

Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

1. Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: 71025			
Título del proyecto: Caracterización teórica de la respuesta óptica y excitaciones de plasmones localizados y no localizados en cristales fotónicos formados por materiales dispersivos.			
Facultad o Instituto Académico: Ciencias Naturales y Exactas			
Departamento o Escuela: Física			
Grupo (s) de investigación: Física Teórica del Estado Sólido			
Entidades: Universidad del Valle			
Palabras claves: Cristales fotónicos, Estructura de bandas fotónica, Respuesta óptica, Plasmones superficiales.			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Jesús María Calero Quintero	10 h/s	10 h/s
Co-investigadores	Nelson Porras Montenegro	10 h/s	10 h/s
	Luz Esther González	40 h/s	40 h/s
	Danny Manuel Calvo	40 h/s	40 h/s
	Robert Sánchez	20 h/s	20 h/s
	Victor Hugo Meñaca	20 h/s	20 h/s
	Vanessa Carolina Olaya	20 h/s	20 h/s
	Gustavo Adolfo Marín	20 h/s	20 h/s
	Alan Yuseth Herrera	40 h/s	40 h/s
	Brayan Fernando Díaz	10 h/s	10 h/s

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.

2. Resumen ejecutivo:

En las dos últimas décadas ha crecido el interés por estudiar los cristales fotónicos, debido esencialmente a la posibilidad que ofrecen de controlar la luz que pasa a través de ellos. Aunque la estructura de bandas en cristales fotónicos 1D y 2D fabricados con metales, dieléctricos y otros materiales ha sido estudiada, son muchos los aspectos que no se han abordado aún. Por ejemplo, considerar la inclusión de otros tipos de materiales dispersivos tales como superconductores, sulvanitas y grafeno en cristales fotónicos 1D y 2D con diferentes arreglos geométricos. Tampoco se conocen estudios sistemáticos relacionados con la influencia de parámetros externos de control, tales como presión hidrostática o temperatura, sobre la estructura de bandas fotónicas de dichos cristales fotónicos.

Los principales objetivos del proyecto pueden sintetizarse en tres categorías: i) efectuar cálculos de estructura de bandas fotónicas y distribuciones de campo electromagnético en cristales fotónicos 2D compuestos por barras metálicas de sección transversal cuadrada, y estudiar los modos plasmónicos existentes en las fronteras de separación. ii) Estudiar la respuesta óptica de cristales fotónicos 1D y 2D, compuestos por aire y semiconductores cuaternarios, ante incidencia oblicua de la radiación electromagnética. iii) Calcular estructuras de bandas fotónicas de cristales fotónicos consistentes en cortezas cilíndricas superconductoras con núcleo dieléctrico, dispuestas en arreglos de redes cuadrada y triangular, y estudiar la influencia de la temperatura y geometría sobre dichas estructuras de bandas.

Los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto fueron presentados en dos eventos científicos internacionales y uno nacional, adicionalmente se logró la publicación de cuatro artículos científicos en revistas internacionales de amplia circulación. Entre los resultados más relevantes pueden mencionarse: i) Se caracterizó la variación de la distribución de bandas, con respecto a la frecuencia de plasma de las barras metálicas y a los parámetros geométricos, en cristales fotónicos 2D compuestos por barras metálicas de sección transversal cuadrada sólidas y huecas. ii) Se obtuvieron espectros de absorción, reflexión y transmisión en cristales fotónicos 1D fabricados de materiales dieléctricos y sulvanitas. iii) Se estudió el comportamiento de las estructuras de bandas fotónicas de cristales fotónicos 2D compuestos por cortezas cilíndricas superconductoras con núcleo dieléctrico, con respecto a la temperatura, geometría y constante dieléctrica del núcleo. iv) Se obtuvieron espectros de transmisión en cristales fotónicos 1D, formados por multicapas de dieléctrico y metamaterial anisotrópico uniaxial con respuestas tipo Drude, con la inclusión de grafeno en las interfaces dieléctricas, al igual que en cristales fotónicos formados por bicapas metálicas inmersas en aire. v) Se analizó la influencia de la temperatura y presión hidrostática aplicada sobre la transmitancia óptica en cristales fotónicos 1D hechos de capas alternadas de un semiconductor (GaAs) y un superconductor de alta temperatura crítica

($\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$). vi) Se estudió la estructura de bandas fotónicas, al igual que la distribución de intensidad del campo electromagnético, para modos TE en cristales fotónicos consistentes en una capa de semiconductor cuaternario III-V recubierta con una capa de material dieléctrico, en las cuales se perforan agujeros distribuidos periódicamente.

