

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

1. DATOS GENERALES

Nombre o Título del proyecto (español): Caracterización Numérica y Experimental de Vigas Sándwich con Núcleos de Material Celular				
Nombre o Título del proyecto (inglés): "Numerical and Experimental Characterization of Sandwich Beams with Cellular Materials Core"				
Nombre del Departamento/ Centro Responsable: Ciencias de la Energía y Mecánica	Carrera: INGENIERÍA MECÁNICA INGENIERÍA MECATRÓNICA		Programa de Postgrado: MANUFACTURA Y DISEÑO ASISTIDOS POR COMPUTADOR	
No. Convocatoria N/A		Nombre del Programa (Dominios Académicos) Ciencias aplicadas		
Línea de Investigación: Materiales y Técnicas de Producción		Grupo de Investigación Asociado: ENERGOMAT		
Tipo de Investigación: Numérica - Experimental	Disciplina Científica: Materiales		Objetivo Socio Económico: Alternativas de transporte	
COBERTURA Y LOCALIZACIÓN				
Internacional	Nacional	Provincial X	Cantonal	Parroquial
Provincia PICHINCHA		Cantón RUMIÑAHUI		Parroquia SANGOLQUÍ
Objetivos del Plan de Desarrollo Nacional Toda una Vida.				
Objetivos Objetivo 5: Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria.				
Políticas				
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Promover la productividad, competitividad y calidad de los productos nacionales, como también la disponibilidad de servicios conexos y otros insumos, para generar valor agregado y procesos de industrialización en los sectores productivos con enfoque a satisfacer la demanda nacional y de exportación. ▪ Diversificar la producción nacional con pertinencia territorial, aprovechando las ventajas competitivas, comparativas y las oportunidades identificadas en el mercado interno y externo, para lograr un crecimiento económico sostenible y sustentable. ▪ Promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades. 				

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

PERSONAL RESPONSABLE DEL PROYECTO					
FUNCIÓN	CÉDULA DE IDENTIDAD	NOMBRE COMPLETO	DEPARTAMENTO/INSTITUCIÓN A LA QUE PERTENECE	TELÉFONO FIJO, CELULAR Y CORREO ELECTRÓNICO	FIRMAS
Director del Proyecto	0603247362	LARA PADILLA HERNÁN VINICIO (DOCTOR EN CIENCIAS DE INGENIERÍA)	Ciencias de la Energía y Mecánica	0959152695 hvlara@espe.edu.ec	
Asistente de Investigación	1708186307	OLMEDO SALAZAR JOSÉ FERNANDO (MAGISTER EN MATERIALES DISEÑO Y PRODUCCION MSC)	Ciencias de la Energía y Mecánica	0987966584 jfolmedo@espe.edu.ec	
Asistente de Investigación	1706481957	PÉREZ ROSALES JOSE EMILIO (MAGISTER EN ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE)	Ciencias de la Energía y Mecánica	099 971 0265 jeperez@espe.edu.ec	
Asistente de Investigación	1709180713	ECHEVERRIA YANEZ JAIME FERNANDO (MAGISTER EN DISEÑO PRODUCCION Y AUTOMATIZACION INDUSTRIAL)	Ciencias de la Energía y Mecánica	099 484 0607 jfecheverria@espe.edu.ec	
Asistente de Investigación	1101753919	MIGUEL PATRICIO QUEZADA MORALES (MAGISTER EN MANUFACTURA Y DISEÑO ASISTIDOS POR COMPUTADOR)	Ciencias de la Energía y Mecánica	mpquezada@espe.edu.ec	
Ayudante de Investigación	1105173957	IVANNOVA MICHELLE JUMBO JARAMILLO	Ciencias de la Energía y Mecánica	imjumbo@espe.edu.ec	
Ayudante de Investigación	1726754995	ERICK JAVIER IÑAGUAZO PINDO	Ciencias de la Energía y Mecánica	ejinaguazo@espe.edu.ec	
Ayudante de Investigación	1724179971	JORGE ANDRESAYMARA AMAGUA	Ciencias de la Energía y Mecánica	jaaymara@espe.edu.ec	
Ayudante de Investigación	1803789823	JOCELINE PAULETTE PARRA SUAREZ	Ciencias de la Energía y Mecánica	jpparra4@espe.edu.ec	
Ayudante de Investigación	1718588328	JUAN ESTEBAN VALDEZ QUIROGA	Ciencias de la Energía y Mecánica	jevaldez@espe.edu.ec	
CONSIDERACIONES DE GÉNERO Y CONOCIMIENTO ANCESTRAL					
N/A					
CONSECUENCIAS NO INTENCIONALES					
N/A					

