

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Interdisciplinario

Título del proyecto:

Modelización matemática y control de fluidos magneto- y electro-reológicos. Aplicación al control de amortiguadores sísmicos.

Investigación básica Investigación aplicada Investigación pedagógica Innovación

DEPARTAMENTO(S):

1. Matemática
2. Física
3. Ing. Mecánica
4. Materiales

LÍNEA(S) DE INVESTIGACIÓN (verificable en el SAEW):

1. Modelización matemática y cálculo científico ✓
2. Optimización matemática y control ✓
3. Procesos electromagnéticos ✓
4. Física aplicada ✓
5. Elementos finitos con aplicaciones ✓
6. Materiales nanoestructurados ✓

Resumen de información del director y colaboradores del proyecto		
<u>Director</u>		
Apellidos y nombres	Departamento	Título de mayor nivel (Ing., M.Sc., Ph.D)
De los Reyes, Juan Carlos	Dpto. Matemática, MODEMAT	Ph.D.
<u>Colaborador(es)</u>		
Apellidos y nombres	Departamento	Título de mayor nivel Ing., M.Sc., Ph.D)
Costa Vera, César ✓	Dpto. Física	Ph.D.
González, Sergio	Dpto. Matemática, MODEMAT	Ph.D.
Guerrero, Víctor ✓	Dpto. Materiales	Ph.D.
Ordóñez, Freddy ✓	Dpto. Ing. Mecánica	Ph.D.
Yousept, Irwin	Univ. Duisburg-Essen, Alemania	Ph.D.
Meyer, Christian	Tech. Univ. Dortmund, Alemania	Ph.D.

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica Investigación Aplicada Investigación Pedagógica Innovación

DEPARTAMENTO(S):

1. Matemática
2. Física
3. Ing. Mecánica
4. Materiales

LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Modelización matemática y cálculo científico
2. Optimización matemática y control
3. Procesos electromagnéticos
4. Física aplicada
5. Elementos finitos con aplicaciones
6. Materiales nanoestructurados

1 Proyecto de Investigación

Título:

Modelización matemática y control de fluidos magneto- y electro-reológicos. Aplicación al control de amortiguadores sísmicos.

Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)

Los fluidos magneto/electro-reológicos son materiales que presentan un comportamiento reológico no-lineal en presencia de un campo magnético/eléctrico y un comportamiento laminar en ausencia de este. La transición de un estado a otro es sumamente rápida y plenamente reversible, lo cual ha permitido que estos materiales tengan aplicaciones importantes en el diseño de sistemas de suspensión automotrices, amortiguadores sísmicos en edificios, fabricación de prótesis, entre otros.

Pese a que estos materiales han estado presentes en la industria desde los años 80, tanto su explicación física como su modelización matemática son temas de investigación aún activos, debido a la complejidad del fenómeno. En este proyecto nos proponemos realizar un estudio integral de estos materiales, el cual contemple: la modelización matemática a través de leyes constitutivas no diferenciables; la validación experimental de los modelos desarrollados; el tratamiento numérico de los modelos evolutivos tridimensionales en interacción con otros sólidos en movimiento; y el diseño y análisis de mecanismos de control óptimo que permitan actuar sobre el material para obtener un comportamiento deseado. En particular, consideraremos la arquitectura de los amortiguadores sísmicos, con el fin de proponer estrategias de control para la respuesta de las estructuras ante movimientos telúricos.

Palabras clave (4-6):

Fluidos magneto/electro-reológicos; modelización matemática; experimentación reológica y espectroscópica; leyes de conservación no diferenciables; control óptimo; amortiguadores sísmicos.



2 **Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación**

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

- Proponer nuevos modelos matemáticos para fluidos magneto/electro-reológicos, los cuales sean verificados experimentalmente y simulados numéricamente en una plataforma HPC, y diseñar estrategias de control óptimo de estos materiales en problemas de relevancia práctica.

2.1.2 Objetivos Específicos

- a) Obtener nuevos modelos matemáticos no diferenciables (leyes de conservación) que describan el comportamiento de los fluidos magneto/electro-reológicos en acoplamiento con las ecuaciones de Maxwell.
- b) Verificar experimentalmente la validez de los modelos propuestos usando instrumentación óptica y reológica.
- c) Proponer esquemas numéricos para la simulación tridimensional de los modelos, incluyendo la interacción fluido-estructura, e implementarlos en paralelo.
- d) Analizar matemáticamente mecanismos de control óptimo de los modelos propuestos y obtener resultados de existencia de controles y condiciones necesarias de optimalidad.
- e) Implementar numéricamente métodos de solución de los problemas de control propuestos.