Abstract

In the last two decades the interest in studying photonic crystals has grown, due essentially to the possibility they offer to control the light that passes through them. Although the band structures in 1D and 2D photonic crystals made with metals, dielectrics and other materials has been studied, many aspects have not been addressed yet. For example, consider the inclusion of other types of dispersive materials such as superconductors, sulvanites and graphene in 1D and 2D photonic crystals with different geometrical arrangements. On the other hand, systematic studies related to the influence of external control parameters, such as hydrostatic pressure or temperature, on the photonic band structure of said photonic crystals, have not been published.

The main objectives of the project can be summarized in three categories: i) perform calculations of photonic band structures and electromagnetic field distributions in 2D photonic crystals composed of metallic bars of square cross section, and study the plasmonic modes existing in the separation boundaries. ii) Study the optical response of 1D and 2D photonic crystals, composed by air and quaternary semiconductors, under the oblique incidence of electromagnetic radiation. iii) Calculate the photonic band structures of photonic crystals consisting of superconducting cylindrical shells with dielectric core, arranged in square and triangular lattices, and study the influence of temperature and geometry on the photonic bands.

The results obtained during the Project development were presented in two international and one national scientific events, in addition, the publication of four scientific articles in international journals of wide circulation was achieved. Among the most relevant results can be mentioned: i) The variation of the band distribution, with respect to the plasma frequency of the metal bars and geometric parameters, was characterized in 2D photonic crystals composed of solid and hollow square cross-section metal bars. ii) Absorption, reflection and transmission spectra were obtained in 1D photonic crystals made of dielectric and sulvanite materials. iii) The behavior of the photonic band structures of 2D photonic crystals composed of superconducting cylindrical shells with dielectric core, with respect to the temperature, geometry and dielectric constant of the core, has been studied. iv) Transmission spectra were obtained in 1D photonic crystals, formed by multilayers of dielectric and uniaxial anisotropic metamaterial with Drude type responses, with the inclusion of graphene in the dielectric interfaces, as well as in photonic crystals formed by metal bilayers immersed in air. v) The influence of the temperature and hydrostatic pressure on the optical transmittance in 1D photonic

crystals made of alternating layers of a semiconductor (GaAs) and a high critical temperature superconductor ($\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$) was analyzed. vi) It was studied the structure of photonic bands, as well as the intensity distribution of the electromagnetic field, for TE modes in photonic crystals consisting of a quaternary III-V semiconductor layer coated with a layer of dielectric material, with periodically distributed holes.

3. Síntesis del proyecto:

El presente proyecto de investigación se ha enfocado en el estudio del comportamiento de las ondas electromagnéticas en cristales fotónicos y los efectos de su interacción con los portadores de carga en estos sistemas, lo cual conduce a su respuesta óptica, dependiendo del tipo de materiales que los componen. El objetivo general del proyecto consistió en Investigar sobre la respuesta óptica de cristales fotónicos 1D y 2D, fabricados con diferentes tipos de materiales dispersivos tales como metales, dieléctricos, superconductores, etc., así como sus espectros de absorción, reflexión y transmisión de la radiación electromagnética. Entre los objetivos específicos pueden mencionarse: 1) Calcular la estructura de bandas de los cristales fotónicos compuestos por barras metálicas o de metamaterial, con diferentes secciones transversales, las cuales se disponen en un arreglo cuadrado o triangular, considerando incidencia normal y oblicua. 2) Calcular las distribuciones del campo electromagnético, así como el coeficiente de transmisión, en los cristales fotónicos 2D mencionados anteriormente, para corroborar las frecuencias en las cuales se presenta la excitación de plasmones localizados. 3) Caracterizar los modos plasmónicos de superficie existentes en las fronteras de separación de los materiales en dichos cristales fotónicos. 4) Estudiar la respuesta óptica de cristales fotónicos 1D y 2D, compuestos por aire y semiconductores cuaternarios del tipo $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}\text{Sb}_y/\text{GaSb}$, ante incidencia oblicua de radiación electromagnética. 5) Calcular la estructura de bandas de cristales fotónicos consistentes en cortezas cilíndricas superconductoras con núcleo dieléctrico, dispuestas en arreglos de redes cuadrada y triangular. 6) Estudiar la influencia de la temperatura y geometría de las cortezas cilíndricas superconductoras, al igual que de la constante dieléctrica del núcleo, en PCs formados por cilindros superconductores huecos con núcleo dieléctrico.