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

2. DIAGNÓSTICO Y PROBLEMA

2.1 Descripción de la situación actual del tema a investigar:

Entre todas las posibles aplicaciones estructurales de materiales con arquitectura celular, los núcleos para paneles sándwich podrían ser los más importantes. Las estructuras de sándwich son ampliamente utilizadas en diseños livianos, especialmente en el sector aeroespacial, pero también cada vez más en aplicaciones deportivas y automotrices. Cubriendo la superficie del material de arquitectura celular con una lámina frontal delgada y rígida tiene implicaciones para las propiedades mecánicas del material. Los paneles sándwich generalmente se cargan en flexión (Figura 1), lo que somete a las láminas a compresión y tensión, mientras que el núcleo se carga en corte. El núcleo (*core*) generalmente está fabricado por láminas conocidas como *Honey-Comb* y se destina principalmente para pisos. El avance de los procesos de manufactura aditiva, popularmente conocida como impresión 3D ha permitido que se empiecen a explorar otro tipo de núcleos y aplicaciones, por ejemplo, estructuras celulares de tipo estocástico y periódicos (Figura 2). Una de las ventajas de utilizar núcleos impresos en 3D o prototipados es que se permite estructurar esquinas y curvaturas en las vigas. Adicionalmente, se pueden explorar opciones de estructuras tipo viga más complejas, por ejemplo, optimización topológica y polímeros de alto desempeño. Los avances en diseño y simulación computacional en las últimas décadas han permitido el desarrollo de estructuras cada vez más complejas. Estas estructuras se han empezado a usar en aplicaciones avanzadas de ingeniería tales como materiales livianos con altas prestaciones de resistencia mecánica y transferencia de calor.

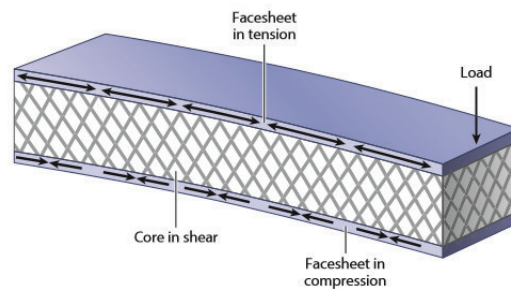


Figura 1. Viga tipo sándwich (Schaedler & Carter, 2016)

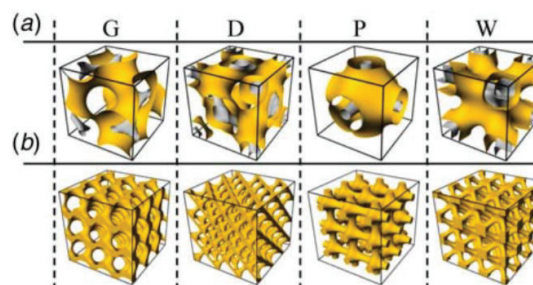


Figura 2. Estructuras celulares periódicas: (a) Unidades celulares, (b) Estructuras 3D (Li et al., 2019)