2.2 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

- a) Nuevos modelos matemáticos que describan el comportamiento de los fluidos magneto/electro-reológicos.
- b) Metodología instrumental para la medición de las propiedades de los materiales.
- c) Algoritmos numéricos que permitan resolver eficientemente los modelos propuestos, y puedan captar el súbito cambio en el estado del material.
- d) Condiciones que caractericen las estrategias de control óptimo a ser empleadas en fluidos electroreológicos.
- e) Algoritmos en paralelo que resuelvan los problemas de control propuestos.



3	Relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación
	<p>La presente propuesta es relevante y concordante con las líneas de investigación del Departamento de Matemática (<i>Modelización matemática y calculo científico</i>), del Centro de Modelización Matemática (<i>Optimización y control</i>), del Departamento de Física (<i>Procesos electromagnéticos, Física aplicada</i>), del Departamento de Materiales (<i>Materiales nanoestructurados</i>) y del Departamento de Ingeniería Mecánica (<i>Mecánica de fluidos</i>). La temática de este proyecto permitirá no solo fortalecer las líneas de investigación actualmente existentes, sino también sentar las bases para el desarrollo de nuevos tópicos de investigación multidisciplinarios a explorarse a futuro.</p> <p>Los materiales a investigarse son parte de lo que hoy en día se denomina fluidos inteligentes (<i>Smart Fluids</i>), los cuales tienen gran aplicabilidad, y cuyo estudio requiere de una interacción importante entre científicos de diversas áreas: matemática, física, mecánica de fluidos, ciencia de materiales, entre otros. El desarrollo del presente proyecto permitirá contribuir con artículos científicos de calidad, debido a la actualidad de la temática a nivel mundial y a la composición y trayectoria del equipo de investigadores. Más aún, el proyecto establecerá las condiciones para futuros resultados de innovación (diseño industrial).</p> <p>La parte más aplicada del proyecto estará enfocada en la simulación y control de los fluidos magneto/electro-reológicos en dispositivos concretos: los amortiguadores sísmicos. Esto permitirá: 1) posicionar en el debate nacional el uso de este tipo de dispositivos en zonas de alto riesgo sísmico; 2) entender a profundidad su funcionamiento y proponer mecanismos de control de los mismos en las diferentes circunstancias sísmicas. En ese sentido, el proyecto puede tener un impacto significativo en la sociedad, sobre todo en cuanto a la mitigación de riesgos futuros.</p> <p>Cabe destacar que los investigadores vinculados al proyecto formarán parte de los programas de posgrado del Departamento de Matemática (Maestría en Optimización Matemática y Doctorado en Matemática Aplicada), fortaleciendo de esta manera la formación de posgrado de la EPN. Sus tesis de posgrado se realizarán dentro de la temática del presente proyecto.</p>

4	Productos esperados														
	<table><tr><td>a. Publicaciones científicas (obligatorio);</td><td>■</td></tr><tr><td>b. Disertación a la Comunidad Politécnica;</td><td>■</td></tr><tr><td>c. Proyecto de Titulación;</td><td>□</td></tr><tr><td>d. Tesis de Grado (maestría o doctorado);</td><td>■</td></tr><tr><td>e. Aplicación tecnológica construida o implementada;</td><td>□</td></tr><tr><td>f. Patente presentada;</td><td>□</td></tr><tr><td>g. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.</td><td>□</td></tr></table>	a. Publicaciones científicas (obligatorio);	■	b. Disertación a la Comunidad Politécnica;	■	c. Proyecto de Titulación;	□	d. Tesis de Grado (maestría o doctorado);	■	e. Aplicación tecnológica construida o implementada;	□	f. Patente presentada;	□	g. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.	□
a. Publicaciones científicas (obligatorio);	■														
b. Disertación a la Comunidad Politécnica;	■														
c. Proyecto de Titulación;	□														
d. Tesis de Grado (maestría o doctorado);	■														
e. Aplicación tecnológica construida o implementada;	□														
f. Patente presentada;	□														
g. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.	□														