Para alcanzar los objetivos específicos del proyecto, fue necesario desarrollar cálculos numéricos tendientes a la obtención de estructuras de bandas fotónicas, al igual que coeficientes de reflexión y transmisión, tanto en cristales fotónicos 1D como 2D. En los cálculos efectuados en cristales fotónicos 1D, se utilizó principalmente el método de matriz transferencia (TMM) para sistemas con celdas unitarias que contienen dos o más componentes diferentes. De otro lado, en el cálculo de propiedades ópticas de cristales fotónicos 2D, se emplearon los métodos de expansión en ondas planas (PWM) y ondas planas revisadas (RPWM). Para la implementación de los cálculos numéricos se recurrió a paquetes de software especializado tales como Mathematica, Matlab y compiladores de Fortran y C⁺⁺.

Entre los principales resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto de investigación, tenemos los siguientes:

- Se obtuvieron estructuras de bandas fotónicas para cristales fotónicos 2D, formados por barras metálicas de secciones transversales cuadrada y rectangular, rodeadas de aire y dispuestas en un arreglo cuadrado. Se caracterizó la variación de la distribución de bandas con respecto a la frecuencia de plasma de las barras metálicas y a los parámetros geométricos de las barras.
- Se estudió la respuesta óptica de cristales fotónicos 1D, fabricados con materiales dieléctricos y metales transparentes (sulfanitas), así como su espectro de absorción, reflexión y transmisión de la radiación electromagnética.
- Se efectuaron cálculos de estructuras de bandas de cristales fotónicos 2D consistentes en cortezas cilíndricas superconductoras inmersas en aire, dispuestas en un arreglo de red triangular. Se estudió la variación de la estructura de bandas en relación con la geometría y temperatura de las cortezas.
- Se estudió el efecto Kerr magneto-óptico transversal en tricapas consistentes en una placa dieléctrica entre dos capas metálicas magneto-ópticas. Dependiendo de los anchos de las capas metálicas, el sistema puede exhibir un notable incremento en el Kerr magneto-óptico transversal, lo cual puede ser de gran importancia en el diseño de nuevos dispositivos magnetoópticos para circuitos fotónicos o sistemas de comunicaciones por fibra óptica.
- Se calcularon estructuras de bandas fotónicas, al igual que la distribución de intensidad del campo electromagnético, para modos TE en cristales fotónicos consistentes en una capa de semiconductor cuaternario III-V recubierta con una capa de material dieléctrico, en las cuales se perforan agujeros distribuidos periódicamente. Se analizó la influencia de la temperatura del sistema y geometría de los huecos, tanto en la estructura de bandas como en la distribución de intensidades del campo electromagnético.
- Se efectuaron cálculos numéricos de propiedades ópticas en cristales fotónicos 1D formados por bicapas metálicas, hechas de metales tipo Drude, inmersas en aire. Se consideraron tanto modos TE como TM. Se mostró la aparición de una banda de transmisión, la cual crece con el número de bicapas, y además se determinó como se modifica el espectro de transmisión con el incremento de la frecuencia de plasma metálica.
- Se analizó el comportamiento de la estructura de bandas fotónicas en un sistema consistente en barras metálicas huecas, de sección transversal cuadrada, dispuestas en una red cuadrada 2D en aire. Se caracterizó la influencia de la geometría de las barras y la frecuencia de plasma metálica sobre las estructuras de bandas fotónicas.
- Se estudió el comportamiento de la estructura de bandas fotónicas en cristales fotónicos 2D consistentes en cortezas cilíndricas superconductoras con un núcleo dieléctrico, dispuestas en arreglos de redes cuadrada y triangular. Se mostró la aparición de bandas fotónicas planas para ciertos valores bien

definidos de la constante dieléctrica de los núcleos.

