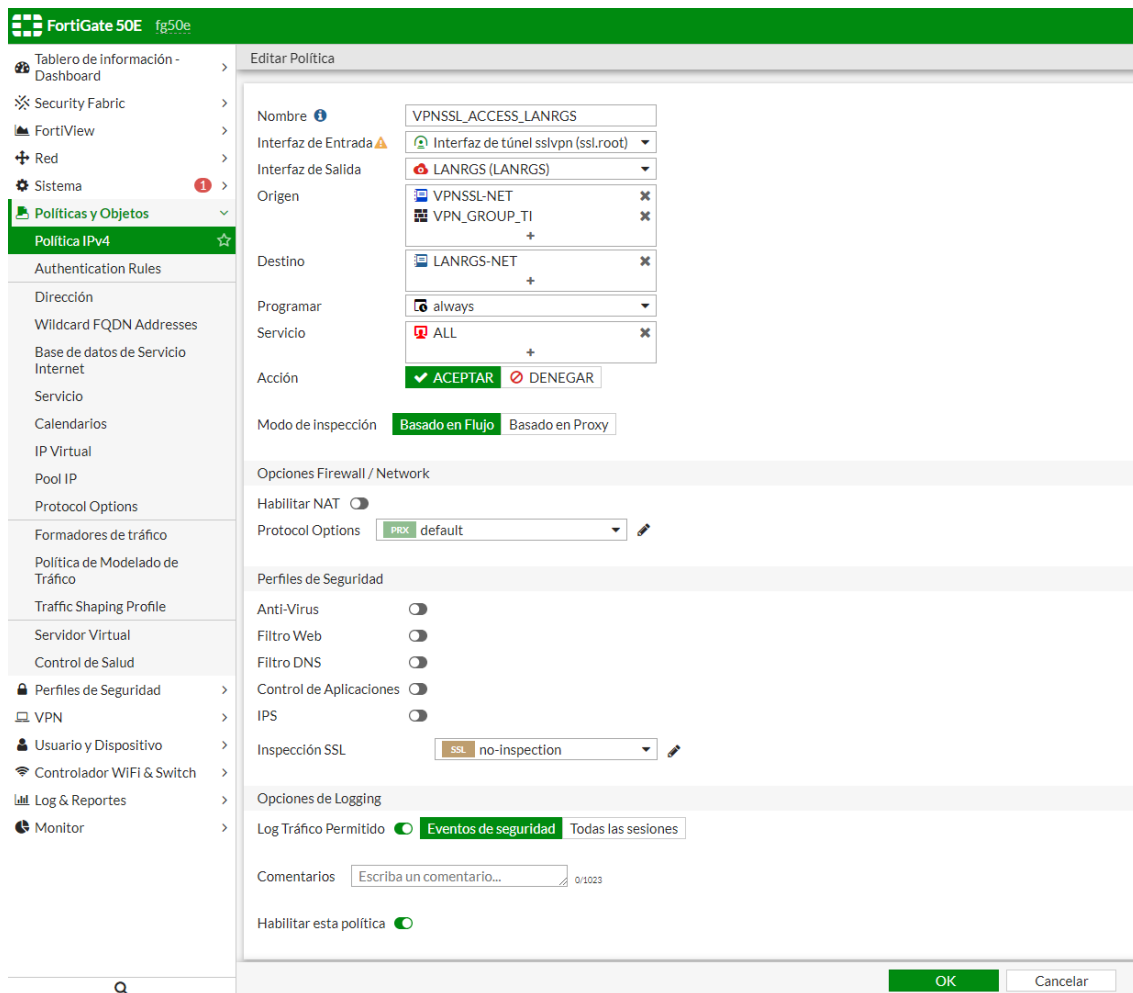


Fig. 23 Interfaz para configuración de reglas o políticas

Configuración de SSL FortiClient en dispositivos remotos

Una vez configurada la VPN en el servidor, se requiere configurar cada una de las terminales remotas que van a hacer uso de dicha VPN y como primer paso es necesario descargar el software FortiClient de la página de Fortinet

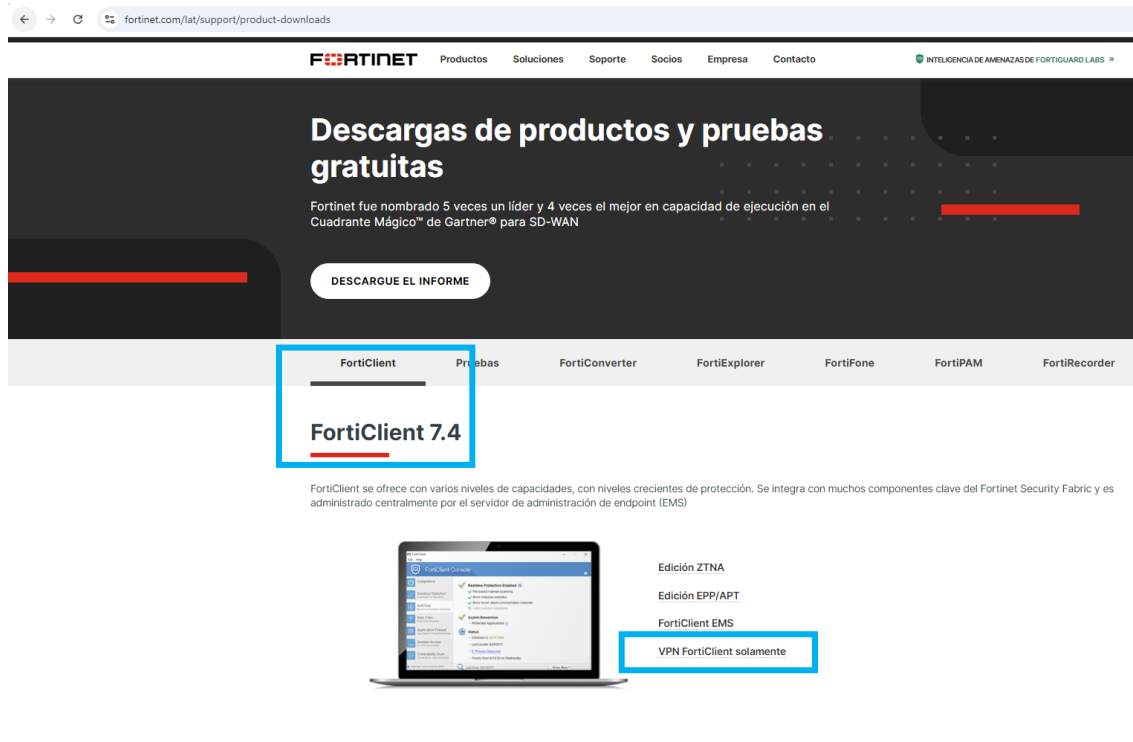


Fig. 24 Descarga de FortiClient VPN en la página de Fortinet

Se selecciona la opción de descarga del sistema operativo que tiene instalada la terminal que va a hacer uso de la VPN institucional



Fig. 25 Opciones de descarga de FortiClient para el sistema operativo en el cliente

En caso de que no estuviera disponible la descarga del software en la página de Fortinet, se puede obtener de otros servidores públicos o solicitarlo con el administrador de la red.

Una vez descargado el software se instala con los valores por defecto, se aceptan los términos y condiciones y se va a ver la interfaz de la Fig. 26 en la que se debe seleccionar configurar un VPN y proporcionar los siguientes datos:

Nombre: ITSLP

Remote Gateway: IP pública de la VPN

Activar Customize port: 10443

Client Certificate: None

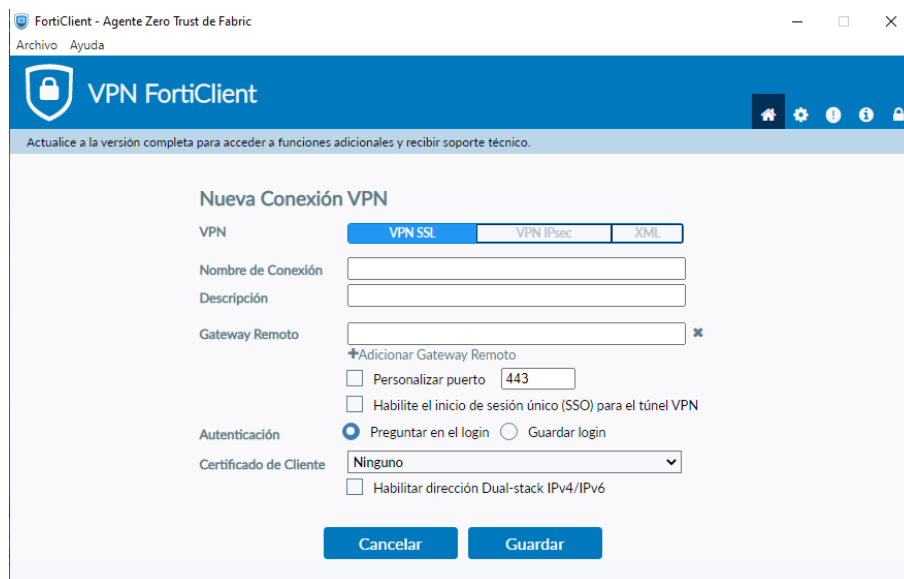


Fig. 26 Ventana de configuración de cliente de Fortinet

Para finalizar, se guarda la configuración de la VPN y se pasa a la interfaz de proporcionar el nombre de usuario y la contraseña con la que se va a conectar al servidor HP ZA del departamento de posgrado en el ITSLP.

Capítulo 8. Colaboración en proyecto “Análisis y diseño de estructuras optoelectrónicas”

Resumen

Simulación numérica de estructuras optoelectrónicas que operen como nano capacitores y/o nanoantenas (antenas ópticas). Por medio de un algoritmo evolutivo que genere geometrías optimizadas de estructuras optoelectrónicas con aplicaciones en la captación y/o almacenamiento-conversión de energía electromagnética en energía eléctrica, aplicando procesos de simulación numérica con elemento finito.

Los resultados esperados es la obtención por cálculo numérico de al menos una estructura optimizada para la conversión de energía electromagnética y/o el almacenamiento de energía producto de esa conversión.

Introducción

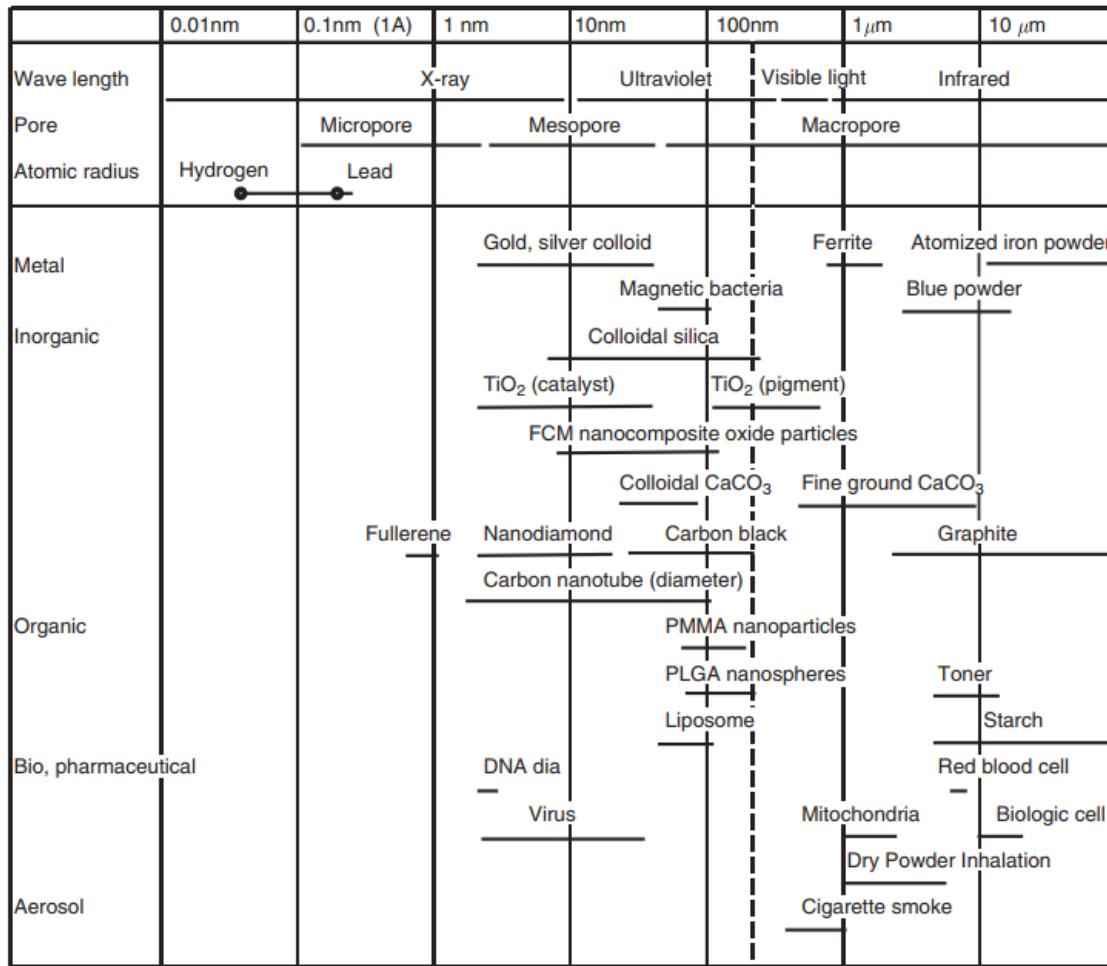
Las estructuras optoelectrónicas han existido desde los orígenes de la electrónica moderna. Estas estructuras han seguido evolucionando y han encontrado nuevas aplicaciones que se adecúan a las necesidades y exigencias modernas de nuestro país y el mundo al ser parte coadyuvante para el aprovechamiento de las energías limpias y/o renovables. Conocer a fondo sus características de operación, nos permite avanzar en la independencia tecnológica y aportar así a la soberanía energética, además de contribuir directamente a presentar soluciones viables del adecuado uso de la energía ante el cambio climático que son aspectos de prioridad nacional.

Este proyecto se limita al estudio de estructuras optoelectrónicas resonantes en el espectro electromagnético óptico (luz) que va del infrarrojo al visible y se limita también al análisis geométrico de estas estructuras para alcanzar un óptimo calculado por algoritmo evolutivo. Inicialmente se proponen "antenas ópticas Seebeck" para la captación y conversión de energía electromagnética en energía eléctrica y a estructuras de capacitores interdigitados como método de almacenamiento de esa energía eléctrica.

Antecedentes

Propiedades básicas y métodos de medición de nanopartículas

Las nanopartículas son partículas ultrafinas del tamaño del orden de los nanómetros. “Nano” es un prefijo que denota la potencia menos novena de diez, es decir, una milmillonésima. Aquí significa nanómetro (nm) aplicado a la longitud. Un nm es una longitud extremadamente pequeña que corresponde a una milmillonésima de 1 m.



FCM : Flash Creation Method
 PLGA : Poly-lactic-glycolic acid (Spherical crystallization method)
 PMMA : Polymethylmethacrylate

Fig. 27 Ejemplos de nanopartículas y fenómenos relacionados

La definición de nanopartículas difiere según los materiales, campos y aplicaciones en cuestión. En el sentido más estricto, se consideran partículas menores de 100 nm, donde las propiedades físicas de los materiales sólidos cambiarían drásticamente.