5	Descripción y metodología y diseño del proyecto
	<p>Los fluidos magneto/electro-reológicos son materiales que presentan un comportamiento reológico no-lineal en presencia de un campo magnético/eléctrico y un comportamiento laminar en ausencia de este. La transición de un estado a otro es rápida y plenamente reversible, lo cual ha permitido que estos materiales tengan aplicaciones importantes en la industria [12, 13]. Una de las aplicaciones de mayor interés en el contexto de nuestro país está relacionada con el diseño de amortiguadores sísmicos, con el objetivo de presentar una respuesta activa de las estructuras ante movimientos telúricos [13, 16].</p> <p>La modelización matemática de este tipo de materiales ha tenido como paradigma los modelos viscoplásticos clásicos (Bingham, Casson, etc.), asumiendo un efecto del campo electromagnético proporcional al cuadrado de su intensidad [5, 7, 15]. Si bien algunas hipótesis en cuanto a las leyes constitutivas se han podido sugerir en base a resultados experimentales, el tratamiento matemático de estas es aún incipiente y, en muchos casos, poco prometedor. El carácter altamente no-lineal del fenómeno puede conducir a la construcción de modelos para los cuales no se puede probar existencia de soluciones u otras propiedades matemáticas, ni tener un esquema robusto de aproximación numérica [14]. Una excepción en este sentido constituyen los trabajos de Hoppe [9], quien, a partir de un modelo de Bingham extendido, pudo obtener resultados analíticos y numéricos relevantes para el caso de fluidos electroreológicos estacionarios.</p> <p>Nuestro propósito, en cuanto a la modelización de estos materiales, consiste en investigar modelos variacionales más generales (tipo Herschel-Bulkley) y adaptarlos al caso de los fluidos magneto/electroreológicos en cuestión. En lugar de restringirnos al caso estacionario, investigaremos el problema evolutivo acoplado con las ecuaciones de Maxwell [18]. Estudiando la dinámica del fenómeno en su conjunto, propondremos leyes constitutivas no diferenciables alternativas e investigaremos sus propiedades matemáticas básicas (existencia, unicidad, estimaciones de energía, etc.). El modelo propuesto deberá presentar la suficiente simpleza como para ser estudiado matemáticamente, al mismo tiempo que su comportamiento presente similitud con los resultados experimentales.</p> <p>Para la validación de los modelos, además de usar experimentación reológica clásica, desarrollaremos métodos de medición de las propiedades reológicas en función de otras propiedades de los fluidos. Los métodos ópticos y espectroscópicos son de particular interés dadas sus excepcionales características analíticas, pues son en general: 1) no invasivos, 2) altamente sensibles, y 3) muy específicos. Los fluidos con complejas propiedades reológicas pueden mostrar modificaciones en sus características de birrefringencia, transmitancia, turbidez, o coloración bajo condiciones de polarización eléctrica o magnética [11, 17, 19]. Se realizarán experimentos tanto en montajes estándar de transmitancia y absorbancia, tanto sin, como con polarización eléctrica para determinar las propiedades de los estados límite reológicos de los fluidos. Adicionalmente se medirá la electro birrefringencia inducida en los mismos sistemas por el campo eléctrico, usando métodos de polarización óptica y fuentes de luz, tanto continuas (lámparas), como discretas (láseres) en el rango UV-Vis-NIR [11, 17, 19].</p> <p>Adicionalmente, se estudiará la aplicabilidad de los fluidos magneto/electro-reológicos en sistemas microfluidicos sencillos construidos a propósito [10, 15]. En estos casos el uso de imágenes ópticas asistidas con polarizadores o filtros adecuados permitirán inspeccionar el flujo en los canales del circuito microfluidico correspondiente [15]. La exploración de métodos interferométricos para estudiar el campo de estrés en las zonas polarizadas de los líquidos se prevé también. En modelos geométricos sencillos de celdas polarizables eléctricamente será posible determinar distribuciones espaciales del campo de estrés inducido y transiciones de fase evidentes a través de cambios en las propiedades ópticas. En casos como estos es posible usar métodos de problemas inversos para calibrar los modelos matemáticos correspondientes [2].</p> <p>Sobre la base de los modelos desarrollados y validados, se propondrán esquemas numéricos para su aproximación computacional. Debido a la esencia discontinua del fenómeno, se utilizará una discretización adaptiva en el tiempo, con el fin de tener mayor resolución en los instantes de transición de un estado a otro [6]. De igual manera, debido al carácter de frontera libre de este tipo de materiales, se estudiarán esquemas de discretización espacial con elementos finitos, los cuales permitan una resolución adecuada en las zonas de transición viscoplásticas, además de cumplir con condiciones de estabilidad de tipo Babuska-Brezi [8]. Los algoritmos serán implementados en una plataforma HPC, para obtener resultados tridimensionales con la precisión requerida.</p> <p>En cuanto a los problemas de control de este tipo de materiales, estos han sido abordados en el pasado básicamente para el caso estacionario, y desacoplando las ecuaciones de Maxwell y las leyes de los flui-</p>