- Se caracterizó la influencia de la temperatura y presión hidrostática aplicada sobre la transmitancia óptica en cristales fotónicos 1D hechos de capas alternadas de un semiconductor (GaAs) y un superconductor de alta temperatura crítica ($\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$). Se observó la aparición de nuevos gaps fotónicos con el incremento de la presión hidrostática.
- Se estudiaron las propiedades ópticas de cristales fotónicos 1D, formados por multicapas de dieléctrico y metamaterial anisotrópico uniaxial con respuestas tipo Drude, con la inclusión de grafeno en las interfaces dieléctricas. Se obtuvieron los espectros de transmisión, tanto para polarización TE como TM, en función del ángulo de incidencia, potencial químico del grafeno y frecuencias de plasma del metamaterial.

Los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto fueron presentados y discutidos periódicamente en el Seminario interno del Grupo de Física Teórica del Estado Sólido. Con base en los resultados más relevantes, se logró la publicación de cuatro (4) artículos en revistas científicas internacionales de amplio reconocimiento y circulación. Adicionalmente, los resultados fueron divulgados en dos (2) eventos científicos internacionales y uno (1) de carácter nacional.

A partir de los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, surgen una serie de perspectivas para desarrollar en futuras investigaciones, trabajos de grado y tesis de maestría y doctorado que podrían desarrollarse en el seno del Grupo de Física Teórica del Estado Sólido y/o en colaboración con otros grupos afines. Algunas de dichas perspectivas son:

- Agregar láminas de grafeno a la estructura unidimensional de semiconductor – superconductor, GaAs – ($\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$) justamente enseguida de la capa semiconductora y examinar cómo el sistema responde al intercalado espacial del grafeno. El material de grafeno permite sintonizar las bandas fotónicas prohibidas por medio de agentes externos al sistema, tales como la temperatura, o el potencial químico, por medio de un voltaje aplicado.
- También sería interesante explorar cuál es la respuesta a la presión hidrostática aplicada en este nuevo tipo de estructuras
- Estudiar la respuesta óptica de cristales fotónicos 1D compuestos por capas de BaTiO_3 y del superconductor de alta temperatura crítica $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, bajo la acción de altas presiones hidrostáticas. En este tipo de sistemas podrían aparecer brechas fotónicas prohibidas en otras regiones de frecuencias diferentes a las obtenidas hasta este momento.
- En los cristales fotónicos 2D basados en arreglos periódicos de cortezas cilíndricas superconductoras con núcleo dieléctrico, puede estudiarse la modificación de las estructuras de bandas fotónicas bajo la influencia de un campo magnético aplicado en dirección paralela a las cortezas y núcleos. De esta manera contaríamos con un parámetro externo adicional, el campo magnético aplicado, que permitirá ejercer

control sobre las regiones de frecuencia en las que se presentan las brechas fotónicas prohibidas, así como el ancho de dichas brechas.

- Otro tema que puede ser de interés es la inclusión de materiales superconductores multibandas en cristales fotónicos 1D y 2D. Estos superconductores multibandas, además de exhibir temperaturas críticas relativamente altas, presentan un comportamiento no monótono con la temperatura de la longitud de penetración de London, el cual incide grandemente en el comportamiento de las frecuencias de plasma, las cuales son determinantes en las estructuras de bandas fotónicas.

Aunque se presentaron algunas dificultades durante la ejecución del proyecto, los objetivos específicos planteados inicialmente fueron alcanzados prácticamente en su totalidad. Una de las principales dificultades que se nos presentó está relacionada con la lentitud en los procesos de compra y contratación por parte de la universidad, principalmente en la adquisición de una estación de trabajo que nos fue aprobada dentro del rubro de compra de equipos del proyecto. Aunque entregamos toda la documentación requerida desde el día en que se firmó el acta de compromiso del proyecto, dicha estación sólo nos fue entregada dos años después, cuando el periodo de ejecución normal del proyecto había culminado. Adicionalmente, se presentaron retardos considerables en los procesos de contratación de algunos de los estudiantes que recibieron ayudas económicas con los rubros destinados para tal fin en el proyecto, lo cual se debió a algunos cambios en los formatos disponibles para llevar a cabo dichos procesos. Como consecuencia de lo anterior, nos vimos obligados a solicitar una prórroga de seis meses en el periodo de ejecución del proyecto.