Por otro lado, las partículas en el rango de tres dígitos de nanómetros de 1 nm a 1 μm podrían llamarse nanopartículas. En muchos casos, las partículas de 1 a 100 nm se denominan generalmente como nanopartículas, pero aquí se considerarán aquellas partículas más pequeñas que las denominadas convencionalmente “partículas submicrónicas”, y concretamente menores que la longitud de onda de la luz visible (su límite inferior es aproximadamente 400 nm) como medida, que deben tratarse de manera diferente a las partículas submicrónicas. Las figs. 27 y 28 muestran ejemplos de nanopartículas y los fenómenos relacionados y un ejemplo de imagen de microscopio electrónico de nanopartículas coloidales de oro hechas por el método químico en fase líquida, respectivamente. [16]

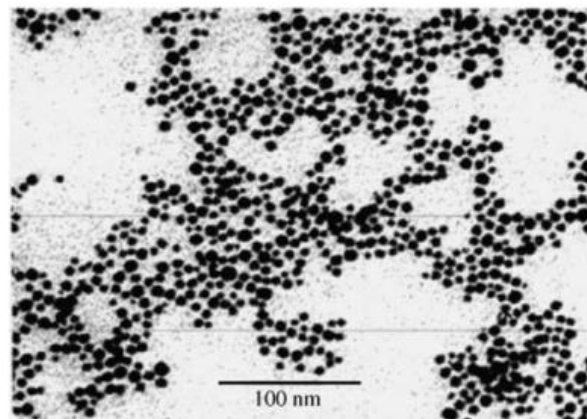


Fig. 28 Imagen del microscopio electrónico de transmisión de nanopartículas de oro

Activación de superficie de partículas

Todas las partículas sólidas están formadas por átomos o moléculas. Al estar micronizadas, tienden a verse afectados por el comportamiento de los átomos o de las propias moléculas y a mostrar propiedades diferentes a las del sólido a granel del mismo material.

Es atribuible al cambio del estado de enlace de los átomos o las moléculas que construyen las partículas. Por ejemplo, como se muestra en la Fig. 29, si un cubo de 1 cm de lado se divide en un cubo de 1 mm, el número de partículas aumenta a 10¹² y al dividirse en el de 10 nm, entonces asciende a 10¹⁸, donde la fracción de los átomos o las moléculas ubicadas en la superficie de las partículas juega un papel importante porque son más activas que las que están dentro de las partículas sólidas debido a la mano libre, lo que conduce a una fácil unión con los materiales en contacto y provoca varios cambios en las propiedades de las partículas.

El diámetro del átomo de hidrógeno más pequeño es de 0,074 nm y el del átomo de plomo relativamente grande (el número atómico es 82) es de 0,35 nm. A partir de estos tamaños, se estima que la partícula con un tamaño de 2 nm consta de solo varias decenas a miles de átomos.

Cuando la partícula está formada por moléculas más grandes, el número disminuye aún más. La Tabla 1 muestra la relación entre el tamaño de partícula y la fracción del número de átomos ubicados en la superficie de la partícula con una suposición de distancia atómica de 0,2 nm.

| Number of atoms in a side | Number of atoms at the surface | Total number of atoms | Number ratio of surface of atoms to the total (%) | Examples of particle size and powder |
|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|---|--------------------------------------|
| 2 | 8 | 8 | 100 | |
| 3 | 26 | 27 | 97 | |
| 4 | 56 | 64 | 87.5 | |
| 5 | 98 | 125 | 78.5 | |
| 10 | 488 | 1000 | 48.8 | 2 nm |
| 100 | 58,800 | 1 × 10 ⁶ | 5.9 | 20 nm (colloidal silica) |
| 1000 | 6 × 10 ⁶ | 1 × 10 ⁹ | 0.6 | 200 nm (titanium dioxide) |
| 10,000 | 6 × 10 ⁸ | 1 × 10 ¹² | 0.06 | 2 μm (light calcium carbonate) |
| 100,000 | 6 × 10 ¹⁰ | 1 × 10 ¹⁵ | 0.006 | 20 μm (green tea powder, chalk) |

1 m = 1 × 10⁶ μm = 1 × 10⁹ nm.

Tabla 1. Tamaño de partícula sólida y fracción de átomos situados en la superficie de partícula

Se indica que la fracción de átomos superficiales de una partícula cúbica de 20 nm es sólo del 0,006%, pero aumenta al 0,6% para una partícula de 200 nm y luego se estima que casi la mitad de los átomos se sitúan en la superficie de una partícula de 2 nm. [16]

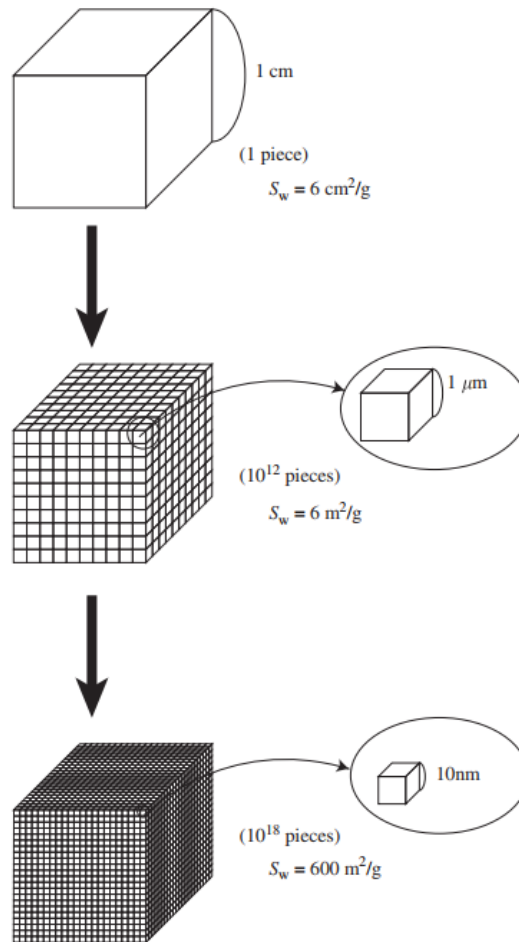


Fig. 29 Cambio de la superficie específica por miniaturización de un cubo sólido asumiendo la densidad sólida de $1\text{g}/\text{cm}^3$

Aumento de Superficie

Por otro lado, como la micronización de partículas sólidas, el área superficial específica aumenta generalmente en proporción inversa al tamaño de partícula. En el caso mencionado, cuando la partícula de 1 cm se microniza a 1 mm y 10 nm, el área superficial específica se vuelve diez mil y un millón de veces, respectivamente. Dado que el aumento del área superficial específica influye directamente en propiedades tales como

la solución y las velocidades de reacción de las partículas, es una de las principales razones por las que las propiedades únicas de las nanopartículas difieren del material a granel junto con el cambio en las propiedades superficiales de las partículas en sí. [16]

Evaluación del Tamaño de Nanopartículas

Para dilucidar el cambio en las propiedades y características de las nanopartículas con el tamaño de partícula, es esencial en primer lugar medir con precisión el tamaño de las nanopartículas. El método más básico para medir el tamaño de las nanopartículas es el análisis del tamaño de la imagen utilizando el microscopio electrónico de transmisión (TEM), que también podría proporcionar la distribución del tamaño de las partículas. Para este análisis, la cuestión clave es la preparación de las partículas bien dispersas en el montaje de la muestra. El tamaño de grano de las partículas se puede obtener a partir del ancho del pico a la mitad de la altura en el análisis de difracción de rayos X (XRD) y se considera como un tamaño de partícula primaria promedio de las partículas.

Mientras tanto, el método de difracción y dispersión láser, que es popular para el análisis de tamaño de partículas de tamaño micrométrico, difícilmente mediría el tamaño de partícula de nanopartículas individuales sino el de las partículas aglomeradas. El método de correlación de fotones que se usa a menudo para el análisis de partículas en el rango nanométrico podría no dar resultados precisos en muchos casos, cuando la distribución del tamaño de las partículas es amplia. Luego, la medición de superficie específica de BET (Brunauer Emmette Teller) basada en la adsorción de gas se aplica a menudo como un método simple para evaluar el tamaño de las partículas primarias de tamaño nanométrico.

Mediante este método, es posible estimar el tamaño de partícula a partir del área de superficie específica bajo el supuesto de forma de partícula esférica. Este tamaño de partícula equivalente basado en el área de superficie específica es útil para la evaluación del tamaño de nanopartícula, aunque puede diferir del tamaño de partícula observado por el microscopio electrónico según el estado de la superficie y la estructura interna de las partículas. [16]

Propiedades de nanopartículas y efecto de tamaño

Como se mencionó anteriormente, con la disminución del tamaño de partícula, las partículas sólidas generalmente tienden a mostrar propiedades diferentes del material a granel e incluso las propiedades físicas, como el punto de fusión y la constante dieléctrica, que se han considerado como propiedades específicas, pueden cambiar cuando las partículas se vuelven en varios nanómetros de tamaño. Estos cambios en las propiedades fundamentales con el tamaño de partícula se denominan "efecto de tamaño" en un sentido más estricto. Por el contrario, en un sentido más amplio, también podría incluir el cambio en las diversas características y comportamientos de partículas y polvos con el tamaño de partícula.

Las nanopartículas tienen varias características únicas en cuanto a propiedades morfológicas/estructurales, propiedades térmicas, propiedades electromagnéticas, propiedades ópticas y propiedades mecánicas, como se describe brevemente a continuación:

A. Propiedades morfológicas/estructurales

El tamaño ultrafino de las nanopartículas en sí es una de las funciones útiles. Por ejemplo, las partículas más finas tienden a absorberse más fácilmente a través de la membrana biológica. Se conoce como efecto mejorado de permeación y retención que las partículas que tienen un tamaño de partícula de aproximadamente 50 a 100 nm, que no se transferirían a las células normales a través de la pared vascular, podrían administrarse selectivamente a ciertas células afectadas. debido a la brecha celular agrandada de esta parte.

Como se mencionó anteriormente, la gran área superficial específica de las nanopartículas es una propiedad importante para la reactividad, solubilidad, rendimiento de sinterización, etc., relacionada con la transferencia de masa y calor entre las partículas y sus alrededores desde el punto de vista morfológico además del control de la superficie y las estructuras internas de las nanopartículas. Además, la estructura

crystalina de las partículas puede cambiar con el tamaño de las partículas en el rango nanométrico en algunos casos.

Uchino et al. informó que a partir del análisis XRD de la constante de red del polvo de BaTiO₃ preparado por el método de síntesis hidrotérmica, la relación de longitud del eje c/a que muestra las características tetragonales disminuyó para indicar la propiedad simétrica creciente con la disminución del tamaño de partícula desde aproximadamente 200 nm como se muestra en la Fig. 30.

Se considera que esto es atribuible a la fuerza de compresión ejercida sobre las partículas como resultado de la tensión superficial de la propia partícula. Para PbTiO₃, se informa que los cristales tetragonales disminuyeron y el cristal cúbico aumentó en las partículas desde el tamaño de partícula de aproximadamente 18 nm. De esta manera, el tamaño de partícula crítico para la estructura cristalina y el efecto del tamaño difieren con los materiales en cuestión.

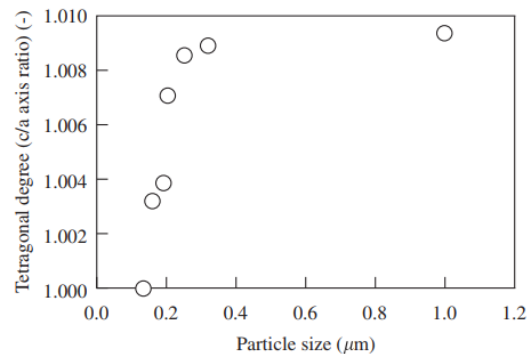


Fig. 30 Relación entre el tamaño de partícula y el grado tetragonal (c/a relación eje) de polvo de BaTiO₃

B. Propiedades térmicas

A medida que los átomos y las moléculas ubicados en la superficie de la partícula se vuelven influyentes en el orden de los nanómetros, el punto de fusión del material disminuye con respecto al del material a granel porque tienden a moverse más fácilmente a la temperatura más baja.

Por ejemplo, el punto de fusión del oro es de 1336 K en masa, pero comienza a disminuir notablemente por debajo del tamaño de partícula de aproximadamente 20 nm y drásticamente por debajo de 10 nm y luego se vuelve más de 500 o más bajo que el del oro en masa, alrededor de 2 nm. La reducción del punto de fusión de las partículas ultrafinas se considera una de las características únicas de las nanopartículas relacionadas con la agregación y el crecimiento de grano de las nanopartículas o la mejora del rendimiento de sinterización de los materiales cerámicos.

C. Propiedades ópticas o electromagnéticas

Las nanopartículas se utilizan como materia prima para una serie de dispositivos electrónicos. Las propiedades eléctricas y el tamaño de partícula de estas nanopartículas juegan un papel importante en la mejora del rendimiento del producto. Como ejemplo, existe una fuerte demanda de materiales con una constante dieléctrica alta para desarrollar dispositivos electrónicos pequeños y delgados. Con este fin, se ha confirmado mediante el análisis XRD, por ejemplo, que la constante dieléctrica del PbTiO_3 tiende a aumentar considerablemente a medida que las partículas se vuelven más pequeñas que aproximadamente 20 nm. Mientras tanto, también se sabe que cuando la constante dieléctrica se mide con un gránulo preparado presionando estas nanopartículas, muestra un pico con la materia prima alrededor de 100 nm y disminuye con la disminución del tamaño de partícula, lo que es atribuible a la influencia del grano. límite y vacío en la pastilla.

Por otra parte, el tamaño mínimo de partícula para mantener la propiedad ferroeléctrica (tamaño crítico) difiere según el tipo y composición de los materiales. Según la literatura que resume los datos de varios tipos de materiales, varía de 7 nm para PbTiO_3 a 317 nm para compuestos Ba,Pb y Ti. El punto de Curie definido como el punto que cambia del material ferroeléctrico a la fase paraeléctrica de PbTiO_3 se reduce drásticamente con la disminución del tamaño de partícula por debajo de 20 a 30 nm, como se muestra en la Fig. 31. En cuanto al punto de Curie, se han propuesto algunas ecuaciones para su estimación.

En cuanto a la propiedad magnética, las partículas finas ferromagnéticas tienen una estructura de dominio magnético único, ya que se vuelven muy pequeñas, del orden de menos de 1 μm , y muestran propiedades superparamagnéticas, cuando se vuelven más finas.

En este caso, aunque las partículas individuales son ferromagnéticas con la estructura de un solo dominio magnético, las partículas colectivamente se comportan como paramagnéticas. Se magnetiza en su conjunto en la misma dirección del campo magnético externo pero la magnetización desaparece por la fluctuación térmica, cuando se quita el campo magnético externo.

El tiempo de desaparición de la magnetización depende del tamaño de las partículas, es decir, la magnetización del material responde rápidamente con el campo magnético externo como paramagnético cuando las partículas son lo suficientemente pequeñas, pero disminuye gradualmente a medida que el tamaño de las partículas aumenta. Como resultado de dicho cambio en las propiedades electromagnéticas de las nanopartículas, se sabe, por ejemplo, que el oro, que es una sustancia estable a granel, muestra características catalíticas únicas como nanopartículas.

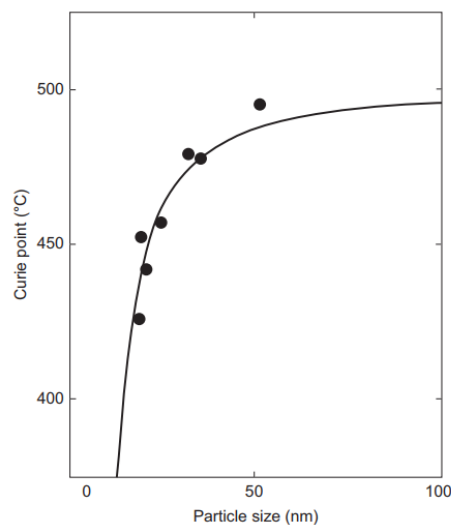


Fig. 31 Cambio del punto Curie PbTiO_3 con su tamaño de partícula

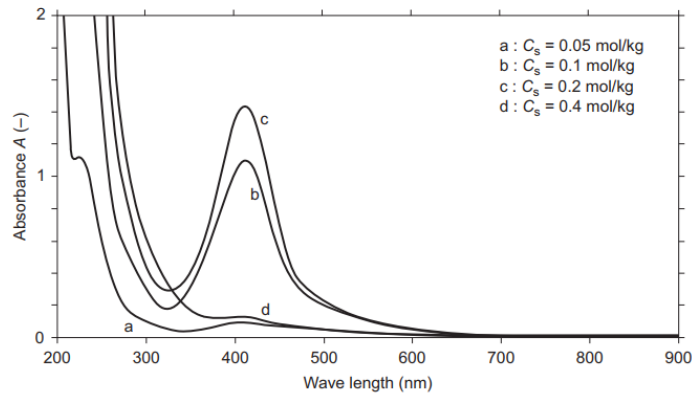


Fig. 32 Efecto de la concentración de tensioactivos no iónicos C_s sobre la absorción plasmónica de nanopartículas de plata $C_s=(a)$ 0.05, (b) 0.1, (c)0.2, y (d) 0.4 mol/kg

D. Propiedades mecánicas

Se sabe que la dureza de los materiales cristalinos generalmente aumenta con la disminución del tamaño cristalino, y que la resistencia mecánica de los materiales aumenta considerablemente al micronizar la estructura del material metálico y cerámico o al componerlos en el rango nano. Además, con el material cerámico que tiene un tamaño cristalino inferior a varios cientos de nanómetros, se observa el fenómeno superplástico único que se extiende de varias a varios miles de veces desde el tamaño original a la temperatura elevada por encima del 50 % del punto de fusión, lo que puede brindar la posibilidad de formar y procesar materiales cerámicos como materiales metálicos. [16]

Condiciones existentes de las partículas y sus propiedades

Las nanopartículas suelen exhibir funciones colectivas. Por lo tanto, el estado de dispersión y las condiciones circundantes, además de las propiedades físicas de las propias partículas, son importantes. En muchos casos, las nanopartículas existen como agregados de las partículas primarias por adhesión y unión durante el proceso de producción debido a su alta adhesividad.

El estado existente de las nanopartículas está muy influenciado por las condiciones del entorno si están en estado gaseoso, líquido, sólido o en el vacío y qué tipo de interacción

tienen con los materiales circundantes. Las nanopartículas rara vez se utilizan solas, sino que se dispersan en otros materiales o se combinan con ellos. El proceso de dispersión de las nanopartículas es clave para la tecnología de nanopartículas y sus métodos de preparación porque el rendimiento de los productos finales se ve afectado por sus condiciones de dispersión.

De esta manera, se espera con gran posibilidad desarrollar varios materiales nuevos y aplicaciones mediante la producción y procesamiento de nanopartículas con tecnología de nanopartículas, que tienen diferentes propiedades del material a granel por los efectos de tamaño, como se mencionó anteriormente y en las siguientes secciones. [16]

Ecuaciones de Maxwell y la propagación de la onda electromagnética

La interacción de los metales con los campos electromagnéticos se puede entender firmemente en un marco clásico basado en las ecuaciones de Maxwell. Incluso las nanoestructuras metálicas con tamaños del orden de unos pocos nanómetros se pueden describir sin necesidad de recurrir a la mecánica cuántica, ya que la alta densidad de los portadores libres da como resultado espaciamientos diminutos de los niveles de energía de los electrones en comparación con las excitaciones térmicas de energía kBT en temperatura ambiente. [16]

Plasmónica

La reciente aparición de la plasmónica, la ciencia y la tecnología de las nanoestructuras metálicas que interactúan con la luz, se basa en los modos de polaritón de plasmón superficial (SPP) en superficies planas y la resonancia de plasmón superficial localizada (LSPR) en nanopartículas metálicas, dos fenómenos que se manifiestan exclusivamente en la nanoescala. En consecuencia, la plasmónica es uno de los ejemplos más característicos de lo que hoy en día se denomina 'nanotecnología', a pesar de manifestarse desde la antigüedad y explicarse teóricamente desde los primeros años del siglo XX. Por lo tanto, la plasmónica promete avances radicales en dispositivos electrónicos, biodetección, catálisis y fotoquímica, recolección de energía solar,

fotodetección, almacenamiento óptico de información, telecomunicaciones y metamateriales.

Estas aplicaciones se basan, a su vez, en la alta resolución espacial de SPP y LSPR, que está por debajo del límite de difracción de la luz, la respuesta ultrarrápida de los sistemas plasmónicos, la absorción y dispersión de luz maximizadas, la elevación de los electrones del metal a un estado caliente y, lo que es más importante, la creación de campos cercanos extremos que dan como resultado señales Raman mejoradas y de fluorescencia de moléculas adyacentes y la mayor probabilidad de emisión del campo de electrones en las longitudes de onda de resonancia. [17]

Plasmones superficiales localizados

Las nanoesferas de oro dispersas en una solución son de color rojo rubí, ya que la luz verde interactúa con los electrones de las nanoesferas y se adsorbe. Este fenómeno se denomina resonancia de plasmones de superficie localizada (LSPR). La resonancia de plasmones de superficie localizada se produce no solo en nanopartículas metálicas, sino también en una punta metálica afilada y en una superficie metálica rugosa. Estos fenómenos LSPR se aplican a la mejora de la microscopía de barrido de campo cercano, la dispersión Raman y la espectroscopia de fluorescencia. LSPR tiene las siguientes características:

1. Confinamiento de la luz dentro de una región nanométrica.
2. La condición de resonancia sensible a la constante dieléctrica del medio ambiente.
3. Un gran campo eléctrico producido en la condición LSPR.

Recientemente, se han desarrollado dispositivos y sensores nano y microfotónicos basados en LSPR.

Aquí se considera la respuesta óptica de una nanoesfera descrita en la fig. 33 (A). Suponga la constante dieléctrica de la nanoesfera $\epsilon_a(l)$ y la del medio ambiente $\epsilon_m(l)$ a una longitud de onda l . Si el tamaño de la nanoesfera es mucho más pequeño que la

longitud de onda de la luz, la polarizabilidad de la nanoesfera se puede describir de la siguiente manera.

$$\alpha(\lambda) = 4\pi\varepsilon_m(\lambda)r^3 \frac{\varepsilon_a(\lambda) - \varepsilon_m(\lambda)}{\varepsilon_a(\lambda) + 2\varepsilon_m(\lambda)} \quad (1)$$

Donde r representa el radio de la nanoesfera. La polarizabilidad $\alpha\lambda$ es máxima con el mínimo valor absoluto del denominador. Cuando la nanoesfera se cubre con una película delgada dieléctrica con un espesor d y constante dieléctrica $\varepsilon_d(\lambda)$, Eq. (1) se reescribe como:

$$\alpha(\lambda) = 4\pi\varepsilon_m(\lambda)(r + d)^3 \frac{\varepsilon_d(\lambda)\varepsilon_A(\lambda) - \varepsilon_m(\lambda)\varepsilon_B(\lambda)}{\varepsilon_d(\lambda)\varepsilon_A(\lambda) + 2\varepsilon_m(\lambda)\varepsilon_B(\lambda)} \quad (2)$$

donde los parámetros se describen como:

$$\varepsilon_A(\lambda) = \varepsilon_a(\lambda)(3 - 2P) + 2\varepsilon_d(\lambda)P \quad (3)$$

$$\varepsilon_B(\lambda) = \varepsilon_a(\lambda)P + \varepsilon_d(\lambda)(3 - P) \quad (4)$$

$$P = 1 - \left(\frac{r}{r+d}\right)^3 \quad (5)$$

La Fig. 33 (C) muestra la eficiencia de dispersión de nanoesferas de oro de 40 nm de diámetro cubiertas con una película dieléctrica delgada ($\varepsilon_d(l) = 2,25$), en la que los espesores de la película dieléctrica son de 2, 5 y 10 nm. El espesor de la película delgada y sus propiedades ópticas pueden comprobarse midiendo espectros de dispersión o espectros de absorción, que se determina mediante $a(l)$.

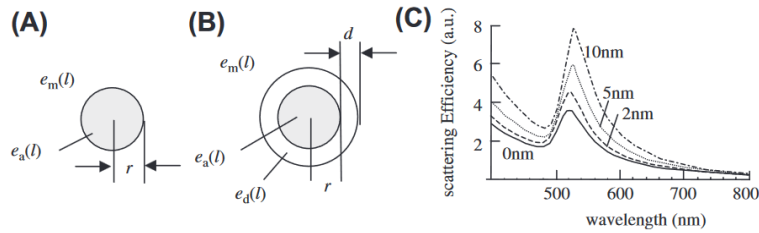


Fig. 33 (A) Geometría óptica de una nanopartícula. (B) Geometría óptica de una nanopartícula cubierta con una película dieléctrica. (C) Eficiencia de dispersión calculada de nanopartículas de oro con varios espesores de películas dieléctricas.

Dos métodos de detección utilizando plasmón

Hay dos tipos de sensores bioquímicos y químicos que utilizan LPR en nanopartículas metálicas. Uno es el sensor que prueba la afinidad entre moléculas (biosensor de afinidad) y el otro es un sensor Raman que proporciona un espectro de vibración. El primero se basa en la característica de LPR que la condición de resonancia es sensible a las constantes dieléctricas del medio ambiente, y este último se basa en el fenómeno de que se produce un gran campo eléctrico en la condición de resonancia. El gran campo eléctrico nos proporciona una gran mejora de la señal Raman. Esto se llama superficie mejorada.

Dispersión Raman (SERS). Debido a que la señal Raman suele ser débil, debe mejorarse para sondear la señal de películas muy delgadas o estructuras nanométricas. Ambos sensores tienen caracteres diferentes como se describe en la última parte del texto.

Las moléculas del receptor, que tienen afinidad con las moléculas del analito, como las proteínas y el ADN, se inmovilizan en la superficie de un sustrato o nanopartículas. El oro se utiliza como sustrato o materiales de nanopartículas porque es inerte.

Cuando una solución de muestra involucra moléculas de analito, estas reaccionan con las moléculas receptoras inmovilizadas en la superficie, lo que resulta en un aumento en el espesor de la capa dieléctrica de la superficie. Aunque el tamaño del ADN y las proteínas están en el rango de 1 a 10 nm, el promedio en el aumento de espesor es del

orden de 0,01-0,1 nm porque las moléculas no forman una estructura densamente empaquetada. Por lo tanto, se necesita un método altamente sensible que pueda probar un aumento tan pequeño en el espesor. El método ampliamente utilizado es el marcaje con cromóforo fluorescente. Es un método muy sensible, pero se requiere un proceso de etiquetado. Se han desarrollado métodos sin etiquetas, resonancia de plasmón superficial (SPR) en geometría de reflexión total atenuada (ATR) y microbalanza de cristal de cuarzo. Son buenas sondas que pueden monitorear el pequeño aumento en el espesor de la capa superficial. Sin embargo, es difícil hacer las sondas con un tamaño de micrómetros.

Por otro lado, los sensores LPR que utilizan nanopartículas metálicas tienen las siguientes características notables. Las sondas del sensor LPR son pequeñas y la configuración óptica es simple. En principio, el sensor se puede fabricar con una nanopartícula. Se muestra una imagen esquemática del sensor LPR de fibra óptica que desarrollaron los autores. La luz de retorno del extremo de la fibra óptica se mide para la biodetección. Las nanopartículas de oro se inmovilizan en el extremo con una cobertura superficial de 10%-30%. La luz de retorno involucra ambos componentes de la luz reflejada en la superficie y la luz dispersada por las partículas.

Debido a que el diámetro de la fibra óptica es pequeño, w100 μ m (el diámetro del núcleo es de 5 a 50nm), se puede sondear proteínas en una solución de 50 nL usando un portamuestras especial, mientras que un sistema SPR actual requiere un volumen de muestra de w50 mL. Esta característica tiene una gran ventaja porque la cantidad de moléculas biológicas suele ser pequeña.

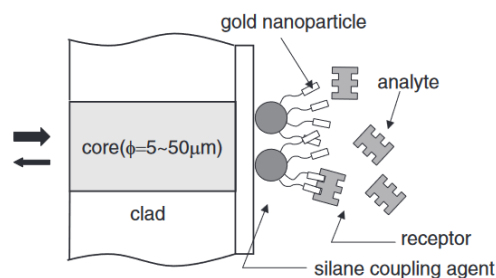


Fig. 34 Imagen esquemática del sensor de fibra óptica.

Las nano partículas de oro con las moléculas del receptor se inmovilizan en un extremo de una fibra óptica. Cuando la solución de la muestra implica las moléculas del analito, ellas atadas al receptor, y el cambio en la eficacia de dispersión ocurre. Como resultado, la intensidad de luz de retorno y el espectro cambian.

Para una investigación exhaustiva de las proteínas y el ADN, se necesita la matriz de detección para realizar la detección multicanal. Los chips de ADN se han utilizado ampliamente en estos días, pero se requiere un proceso de etiquetado. Como una etiqueta libre detección, se ha investigado la matriz de detección SPR que utiliza la óptica ATR. LPR en nanopartículas metálicas también se puede utilizar para matriz de detección sin etiquetas. Debido a que este sistema es simple, es posible hacer un chip de matriz de detección de alta densidad.

También se ha prestado atención al sensor SERS en los últimos años. El sensor proporciona información de vibración y rotación en una molécula para que los detalles de las estructuras moleculares estén disponibles. La espectroscopia SERS se descubrió en la década de 1970, y muchos estudios han revelado que el origen de la gran mejora se atribuye a dos razones: una es la razón principal por la que se produce un gran campo eléctrico en una superficie plateada rugosa y la otra es una adicional razón que la vibración molecular aumentada en la adsorción de moléculas en una superficie de plata.

Recientemente, se encontró una gran mejora de la señal SERS en un sistema de nanopartículas de plata agregadas, y se informó la espectroscopia Raman de una sola molécula. Se han desarrollado sustratos que proporcionan una gran señal SERS. Estos esfuerzos nos permiten realizar espectroscopia Raman sin utilizar técnicas especiales. Además, se han informado sistemas Raman portátiles.

En resumen, LPR en nanopartículas metálicas ofrece muchas aplicaciones potenciales para sensores ópticos. Los campos son amplios, como la química, la biología, la medicina, la ingeniería del genoma, la ciencia de los materiales y la electrónica. [18]

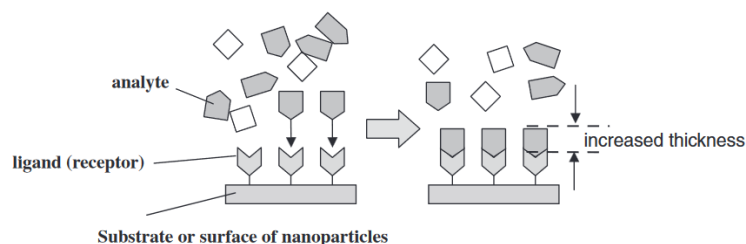


Fig. 35 Principio de biosensor de afinidad. Cuando las moléculas de analito se unen a los receptores, el espesor medio de la capa superficial aumenta.

Desarrollo

Siendo la plasmónica la rama de estudio que abarca la interacción de la materia con la radiación electromagnética típicamente en el régimen óptico (escala micro y nanométrica), centra su particular interés en el análisis de la resonancia superficial (nanopartículas presentes en las capas superficiales de algún material). Una de las primeras observaciones registradas históricamente sobre el fenómeno plasmónico (antes de saber que lo era) puede rastrearse a la época de fabricación y uso de la copa de Lycurgo (Roma, siglo IV) [19], cuyo color que se observaba, dependía de las características de la luz que incidiera sobre ella; hoy se sabe que durante su proceso de fabricación, el vidrio utilizado se "contaminó" con cobre, dando lugar a pequeñas partículas de este material con cierta homogeneidad distribuidas en la superficie de la copa.

Si bien este hecho no representa más que una peculiar propiedad de un objeto, las implicaciones de llegar a conocer la forma en que la luz es afectada por este fenómeno resultaron ser de un alto impacto científico y tecnológico moderno.

Puede datarse el origen formal de la plasmónica en su más reciente concepción a partir de la década de los 80 [20] y sigue siendo un vasto campo de conocimiento aún por explorar, en particular a partir de que ha sido posible crear estructuras tanto por métodos de autoensamblado químico [21, 22] como con técnicas de fabricación por litografía de haces de electrones [23].

Aplicaciones como sensores de fibra óptica con base en la plasmónica o la resonancia plasmónica superficial localizada [24], así como la microscopía de súper alta resolución [25] son sólo posibles si se conocen y diseñan con precisión algunos de los parámetros de las nanopartículas involucradas en estos procesos.

En el caso particular de las nanoestructuras obtenidas por autoensamblado, algunas geometrías han resultado con variaciones inesperadas o incrementadas a las originalmente concebidas por diseño; geometrías que ahora son susceptibles de análisis tanto para su caracterización como para sus posibles aplicaciones, como es el caso las estructuras de geometría estelar con cobertura de oro que serán caracterizadas en el presente proyecto con el objetivo de evidenciar sus propiedades y aplicaciones potenciales.

La fabricación de estructuras de geometría estelar por autoensamblado químico ha sido propuesta en “Mapeo de radiación eléctrica de nanoantenas de óxido de plata/zinc mediante holografía electrónica” [3] y se han llevado estudios sobre su respuesta electromagnética como en “Propiedades de resonancia de nanoestructuras de Ag-ZnO a frecuencias de terahercios” [26] y sugerido aplicaciones como en “Análisis numérico de mecanismos de recepción/transmisión de nanoantenas de ZnO/Ag” y “Bolómetro nanoestructurado autoensamblado de plata/óxido de zinc” [27, 28].

Por la forma geométrica adquirida, es factible suponer una respuesta similar a las antenas "Yagi-Uda" como se ha sugerido en [27], sin embargo por la simetría en la longitud de los brazos no es posible asegurar que en frecuencias ópticas se podría garantizar la direccionalidad y amplificación, además de que la propuesta de análisis que se llevará a cabo, implica revisar las propiedades plasmónicas al recubrir tal estructura con oro situación que no se estudia en ninguna de las referencias ni se encuentra en la literatura más reciente.

Por otra parte, es también factible construir la estructura tomando como base un único periodo de brazos emergentes del nanohilo de plata, por medio de litografía por haces de electrones de modo que puedan extenderse las propiedades que se obtengan del

análisis de las geometrías (tridimensionales) originales a una posible estructura pseudo bidimensional, útil en aplicaciones plasmónicas superficiales. La fabricación y caracterización física de estos dispositivos se prevé como una continuación de las investigaciones al término del presente proyecto.

A través de la resolución de las ecuaciones de Maxwell, específicamente aplicando el modelo de Drude-Lorentz, se abordarán los problemas de caracterización de la respuesta electromagnética de nanoestructuras en general.

La solución a las ecuaciones se llevará a cabo aplicando cálculo y simulación numérica con el método del elemento finito (MEF) en virtud de que dicho método permite evaluar prácticamente cualquier tipo de geometría, especialmente útil en geometrías complejas como las propuestas y, donde cada interacción del elemento finito respecto de los ubicados a su alrededor, resulta en una matriz proporcional al número de elementos para la que su resolución por métodos computacionales exige memoria (RAM real o virtual) y aritmética básica más que capacidades superiores de microprocesador [17].

Las pérdidas de campo eléctrico serán calculadas a través de la ecuación (6) donde un proceso iterativo permitirá identificar la mínima pérdida de una geometría en particular al ser sometida a un campo eléctrico donde x representa la geometría analizada.

$$f_1(x) = \min \left(\frac{1}{2} \text{Re}(\mathcal{J}_{tot} * E_{tot}) \right) \quad (6)$$

La máxima densidad de corriente (relacionada al campo eléctrico resonante de la nanoestructura) será calculado a través de la ecuación 7.

$$f_2(x) = \max (-\sigma \nabla \mathcal{V}) \quad (7)$$

Donde

$$\mathcal{J}_{tot} = \sigma \mathbf{E} \quad (8)$$

Siendo σ es la conductividad eléctrica y E_{tot} es el campo eléctrico sobre la geometría completa definida por la ecuación (9)

$$E_{tot} = \left(\mu_0 \int \left(J + \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \right) da \right) \quad (9)$$

y \mathcal{V} es el potencial eléctrico entre la base y la punta de la geometría obtenida. Para la corriente eléctrica de conducción, el flujo físicamente significa el número total de electrones fluyendo a través de una sección determinada por unidad de tiempo (conocida también como densidad de corriente).

La resolución a estas ecuaciones se llevará a cabo por medio del método del elemento finito. Si bien el método de diferencias finitas (FDM) y el método de momentos (MOM) son conceptualmente más simples de programar que el método de elementos finitos (FEM), el FEM resulta una técnica numérica más potente y versátil para el tratamiento a problemas que involucran geometrías complejas y medios o materiales no homogéneos, además de presentar características mucho más generales que lo hacen justamente independiente de aplicaciones específicas pudiéndose utilizar algoritmos y programas de computadora de propósito general para resolver una gran variedad de problemas con pocas o nulas modificaciones, sobre todo aquellos en los que los resultados de las investigaciones recientes obligan a revisar algunas propiedades (muchas de ellas de comportamiento no lineal) de los materiales nanoestructurados [20].

Cualquier análisis por elemento finito cubre básicamente cuatro pasos [21]:

- Subdividir la región de la solución (también conocido este proceso como “discretización”) en un número finito de subregiones o elementos.
- Establecer las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de cada elemento.
- Ensamblar las soluciones individuales de cada elemento para cubrir la totalidad de la región de solución.
- Resolver el sistema de ecuaciones resultante.

Para cada ecuación diferencial que define el comportamiento de un sistema en particular, es posible aplicar un procedimiento de mallado (mesh) específico y diferente, sin

embargo una de las propiedades que es posible explotar con el software contemporáneo es un estudio o análisis de múltiples fenómenos físicos interactuando simultáneamente (también conocido como “multifísica”) lo cual exige una propuesta de mallado general, único e independiente, lo que resulta ser una de las más grandes dificultades del método de elementos finitos si tal construcción se pretende llevar a cabo en forma manual, con las desafortunadas consecuencias adicionales en el consumo de tiempo y errores atribuibles al ser humano.

Los programas de cómputo eficientes que resuelven problemas asociados al método del elemento finito deben contemplar esquemas automatizados de generación de mallado, conocidos ahora en el argot computacional como mesh generators (generadores de mallado). Existen varios trabajos relacionados con propuestas de algoritmos que lidian con estos tópicos como en [22, 23].

En general, los algoritmos que generan el mallado cubren los siguientes aspectos [24]:

Definición de los bloques.

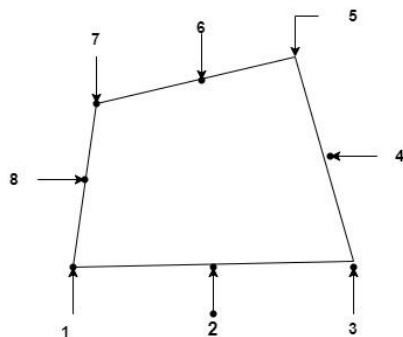


Fig. 36 Bloque cuadrilateral típico

La región de solución es subdividida en bloques cuadrilaterales. Los subdominios con sus respectivos parámetros constitutivos (σ, μ, ϵ) deben ser representados por bloques separados. Como dato de entrada, se deben especificar las topologías de los bloques y las coordenadas en ocho puntos que describen a cada bloque. Cada bloque estará representado por un elemento isoparamétrico cuadrático de ocho nodos.

Para cada bloque se especifica $N \text{ DIV } X$ y $N \text{ DIV } Y$, el número de elementos de subdivisión a ser creados en la dirección ζ y η respectivamente. Además, se especifican los factores de peso $(W\zeta)_i$ y $(W\eta)_i$ que permiten la generación del mallado dentro del bloque. Al especificar $N \text{ DIV } X$, $N \text{ DIV } Y$, $W\zeta$ y $W\eta$ se debe asegurar que las subdivisiones a lo largo de las interfaces del bloque (para los bloques adyacentes) son compatibles.

Tres tipos de elementos son permitidos: (a) elementos cuadrilaterales lineales de cuatro nodos, (b) elementos triangulares lineales de tres nodos, (c) elementos isoparamétricos cuadráticos de ocho nodos.

Después de la subdivisión de cada bloque y enumerar sus puntos por separado, es necesario conectar los bloques y tener cada nodo con una numeración única. Esto se logra comparando las coordenadas de cada nodo y asignando el mismo número a todos aquellos que tengan la misma coordenada, es decir se compara la coordenada del nodo 1 con todas las demás de los otros nodos, posteriormente se compara el nodo 2 con todas las demás y así sucesivamente hasta que todos los nodos que se hubieran repetido queden eliminados. Un ejemplo de esta etapa algorítmica puede ser encontrados en [25].

Elementos de órdenes superiores son aquellos en los que la función de forma o interpolación polinomial es de grado dos o mayor y como es de suponerse, la precisión en la solución del elemento finito puede incrementarse al usarse un mallado más fino, o usándose elementos de órdenes superiores o ambos. Desai y Abel [20] muestran un estudio comparativo entre las técnicas de refinamiento del elemento por un refinamiento en el mallado y por un incremento en el orden de la función de forma, pero en general elementos de órdenes menores logran alcanzar los mismos resultados finales en precisión.

Los elementos de órdenes superiores son particularmente útiles cuando el gradiente de la variable de campo se espera que varíe rápidamente, como en los casos en que la geometría bajo estudio contenga secciones no homogéneas o gradientes de materiales en su construcción. Se sugiere al lector la consulta de la bibliografía sugerida para el caso en que se deseara profundizar en este tema.

El programa de cómputo denominado COMSOL Multiphysics® [3] será el elegido como el software para el análisis numérico de las estructuras debido a sus habilidades nativas para resolver la física de estructuras nano y microscópicas por el método del elemento finito (MEF), además de poseer una capacidad única hasta ahora en el mercado del software, que permite llevar a cabo operaciones de cálculo con más de un fenómeno físico simultáneamente, como puede ser el análisis de la radiación electromagnética absorbida y/o reflejada por la nanoestructura y cómo esta acción le provoca un calentamiento que, por efecto Seebeck lo convierte en energía eléctrica (aquí se pueden apreciar tres fenómenos físicos diferentes: electromagnetismo, termodinámica y circuitos eléctricos) por dar sólo un ejemplo.

También de forma nativa este programa lleva a cabo el análisis matemático aplicando el método del elemento finito, lo que lo hace idóneo para ser implementado por un sistema de cómputo en el que lo más esencial resulta ser una gran cantidad de memoria RAM y no necesariamente altas prestaciones en microprocesador, con lo que se obtendrán resultados a un bajo costo computacional. Cabe hacer mención que la decisión del uso de este software no radica únicamente en un análisis cualitativo, sino que obedece a uno formal que puede encontrarse en la referencia [19].

También resulta adecuada la elección de este programa debido a que es completamente compatible con el segundo programa elegido: MATLAB®, el cual será usado para un preprocesamiento de la geometría, así como cálculos previos o paralelos a la simulación multifísica y el cual también aportará datos relevantes durante el proceso de análisis de aplicaciones de las nanoestructuras estudiadas.

Para efectos de poder vincular el COMSOL al Matlab, es necesario poseer el módulo denominado “LiveLink for Matlab®” de COMSOL [26] así como el módulo denominado “Optimization Toolbox” de Matlab [27] con el cual se llevarán a cabo operaciones de optimización geométrica de las nanoestructuras aplicando algoritmos evolutivos (genéticos mono y multiobjetivo para las pruebas de operación).

Para el caso de nanoestructuras que se prevé puedan ser utilizadas en el régimen de frecuencias ópticas, algunas constantes o cantidades deben ser revisadas como consecuencia de ciertas propiedades que suelen ser obviadas a macro escala, por ejemplo, el radio del alambre en las líneas de transmisión, o el efecto de resonancia plasmónica.

En particular, una de estas cantidades es el índice de refracción, el cual modifica significativamente el comportamiento del material dependiendo de la frecuencia (f) óptica en la que se esté operando y cuya función ha sido obtenida experimentalmente por [27] siendo aplicable hasta el rango de los Terahertz.

Para efectos ilustrativos, la ecuación 10 muestra la forma que toma la parte real del índice de refracción y la ecuación 11 muestra el comportamiento de la parte imaginaria de dicho índice, ambos para el caso del oro, que es el material con que las estructuras estelares serán recubiertas.

$$n = -0.51 - 3.05 x \frac{10^{40}}{f^3} + 8.7 x \frac{10^{27}}{f^2} + 7.07 x \frac{10^{13}}{f} \quad (10)$$

$$k = -0.85 + 3.5 x \frac{10^{39}}{f^3} - 5.76 x \frac{10^{27}}{f^2} + 2.2 x \frac{10^{15}}{f} \quad (11)$$

Una vez que se han definido las características generales en este modelo, COMSOL Multiphysics compila un conjunto de ecuaciones que representan al modelo. Se puede acceder a la potencia de cálculo y procesamiento de COMSOL como un producto independiente a través de su interfaz gráfica amigable o a través de programación externa de “scripts” o pequeños programas en Java o MATLAB (esto último requiere del módulo “LiveLink for MATLAB”). Usando estas interfaces físicas, se pueden implementar varios tipos de estudios que incluyen:

- Estudios estacionarios y dependientes del tiempo
- Estudios Lineales y No Lineales
- Estudios de respuesta modal, en Frecuencia

Para resolver los modelos, COMSOL Multiphysics usa el probado método del Elemento Finito (FEM) para las ecuaciones diferenciales parciales que los definen. El software ejecuta el análisis de elemento finito en conjunto con un mallado (en caso de que así sea seleccionado) y un control de errores usando una variedad de motores (algoritmos) de resolución numérica. Los estudios pueden hacer uso de sistemas con múltiples procesadores (procesamiento paralelo masivo) y “clusters” (arreglos) de computadoras y por tanto pueden realizarse trabajos de procesos por lotes. Una descripción más detallada de estos métodos matemáticos y sus fundamentos numéricos pueden encontrarse en la guía de referencia de COMSOL Multiphysics [4].

COMSOL Multiphysics crea secuencias para grabar todos los pasos con los que se construyeron las geometrías, mallado, estudios y propiedades del motor de cálculo, así como de la presentación y visualización de los resultados. También resulta sencillo parametrizar cualquier parte del modelo: basta con cambiar algún nodo del modelo en la sección del proyecto correspondiente y volver a ejecutar los cálculos. El programa recordará y volverá a aplicar toda la información y datos del modelo sin requerir rehacerlo por completo [3].

Dado que la precisión de las aproximaciones por elemento finito de las ecuaciones diferenciales parciales depende en gran medida de la suavidad con que converja la solución analítica bajo consideración, suposiciones precisas sobre la regularidad de la solución o de los datos obtenidos pueden ser convenientemente formulados considerando la clase adecuada de funciones con propiedades de diferenciabilidad e integralidad apropiadas llamadas espacios de la función [5].

Así pues, lograr la convergencia con eficacia y suavidad implicará la selección de la geometría y dimensiones en que se llevará a cabo la división de la estructura bajo análisis; por la posibilidad de abarcar espacios geométricos generales y por ende algunos de ellos que pudieran ser complejos, se hace uso de triángulos (para estructuras bidimensionales) o tetraedros (para estructuras tridimensionales) como la forma geométrica a ser utilizada en las aproximaciones polinomiales pero es factible

seleccionar también otros tipos de elementos para los mallados, como hexaedros, pirámides y prismas en tres dimensiones o cuadriláteros para dos dimensiones.

Una vez que se ha seleccionado la geometría para la segmentación de la estructura en elementos finitos y, dependiendo de los objetivos específicos de la simulación (velocidad de procesamiento, calidad del resultado, etc.) se selecciona el tamaño, forma y orden de los elementos geométricos que la compondrán conforme lo establezca el avance en las investigaciones.

Cuando se ha llevado a cabo la selección de todos los parámetros, los resultados de la descomposición de la estructura en sus unidades geométricas se obtienen el correspondiente mallado (o mesh). En la fig. 37 se observa el ejemplo de un mallado de una nanoantena tipo dipolo simple. La fig. 38 muestra la misma estructura sobre un sustrato en el Entorno Integrado de Desarrollo (IDE) de COMSOL, similar al que será utilizado en la presente propuesta de investigación, donde se puede apreciar que se requerirá un tratamiento especial al mallado para hacerlo más apropiado a las necesidades del experimento.

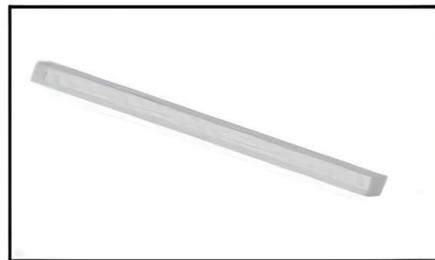


Fig. 37 Aspecto que toma una nanoestructura tras haberle aplicado el mallado correspondiente.

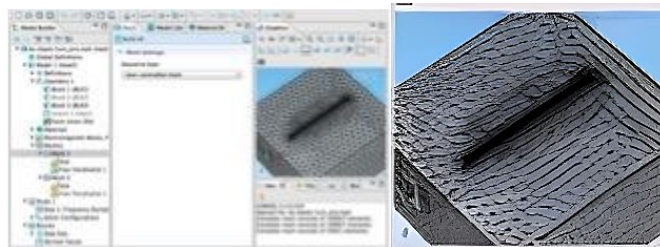


Fig. 38 Captura de pantalla de COMSOL Multiphysics que muestra el ejemplo del mallado del dipolo sobre un sustrato.

Conclusiones del equipo investigador

La Optoelectrónica es una parte de la fotónica relacionada con el estudio y aplicación de dispositivos electrónicos que interactúan con la luz, sistemas en los que los electrones y los fotones coexisten. Los dispositivos optoelectrónicos operan como transductores eléctrico- ópticos o ópticos-eléctricos.

Las estructuras optoelectrónicas han seguido evolucionando y han encontrado nuevas aplicaciones que se adecúan a las necesidades de nuestro país y el mundo al ser parte coadyuvante para el aprovechamiento de las energías limpias y/o renovables. Conocer a fondo sus características de operación, nos permite avanzar en la independencia tecnológica y aportar así a la soberanía energética, además de contribuir directamente a presentar soluciones viables del adecuado uso de la energía ante el cambio climático que son aspectos de prioridad nacional.

La Optoelectrónica permite generar, transportar y manipular datos a muy alta velocidad. Las principales aplicaciones de la optoelectrónica se centran en el campo de las comunicaciones, incluyendo comunicaciones de fibra óptica y sistemas láser. Sin embargo, las aplicaciones de la optoelectrónica se extienden a nuestra vida cotidiana, incluyendo los campos de la informática, la comunicación, el entretenimiento, los sistemas de información óptica, la educación, el comercio electrónico, la vigilancia del medio ambiente, la salud y el transporte. Por eso es de vital importancia continuar con el estudio de estos temas para poder conocer y descubrir más aplicaciones útiles.

Capítulo 9. Colaboración en proyecto “Análisis del seguimiento de partículas en fluidos”

Introducción

"Red de Producción y Almacenamiento de Energía", subsección de "Transversalidad en los Sistemas de Producción y Almacenamiento de Energía" agosto 2024

Proyecto de ciencia aplicada en el marco de la Convocatoria de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica 2024 del Tecnológico Nacional de México en la modalidad de Red de Investigación con registro 19342.24-P

Resumen

Se trata de un proyecto de ciencia aplicada, en el que se estudió el comportamiento de partículas inmersas en un fluido para caracterizar sus principales propiedades con el objetivo de sentar las bases para un posterior diseño de un separador / extractor del litio mezclado con silicatos, producto de la minería del litio.

El método para la caracterización de las partículas en el medio fluido fue la simulación numérica a través de la aplicación de la técnica del elemento finito, resolviendo las ecuaciones integrodiferenciales que definen la dinámica de un sistema fluidizado (partículas que presentan características peculiares cuando se encuentran en un flujo turbulento).

El proyecto involucró a alumnos de licenciatura y posgrado en conceptos como (pero no limitados a) tesis en desarrollo de maestría, residencias profesionales, servicio social o créditos complementarios y titulación por participación en proyecto de investigación.

Antecedentes

Una de las técnicas utilizadas en el sector metalúrgico para la separación del mineral de litio, consiste en someter la mezcla extraída (con impurezas) a un flujo de líquido (típicamente agua); durante este proceso el agua ya no puede volver a aprovecharse (reciclar) y queda contaminada, por lo que tampoco puede ser parte de algún otro uso o proceso.

La alternativa propuesta es que la fluidización de la mezcla sólida, con fines de separación del mineral de litio se lleve a cabo en aire, siendo posible con ello que, al final del proceso, las partículas remanentes no deseadas (típicamente compuestos de silicatos) se separen fácilmente del aire (gas), elimine la contaminación de agua y se reduzca de manera significativa la contaminación del aire.

La dificultad de la sustitución del agua por aire en el proceso de extracción del litio de las mezclas pulverizadas radica en el adecuado diseño de los recipientes contenedores de las mezclas, así como de la geometría de los infusores de aire y de comprender el comportamiento de la dinámica de las partículas en un medio gaseoso y las variables adicionales que aparezcan como consecuencia del cambio en el medio en que las partículas interactúan.

Se llevaron a cabo simulaciones numéricas con fines de caracterización del comportamiento de las partículas en un medio gaseoso para proponer (en una segunda etapa) el diseño del dispositivo extractor/separador del mineral de litio.

Es importante mencionar que se cuenta con algunos proyectos que sirvieron de soporte para el buen logro del este proyecto y que confirma la amplia experiencia adquirida. Los proyectos a los que se hace referencia se listan a continuación.

"Generación por simulación numérica de plasmones tridimensionales optimizados" con clave SLP-PYR-2017-031 con vigencia del 01 de septiembre del 2017 al 31 de agosto de 2018 con el siguiente dictamen: "..., demostró calidad suficiente para ser registrado ante esta Dirección, cabe mencionar que no será beneficiado con recursos económicos debido a limitaciones presupuestales".

"Implementación de un algoritmo genético para la optimización de nanoestructuras aplicadas en el cosechado de energía solar" con clave 6802.18-P con vigencia del 01 de junio del 2018 al 31 de mayo del 2019, financiado por un total de \$130,350.00.

"Caracterización por cálculo numérico de nanoestructuras autoensambladas de plata-óxido de zinc-oro (Ag/ZnO/Au)" con clave 5083.19-P con vigencia del 01 de enero al 31 de diciembre del 2019, financiado por un total de \$120,000.00.

"Diseño y caracterización numérica de nanocapacitores interdigitados evolutivos" con clave 9977.21-P con vigencia del 01 de enero al 31 de diciembre del 2021, financiado por un total de \$100,000.00.

Como puede apreciarse, se comenzó con estudios para comprender los fenómenos físicos asociados a la amplificación de las ondas electromagnéticas cuando interactúan con materiales nanoestructurados de características especiales llamados plasmones (primer proyecto); una vez que se entendió el fenómeno se le vislumbraron algunas aplicaciones, una en particular de utilidad práctica para convertir la energía lumínica en eléctrica a través de nanoantenas (segundo proyecto) para posteriormente revelar otra interesante aplicación para la detección de partículas y/o moléculas a través de nanoestructuras autoensambladas de plata-óxido de zinc-oro (proyecto 3) y continuando con la aplicación del algoritmo de optimización aplicado a nanocapacitores que complementan el almacenamiento de aquella conversión de energía lograda en los proyectos previos a través de nanocapacitores interdigitados.

El conocimiento científico y técnico alcanzado con estos proyectos, es aplicable a este nuevo reto que pudo resolver una problemática real, aplicando las técnicas de optimización y las habilidades en la simulación numérica.

La dinámica de fluidos por computadora (CFD por sus iniciales en inglés) es una herramienta auxiliar para la simulación del comportamiento y el análisis de datos asociados a los sistemas físicos reales de fluidos y cuyas ecuaciones pero también limitaciones, se encuentran descritas en el trabajo publicado por [29].

Si se añaden partículas a un fluido, este (el fluido) se mueve o desplaza a una cierta velocidad y se produce el fenómeno de fluidización, que consiste en un movimiento de las partículas dentro del fluido con características similares al medio fluídico en el que se encuentran inmersas, con algunas propiedades adicionales que se pueden caracterizar

siguiendo las propiedades multifísicas partícula-fluido. La Fig. 39 muestra un ejemplo de la influencia de la fluidización de partículas, sometidas a diferentes velocidades de flujo [30].

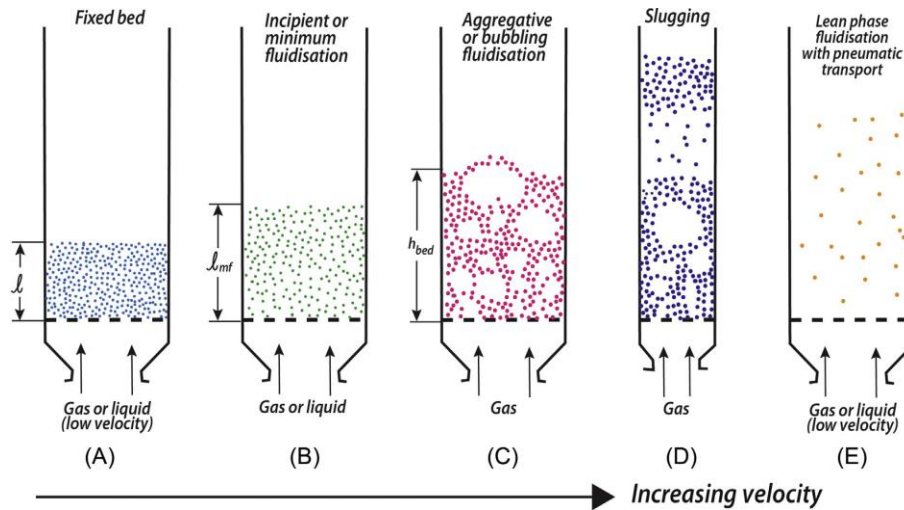


Fig. 39 Esquemático de varios regímenes de flujo de un sistema fluido-sólido. [30]

Las aplicaciones de la fluidización son amplias, algunas de ellas involucran la captura y uso del carbón cosechado, evitar el uso de combustibles fósiles, la producción de materiales funcionalizados y la producción de medicamentos y finos polvos químicos. Conocer el comportamiento y las variables involucradas en el proceso de fluidización con el fin de realizar una simulación numérica, permite anticipar los requerimientos de diseño y construcción de los mecanismos que realicen las tareas en las que se vea involucrado este proceso y significan retos computacionales específicos que son planteados en el trabajo de Yong Zhang y sus colegas [31] que se resumen convenientemente en la Fig. 40.

Humedad: (contenido de vapor de agua) de un gas puede afectar las cargas electrostáticas de las partículas, afectando así las propiedades y el arrastre desde los lechos fluidizados con gas. Esta propiedad se espera que juegue un papel relevante en etapas posteriores a este proyecto, cuando se pretenda llevar a cabo el proceso de separación de partículas por medios electrostáticos o magnéticos.

Absorbancia: La presencia de componentes gaseosos que se adsorben en la superficie de las partículas puede afectar las fuerzas entre partículas de Van der Waals, influyendo así en las propiedades de los lechos fluidizados, especialmente si las partículas son relativamente finas.

Diámetro de partícula: El tamaño de las partículas es muy importante en los procesos de fluidización. El tamaño se expresa como un diámetro, generalmente basado en el análisis de tamiz (cribado), como la media de los tamaños de abertura del último tamiz a través del cual pasó la partícula y el tamiz a través del cual no pasó. Para partículas no esféricas, esto corresponde aproximadamente a la dimensión máxima (o longitud de la cuerda) en la segunda de las tres direcciones principales (ortogonales). También se utilizan ampliamente varios diámetros equivalentes a esferas, como el diámetro equivalente en volumen (diámetro de una esfera con el mismo volumen que la partícula). De estos diámetros equivalentes, el promedio más apropiado para la fluidización es la media de Sauter:

$$d_{p32} = 6V_p/S_p \quad (1)$$

Forma de la partícula: En la práctica, relativamente pocas partículas de interés práctico son perfectamente esféricas. En ingeniería es común designar un único "factor de forma" para caracterizar el grado de desviación de lo esférico. El factor de forma más común es la "esfericidad", definida como

$$\text{Esfericidad} = \phi = \frac{\text{área de la superficie de una esfera del mismo volumen que la partícula}}{\text{Superficie real del área exterior de la partícula}} \quad (2)$$

En la práctica es difícil medir con precisión la superficie exterior de las partículas. Por lo tanto, la esfericidad a veces se estima suponiendo que es igual a su análogo bidimensional (2D).

$$\text{Circularidad} = c = \frac{\text{perímetro de la esfera de la misma área proyectada}}{\text{perímetro real proyectado de la partícula}} \quad (3)$$

Coeficientes de restitución (partícula-partícula y partícula-pared): El coeficiente de restitución es la relación entre la velocidad relativa de una partícula inmediatamente después de una colisión y la anterior a la colisión. Por tanto, un coeficiente de restitución de 1 corresponde a colisiones elásticas (sin pérdida de energía), mientras que un valor de 0 correspondería a una colisión perfectamente inelástica sin “rebote”. En la práctica, ninguna colisión es perfectamente elástica, por lo que los coeficientes de restitución son siempre <1 . Los coeficientes para las colisiones entre partículas difieren, en general, de los de las colisiones entre partículas y paredes; ambos coeficientes afectan el movimiento de las partículas fluidizadas al afectar la energía perdida cuando las partículas chocan entre sí y con las paredes del recipiente que las contiene.

Constante dieléctrica y conductividad eléctrica: La constante dieléctrica de las partículas y su conductividad eléctrica afectan la tendencia de las partículas a ganar y retener cargas electrostáticas.

Propiedades térmicas: El calor específico y la conductividad térmica de las partículas son propiedades importantes de las partículas que afectan la transferencia de calor.

Propiedades de bulto (bulk) de la partícula: Las partículas de interés en lechos fluidizados suelen tener un tamaño que puede analizarse convenientemente mediante análisis de tamiz (a veces llamado tamiz), aunque a menudo se utilizan otras técnicas, como los contadores Coulter y los mastersizer Malvern, para determinar las distribuciones de tamaño de partículas, particularmente cuando una fracción sustancial de partículas tienen menos de aproximadamente $40 \mu\text{m}$ de diámetro. El diámetro medio de partícula de mayor interés suele ser la media de Sauter (superficie-volumen) definida como

$$\bar{d}_p = 1 / \sum (w_i / d_{pi}) \quad (4)$$

donde w_i es la fracción en peso de partículas que tienen un tamaño medio de d_{pi} , a menudo determinada mediante análisis de tamiz. La distribución del tamaño de partículas a veces puede ajustarse mediante distribuciones bien conocidas, como la distribución logarítmica-normal o la distribución de Rosin-Rammler, pero experimentalmente las distribuciones de tamaño de partículas generalmente se representan gráficamente en forma acumulativa (porcentaje de masa menor que el diámetro de las partículas).

Velocidad mínima de fluidización: La velocidad superficial del gas o líquido a la que se inicia la fluidización, denominada velocidad mínima de fluidización y denominada U_{mf} , es una propiedad importante de las partículas y del fluidizante. Es independiente de la profundidad del lecho. Esta velocidad es importante para establecer el caudal mínimo requerido para lograr la fluidización en una columna determinada y también aparece en muchas de las relaciones resumidas en este libro para predecir otras propiedades de los lechos fluidizados. Esta sección trata sobre métodos para medir y predecir la velocidad mínima de fluidización.

Para el caso de la fluidización por gas, la clasificación Geldart del polvo:

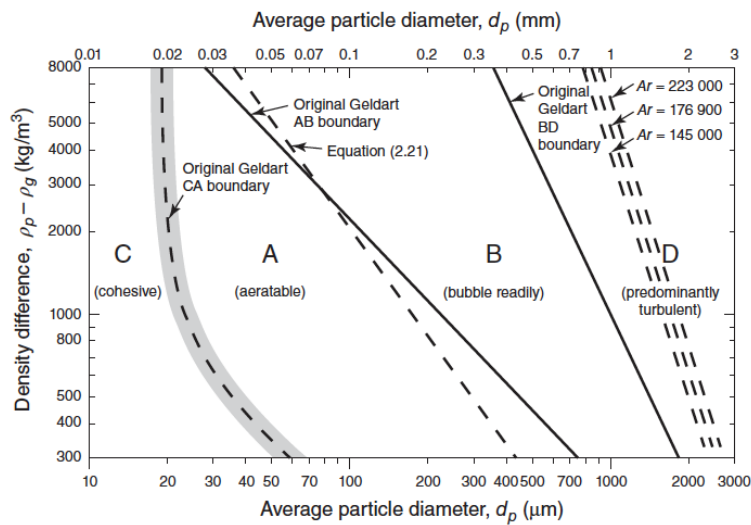


Fig. 41 Fronteras de grupo de la clasificación Geldart del polvo para la fluidización en aire a 20 °C y 1 atm de presión.

Desarrollo.

Todos estos parámetros habrán de ser cuidadosa y convenientemente ingresados al software de simulación que, para efectos de referencia, se considera como núcleo básico de la simulación el programa COMSOL Multiphysics [33], elegido por su capacidad para resolver más de una simulación física como lo es el caso del presente proyecto, donde se considerará la mecánica de fluidos, la trayectoria de partículas y posteriormente los métodos de optimización, a la par del uso de otros programas computacionales de apoyo o soporte como Matlab o Solid works (entre otros posibles).

Cabe mencionar que no basta el hecho de ingresar los datos de las variables asociados a la fluidización, sino que también debe realizarse un cuidadoso proceso de validación de los resultados parciales obtenidos en la simulación numérica, con el fin de que se consideren confiables para continuar con las siguientes etapas, estos procesos de validación se pueden encontrar en [34-36].

Objetivo general.

Caracterizar por simulación numérica el comportamiento de partículas de litio mezcladas con silicatos en un medio gaseoso (aire).

Objetivos particulares.

- Simular por el método del elemento finito, el comportamiento de partículas de litio mezcladas con silicatos en un medio gaseoso (aire).
- Validar, graficar e interpretar los resultados obtenidos por simulación numérica.
- Plantear el diseño preliminar de un infusor de aire que genere el comportamiento en las partículas adecuado para su posterior separación y extracción del mineral de litio.

Impacto o beneficio.

La separación de partículas de litio [37] de otros materiales suspendidas en un fluido, es un método sencillo y económico, pero ese fluido suele ser agua, ya que otras sustancias

pueden reaccionar químicamente con los elementos o la producción de otros fluidos distintos al agua para ser usados en ese proceso resultarían más costosos.

En última instancia, lo que se requiere para la separación de materiales, es que se encuentren fluidizados para seguir aprovechando la técnica de extracción convencional que ha probado ser óptima y de la cual existe una amplia experiencia y maquinaria comercial.

De poder ser sustituida el agua por aire y lograr la fluidización en un medio gaseoso, la separación de los residuos mezclados con el aire, producto de la extracción del mineral de litio, sería una tarea sencilla, prácticamente por gravedad tras un cierto tiempo de reposo o por filtrado a través de un medio poroso.

Con lo anteriormente expuesto, se tendrá la capacidad de eliminar la contaminación del agua y la purificación del nuevo medio fluido (el aire) de una manera sencilla y económica, beneficiando al sector de la producción del litio.

Por otra parte, antes de pretender la aparentemente simple tarea de sustituir la inyección de agua por aire, se debe conocer el proceso físico por el cual una partícula se considera encontrarse en un medio gaseoso fluido (fluidización de las partículas) que es distinto al que se produce por agua en estado líquido.

Así, la caracterización de esta nueva condición, se llevó a cabo por simulación numérica a través del método del elemento finito[38] para poder llevar a cabo todas las pruebas, cambios y mejoras que conlleven al posterior diseño y manufactura del mecanismo de fluidización.

Como perspectiva futura a corto plazo (próximas etapas de este mismo proyecto) se diseñarán, con base en los resultados obtenidos, el infusor de aire para la fluidización, así como el prototipo general de separación y extracción del mineral de litio.

A través de la aplicación del cálculo numérico y por el método del elemento finito [38, 39] se resolvieron las ecuaciones que rigen la dinámica del sistema multifísico fluido-partículas, donde el flujo toma las características de turbulencia (ecuaciones 5 a la 10).

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} = \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + (\mu + \mu_T)(\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T)] + \mathbf{F} \quad (5)$$

$$\rho \nabla \cdot \mathbf{U} = 0 \quad (6)$$

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)k = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k - \rho \varepsilon \quad (7)$$

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\varepsilon = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (8)$$

$$\mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (9)$$

$$P_k = \mu_T [\nabla\mathbf{u} : (\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T)] \quad (10)$$

donde las variables dependientes son la velocidad del fluido \mathbf{u} , presión y las llamadas variables de transporte k (energía cinética de turbulencia) y ε (tasa de disipación de la turbulencia).

La Fig. 42 muestra cualitativamente el comportamiento de la dinámica de las partículas resolviendo por cálculo numérico las ecuaciones mencionadas.

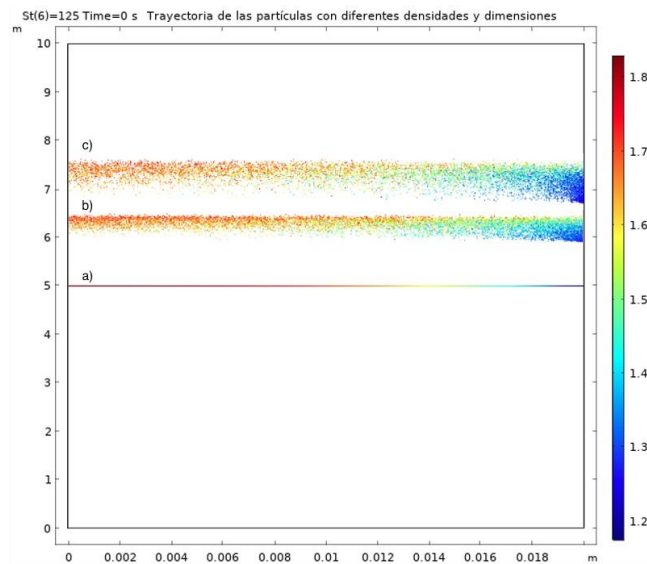


Fig. 42 Cálculo numérico de la ubicación de partículas con diferentes tamaños/densidades, sometidas a flujo. a) $T=0$. b) $T=0.76$ s, c) $T=1.27$ s.

Posteriormente se simuló el proceso de fluidización de partículas en un cilindro de cuya base emanará el flujo de aire en estado gaseoso, resolviendo por medio de software especializado (COMSOL Multiphysics), las ecuaciones del modelo conocido como "Reynolds-averaged Navier-Stokes" (RANS) donde la velocidad del fluido es tratada como la suma determinística promedio del flujo y una velocidad de perturbación aleatoria puede representar las corrientes de eddie.

La Fig. 43 muestra los resultados cualitativos de la simulación numérica de la dinámica de las partículas en el medio fluidizado como evolución en el tiempo, donde se puede observar la acumulación de las partículas más grandes en el centro del cilindro (silicatos), mientras que las más ligeras (litio) pasan la barrera correspondiente.

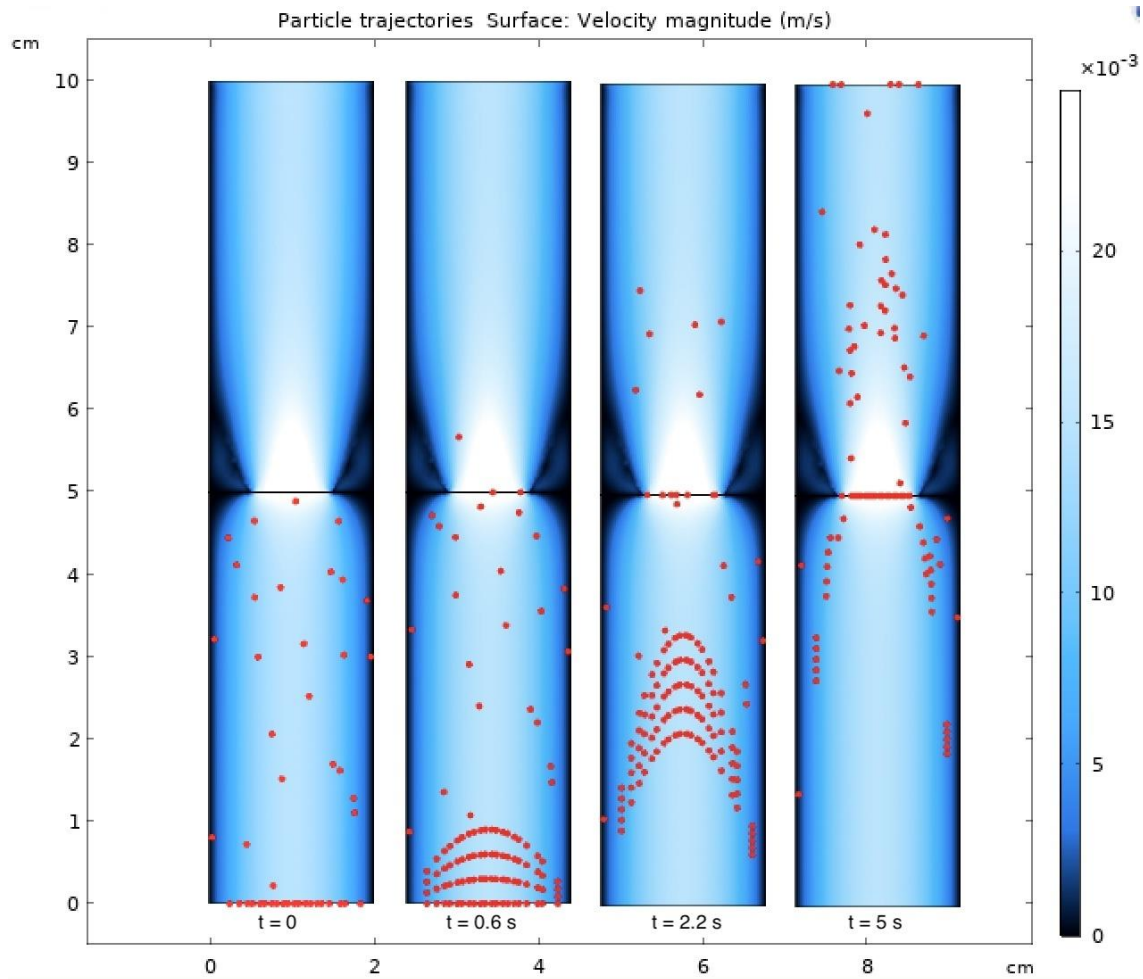


Fig. 43 Evolución en el tiempo de la dinámica de partículas en el medio fluidizado.

Dada la simetría biaxial del sistema es posible, inicialmente, simplificar el cilindro tridimensional a su equivalente en un plano (rectángulo) sin afectar los resultados coadyuvando a no sobrecargar innecesariamente el proceso computacional y pudiendo posteriormente extenderse esos resultados, una vez validados, a una geometría tridimensional a efectos de obtener una visualización realista del sistema completo.

Con los resultados (datos) obtenidos, se llevó a cabo un proceso de caracterización de las principales variables que intervienen en el fenómeno físico de fluidización de partículas, con lo que se revisó el comportamiento de la mezcla y la capacidad predictiva de la separación de partículas de distintas densidades (materiales) con el fin de extraer sólo aquellas de interés que, en este caso, corresponde a la separación del litio de los silicatos.

Conclusiones del equipo investigador

Los resultados de la presente investigación permitieron conocer la dinámica de las partículas mezcladas en una fluidización gaseosa y con esos resultados proponer un diseño del mecanismo de inyección de aire y de los elementos asociados a la separación y extracción del litio de las mezclas extraídas por minería, eliminando la contaminación de agua.

Como trabajo futuro, ya con los parámetros de interés caracterizados, se podrán llevar a cabo tareas de optimización, las cuales pueden incluir (aunque no limitarse a) la geometría de los conductos del aire para lograr la fluidización y turbulencias controladas que mejor desempeño puedan presentar para la separación de materiales.

Una vez que se tenga toda la información, se estaría en condiciones de fabricar el dispositivo y corroborar su funcionamiento (en una segunda etapa de este mismo proyecto), así como reajustar aspectos que hicieran diferir ligeramente lo obtenido por simulación respecto a lo real y proceder a una validación completa del modelo computacional, haciéndolo un modelo de simulación confiable para otros proyectos y experimentos posteriores.

La experiencia adquirida en el modelado y simulación por computadora de fenómenos físicos ha quedado demostrada a través de proyectos que han sido beneficiados en convocatorias previas, cuyas metas y entregables se han cumplido cabalmente. Gracias a estas aportaciones al estado del arte, se ha llamado la atención de otros grupos de investigación quienes han solicitado cooperación para aplicar estos métodos y conocimientos en estos rubros con el fin de atender diversas problemáticas concretas en las que es posible coadyuvar en su solución.

Capítulo 10. Colaboración en proyecto “Sistema integrado en textiles para la generación eléctrica a partir del calor: propuesta de aplicación”

Introducción

Proyecto de ciencia aplicada en el marco de la Convocatoria de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica 2024 del Tecnológico Nacional de México.

Resumen

Circuito Antena Seebeck y Capacitor interdigitado. En la Fig. 44 se muestra una Antena Seebeck Evolutiva (ASE) cuya geometría fue obtenida aplicando algoritmos evolutivos para lograr un máximo cosechado de energía electromagnética en régimen óptico. Estas antenas son de escala nanométrica o nanoantenas ya que corresponden sus dimensiones con la longitud de onda de la radiación infrarroja que captan [40, 41].

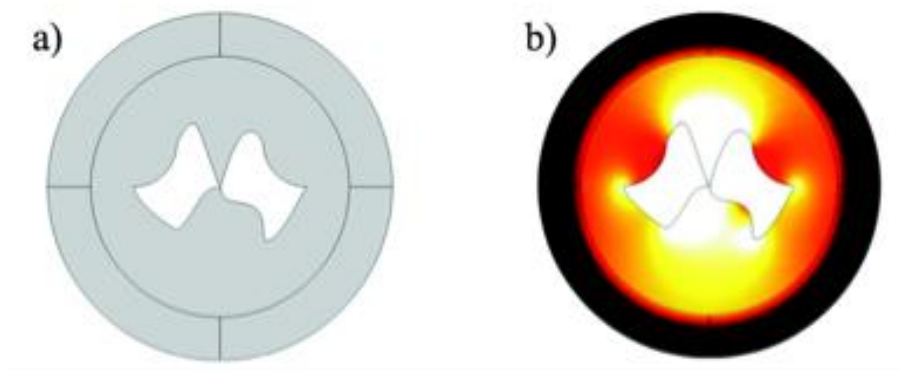


Fig. 44 Antena Seebeck Evolutiva (ASE). a) Geometría. b) Simulación numérica del campo eléctrico interactuando en la antena

Estas antenas captan la radiación electromagnética en el rango del infrarrojo y por calentamiento de los materiales con los cuales está compuesta la estructura, que son diferentes en cada lado de la nanoantena y por lo tanto poseen coeficientes Seebeck diferentes, se produce una un flujo de corriente eléctrica. En la Fig. 45 se muestra un Capacitor Interdigitado Evolutivo (CIE)

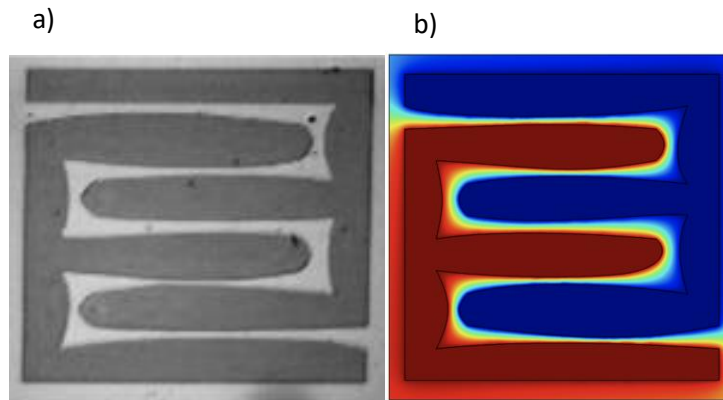


Fig. 45 Capacitor Interdigitado Evolutivo (CIE). a) Geometría. b) Simulación numérica del campo eléctrico en el capacitor

La Fig. 46 muestra un esquemático del circuito eléctrico entre una ASE y un CIE.

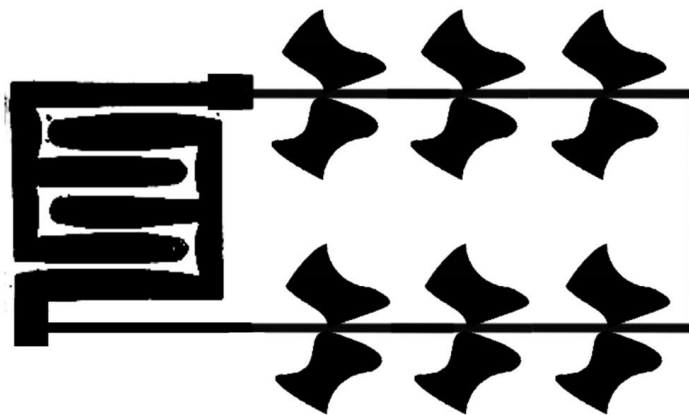


Fig. 46 Esquemático del circuito de antena/capacitor

El circuito mostrado en la Fig. 46 debe ser fabricado sobre un sustrato flexible para que pueda ser colocado en algún textil sin que sea perceptible algún tipo de rigidez y evitar también que la acción mecánica propia de la tela pueda dañar los componentes.

Sólo como fines ilustrativos, en la Fig. 47 se muestra el diseño de un capacitor interdigitado rectangular evolutivo sobre el sustrato flexible.

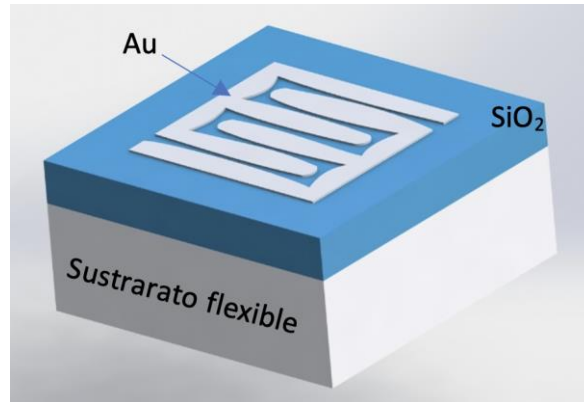


Fig. 47 Capacitor interdigitado evolutivo sobre sustrato flexible. Los materiales utilizados son: oro (Au), dióxido de silicio (SiO₂) y silicio (Si)

Antecedentes

Simulación numérica para el caso del capacitor

Se realizaron simulaciones utilizando el método de elemento finito con el software COMSOL Multiphysics, para el cálculo de la capacitancia, se utilizó el módulo de corriente alterna/corriente directa (AC/DC), específicamente el estudio de la física de electrostática. El modelo está definido por las ecuaciones que gobiernan los dominios y las condiciones de frontera.

Ecuaciones de dominio

$$-\nabla \cdot (\varepsilon_0 \varepsilon_r \nabla V) = \rho \quad (1)$$

Donde la densidad de carga (ρ) y el potencial eléctrico (V), son conectados vía la ecuación de Poisson. ε_0 es la permitividad del vacío, ε_r es la permitividad relativa. El campo y el desplazamiento eléctricos puede obtenerse del gradiente de V :

$$E = -\nabla V \quad (2)$$

$$D = \varepsilon_0 \varepsilon_r E \quad (3)$$

Condiciones de frontera

Las condiciones de frontera que son aplicadas a los condensadores propuestos son referentes al potencial eléctrico, el ΔV entre los dos electrodos es de 1 volt. Un electrodo se configuró con un potencial de 1 V y el otro es tierra. Para el dominio en el cual se encuentra inmersa la estructura se aplica una superficie de carga igual a cero:

$$n \cdot D = 0 \quad (4)$$

Cálculo de la capacitancia

La capacitancia fue calculada utilizando

$$C = Q/V \quad (5)$$

En la Fig. 48 tenemos el potencial eléctrico aplicado en la simulación numérica en 3D de los capacitores interdigitados, se han aplicado 1 V en las terminales.

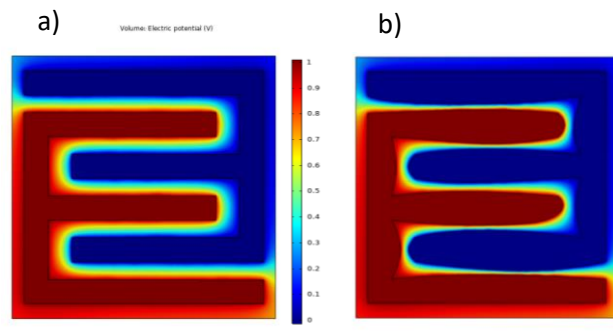


Fig. 48 simulación del potencial eléctrico a) capacitor interdigitado rectangular y b) capacitor interdigitado evolutivo

Utilizando simulación numérica se obtuvo el valor y la distribución de campo eléctrico generada por las estructuras capacitivas, en la Fig. 49 se puede observar el efecto de la geometría en el campo eléctrico.

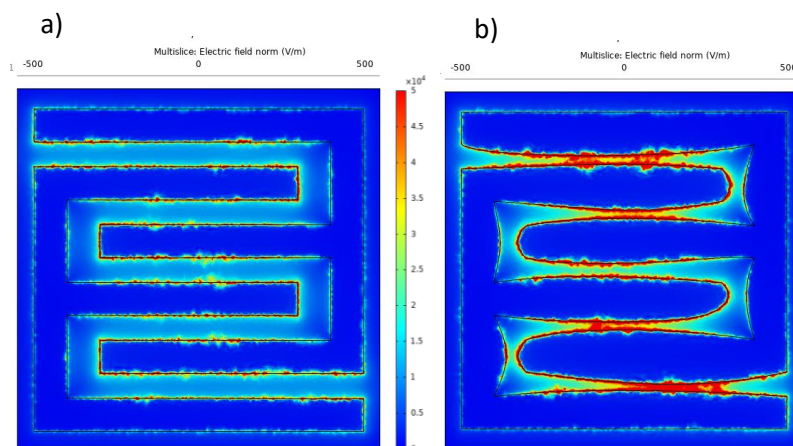


Fig. 49 Distribución de la norma de campo eléctrico, a) capacitor interdigitado rectangular y b) capacitor interdigitado evolutivo

En la tabla 1 se puede observar las capacitancias obtenidas para los capacitores en la simulación, es importante mencionar, que para este caso se aplicó un potencial eléctrico de 1 V de corriente directa, la capacitancia para la estructura con algoritmo genético evolutivo fue de 24 % mayor que el capacitor interdigitado rectangular.

Tabla 1. Capacitancias por unidad de área para un potencial eléctrico aplicado de 1V de corriente directa

| Tipo de capacitor | Capacitancia por unidad de área |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| Capacitor interdigitado rectangular | 6.13 pF / 975000 μm^2 |
| Capacitor interdigitado evolutivo | 8.06 pF / 975000 μm^2 |

Desarrollo

Simulación numérica para el caso de la antena.

Dado que para cualquier antena (incluidas las nanoantenas) el objetivo es que presenten la máxima concentración o emisión de radiación electromagnética en un rango específico

de frecuencias, se pudiera intentar seleccionar como función de salud el máximo de emisión o recepción según la fuente de radiación, sin embargo estas estructuras a nivel nanométrico presentan resonancias amplificadas que no necesariamente sean las máximas si se desconoce su valor simulado o experimental, por lo que en realidad se cambiará la función de salud por aquella que represente las mínimas pérdidas en el rango de frecuencias de interés y en función de las dimensiones de la nanoantena quedando así como función de salud la ecuación 6.

$$f_{\text{fitness}} = \min \left(\frac{1}{2} \text{Re}(\sigma \mathbf{E} \cdot \mathbf{E}_{\text{tot}}) \right) \quad (6)$$

donde

$$\mathbf{E}_{\text{tot}} = \mu_0 \int \left(\mathbf{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right) da \quad (7)$$

Como en todo ecosistema, existe la posibilidad de que los individuos sufran mutaciones, estas alteraciones a los cromosomas se introducen en los algoritmos computacionales para evitar que estos se ciclen, que no logren la convergencia o que esta sea en un punto de la función distinta a su verdadero máximo o mínimo, lo que suele conocerse como falsa convergencia.

El valor asignado en porcentaje de mutación suele ser muy diferente entre las especies biológicas. Por ejemplo, animales superiores como el hombre, estadísticamente presentan un índice de mutación extremadamente bajo, mientras que ciertas bacterias y virus lo presentan en proporción elevada [42, 43].

En la práctica, este valor suele ajustarse empíricamente tras la ejecución del algoritmo unas cuantas veces para así establecer el que mejor corresponda, si bien un valor presente en muchos casos prácticos ha sido de 0.1%, mismo que se ha adecuado perfectamente a los resultados esperados para las pruebas llevadas a cabo en estos trabajos publicados.

Existen otras analogías biológicas para los algoritmos genéticos, sin embargo, no es el objetivo aquí justificarlas o explicarlas todas, pero en la tabla 1 se presenta un resumen de las variables y sus respectivos valores.

Tabla 2. Valores generales para el algoritmo genético experimental

| Parámetro | Valor |
|------------------------|--|
| Tamaño de la población | 200 |
| Conteo poblacional | $0.05 * \text{TamañoDeLaPoblación}$ |
| Factor de cruza | 0.8 |
| Criterio de paro | $100 * \text{NúmeroDeVariables}$ ó 0.01% de pérdidas (lo que ocurra primero) |
| Número de variables | 22 (Puntos de control Bézier y los puntos de inicio y término de las curvas) |

La Fig. 50 muestra los resultados de la ejecución del algoritmo en donde se aprecia la primera geometría obtenida en la primera iteración (de un total de más de 30), el dipolo clásico (para efectos comparativos) y la última geometría generada por el algoritmo, todas geometrías bidimensionales (nanoantenas), ya que son las más sencillas, sin embargo, es fácilmente aplicable a casos tridimensionales (plasmones).

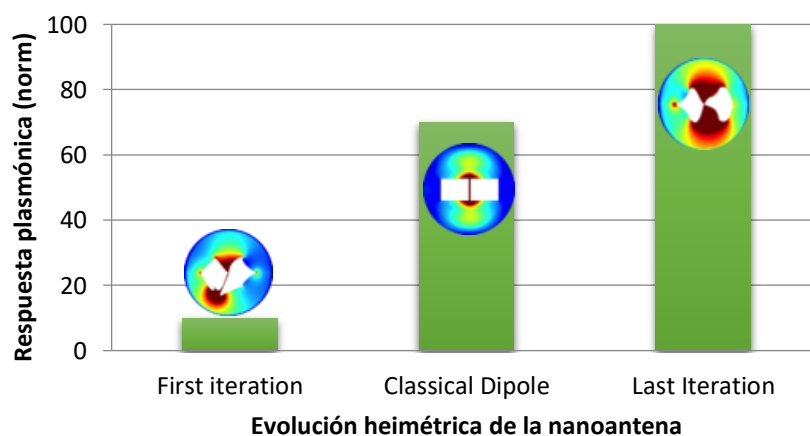


Fig. 50 Evolución (2D) de la nanoantena y su comparación con una geometría dipolo clásica (rectángulos)

Para el caso de plasmones superficiales, a menos que sea otra la situación de diseño, se pretende que la mayor parte del campo electromagnético se concentre en la superficie normal al plano de incidencia, que en este caso es normal al plano x, y (de ahí el nombre de resonancia superficial de plasmones) y como puede apreciarse en la Fig. 50, la primera iteración, que generó una geometría completamente aleatoria, es capaz de concentrar de manera significativa el campo electromagnético, pero no de manera uniforme ni normal al plano de incidencia.

Finalmente, en la última iteración, se aprecia la máxima concentración en la superficie normal de la nanoantena (en rojo intenso al centro).

Una vez demostrado el éxito de la aplicación de los algoritmos evolutivos para optimizar un sólo parámetro, la geometría (algoritmos evolutivos mono-objetivo) el paso siguiente es la búsqueda de optimizaciones que involucren más parámetros simultáneamente (multi-objetivo).

La búsqueda de nanoestructuras óptimas más complejas, como las antenas Seebeck [44], que se conforman por la unión de dos materiales con diferente coeficiente Seebeck (de ahí su nombre), obliga a pensar en qué otros parámetros afectan su desempeño (aparte del aspecto geométrico).

Es justamente la combinación de materiales el aspecto adicional de interés para este nuevo modelo de optimización, ya que no basta con la optimización geométrica y los demás parámetros analizados previamente, pues aunque se puede asumir *a priori* que la mejor combinación de materiales es aquella que tenga los coeficientes Seebeck opuestos de mayor cantidad (el más grande coeficiente Seebeck positivo y el más grande coeficiente Seebeck negativo) no es garantía de que los demás parámetros resulten ser los adecuados para esos materiales.

A continuación, se muestran los resultados de haber ejecutado el algoritmo multiobjetivo con 2 geometrías (cada una de diferente material) unidas en una región relativamente pequeña. Como ya se ha dicho, estos materiales deben tener diferente signo en su coeficiente Seebeck.

Para este ejemplo en particular, se aplica una onda electromagnética con frecuencia de 1TH, que es una frecuencia de interés específica para telecomunicaciones y otras aplicaciones, descritas en [45] y se llevaron a cabo dos mediciones, el campo eléctrico normalizado y la densidad de disipación de potencia total en W/m^3 esto para encontrar el mejor par de geometrías con su combinación de materiales para el cual se tenga el mejor efecto Seebeck.

En este caso de estudio es necesario aumentar el número de individuos de la población inicial, debido a que el espacio de soluciones aumenta de manera significativa al incrementar, de un solo material en los estudios previos, a nueve combinaciones de materiales (materiales que son, por una parte los más comunes, y por otra parte de los que se poseen datos para su simulación numérica), por lo cual para tener una mayor diversidad genética se utilizan 100 individuos, la cantidad de generaciones se propone en 40.

Se han reportado estudios de optimización complementarios donde se ha aplicado el concepto de evolución con curvas Bézier, Uno de estos estudios demuestra una mejora en la eficiencia termoeléctrica de nanoantenas [46].

En ese estudio, se obtuvo el diseño de las nanoantenas y se caracterizaron en primera instancia por simulación numérica, con el objetivo de identificar, antes de su fabricación, si realmente presentasen alguna mejora significativa comparada con las antenas dipolo clásicas. Los resultados de estas simulaciones se aprecian en la fig. 51.

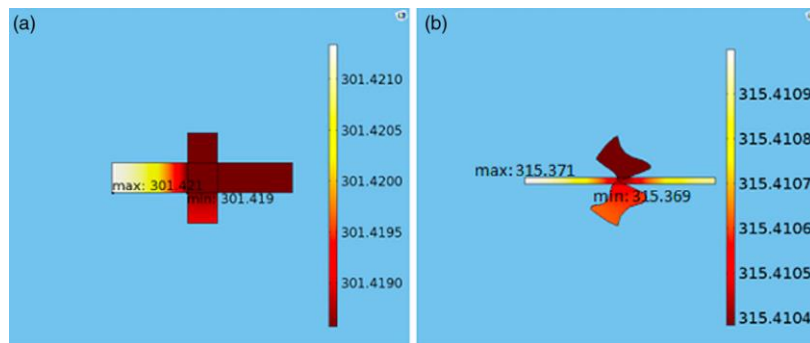
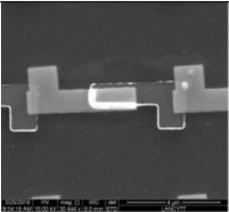
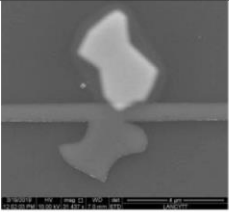


Fig. 51 Simulación numérica y su respectiva comparación, entre una geometría dipolo clásico y una geometría evolutiva sometidas a análisis termoeléctrico

Una vez que la simulación numérica indicó que existía un incremento en la eficiencia térmica, se procedió a su fabricación, según las condiciones explicadas en el artículo y que se resumen a continuación.

La tabla 3 muestra en resumen gráfico, los resultados de la caracterización termoeléctrica real del dispositivo y la referencia con el dipolo clásico.

Tabla 3. Caracterización termoeléctrica de una nanoantena dipolo clásico (CDN) y una nanoantena dipolo evolutiva (EDN).

| Nanoantenna | 9x9 Array | Voc(V) | Isc(A) | Pmax(Watts) |
|-------------|--|---------|----------|-------------|
| CDN |  | 0.03047 | 4.095E-7 | 3.125E-9 |
| EDN |  | 0.09194 | 1.209E-7 | 4.005E-9 |

Capítulo 11. Discusión y conclusiones

La experimentación presencial en la actualidad es una de las estrategias más utilizadas en áreas como las ciencias, la ingeniería y las tecnologías. Dicha estrategia ha si sido esencial para permitir obtener grandes avances en la búsqueda de soluciones que se adapten a la realidad en el presente.

Algunos autores han citado que la experimentación es el corazón del aprendizaje en ciencia e ingeniería y que los resultados de aprendizaje obtenidos en la experimentación tienen un fuerte impacto en los resultados de aprendizaje [9].

Los laboratorios remotos y virtuales han venido a sumarse como herramientas en el desarrollo de la experimentación, llevando más allá el alcance de los laboratorios

tradicionales y aunque no son necesariamente económicos, ya que se requiere de una infraestructura que soporte su adecuada implementación, representan beneficios de ahorro en espacios, personal, materiales, mantenimiento, etc., que son inherentemente necesarios para el adecuado funcionamiento de los laboratorios presenciales.

Y aunque la infraestructura tecnológica presenta factibilidad para la configuración de múltiples conexiones remotas concurrentes, existe limitaciones del tipo de licenciamiento, por ejemplo, en el uso de los programas necesarios para la simulación de los laboratorios pertinentes.

En este trabajo se ha mencionado el uso del software COMSOL para llevar a cabo, principalmente, el proceso de simulación para el análisis de estructuras optoelectrónicas, dicho software se tiene para uso de una licencia de un solo usuario. Es recomendable analizar los procesos que se requieren en la institución para evaluar la probable adquisición de licencias para que se permita el uso del software por más investigadores de forma concurrente y con su respectiva autonomía y privacidad de experimentos.

Como trabajo futuro es necesario continuar analizando los distintos procesos experimentales y de otro tipo de procesos que suceden en una institución como lo es el Instituto Tecnológico de San Luis Potosí y su departamento de posgrado e investigación, para optimizar el uso de la infraestructura tecnológica con la que se cuenta y determinar la posible adquisición de nuevas tecnologías, con las que tal vez no se cuenta, y cuyo objetivo primordial sería mantener a la Institución a la vanguardia de las diversas universidades de nivel superior.

El presente documento expone la colaboración del uso de la infraestructura tecnológica del ITSLP en los proyectos mencionados en los capítulos 8, 9 y 10, además en el capítulo 9 se mencionan varios proyectos que sirvieron de aporte al proyecto 9, que, si bien se desarrollaron con anterioridad a esta colaboración, cabe mencionar que son 100% elegibles para hacer el uso de la simulación remota.

La principal aportación del uso de un laboratorio remoto en los distintos proyectos sería que, como ya se mencionó en el presente trabajo, al ser procesos de alto uso de memoria

RAM de equipos de alto rendimiento y de largos tiempos de ejecución de procesos (incluso días), la posibilidad de poder monitorear en cualquier momento y desde cualquier lugar geográfico, los avances de ejecución de los procesos que estén simulándose, permitiendo también, hacer un uso alterno del tiempo de los investigadores sin descuidar los objetivos planteados.

Bibliografía

- [1] CCNA Cisco Networking Academy Program CCNA 1 y 2 Companion Guide, (2019).
- [2] *Gartner, Magic Quadrant for Network Firewalls*, Rajpreet Kaur, Adam Hils, Tom Lintemuth, 20 December 2022. Next-Generation Firewall (NGFW). <https://www.fortinet.com/lat/products/next-generation-firewall>.
- [3] J. E. Sanchez, F. Mendoza, J. Cantu, J. Velazquez, J. Yacaman, and A. Ponce, "Electric radiation mapping of silver/zinc oxide nanoantennas by using electron holography," 2014.
- [4] R. Díaz de León, "Análisis Electromagnético de Nanoestructuras a Frecuencias de Terahertz," Doctorado, CIACyT-UASLP, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México, 2015.
- [5] C. S. Desai and J. F. Abel, *Introduction to the Finite Element Method: A Numerical Approach for Engineering Analysis*. New York: Van Nostrand Reinholds, 1972.
- [6] Heradio, R., de la Torre, L., Galan, D., Cabrerizo, F., Herrera-Viedma, E. & Dormido, S. (2016). Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis. *Computers & Education*, 98, 14-38. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131516300677>
- [7] Colwell, C., Scanlon, E. & Cooper, M. (2002). Using remote laboratories to extend access to science and engineering. *Computers and Education*, 38(1-3), 65-76. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013150100077X>
- [8] Chen, X., Song, G., & Zhang, Y. (2010). Virtual and Remote Laboratory Development: A Review. *Proceedings of the 12th International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments - Earth and Space 2010*, (pp 3843-3852). Honolulu, HI; United States. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/41096%28366%29368>
- [9] Ma, J. & Nickerson, J. (2006). Hands-On, Simulated, and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review. *ACM Computing Surveys*, 38(3). <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1132960.1132961>
- [10] Tilman, W. (2010). Assessing Student Learning in a Virtual Laboratory Environment. *IEEE Transactions on Education*, 53(2), 216-222. <http://www.ecs.umass.edu/ece/wolf/pubs/te2010.pdf>
- [11] De La Torre, L., Heradio, R., Jara, C. A., Sánchez, J., Dormido, S., Torres, F. & Candelas, F. A. (2013). Providing Collaborative Support to Virtual and Remote Laboratories. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 6(4), 312-323. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6523034>
- [12] Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrovic, V. & Jovanovic, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*, 95, 309-327. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131516300227>
- [13] de Jong, T., Linn, M. & Zacharia, Z. (2013). Physical and virtual laboratories in Science and Engineering Education. *Science*, 340(6130), 305-308. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1230579>
- [14] Juan Ibero. Seguridad. Configurar VPN SSL en equipos Fortigate. IberAsync – 2023. <https://iberasync.es/configurar-vpn-ssl-en-equipos-fortigate/>

- [15] Z4 HP Overview G4. "Our Best-Selling Workstation" United States 2024 HP Development Company, L.P. <https://www.hp.com/us-en/workstations/z4-g4.html>
- [16] Maier, S. A. (2010). *Plasmonics: Fundamentals and Applications*. Springer.
- [17] Patsalas, P., Kalfagiannis, N., Kassavetis, S., Abadias, G., Bellas, D. V., Lekka, Ch. & Lidorikis, E. (2017). *Materials Science and Engineering R*. ELSEVIER, 123.
- [18] Naito, M., Yokoyama, T., Hosokawa, K. & Nogi, K. (2018). *Nanoparticle Technology Handbook* (3rd ed.). Elsevier.
- [19] I. Freestone, N. Meeks, M. Sax, and C. Higgitt, "The Lycurgus Cup — A Roman nanotechnology," *Gold Bulletin*, vol. 40, no. 4, p. 7, 2007.
- [20] S. A. Maier, *Plasmonics Fundamentals*. USA: Springer, 2010.
- [21] M. Henini, *Handbook of self-assembled semiconductor nanostructures for novel devices in photonics and electronics*. Amsterdam: Elsevier, 2008, p. 864.
- [22] J. Zhang, Springer, Ed. *Self-assembled nanostructures*. U.S.A., 2003.
- [23] C. Vieu, "Electron beam lithography: resolution limits and applications," *Applied surface science*, vol. 164, no. 1-4, pp. 111-117, 2000.
- [24] K. S. Anuj, P. Ankit Kumar, and K. Baljinder "A Review of advancements (2007–2017) in plasmonics-based optical fiber sensors," *Optical Fiber Technology*, vol. 43, no. 2018, p. 14, 2018.
- [25] Z. N ingmu et al., "Imaging Catalytic Hotspots on Single Plasmonic Nanostructures via Correlated Super-Resolution and Electron Microscopy," *ACS Nano*, vol. 12, no. 6, p. 9, 2018.
- [26] J. E. Sanchez et al., "Resonance properties of Ag-ZnO nanostructures at terahertz frequencies," *Optics Express*, vol. 23, no. 19, 2015.
- [27] A. Garcia-Barrientos, F. R. Castillo-Soria, M. A. Cardenas-Juarez, V. I. Rodriguez-Abdala, F. J. Gonzalez, and J. E. Sanchez, "Numerical Analysis Receiving/Transmitting Mechanisms of ZnO/Ag Nanoantennas," in *Microscopy and Microanalysis*, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 1788–1789: Cambridge University Press.
- [28] J. E. Sanchez et al., "Silver/zinc oxide self-assembled nanostructured bolometer," *Infrared Physics & Technology*, vol. 81, no. 2017, p. 5, 2017.
- [29] Tingwen Li y Yupeng Xu, "Computational Fluid Dynamics and Its Application to Fluidization," in *Essentials of Fluidization Technology*, 2020, pp. 109-129.
- [30] "Chapter 9 - Fluidisation," in *Coulson and Richardson's Chemical Engineering (Sixth Edition)*, R. Chhabra and M. G. Basavaraj Eds.: Butterworth-Heinemann, 2019, pp. 449-554.
- [31] Y. Zhang, J. Xu, Q. Chang, P. Zhao, J. Wang, and W. Ge, "Numerical simulation of fluidization: Driven by challenges," *Powder Technology*, vol. 414, p. 118092, 2023/01/15/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.118092>.
- [32] J. R. Grace, "Properties, Minimum Fluidization, and Geldart Groups," in *Essentials of Fluidization Technology*, 2020, pp. 11-31.
- [33] C. AB, "COMSOL Multiphysics Reference Guide," ed. United States of America: COMSOL AB, 2018, p. 702.

- [34] A. I. o. Aeronautics and Astronautics, *Guide for the Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations*, G-077-1998. American Institute of Aeronautics & Astronautics, 1999.
- [35] H. B. Henninger, S. P. Reese, A. E. Anderson, and J. A. Weiss, "Validation of computational models in biomechanics," (in eng), *Proc Inst Mech Eng H*, vol. 224, no. 7, pp. 801-12, 2010, doi: 10.1243/09544119jeim649.
- [36] W. L. Oberkampf , T. G. Trucano , and C. Hirsch "Verification, validation, and predictive capability in computational engineering and physics," *Applied Mechanics Reviews*, vol. 57, no. 5, pp. 345-384, 2004, doi: 10.1115/1.1767847.
- [37] S. K. Roy, D. Nayak, and S. S. Rath, "A review on the enrichment of iron values of low-grade Iron ore resources using reduction roasting-magnetic separation," *Powder technology*, vol. 367, pp. 796-808, 2020.
- [38] E. Süli, "Lecture Notes on Finite Element Methods for Partial Differential Equations," ed. United Kingdom: University of Oxford, 2012.
- [39] M. N. O. Sadiku, "A simple introduction to finite element analysis of electromagnetic problems," *IEEE Trans.*, vol. 32, no. 2, pp. 85-93, 1989.
- [40] E. Briones *et al.*, "Seebeck Nanoantennas for Solar Energy Harvesting," *Applied Physics Letters*, vol. 105, 2014.
- [41] R. Díaz de León-Zapata, G. Gonzalez, E. Flores-García, and J. Gonzalez, "Evolutionary Algorithm Geometry Optimization of Optical Antennas," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2016, no. 3156702, p. 7, 2016.
- [42] B. Charlesworth, D. Charlesworth , and M. T. Morgan, "Genetic loads and estimates of mutation rates in highly inbred plant populations," *Nature*, vol. 347, p. 3, 1990.
- [43] Y. O. Zhu, M. L. Siegal, D. W. Hall , and D. A. Petrov, "Precise estimates of mutation rate and spectrum in yeast," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 22, pp. E2310-E2318, 2014.
- [44] A. Cuadrado, E. Briones, F. J. González, and J. Alda, "Polarimetric Pixel Using Seebeck Nanoantennas," *Optics Express*, vol. 22, no. 11, p. 11, 2014.
- [45] R. Díaz de León-Zapata, E. Flores-García, I. Lara-Velázquez, and F. J. Gonzalez, "Geometry of nanostructures analyzed for terahertz applications," presented at the 42nd International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Cancun, Mexico, 2017.
- [46] J. Mendez-Lozoya, R. Diaz de Leon-Zapata, E. Guevara, G. Gonzalez, and F. J. Gonzalez, "Thermoelectric Efficiency Optimization of Nanoantennas for Solar Energy Harvesting," *Journal of Nanophotonics*, vol. 13, no. 2, 2019.