dos [4, 9]. Para este proyecto consideraremos el problema de control evolutivo acoplado, en un estudio que involucre controles dependientes del tiempo: encendido/apagado del campo electromagnético. Debido al carácter no diferencial de las leyes constitutivas, la obtención de condiciones de optimalidad no se puede llevar a cabo mediante el uso de técnicas clásicas de programación no lineal [3]. En su lugar, investigaremos técnicas de regularización local que permitan aproximar el problema de control y estimaciones de energía para poder pasar al límite y caracterizar los controles óptimos. Sobre la base de esta caracterización, propondremos algoritmos de descenso para el cálculo de los controles óptimos e investigaremos esquemas de aceleración computacional de estos métodos numéricos.

Los métodos y algoritmos desarrollados serán implementados en paralelo en la plataforma HPC disponible en el Centro de Modelización Matemática, y aplicados en la simulación y control de amortiguadores sísmicos activos rellenos con fluidos magneto/electro-reológicos [13, 16]. Debido al mecanismo en movimiento (pistones), es necesario considerar adicionalmente la interacción fluido-estructura presente en el fenómeno, lo cual se hará mediante el uso de métodos de multiplicadores de Lagrange [8]. El tratamiento de este problema permitirá tener una idea clara de la forma óptima de funcionamiento de este tipo de amortiguadores sísmicos y su posible utilización en construcciones en nuestro país.

Elementos metodológicos

1) Desigualdades variacionales

Las desigualdades variacionales son una generalización de las ecuaciones en derivadas parciales, las cuales permiten modelizar fenómenos que incluyen funciones no diferenciables complejas. Tal es el caso de los problemas de contacto con fricción o de los fluidos viscoplásticos, entre otros [8]. Esta teoría incluye métodos para probar existencia, unicidad y regularidad de las soluciones. En nuestro proyecto aprovecharemos este tipo de desigualdades para plantear las leyes de conservación que modelicen los fluidos magneto/electro-reológicos.

2) Mediciones de transmitancia y absorbancia

Para estas mediciones se dispone de un sistema estándar formado por una fuente de luz en el rango 260nm-1000nm, un porta cubetas adecuado y se usará un espectrómetro compacto HR4000CG de Ocean Optics Inc. Las conexiones se realizarán mediante fibras ópticas adecuadas a adquirirse de la misma firma por propósitos de compatibilidad. Los líquidos se pondrán en cubetas con transparencia en el rango UV-Vis-NIR compatibles químicamente con los fluidos en estudio. Las mediciones se realizan en geometría de transmisión en la cual luz se dirige hacia el fluido por una cara de la cubeta, la atraviesa siendo parcialmente absorbida y dispersada, y se recoge con una fibra óptica adecuada al otro lado de la cubeta, por medio de la que se lleva al espectrómetro. El espectro se registra en una PC. Para la polarización eléctrica se adquirirán y construirán en algún caso, portacubetas especiales que cuenten con ranuras para introducir dos electrodos metálicos paralelos en cada caso. Estos se conectarán a una fuente de alto voltaje de hasta 30000VDC. Esto permitirá tener campos de hasta 3 kV/mm. Esta polarización requiere de switches de alto voltaje y circuitos de encendido adecuados, los mismos que se fabricarán. Un switch adecuado está disponible para pruebas de hasta 20kVDC absolutos.

3) Método de elementos finitos

El método de los elementos finitos es un esquema de discretización para ecuaciones en derivadas parciales y desigualdades variacionales, el cual parte de la formulación débil de la desigualdad y una aproximación finito-dimensional del espacio funcional solución [8]. La construcción del espacio de dimensión finita se la hace a partir de funciones polinomiales a trozos, construidas típicamente a partir de una triangulación del dominio. En el presente proyecto utilizaremos una discretización por elementos finitos de las leyes de conservación propuestas para modelizar el fenómeno, y para la resolución del sistema de optimalidad asociado al problema de control.