4. Impactos actual o potencial:

La investigación sobre nuevos materiales dispersivos como componentes de cristales fotónicos, que ha sido abordada en este proyecto, constituye un aporte que puede ser de gran interés en el diseño e implementación de nuevos dispositivos para circuitos fotónicos, como por ejemplo canales de conducción como guías de onda ópticas o componentes lógicos tales como amplificadores y transistores fotónicos. En aplicaciones tecnológicas tales como biosensores o filtros ópticos, es de vital importancia poder ejercer control sobre la ubicación y ancho de las bandas y brechas fotónicas en los diferentes tipos de cristales fotónicos que pueden fabricarse. En este sentido, durante el desarrollo del presente proyecto se ha logrado caracterizar el comportamiento de las bandas y brechas fotónicas, tanto en cristales 1D como 2D, con respecto a la variación de diferentes parámetros externos tales como geometría del cristal, presión hidrostática aplicada, temperatura, campo magnético, etc. Se espera que en el futuro, los resultados teóricos que se obtuvieron a partir del cálculo de las estructuras de bandas fotónicas en los diferentes sistemas estudiados, sean de gran utilidad en el desarrollo de las aplicaciones tecnológicas mencionadas. Desde el punto de vista de la investigación básica, durante el desarrollo del proyecto se ha producido

nuevo conocimiento y contribuido al entendimiento de la respuesta óptica de materiales dispersivos, cuya permitividad eléctrica depende de la frecuencia de la radiación incidente, tales como sulvanitas, grafeno, metamateriales superconductores de alta temperatura crítica, etc.

En lo relacionado con formación de recurso humano, en el desarrollo de los objetivos específicos y demás actividades del proyecto, han estado vinculados tres (3) estudiantes de pregrado en física, uno (1) de maestría y cuatro (4) de doctorado. Durante la ejecución del proyecto se lograron culminar y sustentar dos (2) trabajos de grado en física y una (1) tesis de doctorado en ciencias-Física. Algunos de los estudiantes de doctorado vinculados al proyecto se desempeñan como docentes en universidades de la región, tal como la Universidad Autónoma de Occidente, en donde lideran o hacen parte de nuevos grupos de investigación que involucran dentro de sus tópicos de interés la fotónica y física de materiales. De esta manera, puede evidenciarse que el desarrollo del proyecto también ha influido positivamente en el apoyo y crecimiento de actividades investigativas en otras instituciones de nuestra región.

Además de haber sido presentados en dos eventos internacionales y uno nacional, y haber sido publicados en cuatro artículos internacionales, los resultados obtenidos a través del proyecto también se han presentado y discutido en el seminario semanal del Grupo de Física Teórica del Estado Sólido, en el que participan estudiantes de pregrado, maestría y doctorado vinculados a las investigaciones del grupo. Esto contribuye indudablemente a la formación académica e investigativa de nuestros estudiantes en los diferentes niveles.

5. Productos:

Tabla No. 1. Cantidad y tipo de productos pactados en el Acta de Trabajo y Compromiso y productos finalmente presentados

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS				No. de PRODUCTOS PRESENTADOS			
Productos de nuevos conocimientos								
Artículo en revista ISI-SCOPUS:	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
		3				4		
Artículo completo publicado	A1	A2	B	C	A1	A2	B	C

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS				No. de PRODUCTOS PRESENTADOS			
en revistas indexadas								
Libros de autor que publiquen resultados de investigación								
Capítulos en libros que publican resultados de investigación								
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados								
• Prototipos y patentes								
• Software								
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial								
Normas basadas en resultados de investigación								
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados		No. de tesis		No. De estudiantes Vinculados		No. De tesis	
Estudiantes de pregrado	2		2		2		2	
Semillero de Investigación	1				1			
Estudiantes de maestría	0				1			
Estudiantes de doctorado	2		0		4		1	
Joven investigador								
Productos de divulgación								
Publicaciones en revistas no indexadas								
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales 2		No. de ponencias internacionales 1		No. de ponencias nacionales 1		No. de ponencias internacionales 2	

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS	No. de PRODUCTOS PRESENTADOS
Propuesta de investigación		
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	1	1

Tabla No. 2. Detalle de productos

Para cada uno de los productos obtenidos y relacionados en la tabla anterior, indique la información solicitada para cada uno, anexando copia de las respectivas constancias. Como anexo a este formato encontrará el instructivo para instructivo para la revisión de informes finales y productos