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

2.2 Identificación, descripción y diagnóstico del problema

La manufactura aditiva permite la fabricación de materiales con una arquitectura celular intrincada, por lo que el progreso en las técnicas de impresión 3D aumenta las posibles configuraciones de huecos y sólidos hasta el infinito. Los ejemplos son microrredes (o *microlattices*) con estructuras graduadas de porosidad y armadura optimizadas para condiciones de carga específicas. La arquitectura celular determina las propiedades mecánicas y la densidad de estos materiales y puede influir en una amplia gama de otras propiedades, por ejemplo, propiedades acústicas, térmicas y biológicas. Al combinar arquitecturas celulares optimizadas con materiales de alto rendimiento, se han desarrollado recientemente varios materiales livianos que exhiben resistencia y rigidez previamente inalcanzables a bajas densidades. La presente investigación en el campo de los materiales de arquitectura celular; estudiará los métodos de fabricación más comunes, con énfasis en la manufactura aditiva; y discutirá el progreso reciente en el desarrollo de materiales con arquitectura celular. La investigación también analizará aplicaciones importantes, incluidas estructuras ligeras, absorción de energía, meta-materiales, optimización topológica.

2.3 Línea Base del proyecto

Los indicadores del presente proyecto serán los siguientes:

- Diseños computacionales de al menos 5 estructuras celulares,
- Algoritmo computacionales para el cómputo de matrices de elasticidad y rigidez
- Fabricación y caracterización de al menos 5 estructuras celulares.
- Fabricación de vigas sándwich ensambladas con material celular.
- Reporte de caracterización morfológica y mecánica de las vigas sándwich.
- Publicación de la investigación.

* Adjuntar : Página Legal

Identificación y caracterización de la población objetivo (beneficiarios y participantes)

Número Directos Hombres:	Número Directos Mujeres:	Total Número Directos:	Total Número Indirectos:	Personas con capacidades especiales:
Nº de docentes participantes: 5	Docentes participantes hombres: 5	Docentes participantes mujeres: 0		
Nº de estudiantes participantes: 5	Estudiantes participantes hombres: 4	Estudiantes participantes mujeres: 1		

Factores críticos de éxito: Matriz de riesgo

- Compromiso de los investigadores.
- Motivación de los estudiantes participantes.
- Asignación de horas para cumplir con esta actividad.
- Disponibilidad de equipos y materiales.

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

<p>Restricciones/Supuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Se cuenta con personal calificado. ▪ Se cuenta con las autorizaciones para la fabricación y pruebas. ▪ Se cuenta con el software actualizado. ▪ Se cuenta con el apoyo de la universidad para efectuar la publicación.
--

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

	Indicador	Medio de Verificación/Entregables	Supuestos
<p>Fin: Explorar las aplicaciones del diseño computacional y de la manufactura aditiva en el desarrollo de materiales con arquitectura celular.</p>	Incremento de las publicaciones de la universidad en el campo de los nuevos materiales y procesos de fabricación.	Formación de docentes y estudiantes en técnicas de diseño, simulación y fabricación de estructuras con arquitectura celular.	
<p>Propósito (objetivo general): Diseñar y fabricar vigas tipo sándwich con núcleo de materiales con arquitectura celular usando manufactura aditiva</p>	Diseño, fabricación y pruebas de vigas tipo sándwich con núcleo de materiales con arquitectura celular	Artículo científico	Apoyo económico por parte de la universidad para presentar el artículo.
<p>Componente 1 (objetivo específico 1): Revisión del estado del arte sobre materiales con arquitectura celular</p>	Parámetros de diseño y fabricación de estructuras celulares	Carpeta de revisión bibliográfica	
<p>Componente 2 (objetivo específico 2): Generar procedimiento adecuado para obtener modelos digitales del escaneado</p>	Guía para el modelado de estructuras celulares	Archivos digitales en formato parasolid	

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

<p>Actividades: 1.1 Disminuir la densidad de malla 1.2 Suavizar el modelo 1.3 Probar diferentes soluciones informáticas</p>			
<p>Componente 3 (objetivo específico 3): Caracterizar el comportamiento elástico tridimensional del material celular Actividades: 2.1 Hacer un estudio estático del elemento 2.2 Editar las formas para lograr ensambles</p>	<p>Guía de protocolos para ensayos</p>	<p>Reporte de propiedades elásticas, Matriz de rigidez ortotrópica del núcleo</p>	
<p>Componente 4(objetivo específico 4): Caracterizar el comportamiento elástico de una viga tipo sándwich de materiales compuestos Actividades: 3.1 Determinar espesores de láminas 3.2 Estructurar el laminado 3.3 Post-procesamiento</p>	<p>Guía de protocolos para ensayos</p>	<p>Archivos CAD, archivos de simulación de desplazamientos y Tensiones</p>	
<p>Componente 5(objetivo específico 5): Construir la viga tipo sándwich y validar experimentalmente Actividades: 4.1 Imprimir los núcleos y ensamblar 4.2 Construir/Ensamblar la viga sándwich</p>	<p>Diagrama de proceso para fabricación de las vigas tipo sándwich</p>	<p>Prototipo de viga Datos experimentales Validación</p>	

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

3.2 Efectuar pruebas de resistencia de materiales			
3.3 Efectuar pruebas preliminares dinámicas			

Detalle de entregables del proyecto				
Bienes	Modelos computacionales de estructuras celulares, Modelos 3D impresos de estructuras celulares, vigas experimentales y artículo científico.			
Servicios	N/A			
Detalle de adquisiciones del proyecto				
Descripción	% Nacional	% Importado	Detalle insumo nacional	Detalle insumo importado
Bienes	-	-	-	-
Servicios	-	-	-	-
Categorización del Proyecto				
Indispensable	Necesario X	Deseable	Admisible	

4. METODOLOGÍA PARA LA INVESTIGACIÓN

1. Revisión bibliográfica del comportamiento mecánico de los materiales celulares y de sus aplicaciones estructurales en vigas tipo sándwich.
2. Generación matemática de estructuras celulares estocásticas.
3. Generación matemática de estructuras celulares periódicas.
4. Ingeniería inversa de las estructuras por medio de las herramientas *Facets de Spaceclaim* de *ANSYS Workbench*
5. Ingeniería inversa de las estructuras por medio de software libre con el fin de encontrar el tipo de archivo más óptimo para simulación.
6. Simulación de propiedades mecánicas del material celular utilizando sistemas computacionales basados en la teoría del elemento finito.
7. Simulación de propiedades mecánicas de vigas tipo sándwich utilizando sistemas computacionales basados en la teoría del elemento finito.
8. Construcción de los núcleos de material celular con manufactura aditiva.
9. Construcción de la viga sándwich
10. Ensayos mecánicos de probetas: flexión, tensión, compresión.

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

- 11. Respuesta de frecuencia para validar la caracterización del material.
- 12. Comparación y análisis estadístico de modelos teóricos y experimentales.

5. FINANCIAMIENTO

El proyecto será desarrollado sin financiamiento por parte de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

6. VIABILIDAD Y PLAN DE SOSTENIBILIDAD

<p>Viabilidad Técnica:</p> <p>El Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (DCEM) cuenta con profesionales expertos en herramientas computacionales para diseñar y modelar elementos mecánicos. Actualmente, el DCEM ha adquirido impresoras 3D, entre ellas una impresora de última generación basada en estereolitografía inversa. También posee licencias de investigación del Software ANSYS y cuenta con equipamiento para realizar ensayos en el laboratorio de resistencia de materiales. En la actualidad existen diversas herramientas informáticas de código abierto para crear modelos de estructuras celulares.</p>	
<p>Equipamiento Tecnológico Disponible</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Impresora 3D FormLabs3 basada en estereolitografía inversa. ▪ Impresoras 3D tipo FDM. ▪ Licencia de investigación del Software ANSYS. ▪ Acceso a software de código abierto para modelado de estructuras celulares. 	
<p>¿Qué perdería el país si el proyecto no se ejecuta en este periodo?</p>	<p>Dejar de contribuir con conocimiento para generar estructuras livianas que pueden tener múltiples aplicaciones.</p>
<p>¿Cuáles son los resultados o impactos esperados del proyecto?</p>	<p>Impacto Social: Reducción de desperdicios plásticos</p> <p>Impacto Científico: Validar estructuras tipo sándwich cuyos núcleos pueden ser prototipados adaptándose a distintas formas y que en un futuro tendrían la posibilidad de usar material reciclado con aplicaciones en ingeniería.</p> <p>Impacto Económico: El uso de software de código abierto permite democratizar el conocimiento</p> <p>Impacto Político: N/A</p> <p>Otro Impacto: N/A</p>

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

<p>Análisis de impacto ambiental: Dependiendo de los resultados del proyecto se puede enlazar con futuras aplicaciones. Por ejemplo se pronostica el diseño y construcción de una impresora 3D de material reciclable para aplicaciones industriales.</p>
<p>Sostenibilidad social: Democratización del conocimiento.</p>
<p>Difusión y Transferencia Tecnológica</p>
<p>Artículo Científicos: Se espera escribir un artículo científico, y enviarlo a una revista de impacto.</p>
<p>Prototipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Se desarrollarán algoritmos de diseño para estructuras con arquitectura celular. ▪ Se fabricarán estructuras con arquitectura celular y vigas tipo sándwich usando manufactura aditiva.
<p>Registro de Propiedad Intelectual: Se planteará algún tipo de algoritmo novedoso para el diseño de estructuras celulares. Sin embargo, se requerirá analizar los resultados obtenidos antes de presentar alguna propuesta innovadora.</p>
<p>Empresas Spin Offs: N/A</p>
<p>Otros: N/A</p>
<p>Análisis de riesgos: Ingresar la información en el <i>ANEXO</i></p>

7. ESTRATEGIA DE EJECUCIÓN, SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

Hitos del proyecto (Un hito x mes)							
No.	Fecha Inicio	Fecha Fin	Actividades (1)	Entregables (1)	USD. Presupuesto (3)		
					INV.	CTE	TOTAL
1	15 Abril 2020	15 Mayo 2020	Revisión del estado del arte	Carpeta de revisión bibliográfica			
2	15 Mayo 2020	15 Junio 2020	Generación matemática de modelos celulares	Algoritmos de modelado			
3	15 junio 2020	15 Julio 2020	Diseño y pre-proceso con software libre	Modelos CAD			
4	15 julio 2020	15 Agosto 2020	Análisis de elasticidad con software comercial	Archivos XT			
5	15 Agosto 2020	15 Septiembre 2020	Impresión 3D de modelos celulares	Modelos impresos			
6	15 Septiembre 2020	15 Octubre 2020	Fabricación de vigas sándwich	Modelos fabricados			
7	15 Octubre 2020	15 Noviembre 2020	Caracterización experimental de estructuras con arquitectura celular	Resultados de ensayos			

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

8	15 Noviembre 2020	15 Diciembre 2020	Caracterización experimental de vigas sándwich	Resultados de ensayos			
9	15 Diciembre 2020	15 Enero 2021	Ensayos estáticos	Resultados de ensayos			
10	15 Enero 2021	15 febrero 2021	Ensayos dinámicos	Resultados de ensayos			
11	15 Febrero 2021	15 marzo 2021	Correlación de modelos teóricos y experimentales	Reporte estadístico			
12	15 Marzo 2021	15 Abril 2021	Escritura artículo científico	Artículo (Borrador)			

Los hitos son mensuales, debido al seguimiento que realiza la Unidad de Planificación Institucional de la Universidad y SENPLADES.

(1) Debe colocarse las actividades y entregables subidas en el punto 3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.

(2) Debe colocarse el presupuesto de acuerdo a la planificación financiera del punto 5. FINANCIAMIENTO.

8. BIBLIOGRAFÍA Y OTRA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA CITADA

- Schaedler, Tobias A., y William B. Carter. “Architected Cellular Materials”. Annual Review of Materials Research 46, núm. 1 (2016): 187–210. <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070115-031624>.
- Li, Dawei, Ning Dai, Yunlong Tang, Guoying Dong, y Yaoyao Fiona Zhao. “Design and Optimization of Graded Cellular Structures With Triply Periodic Level Surface-Based Topological Shapes”. Journal of Mechanical Design 141, núm. 7 (el 1 de julio de 2019). <https://doi.org/10.1115/1.4042617>.
- Walker, Jason M., Emily Bodamer, Alex Kleinfehn, Yuanyuan Luo, Matthew Becker, y David Dean. “Design and Mechanical Characterization of Solid and Highly Porous 3D Printed Poly(Propylene Fumarate) Scaffolds”. Progress in Additive Manufacturing 2, núm. 1 (el 1 de junio de 2017): 99–108. <https://doi.org/10.1007/s40964-017-0021-3>.
- Melchels, Ferry P.W., Katia Bertoldi, Ruggero Gabrielli, Aldrik H. Velders, Jan Feijen, y Dirk W. Grijpma. “Mathematically Defined Tissue Engineering Scaffold Architectures Prepared by Stereolithography”. Biomaterials 31, núm. 27 (2010): 6909–16. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2010.05.068>.
- Kadkhodapour, J., H. Montazerian, y S. Raeisi. “Investigating Internal Architecture Effect in Plastic Deformation and Failure for TPMS-Based Scaffolds Using Simulation Methods and Experimental Procedure”. Materials Science and Engineering: C 43 (2014): 587–97. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2014.07.047>.
- Yoo, Dong-Jin. “Computer-Aided Porous Scaffold Design for Tissue Engineering Using Triply Periodic Minimal Surfaces”. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing 12, núm. 1 (el 1 de febrero de 2011): 61–71. <https://doi.org/10.1007/s12541-011-0008-9>.
- Podshivalov, Lev, Cynthia M. Gomes, Andrea Zocca, Jens Guenster, Pinhas Bar-Yoseph, y Anath Fischer. “Design, Analysis and Additive Manufacturing of Porous Structures for Biocompatible Micro-Scale Scaffolds”. Procedia CIRP 5 (2013): 247–52. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.01.049>.
- Wang, Xiaojian, Shanqing Xu, Shiwei Zhou, Wei Xu, Martin Leary, Peter Choong, M. Qian, Milan Brandt, y Yi Min Xie. “Topological Design and Additive Manufacturing of Porous Metals for Bone Scaffolds and Orthopaedic Implants: A Review”. Biomaterials 83 (2016): 127–41. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2016.01.012>.

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

9. ANEXO

En los formatos que se encuentran en la hoja electrónica que se acompaña se debe ingresar la información relacionada con:

- Acta de Consejo de Departamento
- Matriz de riesgos del proyecto
- Planificación financiera
- Página Legal e Informe de búsquedas
- Currículo Vitae actualizado de todos los participantes
- Carta de auspicio del grupo de investigación al cual pertenece de ser pertinente

10. FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

<p>Ciudad y Fecha: Sangolquí, marzo 20 de 2020</p>	<p>Director del Proyecto</p>  <hr/> <p>Ing. Hernán Vinicio Lara Padilla, PhD C.I. 0603247362</p>
<p>DECLARO QUE EL PROYECTO SE ENCUENTRA APROBADO Y TIENE EL RESPALDO DEL DEPARTAMENTO/CENTRO</p>  <hr/> <p>Tcrn. Edison Haro Albuja, PhD C.I. 1709028714 Director del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica</p> <p>RESOLUCIÓN DE CONSEJO NO. RES-015-DCEM-ESPE-g-3 RESOLUCIÓN DE CONSEJO NO. RES-022-DCEM-ESPE-q-3</p>	

En el caso de las extensiones incluir la firma de respaldo de la Jefatura de Investigación.