4) Control óptimo de desigualdades variacionales

El problema fundamental de la teoría de control óptimo de desigualdades variacionales consiste en hallar una función de control que minimice un cierto funcional de costo, sujeto a un sistema de inclusiones diferenciales. El control puede ser finito-dimensional o de carácter distribuido: término de fuerza, condición de borde, coeficientes o condición inicial. Mediante la utilización de elementos de optimización en espacios funcionales, teoría de regularización y análisis convexo, la teoría de control óptimo posibilita el estudio algunos aspectos del problema y de sus soluciones, tales como: existencia de soluciones óptimas, condiciones necesarias de primer orden, existencia de multiplicadores de Lagrange, condiciones necesarias y suficientes de segundo orden, regularidad de las variables y multiplicadores [1, 3].



5	Descripción y metodología y diseño del proyecto (continuación)
	<p>Bibliografía</p> <ol style="list-style-type: none">1. V. Barbu (1993). Analysis and Control of Infinite Dimensional Systems. San Diego, EEUU: Academic Press.2. J. Cárdenas-García (1999). Photoelastic inverse problem solution for a biaxially loaded infinite plate with a hole. Strain, Vol. 35(4), 131-138.3. J.C. De los Reyes (2015). Numerical PDE-Constrained Optimization. Berlín, Alemania: Springer-Verlag.4. J.C. De Los Reyes and Irwin Yousept (2015). Optimal control of electrorheological fluids through the action of electric fields. Computational Optimization and Applications, Vol. 62, 241-270.5. J. de Vicente, D.J. Klingenberg, Roque Hidalgo-Alvarez (2011). Magnetorheological fluids: a review. Soft Matter, Vol. 7, 3701-3710.6. P. Deuffhard, F. Bornemann (2012). Scientific computing with ordinary differential equations. Berlín, Alemania: Springer-Verlag.7. A. Ghaffari, S. Hassan Hashemabadi and M. Ashtiani (2015). A review on the simulation and modeling of magnetorheological fluids. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 26 (8) 881-904.8. R. Glowinski (2008). Numerical Methods for Nonlinear Variational Problems. Berlin, Alemania: Springer-Verlag.9. R. Hoppe, W.G. Litvinov. Modeling, simulation and optimization of electrorheological fluids (2011). En: Glowinski, R., Xu, J. (Eds.). Numerical Methods for Non-Newtonian Fluids. Handbook of Numerical Analysis (pp. 719-793). Amsterdam, Holanda: Elsevier.10. A. Kumar et al. (2015). A paper based microfluidic device for easy detection of uric acid using positively charged gold nanoparticles. Analyst, Vol. 140(6), 1817-1821.11. J.-C. Loudet, P. Barois, and P. Poulin (2000). Colloidal ordering from phase separation in a liquid- crystalline continuous phase. Nature, Vol. 407(6804), 611-613.12. J. Nikitzuk, B. Weinberg, P.K. Canavan, C. Mavroidis (2010). Active Knee Rehabilitation Orthotic Device With Variable Damping Characteristics Implemented via an Electrorheological Fluid. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 15 (6), 952-959.13. J. Oullette (2003). Smart Fluids Move into the Marketplace. Industrial Physicist, Vol. 9 (6), 14-17.14. M. Ruzicka (2000). Electrorheological Fluids: Modeling and Mathematical Theory. Berlín, Alemania: Springer-Verlag.15. P. Sheng, W. Wen (2012). Electrorheological Fluids: Mechanisms, Dynamics, and Microfluidics Applications. Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 44, 143-174.16. Y.L. Xu, W.L. Qu, J.M. Ko (2000). Seismic response control of frame structures using magnetorheological/electrorheological dampers. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 29 (5), 557-57517. L. Yanju, L. Jinsong, and W. Dianfu, Adaptive optical properties of ER fluid incorporating composite particles. Optics and Lasers in Engineering 3, 2000. 34: p. 7.18. I. Yousept (2013). Optimal control of quasilinear H(curl)-elliptic partial differential equations in magnetostatic field problems. SIAM J. Control Optim., Vol. 51(5), 3624-3651.19. X.P. Zhao, C.R. Luo, and Z.D. Zhang, Optical characteristics of electrorheological and electromagnetorheological fluids. Optical Engineering, 1998. 37(5): p. 1589-1592.



6 **Tiempo de dedicación de docentes, infraestructura, equipos y fondos adicionales.**

6.1 Tiempo máximo de dedicación semestral del Director del proyecto, de los docentes participantes y otros colaboradores.

El tiempo de dedicación máximo será de acuerdo al tipo de proyecto:

Proyecto	Director	Colaboradores
PII y PIS	16 HSS	8 HSS
PIJ y PIMI	20 HSS	10 HSS

Nombre	Rol (director o colaborador)	Horas de dedicación	Departamento
Juan Carlos De los Reyes	Director	20 HSS /	Matemática
César Costa Vera	Colaborador	10 HSS /	Física
Sergio González	Colaborador	3 HSS /	Matemática
Víctor Guerrero	Colaborador	3 HSS /	Materiales
Freddy Ordóñez	Colaborador	3 HSS /	Ing. Mecánica

6.2 Infraestructura y equipos

- Indicar la infraestructura y equipos **disponibles** para la ejecución del proyecto, con la ubicación actual de los mismos

En el proyecto se hará uso del sistema blade administrado por el Centro de Modelización Matemática, el cual se encuentra ubicado en la planta baja del EARME. Adicionalmente, se dispone del Laboratorio de Espectroscopia ubicado en el Departamento de Física, Edif. De Ingeniería Civil, piso 1.

6.3 Breve justificación del equipo requerido

- Justificar la infraestructura y equipos **solicitados** para la ejecución del proyecto e indicar el departamento en el cual se ubicará dicho equipamiento.

Los equipos solicitados cumplen el objetivo de montar una infraestructura mínima para la verificación experimental y la validación de modelos de los fenómenos reológicos en cuestión. El equipo no requiere de un espacio grande para ser ubicado, por lo cual gestionaremos un sitio en uno de los laboratorios existentes en los Departamentos de Física y Matemática.

Por otra parte, el equipo computacional solicitado servirá para complementar el sistema blade ya existente en el Laboratorio Nacional de Cálculo Científico, y poder, de esta manera, realizar cálculos computacionales y simulaciones numéricas de mayor envergadura.

6.4 Fondos Adicionales

- Otros fondos de otros organismos (si los hubiere)



7	Declaración del Director del Proyecto
Declaro que la presente propuesta es de mi autoría y de los colaboradores mencionados y que no ha sido presentada en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada solicitando el financiamiento total del proyecto.	
	
DIRECTOR DEL PROYECTO Nombre: Juan Carlos De los Reyes CC: 1706583174	
Quito, 18 de julio de 2016 (lugar y fecha)	

DECLARACIÓN DEL JEFE DE DEPARTAMENTO	
Esta propuesta ha sido aprobada por el Consejo del Departamento de Matemática, en sesión del día 18 de julio de 2016 mediante resolución No. 074. Las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del proponente y sus colaboradores de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta propuesta.	
	
JEFE DEL DEPARTAMENTO Nombre: Sergio González Andrade CC: 1707824932	
Quito, 18 de julio de 2016 (lugar y fecha)	





COMPUTADORA SAN EDUARDO S.A.

Av. Eloy Alfaro N33-109 y Suiza
PBX: (593-2) 2440 - 267
FAX: (593-2) 2432 - 430
Quito-Ecuador

Atención: **ESCUELA POLITECNICA NACIONAL** / Cotización: 20160715
Fecha: 15 de Julio de 2016
Referencia: Servidores para infraestructura de procesamiento HPC RUC: 0990347506001

Por medio de la presente permítanos hacerle llegar nuestra propuesta económica para los productos solicitados:

ITEMS	DESCRIPCION	Cant.	Precio Unitario \$	Precio Total \$
	Servidor Para Cluster HPC			
1	MODELO	1	\$ 24,685.00	\$24,685.00
	PROCESADOR			
	MEMORIA RAM			
	RED			
	VIDEO			
	CONTROLADORA DE ARREGLO			
	BAHIAS PARA DISCO DUROS			
	DISCOS DUROS			
	GARANTIA			
	SOPORTE			
			Sub-Total	\$24,685.00

Condiciones Comerciales:

Los precios están expresados en Dólares Americanos, No incluyen IVA

Oferta válida: 8 días
Tiempo de Entrega de los equipos: Inmediata según stock
Forma de pago: Condiciones Pre-establecidas con el cliente

Atentamente

Byron Arroyo

COMPSESA

Aviso de Confidencialidad: Este documento contiene información confidencial de Computadora San Eduardo S.A. - COMPSESA y/o de HP que se facilita exclusivamente para propósitos de evaluación de la oferta. Respecto al receptor de este documento, el receptor acepta mantener esta información bajo las más estrictas obligaciones de confidencialidad, y no reproducirá o no revelará la misma a ninguna persona fuera del grupo directamente responsable de la evaluación de su contenido, excepto que sea autorizado por escrito por Computadora San Eduardo S.A. - COMPSESA.



QUITO, 15 DE JULIO DEL 2016
ASSINFILT-QT-10015-16

SEÑORES:
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE MODELIZACION MATEMATICA
PRESENTE

ATT: ING. MYRIAN GUANOLUIZA

DE NUESTRAS CONSIDERACIONES:

ES GRATO PARA ASSINFILT PODER COTIZAR A USTED, EL EQUIPO REOMETRO ROTACIONAL PARA CONTROL DE CALIDAD RHEOLAB QC:

QTY	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO US\$	PRECIO TOTAL US\$
18318	/REOMETRO ROTACIONAL PARA CONTROL DE CALIDAD RHEOLAB QC.		25.264,00
108642	CPTD180 AIR/QC SISTEMA PELTIER PARA CONTROL DE TEMPERATURA RANGO: 0-180°C		
18385	RHEOPLUS R SOFTWARE		
20650	SISTEMAS DE MEDIDAS ESTÁNDAR CC27/SS/QC-LTD CONSISTE DE: - CILINDRO DE MEDIDA B-CC27 D:26.66 mm - COPA DE MEDIDA C-CC27/SS/QC-LTD		
		SUBTOTAL:	US\$ 25.264,00
		14% IVA.	3.536,96
		TOTAL:	US\$ 28.800,96

FORMA DE PAGO: 50% CON ORDEN DE COMPRA
50% CONTRA ENTREGA

TIEMPO DE ENTREGA: 4-5 SEMANAS, UNA VEZ ENVIADO ORDEN DE COMPRA

VALIDEZ DE OFERTA: 45 DIAS

GARANTIA: UN AÑO CONTRA DEFECTOS DE FABRICACION, EXCEPTUANDO LAS PARTES DE VIDRIO.

ASSINFILT Cia. Ltda. GARANTIZA:

QUE EL EQUIPO ES NUEVO Y ORIGINAL DE FABRICA

LA ENTREGA, INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO

ENTREGA DE MANUALES DE OPERACIÓN

CAPACITACION Y ENTRENAMIENTO AL PERSONAL A CARGO POR UN TECNICO CAPACITADO EN ANTON PAAR, AUSTRIA.



RESOLUCION DE PROBLEMAS LAS 24 HORAS DEL DIA VIA TELEFONICA, CORREO ELECTRONICO, CELULAR O PERSONALMENTE. CUANDO SE REQUIERAN CONSULTAS TECNICAS EN FABRICA LA CONTESTACION NO SERA MAYOR DE 24 HORAS.

EN ESPERA DE PODER SERVIRLES, QUEDAMOS DE USTED,

ATENTAMENTE,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Elizabeth Campaña", is written over a circular stamp or watermark.

ELIZABETH CAMPAÑA
ASSINFILT

TF: 2483-630/631

CEL: 0993437284

<https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/G/01/x-locale/checkout/checkout-spc-ship-banner. CB356012701 .gif>

amazon.com



SIGN IN

SHIPPING & PAYMENT

GIFT OPTIONS

PLACE ORDER

Choose your shipping options

Shipment 1 of 1

Shipping from Amazon.com

[\(Learn more\)](#)

Shipping to: ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, LADRÓN DE GUEVARA E 11-253, QUITO, PICHINCHA, Ecuador \$ 1.963,33

- **Handbook of Numerical Analysis: Finite Element Methods (Handbook of Numerical Analysis)** - P.G. Ciarlet

\$206.00 - Quantity: 1

Hardcover - New

Sold by: Amazon.com LLC
- **Finite Element Methods for Viscous Incompressible Flows: A Guide to Theory, Practice, and Algorithms** - Max D. Gunzburger

\$72.95 - Quantity: 1

Paperback - New

Sold by: Amazon.com LLC
- **Computational Fluid Dynamics** - John Anderson

\$319.57 - Quantity: 1

Hardcover - New

Sold by: Amazon.com LLC

- **Equilibrium Problems: Nonsmooth Optimization and Variational Inequality Models (Nonconvex Optimization and Its Applications) (Volume 80)** - Franco Giannessi

\$189.00 - Quantity: 1

Paperback - New

Sold by: Amazon.com LLC
- **Variational Methods for Problems from Plasticity Theory and for Generalized Newtonian Fluids (Lecture Notes in Mathematics)** - Martin Fuchs

\$109.00 - Quantity: 1

Paperback - New

Sold by: Amazon.com LLC
- **Prandtl-Essentials of Fluid Mechanics (Applied Mathematical Sciences)** - Herbert Oertel jr.