Tipo de producto:	Artículos
Nombre General:	1. Applied Physics Letters 109, 033106 (2016) 2. Journal of Low Temperature Physics 186, 275 (2017) 3. Journal of Applied Physics 123, 033101 (2018) 4. Superlattices and Microstructures (2018), doi: 10.1016/j.spmi.2018.02.029.
Nombre Particular:	1. Enhancement of the transverse magneto-optical Kerr effect via resonant tunneling in trilayers containing magneto-optical metals. 2. Analysis of Photonic Band Gaps in a Two-Dimensional Triangular Lattice with Superconducting Hollow Rods. 3. Pressure, temperature, and thickness dependence of transmittance in a 1D superconductor-semiconductor photonic crystal. 4. Tunable optical response at the plasmon-polariton frequency in dielectric-graphene-metamaterial systems.
Ciudad y fechas:	1. New York, julio de 2016. 2. New York, febrero de 2017. 3. New York, enero de 2018. 4. Accepted Manuscript, febrero de 2018.
Participantes:	1. J. A. Girón-Sedas, J. R. Mejía-Salazar, E. Moncada-Villa, N. Porras-Montenegro. 2. B. F. Díaz-Valencia, J. M. Calero. 3. Alan Y. Herrera, J. M. Calero, N. Porras-Montenegro. 4. D. M. Calvo-Velasco, N. Porras-Montenegro.
Sitio de información:	

Formas organizativas:	Grupo de Física Teórica del Estado sólido.
-----------------------	--

Tipo de producto:	Tesis
Nombre General:	1. Trabajo de Grado (Física, Universidad del Valle). 2. Trabajo de Grado (Física, Universidad del Valle). 3. Tesis de Doctorado (Doctorado en Ciencias-Física, Universidad del Valle).
Nombre Particular:	1. Transmittance study of a 1D superconductor-semiconductor photonic crystal. 2. Coherent collective Dynamics of ultracold polar molecules on 1D optical lattices. 3. Electron g-factor in spherical quantum dots and optical response of hexagonal photonic crystals in $Ga_{1-x}In_xAs_ySb_{1-y}$.
Ciudad y fechas:	1. Cali, febrero de 2018. 2. Cali, abril de 2017. 3. Cali, octubre de 2016.
Participantes:	1. Alan Yuseth Herrera Flor. 2. Vanessa Carolina Olaya Agudelo. 3. Robert Sánchez cano.
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupo de Física Teórica del Estado sólido.

Tipo de producto:	Ponencias presentadas en eventos.
Nombre General:	1. Sao Paulo School of Advanced Science on Nanophotonics, julio 17-29/2016, Campinas S. P. (Brasil). 2. The 7th International conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META'16), julio 25-28/2016, Málaga (España). 3. XXVII Congreso Nacional de física, octubre 3-6/2017, Cartagena (Colombia).
Nombre Particular:	1. Photonic Band Structure of 2D Square Metallic Shields in Air. 2. Temperature tunable waveguide modes in a semiconductor quaternary alloy hexagonal photonic-crystal hole slab. 3. Pressure, temperature and thickness dependence of transmittance in a 1D superconductor-semiconductor photonic crystal.

Ciudad y fechas:	1. Campinas S. P. (Brasil), julio 17 - 29 de 2016. 2. Málaga (España), julio 25 - 28 de 2016. 3. Cartagena (Colombia), octubre 3 - 6 de 2017.
Participantes:	1. Danny Manuel Calvo Velasco, Nelson Porras Montenegro. 2. Robert Sánchez Cano, Nelson Porras Montenegro. 3. Alan Yuseth Herrera flor, Nelson Porras Montenegro.
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupo de Física Teórica del Estado Sólido.

Tipo de producto:	Proyecto de investigación con financiación externa.
Nombre General:	Convocatoria 712-2015 para proyectos de investigación en ciencias básicas (Colciencias).
Nombre Particular:	Excitaciones electromagnéticas y respuesta óptica de sistemas de baja dimensionalidad conformados por materiales dispersivos en presencia de propiedades topológicas no convencionales y efectos de interacción espín-órbita. (Contrato 264-2016, Código V.I. 71081).
Ciudad y fechas:	Cali, septiembre 8 de 2016
Participantes:	Juan Carlos Granada E., Karem Cecilia Rodríguez, Nelson Porras M., Jesús M. Calero Q.
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupo de Física Teórica del Estado sólido.

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones