

## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

### DATOS INFORMATIVOS

Proyecto Interno  Proyecto Semilla  Proyecto Junior  Proyecto Multi e Interdisciplinario

Título del proyecto:

Optimización Matemática del Flujo Dependiente de la Temperatura de Fluidos Viscoplasticos y Elasto-Viscoplasticos.

Investigación básica  Investigación aplicada  Investigación pedagógica  Innovación

**DEPARTAMENTO(S):**

1. Departamento de Matemática.

**LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:**

- a. Modelización matemática y cálculo científico.
- b. Optimización matemática y control

Resumen de información del director y colaboradores del proyecto		
<u>Director</u>		
<b>Apellidos y nombres</b>	<b>Departamento</b>	<b>Título de mayor nivel (Ing., M.Sc., Ph.D)</b>
González Andrade Sergio	Matemática	Ph.D
<u>Colaborador(es)</u>		
<b>Apellidos y nombres</b>	<b>Departamento</b>	<b>Título de mayor nivel Ing., M.Sc., Ph.D)</b>
Acevedo Tapia Paúl	Matemática	Ph.D
De los Reyes Bueno Juan Carlos	Matemática	Ph.D





HOJA DE VIDA DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

**Datos personales**

<b>González Andrade</b>		<b>Sergio Alejandro</b>		
Apellidos		Nombres		
M: ( X ) F: ( )	03/04/1979	Ecuatoriano	sergio.gonzalez@epn.edu.ec	
Sexo	Fecha de nacimiento	Nacionalidad	Correo institucional	
Extensión EPN: 1533		Celular: 0984059889	Teléfono del domicilio: 2221344	
Cédula de identidad: 1707824932				
Dirección particular / ciudad: Mariana de Jesús E7-47 y La Pradera. Edificio Savanna, depto. 4A / Quito				
Facultad: Ciencias				
Departamento: Matemática				
Cargo actual en la EPN (tal como aparece en el nombramiento): Profesor Agregado, grado 3, nivel 5.				

**Educación universitaria. Proveer el nombre de los títulos de pregrado y postgrado (Ing., Magister, Ph.D.)**

Título	Año	Institución/Universidad	Ciudad/País	Área de investigación de la tesis
PhD	2008	Escuela Politécnica Nacional	Quito	Modelización Matemática y Análisis Numérico
Matemático	2004	Escuela Politécnica Nacional	Quito	Análisis Matemático y Ecuaciones Diferenciales

**Experiencia investigativa y en ejecución de proyectos (cite los tres más relevantes)**

Año	Título del proyecto	Cargo /Actividades realizadas
2013-2015	Simulación Numérica del Sistema Cardíaco y Circulatorio. Proyecto financiado por la SENESCYT.	Director e investigador principal.
2015-2016	Fluidos Viscoplasticos en la Industria Alimentaria: Modelización Matemática y Simulación Numérica. Proyecto PIMI 14-12.	Director e investigador principal.
2012-2013	Convección natural en fluidos viscoplasticos: modelización matemática y simulación numérica. Proyecto semilla PIS 12-17.	Director e investigador principal.

**Publicaciones, patentes, prototipos o productos (cite las cinco más relevantes o las más recientes)**

1. A. Borzi and S. González Andrade. (2015). Second-order approximation and fast multigrid solution of parabolic bilinear optimization problems. *Advances in Computational Mathematics*, 41, 457 - 488.
2. J. C. De los Reyes and S. González-Andrade. (2013). Numerical simulation of thermally convective viscoplastic fluids by semismooth second order type methods. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 193, 43 - 48.
3. J. C. De los Reyes and S. González Andrade. (2012). A combined BDF-semismooth Newton approach for time-dependent Bingham flow. *Numerical Methods for Partial Differential Equations*, 28, 834-860.
4. S. González Andrade and A. Borzi. (2012). Multigrid second-order accurate solution of parabolic control-constrained problems. *Computational Optimization and Applications*, 51, 835 - 866.
5. A. Borzi and S. González Andrade. (2012). Multigrid Solution of a Lavrentiev-Regularized State-Constrained Parabolic Control Problem. *Numerical Mathematics: Theory, Methods and Applications*, 5, 1 - 18.

**Experiencia profesional , otros trabajos científicos y técnicos**

- Investigador posdoctoral en la Universidad de Graz, Austria. Proyecto: *Modelization and Optimization in Biosciences – (MOBIS)*. Abril 2009 - Mayo 2010.



- Coordinador del área de Simulación y Modelización para las Biociencias en el Centro de Modelización Matemática – ModeMat. Desde marzo de 2013.
- Profesor visitante en la Universidad de Hamburgo. Programa de Maestría Erasmus Mundus MathMods. Mayo – Julio 2014.
- Director del Programa de Doctorado en Matemática Aplicada, Escuela Politécnica Nacional. Desde Enero 2015.
- Jefe del Departamento de Matemática, Escuela Politécnica Nacional. Desde Mayo 2016.





HOJA DE VIDA DEL PROFESOR COLABORADOR DEL PROYECTO (I)

Datos personales

Acevedo Tapia		Paul Andrés		
Apellidos		Nombres		
M: (x) F: ( )	18/04/1984	Ecuatoriana	paul.acevedo@epn.edu.ec	
Sexo	Fecha de nacimiento	Nacionalidad	Correo institucional	
Extensión EPN: 1520		Celular: 0968983370	Teléfono del domicilio: 2617825	
Cédula de identidad: 1712622164				
Dirección particular / ciudad: Av. Alonso de Angulo Oe2-582 y Jipijapa / Quito				
Facultad: Ciencias				
Departamento: Matemática				
Cargo actual en la EPN (tal como aparece en el nombramiento): Profesor titular auxiliar Nivel 1, Grado 1				

Educación universitaria. Proveer el nombre de los títulos de pregrado y postgrado (Ing., Magister, Ph.D.)

Título	Año	Institución/Universidad	Ciudad/País	Área de investigación de la tesis
Doctor en Ciencias de la Ingeniería, mención Modelación Matemática	2015	Universidad de Chile	Santiago-Chile	Ecuaciones Diferenciales Parciales
Docteur en Mathématiques Appliquées	2015	Université de Pau et des Pays de l'Adour	Pau-Francia	Ecuaciones Diferenciales Parciales
Matemático	2009	Escuela Politécnica Nacional	Quito-Ecuador	Optimización - Control Óptimo

Experiencia investigativa y en ejecución de proyectos (cite los tres más relevantes)

Año	Título del proyecto	Cargo /Actividades realizadas
N/A	N/A	N/A

Publicaciones, patentes, prototipos o productos (cite las cinco más relevantes o las más recientes)

1. Acevedo P., Amrouche C., Conca C. (2016) *Boussinesq system with non-homogeneous boundary conditions*, Applied Mathematics Letters, 53, p. 39-44.

Experiencia profesional , otros trabajos científicos y técnicos

Profesor Titular Auxiliar, EPN (2015-actualidad)  
Asistente de Cátedra, EPN (2009-2011)





HOJA DE VIDA DEL PROFESOR COLABORADOR DEL PROYECTO (2)

Datos personales

De los Reyes Bueno		Juan Carlos	
Apellidos		Nombres	
M: (X) F: ( )	14/10/1976	Ecuatoriana	juan.delosreyes@epn.edu.ec
Sexo	Fecha de nacimiento	Nacionalidad	Correo institucional
Extensión EPN: 1531		Celular:	Teléfono del domicilio:
Cédula de identidad: 1706583174			
Dirección particular / ciudad:			
Facultad: Ciencias Departamento: Matemática			
Cargo actual en la EPN (tal como aparece en el nombramiento): Profesor Principal a tiempo completo			

Educación universitaria. Proveer el nombre de los títulos de pregrado y postgrado (Ing., Magister, Ph.D.)

Título	Año	Institución/Universidad	Ciudad/País	Área de investigación de la tesis
PhD (Matemática)	2003	Universidad Karl-Franzens de Graz (Austria)	Austria	Control óptimo de ecuaciones en derivadas parciales
Ing. Matemático	2000	Escuela Politécnica Nacional	Ecuador	Optimización lineal y entera

Experiencia investigativa y en ejecución de proyectos (cite los tres más relevantes)

Año	Título del proyecto	Cargo /Actividades realizadas
Octubre 2013 - Marzo 2015	Sistema de pronóstico del clima y el tiempo para todo el territorio ecuatoriano: modelización numérica y estadística. Proyecto conjunto entre MODEMAT e INAMHI, financiado por la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (\$2.131.152).	Director del proyecto e investigador principal
Desde Enero 2015	Sparse Optimal Control of Differential Equations: Algorithms and Applications. Proyecto con financiamiento internacional en el marco de la red MATHAmSud.	Coordinador internacional e investigador principal.
Desde Enero 2015	Optimización de la obtención de parámetros reológicos de flujos volcánicos a partir de imágenes de alta resolución. Proyecto multidisciplinario conjunto entre el Instituto Geofísico (IGEPN) y el Centro de Modelización Matemática (MODEMAT), financiado por la EPN (\$80.000).	Colaborador e investigador principal.

Publicaciones, patentes, prototipos o productos (cite las cinco más relevantes o las más recientes)

1. J. C. De Los Reyes, C.-B. Schoenlieb and T. Valkonen The structure of optimal parameters for image restoration problems. Journal of Mathematical Analysis and Applications, Vol. 434, 464-500, 2016.





2. Juan Carlos De Los Reyes and Vili Dharmo Error estimates for optimal control problems of a class of quasilinear equations arising in variable viscosity fluid flow. *Numerische Mathematik*, Vol. 132(4), 691-720, 2016.
3. Juan Carlos De los Reyes and Christian Meyer Strong stationarity conditions for a class of optimization problems governed by variational inequalities of the second kind. *Journal of Optimization Theory and Applications*, Vol. 108(2), 375-409, 2016.
4. Juan Carlos De Los Reyes and Georg Stadler A nonsmooth model for discontinuous shear thickening fluids: Analysis and numerical solution. *Interfaces and Free Boundaries*, Vol. 16, 575-603, 2014.
5. Juan Carlos De Los Reyes and Irwin Yousept Optimal control of electrorheological fluids through the action of electric fields. *Computational Optimization and Applications*, Vol. 62, 241-270, 2015.

**Experiencia profesional , otros trabajos científicos y técnicos**

Feb 2013 - presente	Director del Centro de Modelización Matemática en Áreas Clave para el Desarrollo (ModeMat)
May 2013 - Julio 2013	Visiting Professor, Departamento de Matemática, Universidad de Hamburgo, Alemania.
Nov 2011 - presente	Profesor Principal (nombramiento definitivo), Departamento de Matemática, Escuela Politécnica Nacional Quito.
Abril 2010 - Marzo 2011	Alexander von Humboldt-Fellow, Universidad Técnica de Berlin, Alemania.
Oct 2009 - Marzo 2010	BMS Substitute Professor, Institut für Mathematik, Humboldt-Universität zu Berlin
Apr 2009 - Sep 2009	Alexander von Humboldt-Fellow, Universidad Técnica de Berlin
Jun 2008 - Oct 2011	Profesor Agregado II (nombramiento definitivo), Departamento de Matemática, Escuela Politécnica Nacional
Mar 2006 - Jun 2008	Profesor Agregado I (nombramiento definitivo), Departamento de Matemática, Escuela Politécnica Nacional
Feb 2005 - Feb 2006	Postdoctorado en el DFG Collaborative Research Center 557 "Control of complex turbulent shear flows", Universidad Técnica de Berlin.



## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno  Proyecto Semilla  Proyecto Junior  Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica  Investigación Aplicada  Investigación Pedagógica  Innovación

### DEPARTAMENTO(S):

1) Departamento de Matemática.

### LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

- a. Modelización matemática y cálculo científico.
- b. Optimización matemática y control.

### 1 Proyecto de Investigación

#### Título:

Optimización Matemática del Flujo Dependiente de la Temperatura de Fluidos Viscoplasticos y Elasto-Viscoplasticos.

#### Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)

Los fluidos no-Newtonianos son materiales que aparecen en multitud de aplicaciones industriales. De las suspensiones de minerales en aceites al chocolate o la sangre, todos estos materiales presentan un comportamiento no lineal y, muchas veces, difícil de representar con los modelos clásicos de fluidos. Una clase de materiales que ha recibido particular atención en los últimos tiempos son los llamados fluidos viscoplasticos (VPF) y elasto-viscoplasticos (EVPF) [6,8,10,13-16]. Estos fluidos se comportan como fluidos viscoplasticos, pero presentan un comportamiento elástico que afecta su reacción a los esfuerzos a baja velocidad (ver [4-6]). Un ejemplo son las espumas de polimeros o la sangre [16]. El comportamiento de estos materiales en presencia de fuentes de calor controladas constituye un campo de estudio interesante desde la perspectiva matemática y con amplias aplicaciones experimentales e industriales.

Este proyecto se enfocará en la simulación numérica del flujo dependiente de la temperatura de tres modelos: Herschel-Bulkley, Saramito y Bautista-Manero-Puig (BMP). En primer lugar nos enfocaremos en la simulación del fenómeno de convección natural para estos modelos, siguiendo el paradigma de Bousinesq. Posteriormente, estudiaremos la viabilidad de controlar el flujo del material a través de una fuente de calor. La idea básica es que al cambiar la fuente de calor, podamos incidir en la reología del material y así cambiar las propiedades específicas del fluido.

Palabras clave (4-6): Fluidos no-Newtonianos. Fluidos elasto-viscoplasticos. p-Laplaciano. Métodos multimalla. Técnicas variacionales. Control óptimo.



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

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

- Simular numéricamente el flujo dependiente de la temperatura (*non-isothermal flow*) de los fluidos viscoplásticos y elasto-viscoplásticos y plantear una estrategia de control para estos materiales usando fuentes de calor controladas.

2.1.2 Objetivos Específicos

- Resolver numéricamente los modelos de Herschel-Bulkley, Saramito y BMP.
- Plantear y analizar el sistema de ecuaciones referente al flujo convectivo (Bousinessq) de los fluidos EVP.
- Resolver numéricamente el sistema anterior.
- Plantear y analizar el sistema de ecuaciones referente al flujo dependiente de la temperatura de los fluidos EVP.
- Resolver numéricamente el problema anterior.
- Plantear, analizar y resolver un problema de control óptimo para el flujo dependiente de la temperatura (*non-isothermal flow*) de materiales elasto-viscoplásticos (EVPF).

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

- Algoritmos, basados en técnicas variacionales, de optimización y multimalla, para la resolución numérica de estos modelos.
- Un sistema acoplado de ecuaciones diferenciales, basado en el paradigma de Bousinessq, para cada uno de los modelos en estudio. Resultados de existencia y regularidad de soluciones.
- Un algoritmo de solución para este sistema acoplado.
- Un sistema acoplado de ecuaciones diferenciales para cada uno de los modelos en estudio. Resultados de existencia y regularidad de soluciones.
- Un algoritmo de solución para este sistema de ecuaciones.
- El problema de control óptimo, usando la fuente de calor como variable de control, para el flujo dependiente de la temperatura. Las condiciones de optimalidad y un sistema de optimalidad adecuado.





3	<b>Relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación</b>
	<p>Este proyecto se enfoca en la simulación y optimización de fluidos viscoplásticos y elasto-viscoplásticos. El proyecto se encuadra en la líneas de investigación, definidas por el Departamento de Matemática, de Modelización y Cálculo Científico y Optimización Matemática y Control. Dichas líneas buscan desarrollar técnicas eficientes para la solución de problemas diversos que aparecen en las aplicaciones de ingeniería y en la industria, y en su optimización para mejorar los procesos que los involucran. En este proyecto se busca desarrollar técnicas innovadoras para la simulación numérica y optimización matemática de materiales complejos, lo cual, consideramos, aporta de forma significativa al desarrollo de esta línea de investigación.</p> <p>Desde la perspectiva práctica, el estudio de estos modelos y su optimización resulta de gran utilidad en aplicaciones industriales. En efecto, contar con herramientas de simulación eficientes de estos fenómenos, permitiría optimizar los procesos productivos en la fabricación de compuestos con polímeros, en el procesamiento de comida como pan, pulpas de frutas, jarabes, etc; y en aplicaciones a la hemodinámica. Luego de nuestra experiencia con el proyecto PIMI 14-12 “Fluidos viscoplásticos en la industria alimenticia”, hemos visto la necesidad de analizar estos nuevos materiales para lograr una mejor descripción del comportamiento de varios compuestos con azúcar, por ejemplo. Sin embargo, es necesario iniciar un estudio teórico y numérico de estos modelos antes de analizar sus posibles aplicaciones experimentales. Por estar razón, planteamos esta primera fase como un proyecto junior.</p> <p>Cabe destacar, además, que la simulación y optimización de fluidos, campo esencial de la línea de investigación “Modelización y Cálculo Científico”, ha sido uno de los temas de mayor desarrollo en el Departamento de Matemática de la Escuela Politécnica Nacional. En los últimos años científicos del Departamento han publicado más de 20 artículos internacionales (ISI) en esta temática. Además, varias ponencias internacionales han sido aceptadas en eventos científicos de gran importancia, como los <i>IV, V y VI Workshops in Viscoplastic Fluids: From Theory to Applications</i>, desarrollados en Río de Janeiro (11/2011), Rueil de Mailmaison (11/2013) y Banff (11/2015). De hecho, el director de esta propuesta ha sido parte del comité organizador de la VI edición, la cual se realizó en Banff, Canadá en noviembre del año pasado; y será parte de los expositores invitados en la siguiente cita a realizarse en Nueva Zelanda. Cabe resaltar que esta conferencia es uno de los eventos más importantes del mundo en esta temática.</p>
4	<b>Productos esperados</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>a. Publicaciones científicas (obligatorio); <input checked="" type="checkbox"/></li><li>b. Disertación a la Comunidad Politécnica; <input checked="" type="checkbox"/></li><li>c. Proyecto de Titulación; <input type="checkbox"/></li><li>d. Tesis de Grado (maestría o doctorado); <input checked="" type="checkbox"/></li><li>e. Aplicación tecnológica construida o implementada; <input type="checkbox"/></li><li>f. Patente presentad; <input type="checkbox"/></li><li>g. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación. <input checked="" type="checkbox"/></li></ul>





## 5 Descripción y metodología y diseño del proyecto

### 5.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto (Máximo dos carillas)

#### Descripción del proyecto.

Los fluidos viscoplásticos (VPF) son materiales cuyo flujo está caracterizado por la existencia de dos tipos de regiones: zonas rígidas, en las cuales el tensor de estrés es menor a un umbral de plasticidad, y zonas en las cuales el material se comporta como un fluido viscoso debido a que el tensor de estrés superó este umbral. En varios fluidos complejos, se observa, además, un comportamiento elástico en las zonas rígidas. Estos materiales son conocidos como fluidos elasto-viscoplásticos (EVVPF). La modelización de estos materiales plantea varios retos desde la perspectiva matemática y numérica. Esto debido a que el comportamiento de estos materiales no se ajusta a los modelos clásicos para los fluidos viscoplásticos (Bingham, Casson o Herschel-Bulkley [4-6,8]), y es necesario combinarlos con modelos de elasticidad (e.g. Oldroyd), para una mejor descripción de sus propiedades. En este línea, se han presentado varios modelos como el modelo de Saramito [13-15] o el modelo de Bautista-Manero-Puig [10]. Sin embargo, hay propiedades que no han sido simuladas exitosamente, como la reacción del material a los cambios inducidos por fuentes de calor. Por otro lado, la resolución numérica de estos modelos requiere la combinación de varias herramientas computacionales y demanda un alto costo computacional [6,8].

Desde el punto de vista de las aplicaciones, los VPF y los EVVPF han sido utilizados para la modelización de varios compuestos en la industria petrolera (asfaltos), industria alimenticia (mermeladas y jarabes), cosmetología y en aplicaciones de salud (homodinámica) (Ver [16]). En la mayoría de estas aplicaciones, los materiales son sometidos a calentamiento o enfriamiento, lo que motiva el análisis no solo del flujo natural de estos materiales, sino también el flujo dependiente de la temperatura (Ver [3,11,19-21]).

Así, hemos dividido este proyecto en tres etapas. En la primera etapa resolveremos numéricamente el modelo general de Herschel-Bulkley [6], y los modelos de Saramito y BMP para fluidos viscoplásticos y elasto-viscoplásticos, respectivamente. Estos modelos están dados por un sistema generalizado de Navier-Stokes, en el cual el tensor de estrés está dado por una combinación de funciones no diferenciables y no lineales. En el caso del modelo de Saramito, por ejemplo, el tensor involucra la función máximo y la norma de Frobenius. Una vez descritos los modelos, discretizaremos estos sistemas mediante elementos finitos de tipo  $P_1-Q_0$  y proponemos resolver los sistemas discretos con una combinación de algoritmos de tipo punto interior y métodos generalizados de Newton [4-6]. Además, diseñaremos un algoritmo de tipo multimalla para la resolución de los sistemas discretos a gran escala [1,7,17].

En la segunda etapa analizaremos el flujo dependiente de la temperatura de los materiales cuyo comportamiento está dado por los modelos anteriormente mencionados. Este tipo de flujo está dado por un sistema acoplado de ecuaciones diferenciales constituido por el sistema generalizado de Navier-Stokes en cuyo lado derecho aparece la temperatura actuando como un campo de fuerzas (*body forces*), y una ecuación de calor que modela el cambio de temperatura en el material en movimiento. Iniciaremos analizando el flujo convectivo, dado por el paradigma de Bousinessq, y posteriormente analizaremos el modelo general para el flujo dependiente de la temperatura (*non-isothermal flow*) (Ver [11,18-21]).

En la tercera etapa analizaremos la posibilidad de controlar el comportamiento de estos materiales, a través de fuentes de calor, es decir, diseñaremos una estrategia óptima de calentamiento, para incidir de forma controlada en el flujo. La idea es controlar la fluidez, la densidad, la resistencia al movimiento, etc. Esto lo haremos mediante el estudio de un problema de control evolutivo acoplado, considerando controles dependientes del tiempo. Estos controles serán del tipo on/off con las fuentes de calor. Estas fuentes se pueden aplicar a la frontera del contenedor del material o pueden actuar de forma indirecta en el fluido (calentamiento por inducción). Debido al carácter no diferencial y altamente no lineal de los modelos a controlar (Herschel-Bulkley, Saramito o BMP), la obtención de condiciones de optimalidad requiere del uso de técnicas de regularización local tipo Huber [6] para aproximar el problema de control y caracterizar los controles óptimos. Finalmente, considerando la caracterización de los controles, propondremos algoritmos de descenso preconditionado [6] para la resolución numérica de los controles óptimos, investigaremos esquemas de aceleración computacional de estos métodos numéricos y diseñaremos algoritmos de multimalla para la resolución de los sistemas de ecuaciones a gran escala [1,7].





**Colaboración Internacional.** Este proyecto contará con la colaboración internacional de los profesores Prof. Dr. Ian Frigaard, director del laboratorio de fluidos complejos de la Universidad de la Columbia Británica (UBC) en Canadá y Prof. Dr. Miguel Moyers-González, profesor de la Universidad de Canterbury en Christchurch, Nueva Zelanda. Los mencionados científicos han iniciado una colaboración fructífera con el director en los últimos años y este proyecto es parte de la misma.

#### Elementos metodológicos.

- 1) **Métodos multimalla para problemas de optimización.** Los métodos multimalla son técnicas desarrolladas para la solución eficiente de sistemas discretos a gran escala. Una vez discretizado el dominio con  $N$  nodos, definimos varias mallas más gruesas (con menos nodos de discretización) tomando, de forma adecuada, varios nodos de la discretización inicial. Luego, discretizamos el funcional a ser optimizado en cada nivel. Gracias al análisis local de Fourier (ver [17]), sabemos que el error de aproximación al resolver el problema de minimización de cada funcional, en cada nivel, representado en un espacio de Fourier, tiene dos componentes principales: errores de alta frecuencia y los de baja frecuencia. Entonces, las técnicas multimalla combinan dos procesos complementarios para relajar y reducir el error global de aproximación. Primero, se construyen procesos de relajación para reducir los errores de alta frecuencia. Estos procesos son desarrollados a partir de los métodos iterativos de optimización como el método preconditionado del descenso más profundo, como el descrito en el ítem anterior. Si bien estos procesos no reducen de forma rápida los errores de aproximación, los relajan en pocas iteraciones, reduciendo el peso de los componentes de alta frecuencia en el error global. Una vez que se ha suavizado el error global de aproximación, al relajar sus componentes de alta frecuencia, se realiza un proceso conocido como “*coarse-grid correction*” o corrección en las mallas más gruesas. Con este proceso se corrigen los componentes de baja frecuencia del error de aproximación. La idea fundamental es proyectar eficientemente el problema a la malla más gruesa y resolverlo ahí de forma exacta. Es claro que en esta malla la solución del problema tendrá un costo computacional mínimo, en comparación con la solución directa en la malla más fina. Una vez que el problema está resuelto, se “transporta” esta solución exacta a la malla más fina, donde se corrige adecuadamente. El resultado de este proceso es la solución aproximada al problema. Estas técnicas han probado ser muy eficientes en la solución numérica de varios problemas de control óptimo y optimización (ver [1,7]) razón por la cual proponemos utilizarlas en este proyecto.
- 2) **Teoría de control óptimo.** La idea central de la teoría de control óptimo es optimizar un proceso, el cual está descrito mediante un modelo matemático (ver [2]). En particular, estos procesos o fenómenos pueden ser modelados por ecuaciones diferenciales parciales, como por ejemplo la difusión de calor, campos magnéticos, fluidos, etc. Estas ecuaciones poseen diferentes parámetros que representan a cantidades con un significado real en los modelos, y que son susceptibles de ser controlados. Al escogerse dichos parámetros de diferente manera producen estados distintos en el sistema, de aquí que se les conoce con el nombre de controles. La teoría de control óptimo, establece los criterios para escoger estos parámetros o controles de forma óptima, de acuerdo a ciertos criterios establecidos para caracterizar su optimalidad.
- 3) **Desigualdades variacionales.** Las desigualdades variacionales son una generalización de las ecuaciones en derivadas parciales, las cuales aparecen usualmente en el estudio de problemas de frontera libre y, en general, fenómenos que involucran funciones no diferenciables, como los fluidos viscoplásticos [5,6,8]. En nuestro proyecto estas estructuras juegan un papel clave, ya que los modelos para VPF y EVPF están dados por desigualdades variacionales de segundo tipo.

#### Bibliografía.

1. A. Borzi and S. González Andrade. (2015). Second-order approximation and fast multigrid solution of parabolic bilinear optimization problems. *Advances in Computational Mathematics*, 41, 457 - 488.
2. J.C. De los Reyes (2015). Numerical PDE-Constrained Optimization. Berlín, Alemania: Springer-Verlag.





3. J. C. De los Reyes and S. González-Andrade. (2013). Numerical simulation of thermally convective viscoplastic fluids by semismooth second order type methods. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 193, 43 - 48.
4. J. C. De los Reyes and S. González Andrade. (2012). A combined BDF-semismooth Newton approach for time-dependent Bingham flow. *Numerical Methods for Partial Differential Equations*, 28, 834-860.
5. R. Glowinski (2008). *Numerical Methods for Nonlinear Variational Problems*. Berlin, Alemania: Springer-Verlag.
6. S. González-Andrade. (2015). A Preconditioned Descent Algorithm for Variational Inequalities of the Second Kind Involving the  $p$ -Laplacian Operator. arXiv:1504.01429
7. S. González Andrade and A. Borzi. (2012). Multigrid second-order accurate solution of parabolic control-constrained problems. *Computational Optimization and Applications*, 51, 835 - 866.
8. R. Glowinski and J. Xu (Eds). (2011). *Numerical Methods for Nonlinear Methods*, Vol. 16 Handbook of Numerical Analysis. Great Britain: Elsevier.
9. R. W. Lewis, P. Nithiarasu and K. N. Seetharamu. (2004). *Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow*. (1st. edition). Chichester, England: Wiley & Sons.
10. O. Manero, J.H. Pérez-López, J.I. Escalante, J.E. Puig and F. Bautista. (2007). A thermodynamic approach to rheology of complex fluids: The generalized BMP model. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 146, 22 – 29.
11. A. Massmeyer, E. Di Giuseppe, A. Davaille, T. Rolf and P. J. Tackley. (2013). Numerical simulation of thermal plumes in a Herschel-Bulkley fluid. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 195, 32 – 45.
12. A. Quarteroni, M. Tuveri and A. Veneziani. (2000). Computational vascular fluid dynamics: problems, models and methods. *Comput. Visual Sci.*, 2, 163-197.
13. P. Saramito. (2007). A new constitutive equation for elastoviscoplastic fluid flows. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 145, 1 –14.
14. P. Saramito. (2009). A new elastoviscoplastic model based on the Herschel-Bulkley viscoplastic model. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 158, 154 – 161.
15. P. Saramito. (1995). Efficient simulation of nonlinear viscoelastic fluid flow. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 60, 199 – 223.
16. R. da R. Martins, G. M. Furtado, D. D. dos Santos, S. Frey, M. F. Naccache and P. R. de Souza Mendes. (2013). Elastic and viscous effects on flow pattern of elasto-viscoplastic fluids in a cavity. *Mechanical Research Communications*, 53, 36 – 42.
17. U. Trottenberg, C. Oosterlee and A. Schüller. (2001). *Multigrid*. London: Academic Press.
18. O. Turan, N. Chakraborty and R. J. Poole. (2010). Laminar natural convection of Bingham fluids in a square enclosure with differentially heated side walls. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 165, 901 – 913.
19. O. Turan, R. J. Poole and N. Chakraborty. (2011). Aspect ratio effects in laminar natural convection of Bingham fluids in rectangular enclosures with differentially heated side walls. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 166, 208 – 230.
20. A. Vikhansky. (2009). Thermal convection of a viscoplastic liquid with high Rayleigh and Bingham numbers. *Physics of Fluids*, 2, 103103.
21. J. Zhang, D. Vola and I.A. Frigaard (2006). Yield stress effect on Rayleigh-Bénard convection. *J. Fluid Mech.*, 566, 389-429.





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:*

Nombre	Rol (director o colaborador)	Horas de dedicación	Departamento
Sergio González Andrade	Director	20	Matemática
Paúl Acevedo	Colaborador	5	Matemática
Juan Carlos De los Reyes	Colaborador	3	Matemática

6.2 **Infraestructura y equipos**

- Oficinas del director y de los colaboradores. Salas para reuniones del equipo de trabajo.
- El Departamento de Matemática cuenta con infraestructura para realizar trabajos computacionales típicos. En particular, laboratorios para el trabajo de los ayudantes y asistentes de investigación.
- **Laboratorio Nacional de Cálculo Científico.** Dirigido por el Centro de Modelización Matemática (ModeMat), cuyas instalaciones nos permitirán realizar cálculos a gran escala a través del servidor de alto rendimiento Quinde. Este servidor cuenta actualmente con 7 cuchillas, cada una de las cuales tiene dos procesadores de la familia Xeon de 2.93Ghz, equipado con 6 núcleos. Con respecto a la memoria, cada cuchilla dispone de 96GB de memoria RAM. En resumen, el sistema cuenta con 50 núcleos y 480GB de memoria RAM. Es, además, de interés estratégico tanto para la EPN como para el ModeMat, que este laboratorio se potencie, de ahí la necesidad de adquirir más servidores blade para el supercomputador Quinde.

6.3 **Breve justificación del equipo requerido**

- **Cámara de alta velocidad.** Este equipo ayuda a tomar imágenes que nos permitirán percibir el comportamiento no lineal del material. En detalle, podremos ver la evolución del flujo, movimiento de burbujas en su estructura, etc.
- **Impresora.** Esta máquina es necesaria para la impresión de los reportes técnicos y otros materiales de difusión.

6.4 **Fondos Adicionales**

- N/A

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: Sergio González Andrade  
CC: 1707824932

Quito, 15 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 2016 mediante resolución No. 075. 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

CC: 1701824932

Quito, 18 de julio de 2016  
(lugar y fecha)





Título del Proyecto:

Optimización Matemática del Flujo Dependiente de la Temperatura de Fluidos Viscoplasticos y Elasto-Viscoplasticos.

AÑO 1

Nº	Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8				Mes 9				Mes 10				Mes 11				Mes 12			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Resolución numérica del modelo general de Herschel-Bulkley.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																																
2	Análisis y resolución numérica de los modelos de Saramito y BMP.					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																				
3	Planteamiento y análisis del problema de Bousinesq para los modelos de Herschel-Bulkley, Saramito y BMP.													x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																
4	Resolución numérica del problema de Bousinesq anterior: discretización y planteamiento de los algoritmos.																					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x												
5	Resolución numérica del problema de Bousinesq anterior: estudio de convergencia de los algoritmos e implementación.																									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x								
6	Presentación de resultados en la conferencia VPF: from theory to applications, y estadía de investigación en Nueva Zelanda.																																					x	x										

AÑO 2

Nº	Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8				Mes 9				Mes 10				Mes 11				Mes 12			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1	Planteamiento y análisis del problema del flujo dependiente de la temperatura para los modelos de Herschel-Bulkley, Saramito y BMP.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																																				
2	Resolución numérica del problema anterior: discretización y planteamiento de los algoritmos.									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																								
3	Resolución numérica del problema de Bousinesq anterior: estudio de convergencia de los algoritmos e implementación.													x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																								
4	Planteamiento y análisis del problema de control óptimo de frontera para el flujo dependiente de la temperatura: estudio teórico.																					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																
5	Planteamiento de los algoritmos de resolución numérica del problema de control óptimo de frontera para el flujo dependiente de la temperatura: discretización y estudio de los algoritmos.																									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x								
6	Validación experimental de los resultados obtenidos.																									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x								
7	Participación en la conferencia: International Multigrid Conference en Alemania.																																	x	x														
8	Estadía de investigación en la Alemania.																	x	x																														

*[Firma manuscrita]*  
 Firma del Director del Proyecto  
 Nombre del Director del Proyecto



Search...



(https://www.phantomhighspeed.com)

Home (https://www.phantomhighspeed.com/Store) » Phantom Miro C110 Camera (https://www.phantomhighspeed.com/Store/phantom-camera) » Phantom Miro C110 camera

Share

(http://www.addthis.cc v:

### Phantom Miro C110 camera

#### Product Details

SKU VRI-MIRO-C110-8GB-C /-M In Stock

Quantity

Site Price **\$11,900.00**

Add to Cart

#### Description

Online camera purchase is only available for customers located in the United States

Phantom Miro C110 high speed digital camera. 8GB. Monochrome or Color.

Description: The Miro C110 achieves up to 800 frames-per-second (fps) at full 1.3 Mpx resolution of 1280 x 1024, and up to over 29,800 frames-per-second at smaller resolutions. It has a light sensitivity ISO rating of 5000T (Monochrome) and 640D\* (Color), and comes with 8GB of RAM. The Miro C110 has standard BNC and Ethernet connectors and uses Phantom Camera Control (PCC) Software.

Measured according to ISO 12236:2006 method

Each camera ships with:

- Getting started manual
- Power supply
- Ethernet cable
- BNC cable
- PCC software

Delivery time: Currently 4-6 weeks after order is placed.

Interested but unsure? Try a demo camera for a week! We put a charge on your credit card for the duration of the demo, and remove it when the camera is returned and checked out.

Your credit card information is not immediately required when placing an order via this Web Store. Simply fill out the requested information and subsequent instructions, and we will contact you to complete the order.

Important: Online camera purchases are only available for customers located in the United States. International customers please contact your local distributor.



(https://www.phantomhighspeed.com/Portals/0/Hotcakes/Data/products/100b9af1-2436-4908-8361-284cc15f9289/medium/VRI-MIRO-C110-

main.jpg)



(http://www.phantomhighspeed.com/Portals/0/Hotcakes/Data/products/100b9af1-2436-4908-8361-284cc15f9289/additional/f53349f6-774b-41b3-

9d4e-c8d7acac6516/medium/VRI-MIRO-C110-back.jpg)



(http://www.phantomhighspeed.com/Portals/0/Hotcakes/Data/products/100b9af1-2436-4908-8361-284cc15f9289/additional/bf632944-d960-428b-

a89d-018bacc080b9/medium/VRI-MIRO-C110-front.jpg)



(http://www.phantomhighspeed.com/Portals/0/Hotcakes/Data/products/100b9af1-2436-4908-8361-284cc15f9289/additional/d3c72bd4-59ea-48a5-9f5f-a84283842288/medium/VRI-MIRO-C110-side.jpg)

#### Product Search

Cart Total: 0 Total: \$0.00

- Phantom Miro C110 Camera (https://www.phantomhighspeed.com/Store/phantom-camera)
- Lenses (https://www.phantomhighspeed.com/Store/phantom-camera-networking-and-control)
- Camera Networking and Control (https://www.phantomhighspeed.com/Store/phantom-camera-networking-and-control)
- Phantom Lens Mounts & Shims (https://www.phantomhighspeed.com/Store/phantom-camera-networking-and-control)
- Cables and Connectivity (https://www.phantomhighspeed.com/Store/phantom-camera-networking-and-control)
- Lighting (https://www.phantomhighspeed.com/Store/phantom-camera-networking-and-control)
- Storage, Ingest & Data Management (https://www.phantomhighspeed.com/Store/phantom-camera-networking-and-control)
- Mounting & Camera Support (https://www.phantomhighspeed.com/Store/phantom-camera-networking-and-control)
- Power (https://www.phantomhighspeed.com/Store/phantom-camera-networking-and-control)
- Viewfinders and Displays (https://www.phantomhighspeed.com/Store/phantom-camera-networking-and-control)
- Digital Cinema Accessories (https://www.phantomhighspeed.com/Store/phantom-camera-networking-and-control)
- Cases (https://www.phantomhighspeed.com/Store/phantom-camera-networking-and-control)
- Misc. Accessories (https://www.phantomhighspeed.com/Store/phantom-camera-networking-and-control)





Tecnología a tu alcance...

[www.compuzone.com.ec](http://www.compuzone.com.ec)

**Teléfono:** 04-2738565 | **Móvil:** 084910579

**MSN:** compuzone-ecuador@hotmail.com

**Info:** [info@compuzone.com.ec](mailto:info@compuzone.com.ec)  
Guayaquil - Ecuador

## Ficha Técnica



**MARCA:** HP  
**PRODUCTO:** IMPRESORA HP ENTERPRISE 500  
COLOR M575F  
**DESCRIPCIÓN:** 08/15 T I S 31 ppm negro-  
color/ Scanner cama plan •  
FAX • Copiadora • Memoria 1536  
MB , LCD 8.0-inch  
**PRECIO:** 3985.85

\*Precio ya incluye IVA

## Características Del Producto

31 ppm negro-color/ Scanner cama plan • FAX • Copiadora • Memoria 1536 MB , LCD 8.0-inch (20.3 cm) touchscreen • Bandejas: 2 (100 hojas y 250 hojas) • Duplex automatico • LAN Fax; Send to Internet Fax, tandard, embedded HP High-Performance Secure Hard Disk, minimum 250 GB; AE • Ciclo mensual 75000 pag, recomendado 6000 pag. • Toner CE250A/C CE251A-CE252A-CE253A



Try Prime

free and moving boundaries analys

Departments

Browsing History

Sergio's Amazon.com

Today's Deals

Hello, Sergio  
Your Account

Try Prime

Lists

6

Cart

Books Advanced Search New Releases Best Sellers The New York Times Best Sellers Children's Books Textbooks Textbook Rentals

Back to search results for "free and moving boundaries analysis"

Look inside



Flip to back



See all 3 images

# Free and Moving Boundaries: Analysis, Simulation and Control (Lecture Notes in Pure and Applied Mathematics) Paperback –

June 6, 2007

by Roland Glowinski (Editor), Jean-Paul Zolesio (Editor)

Be the first to review this item

See all 2 formats and editions

Kindle  
\$231.00

Read with Our Free App

Paperback  
\$231.00

11 Used from \$27.50  
19 New from \$87.71

Addressing algebraic problems found in biomathematics and energy, **Free and Moving Boundaries: Analysis, Simulation and Control** discusses moving boundary and boundary control in systems described by partial differential equations (PDEs). With contributions from international experts, the book emphasizes numerical and theoretical control of moving boundaries in fluid structure couple systems, arteries, shape stabilization level methods, family of moving geometries, and boundary control. Using numerical analysis, the contributors examine

Report incorrect product information.



Scientific Teaching Series

Shop the Scientific Teaching Series from Macmillan.

Share

Buy New

\$231.00

Qty: 1

FREE Shipping.

Temporarily out of stock.

Order now and we'll deliver when available. Details

Ships from and sold by Amazon.com. Gift-wrap available.

Yes, I want FREE Two-Day Shipping with Amazon Prime

Add to Cart

Turn on 1-Click ordering for this browser

Ship to:

Select a shipping address:

Buy Used

\$125.23

Add to List

Have one to sell?

Sell on Amazon

## Special Offers and Product Promotions

- Your cost could be **\$181.00** instead of **\$231.00**! Get a **\$50.00** gift card instantly upon approval for the Amazon.com Rewards Visa Card. Apply now.

## Editorial Reviews

### About the Author

Roland Glowinski is Cullen Professor of Mathematics at the University of Houston and Emeritus Professor at Laboratoire J. L. Lions, University P. and M. Curie, Paris. He is a Member of the French National Academy of Sciences and in 2004 won the Von Karman prize from the Society for Industrial and Applied Mathematics. He has written over 300 research papers and this is his 3rd book.

J.-P. Zolesio is Research Director in Mathematics at the CNRS. He is member of the Institut Non Lineaire de Nice (INLN) associated with the

## Product Details

**Series:** Lecture Notes in Pure and Applied Mathematics

Engineering & Transportation Books  
Discover books for all types



Try Prime

free and moving boundaries

Departments

Browsing History

Sergio's Amazon.com

Today's Deals

Hello, Sergio  
Your Account

Try Prime

Lists

6

Cart

Books Advanced Search New Releases Best Sellers The New York Times Best Sellers Children's Books Textbooks Textbook Rentals

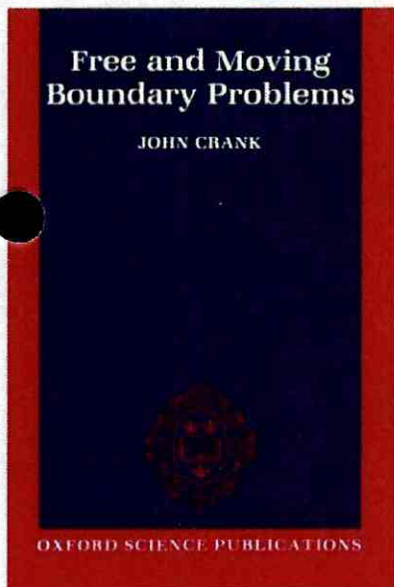
Books Science & Math Mathematics

# Free and Moving Boundary Problems (Oxford Science Publications)

by John Crank (Author)

1 customer review

Look inside



ISBN-13: 978-0198533702

ISBN-10: 0198533705

Why is ISBN important?

Have one to sell?

Sell on Amazon

Add to List

Share

Hardcover

\$55.99

**Paperback**

**\$68.66 - \$130.00**

Unknown Binding

Other Sellers

from \$54.96

Buy used

\$68.66

Buy new

**\$130.00**

In Stock.

Ships from and sold by Amazon.com. Gift-wrap available.

18 New from \$115.78

Want it Friday, July 15? Order within 16 hrs 32 mins and choose One-Day Shipping at checkout. Details

FREE Shipping.

Qty: 1

Add to Cart

Turn on 1-Click ordering

Ship to:

Select a shipping address:

More Buying Choices

36 used & new from \$54.96

18 New from \$115.78

18 Used from \$54.96

See All Buying Options

**Prime student** **FREE TWO-DAY SHIPPING FOR COLLEGE STUDENTS** Learn more

Here is a wide-ranging, comprehensive account of the mathematical formulation of problems involving free boundaries as they occur in such diverse areas as hydrology, metallurgy, chemical engineering, soil science, molecular biology, materials science, and steel and glass production. Many new methods of solution are discussed, including modern computer techniques which address multidimensional, multiphase practical

Report incorrect product information.



Ugly's electrical references

Sponsored by Jones & Bartlett. Learn more about electrical engineering with the Ugly's series of electrical references.

## Customers Who Bought This Item Also Bought



Try Prime

Books Galerkin finite element method

Departments

Browsing History

Sergio's Amazon.com

Today's Deals

Hello, Sergio  
Your Account

Try Prime

Lists

6

Cart

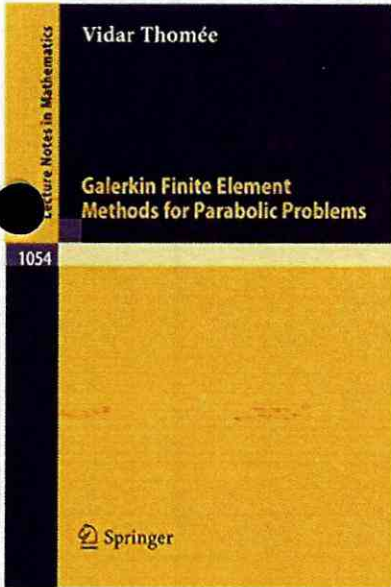
Books Advanced Search New Releases Best Sellers The New York Times Best Sellers Children's Books Textbooks Textbook Rentals

Back to search results for "Galerkin finite element method"

# Galerkin Finite Element Methods for Parabolic Problems (Lecture Notes in Mathematics) 1984th Edition

by V. Thomee (Author)

Be the first to review this item



ISBN-13: 978-3540129110  
ISBN-10: 3540129111  
Why is ISBN important?

Have one to sell?

Sell on Amazon

Add to List

Share

**Paperback**  
\$31.18 - \$69.99

Other Sellers  
from \$31.18

Buy used

\$31.18

Buy new

**\$69.99**

In Stock.

Ships from and sold by Amazon.com. Gift-wrap available.

20 New from \$45.90

Want it Friday, July 15? Order within **16 hrs 21 mins** and choose **One-Day Shipping** at checkout. Details

FREE Shipping.

Qty: 1

Add to Cart

Turn on 1-Click ordering

Ship to:

Select a shipping address:

## More Buying Choices

20 New from \$45.90 7 Used from \$31.18

27 used & new from \$31.18

See All Buying Options

Prime student

**FREE TWO-DAY SHIPPING**  
FOR COLLEGE STUDENTS

Learn more

Report incorrect product information.



### Top 20 lists in Books

View the top 20 best sellers of all time, the most reviewed books of all time and some of our editors' favorite picks. Learn more

## Product Details

**Series:** Lecture Notes in Mathematics (Book 1054)

**Paperback:** 238 pages

**Publisher:** Springer; 1984 edition (February 22, 2009)

**Language:** English

**ISBN-10:** 3540129111

**ISBN-13:** 978-3540129110

**Product Dimensions:** 6.1 x 0.6 x 9.2 inches

**Shipping Weight:** 13.4 ounces (View shipping rates and policies)

**Average Customer Review:** Be the first to review this item



### New York Times best sellers

Browse the New York Times best sellers in popular categories like Fiction, Nonfiction, Picture Books and more. See more



Try Prime

hemodynamical flows modeling

Departments

Browsing History

Sergio's Amazon.com

Today's Deals

Hello, Sergio  
Your Account

Try Prime

Lists

6

Cart

Books Advanced Search New Releases Best Sellers The New York Times Best Sellers Children's Books Textbooks Textbook Rentals

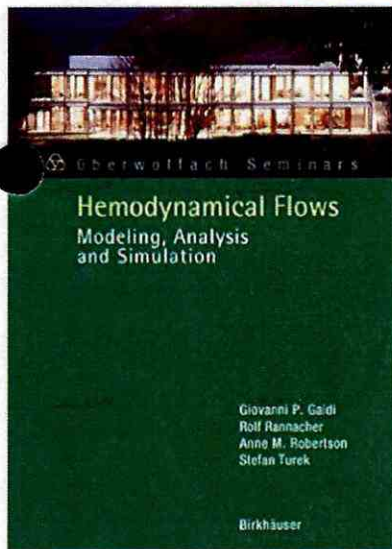
Back to search results for "hemodynamical flows modeling"

# Hemodynamical Flows: Modeling, Analysis and Simulation (Oberwolfach Seminars) 2008th Edition

by Giovanni P. Galdi (Author), Rolf Rannacher (Author), Anne M. Robertson (Author), Stefan Turek (Author)

Be the first to review this item

Look inside



ISBN-13: 978-3764378059

ISBN-10: 3764378050

Why is ISBN important?

Have one to sell?

Sell on Amazon

Add to List

Share

**Paperback**  
\$34.00 - \$69.95

**Other Sellers**  
from \$34.00

Buy used

\$34.00

**Buy new**

**\$69.95**

Usually ships within 3 to 5 days.

Ships from and sold by Amazon.com. Gift-wrap available.

21 New from \$38.95

FREE Shipping.

Qty: 1

Add to Cart

Turn on 1-Click ordering

Ship to:

Select a shipping address:

**More Buying Choices**

21 New from \$38.95

9 Used from \$34.00

30 used & new from \$34.00

See All Buying Options

Prime student

**FREE TWO-DAY SHIPPING**  
FOR COLLEGE STUDENTS

Learn more

This book surveys research results on the physical and mathematical modeling, as well as the numerical simulation of complex fluid and structural mechanical processes occurring in the human blood circulation system. Topics treated include continuum mechanical description; choice of suitable liquid and wall models; mathematical analysis of coupled models; numerical methods for flow simulation; parameter identification and model calibration; fluid-solid interaction; mathematical analysis of piping systems; particle transport in

Read more

Report incorrect product information.



**Windows 10 For Dummies Video Training**

Get up to speed with Windows 10 with this video training course from For Dummies. Learn more.



Try Prime

All Introduction to Piecewise Differentiable Equations

Departments

Browsing History

Sergio's Amazon.com

Today's Deals

Hello, Sergio  
Your Account

Try Prime

Lists

6

Cart

Books Advanced Search New Releases Best Sellers The New York Times Best Sellers Children's Books Textbooks Textbook Rentals

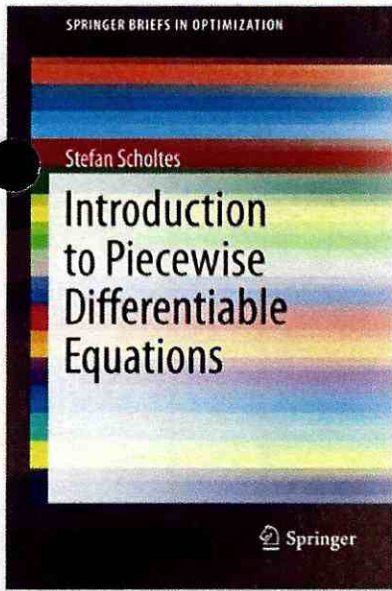
Back to search results for "Introduction to Piecewise Differentiable Equations"

# Introduction to Piecewise Differentiable Equations (SpringerBriefs in Optimization) 2012th Edition

by Stefan Scholtes (Author)

Be the first to review this item

Look inside



ISBN-13: 978-1461443391

ISBN-10: 1461443393

Why is ISBN important?

Have one to sell?

Sell on Amazon

Add to List

Share

eTextbook \$49.95

**Paperback**  
\$44.55 - \$49.95

Other Sellers  
from \$36.77

Buy used

\$44.55

**Buy new**

**\$49.95**

In Stock.

Ships from and sold by Amazon.com. Gift-wrap available.

26 New from \$36.77

Want it Friday, July 15? Order within **16 hrs 41 mins** and choose **One-Day Shipping** at checkout. Details

FREE Shipping.

Qty: 1

Add to Cart

Turn on 1-Click ordering

Ship to:

Select a shipping address:

### More Buying Choices

26 New from \$36.77 11 Used from \$44.55

37 used & new from \$36.77

See All Buying Options

Prime student

**FREE TWO-DAY SHIPPING**  
FOR COLLEGE STUDENTS

Learn more

This brief provides an elementary introduction to the theory of piecewise differentiable functions with an emphasis on differentiable equations. In the first chapter, two sample problems are used to motivate the study of this theory. The presentation is then developed using two basic tools for the analysis of piecewise differentiable functions: the Bouligand derivative as the nonsmooth analogue of the classical derivative concept and the theory of piecewise affine functions as the combinatorial tool for the study of this

Read more

Report incorrect product information.



**The Amazon Book Review**

Author interviews, book reviews, editors picks, and more. Read it now



Try Prime

Books

Departments

Browsing History

Sergio's Amazon.com

Today's Deals

Hello, Sergio

Your Account

Try Prime

Lists

6

Cart

Books Advanced Search New Releases Best Sellers The New York Times Best Sellers Children's Books Textbooks Textbook Rentals Sell Us Your Books

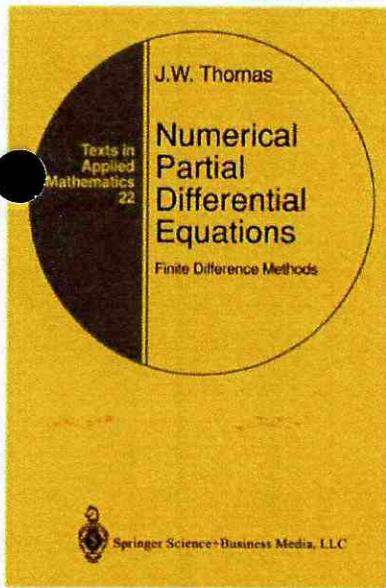
Books Source & Math Mathematics

# Numerical Partial Differential Equations: Finite Difference Methods (Texts in Applied Mathematics) 1st ed. 1995. Corr. 2nd printing 1998 Edition

by J.W. Thomas (Author)

6 customer reviews

Look inside



Hardcover

\$37.19 - \$55.97

Paperback

\$26.15 - \$55.97

Other Sellers

from \$22.67

Rent

\$37.19

Buy used

\$53.12

Buy new

\$55.97

Only 13 left in stock (more on the way).

Ships from and sold by Amazon.com. Gift-wrap available.

List Price: \$79.95 Save: \$23.98 (30%)

25 New from \$46.02

Want it Friday, July 15? Order within 9 hrs 18 mins and choose Two-Day Shipping at checkout. Details

FREE Shipping.

Qty: 1

Add to Cart

Turn on 1-Click ordering

Ship to:

Select a shipping address:

## More Buying Choices

25 New from \$46.02 24 Used from \$22.67

49 used & new from \$22.67

See All Buying Options

ISBN-13: 000-0387979999

ISBN-10: 0387979999

Why is ISBN important?

Trade in your item  
Get a \$2.25  
Gift Card.

Trade in

Learn More

Have one to sell?

Sell on Amazon

Add to List

Share

**Prime student** **FREE TWO-DAY SHIPPING**  
FOR COLLEGE STUDENTS [Learn more](#)

What makes this book stand out from the competition is that it is more computational. Once done with both volumes, readers will have the tools to attack a wider variety of problems than those worked out in the competitors' books. The author stresses the use of technology throughout the text, allowing students to utilize it

Report incorrect product information.



Find your next read  
for Summer [Shop now](#)

## Frequently Bought Together

Total price: \$141.48



Try Prime

Books Galerkin finite element method

Departments Browsing History Sergio's Amazon.com Today's Deals Hello, Sergio Your Account Try Prime Lists 6 Cart

Books Advanced Search New Releases Best Sellers The New York Times Best Sellers Children's Books Textbooks Textbook Rentals Sell Us Your Books

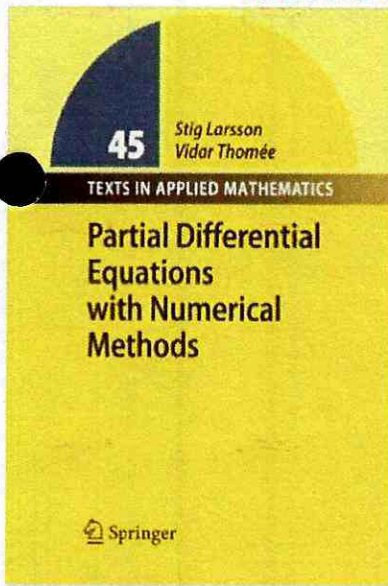
Back to search results for "partial differential equations with numerical meth..."

# Partial Differential Equations with Numerical Methods (Texts in Applied Mathematics) 1st ed. 2003. 2nd printing 2008 Edition

by Stig Larsson (Author), Vidar Thomee (Author)

3 customer reviews

Look inside



eTextbook

Hardcover

\$99.00

**Paperback**

\$32.22 - \$39.99

Other Sellers

from \$27.76

Buy used

\$32.22

Buy new

**\$39.99**

In Stock.

List Price: \$49.99 Save: \$10.00 (20%)

Ships from and sold by Amazon.com. Gift-wrap available.

28 New from \$27.81

Want it Friday, July 15? Order within 16 hrs 20 mins and choose One-Day Shipping at checkout. Details

FREE Shipping.

Qty: 1

Add to Cart

Turn on 1-Click ordering

Ship to:

Select a shipping address:

### More Buying Choices

46 used & new from \$27.76

28 New from \$27.81

18 Used from \$27.76

See All Buying Options

Prime student **FREE TWO-DAY SHIPPING FOR COLLEGE STUDENTS** Learn more

The main theme is the integration of the theory of linear PDE and the theory of finite difference and finite element methods. For each type of PDE, elliptic, parabolic, and hyperbolic, the text contains one chapter on the mathematical theory of the differential equation, followed by one chapter on finite difference methods and one on finite element methods. The chapters on elliptic equations are preceded by a chapter on the two-point boundary value problem for ordinary differential equations. Similarly, the chapters on time-dependent problems are

Read more

Report incorrect product information.



Find your next read for Summer Shop now

### Frequently Bought Together

Total price: \$71.95



Try Prime

All ▾ robust numerical methods for singularly

Departments ▾

Browsing History ▾

Sergio's Amazon.com

Today's Deals

Hello, Sergio  
Your Account ▾

Try Prime ▾

Lists ▾

6

Cart

Books Advanced Search New Releases Best Sellers The New York Times Best Sellers Children's Books Textbooks Textbook Rentals

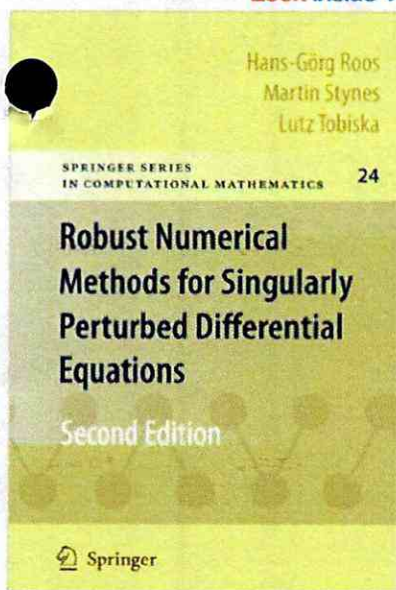
Back to search results for "robust numerical methods for singularly"

# Robust Numerical Methods for Singularly Perturbed Differential Equations: Convection-Diffusion-Reaction and Flow Problems (Springer Series in Computational Mathematics) Softcover reprint of hardcover 2nd ed. 2008 Edition

by Hans-G. Roos (Author), Martin Stynes (Author), Lutz Tobiska (Author)

Be the first to review this item

Look inside ▾



**Hardcover**  
\$26.99 - \$148.00

**Paperback**  
\$75.00 - \$169.00

**Other Sellers**  
from \$75.00

Buy used

\$75.00

Buy new

**\$169.00**

In Stock.

Ships from and sold by Amazon.com. Gift-wrap available.

15 New from \$123.88

Want it Friday, July 15? Order within **16 hrs 29 mins** and choose **One-Day Shipping** at checkout. Details

FREE Shipping.

Qty: 1

Add to Cart

Turn on 1-Click ordering

Ship to:

Select a shipping address:

More Buying Choices

15 New from \$123.88

9 Used from \$75.00

24 used & new from \$75.00

See All Buying Options

ISBN-13: 978-3642070822

ISBN-10: 3642070825

ISBN important?

Have one to sell?

Sell on Amazon

Add to List

Share

Prime student

**FREE TWO-DAY SHIPPING**  
FOR COLLEGE STUDENTS

Learn more ▸

This new edition incorporates new developments in numerical methods for singularly perturbed differential equations, focusing on linear convection-diffusion equations and on nonlinear flow problems that appear in computational fluid dynamics.

Report incorrect product information.



Find your next read  
for Summer [Shop now ▸](#)



Try Prime

Departments  Browsing History  Sergio's Amazon.com Today's Deals Hello, Sergio Your Account  Try Prime  Lists  6 Cart

Books Advanced Search New Releases Best Sellers The New York Times Best Sellers Children's Books Textbooks Textbook Rentals Sell Us Your Books

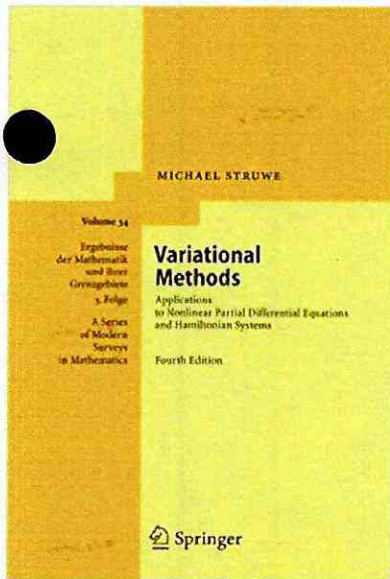
Back to search results for "variational methods"

# Variational Methods: Applications to Nonlinear Partial Differential Equations and Hamiltonian Systems (Ergebnisse der Mathematik und ihrer ... / A Series of Modern Surveys in Mathematics) 4th Edition

by Michael Struwe (Author)

Be the first to review this item

Look inside



eTextbook	<b>Hardcover</b>	Paperback	Other Sellers
\$119.04	\$103.89 - \$125.30	\$98.00 - \$125.30	from \$103.89

Buy used \$103.89

**Buy new \$125.30**

In stock but may require an extra 1-2 days to process. List Price: ~~\$179.00~~ Save: \$53.70 (30%)

Ships from and sold by Amazon.com. Gift-wrap available. 18 New from \$103.90

FREE Shipping.

Qty: 1

Add to Cart

Turn on 1-Click ordering

Ship to:

Select a shipping address:

### More Buying Choices

18 New from \$103.90 15 Used from \$103.89

33 used & new from \$103.89

See All Buying Options

**Prime student** **FREE TWO-DAY SHIPPING FOR COLLEGE STUDENTS** Learn more

ISBN-13: 978-3540740124

ISBN-10: 3540740120

Why is ISBN important?

one to sell?

Sell on Amazon

Add to List

Share

This, the fourth edition of Struwe's book on the calculus of variations, surveys new developments in this exciting field. It also gives a concise introduction to variational methods. In particular it includes the proof for the convergence of the Yamabe flow and a detailed treatment of the phenomenon of blow-up. Recently discovered results for backward bubbling in the heat flow for harmonic maps or surfaces are discussed. A number of changes have been made throughout the text.

Report incorrect product information.



2016 Book Awards

Browse award-winning titles. See all 2016 winners

## Frequently Bought Together

Total price: \$240.29



Try Prime

All ▾ Variational and Quasi-Variational Inequali

Departments ▾

Browsing History ▾

Sergio's Amazon.com

Today's Deals

Hello, Sergio

Your Account ▾

Try Prime ▾

Lists ▾

6

Cart

Books Advanced Search New Releases Best Sellers The New York Times Best Sellers Children's Books Textbooks Textbook Rentals

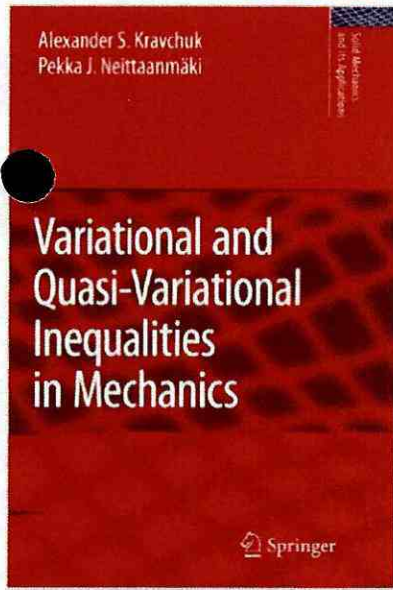
Back to search results for "Variational and Quasi-Variational Inequalities in..."

# Variational and Quasi-Variational Inequalities in Mechanics (Solid Mechanics and Its Applications) Softcover reprint of hardcover 1st ed. 2007 Edition

by Alexander S. Kravchuk (Author), Pekka J. Neittaanmäki (Author)

Be the first to review this item

Look inside ↴



Kindle \$179.55

Hardcover from \$84.57

**Paperback** \$189.00

Other Sellers from \$166.23

Buy new

\$189.00

In Stock.

Ships from and sold by Amazon.com. Gift-wrap available.

11 New from \$166.23

Want it Friday, July 15? Order within 16 hrs 45 mins and choose One-Day Shipping at checkout. Details

FREE Shipping.

Qty: 1

Add to Cart

Turn on 1-Click ordering

Ship to:

Select a shipping address:

More Buying Choices

16 used & new from \$166.23

11 New from \$166.23 5 Used from \$197.03

See All Buying Options

Prime student

**FREE TWO-DAY SHIPPING**  
FOR COLLEGE STUDENTS

Learn more

The essential aim of this book is to consider a wide set of problems arising in the mathematical modeling of mechanical systems under unilateral constraints. In these investigations elastic and non-elastic deformations, friction and adhesion phenomena are taken into account. All the necessary mathematical tools are given: local boundary value problem formulations, construction of variational equations and inequalities and their transition to minimization problems, existence and uniqueness theorems, and variational transformations (Friedrichs and Young-Fenchel-Moreau) to dual and saddle-point search problems.

Report incorrect product information.



Windows 10 For Dummies Video Training

Get up to speed with Windows 10 with this video training course from For Dummies. Learn more.

ISBN-13: 978-9048176199

ISBN-10: 9048176190

Why is ISBN important?

Have one to sell?

Sell on Amazon

Add to List

Share





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**  
 Dirección de Investigación y Proyección Social



**Anexo 5. Verificación de la documentación de la propuesta de investigación presentada**

#	Item sujeto a revisión	Proponente (Marque con una X)	VIPS	Observaciones VIPS
1	Anexos 1 al 5	X		
2	CD	X		
#	<b>Anexo 1. Datos informativos del director y colaboradores de la propuesta de proyecto</b>			
3	Nombre del (los) departamento(s)	X		
4	Línea(s) de investigación (verificables en el SAEW)	X		
5	Cuadro de resumen con datos del director y colaborador(es) del proyecto <b>completo</b>	X		
6	Hoja de vida del director <b>completa</b>	X		
7	Hoja(s) de vida del (los) colaborador(es) <b>completa(s)</b>	X		
8	Número de colaboradores acorde a los normativos según tipo de proyecto	X		
#	<b>Anexo 2. Detalle de la propuesta del proyecto</b>			
9	Nombre del (los) departamento(s)	X		
10	Línea(s) de investigación (verificables en el SAEW)	X		
11	Sección 1. <b>proyecto de investigación completa</b>	X		
12	Sección 2. <b>objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación completa</b>	X		
13	Sección 3. <b>relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación completa</b>	X		
14	Sección 4. <b>productos esperados</b>			
15	<b>Selección de publicación científica (obligatorio)</b>	X		
16	<b>Selección de al menos 1 de los otros 6 productos esperados</b>	X		
17	Sección 5. <b>descripción y metodología y diseño del proyecto</b> con una extensión máxima de 2 carillas	X		
18	Sección 6.1. <b>Tiempo máximo de dedicación semestral del director del proyecto, de los docentes participantes y otros colaboradores</b> acorde a los normativos según tipo de proyecto	X		
19	Sección 6.2. <b>Infraestructura y equipos</b> requeridos para el proyecto <b>completa</b>	X		
20	Sección 6.3. <b>Breve justificación de los equipos e infraestructura completa</b>	X		
21	Sección 7. Declaración del Director del proyecto <b>completo y firmado</b>	X		
22	<b>Declaración del Jefe de Departamento completa y firmada</b>	X		
#	<b>Anexo 3. Cronograma</b>			
23	<b>Cronograma acorde al tipo de proyecto completo y firmado</b>	X		
#	<b>Anexo 4. Presupuesto</b>			



24	Monto total del presupuesto igual o inferior al monto máximo permitido según tipo de proyecto	x	
25	Constatación de las 6 partidas presupuestarias establecidas	x	
26	Desglose del tipo de <i>contrataciones</i> requeridas	x	
27	Desglose de los ítems requeridos en la partida <i>maquinaria y equipo</i> con 1 proforma de respaldo/ítem	x	
28	Desglose de los ítems requeridos en la partida <i>reactivos y materiales de laboratorio</i> con 1 proforma de respaldo/ítem		
29	Desglose de los ítems requeridos en la partida <i>literatura especializada</i> de laboratorio con 1 proforma de respaldo/ítem	x	
30	Proformas a nombre de la Escuela Politécnica Nacional		
31	Subtotal de la partida <i>presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones</i> igual o menor al monto máximo establecido según tipo de proyecto	x	
32	Presupuesto <b>completo y firmado</b>	x	