\$62.79 - Quantity: 1

Hardcover - New

Sold by: Amazon.com LLC
- **Principles of Computational Fluid Dynamics (Springer Series in Computational Mathematics)** - Pieter Wesseling

\$69.30 - Quantity: 1

Paperback - New

Sold by: Amazon.com LLC
- **Handbook of Computational Fluid Mechanics** - Roger Peyret

\$165.00 - Quantity: 1

Paperback - New

Sold by: Amazon.com LLC
- **Linear and Nonlinear Programming (International Series in Operations Research & Management Science)** - David G. Luenberger

\$119.00 - Quantity: 1

Hardcover - New

Sold by: Amazon.com LLC

- **Computational Methods for Fluid Dynamics** - Joel H. Ferziger

\$83.41 - Quantity: 1

Paperback - New

Sold by: Amazon.com LLC

- **The Finite Element Method for Elliptic Problems** - Philippe G. Ciarlet

\$72.95 - Quantity: 1

Paperback - New

Sold by: Amazon.com LLC

- **Computational Rheology** - R. G. Owens

\$117.36 - Quantity: 1

Hardcover - New

Sold by: Amazon.com LLC

- **Infinite-Dimensional Dynamical Systems in Mechanics and Physics (Applied Mathematical Sciences)** - Roger Temam

\$119.00 - Quantity: 1

Paperback - New

Sold by: Amazon.com LLC

- **Perspectives in Flow Control and Optimization (Advances in Design and Control)** - Max D. Gunzburger

\$93.00 - Quantity: 1

Hardcover - New

Sold by: Amazon.com LLC

- **Understanding And Implementing the Finite Element Method - Mark S. Gockenbach**

\$97.00 - Quantity: 1

Paperback - New

Sold by: Amazon.com LLC

- **Navier-Stokes Equations: Theory and Numerical Analysis (AMS Chelsea Publishing) - Roger Temam**

\$68.00 - Quantity: 1

Hardcover - New

Sold by: Amazon.com LLC

Cant	Item	Descripcion	Referencia	Precio Unitario	TOTAL
2	Espectrómetro Black Comet, StellarNet,	BLACK-Comet-SR Concave Grating Super Range spectrometer for UV-VIS-NIR, NO mirrors, aberration corrected, flat field provides uniform resolution! Choose model C-SR (200-1080nm) or CXR-SR (220-1100nm). Price includes 16-bit electronics upgrade, slit, UV detector upgrade, integrated order sorting filters, and USB-2 interface cable	BLACK-Comet-SR	3.495,00	6.990,00
2	Fibras Opticas	Varias	StellarNet	400,00	800,00
1	Porta Cubetas para medición de trasmittancia /absorbancia y Fluorescencia	StellarNet: CUV1 4-way fiber optic cuvette holder for measuring absorbance, transmittance, and fluorescence. Includes 2 Lens-Q-Col	CUV1	450,00	450,00
1	Juego de lamparas	StellarNet: SL1 +SL3 The high power SL1-Filter Halogen lamp and the SL3 Deuterium lamp with DCX lens installed can easily be coupled with a fiber optic Y-bundled fiber to provide high output, stable UV-VIS-NIR light, 200-2300nm, with long bulb lifetime	StellarNet: SL1 +SL3	2.980,00	2.980,00
5	Cubetas de cuarzo	StellarNet: QCV-5 Package of 5 Quartz cuvettes with 1cm path length	StellarNet: QCV-5	170,00	850,00
2	Polarizadores de hilo	Thorlabs , WP25L-VIS) 25 x 25 mm	Thorlabs	183,00	366,00
2	Polarizadores economicos	Thorlabs , LPVISE200-A 2"	Thorlabs	150,00	300,00
2	Monturas rotatorias	Thorlabs , KS2RSKinematic Rotation Mount for Ø2" Optics	Thorlabs	275,00	550,00
2	Monturas rectangulares	Thorlabs , FP01, Monturas rectangulares para polarizadores cuadrados	Thorlabs	88,20	176,40
SUBTOTAL				8.191,20	13.462,40
				IVA	1.884,74
				TOTAL	15.347,14