

DATOS DEL PROYECTO

Investigador Principal:	Francisco José Navarro Valero
Título del Proyecto:	Modelización de flujos glaciares en la Isla Livingston
Organismo:	Universidad Politécnica de Madrid
Centro:	ETSI de Telecomunicación
Departamento:	Matemática Aplicada a las Tecnologías de la Información
Fecha de Inicio:	1-10-1997
Fecha de Finalización:	30-9-1999
Subvenciona:	Plan Nacional de I+D (proyecto ANT97-0865)

MEMORIA. Resumen de los resultados del proyecto en relación con los objetivos propuestos

A. RESULTADOS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PROPUESTOS:

El objetivo fundamental del proyecto era la modelización numérica de la dinámica, en estado estacionario, del Glaciar Johnsons (Isla Livingston, Islas Shetland del Sur, Antártida). El interés de la modelización no se limitaba a este glaciar concreto, sino que se pretendía desarrollar una metodología y unas herramientas que nos permitieran, en una segunda etapa que incluiría dependencia temporal del modelo (a realizar en un proyecto posterior), ser capaces de efectuar predicciones de evolución de los glaciares en respuesta a posibles cambios climáticos.

La consecución del citado objetivo fundamental suponía la de los objetivos concretos relacionados a continuación, que han sido alcanzados satisfactoriamente. Es importante hacer notar que el proyecto fue propuesto para un periodo de 3 años, pero aprobado para un periodo de sólo 2 años y excluyendo explícitamente la campaña de campo en la Isla Livingston que incluía la propuesta. No obstante, se pudo realizar una campaña de campo en el Ártico.

- Análisis de las ecuaciones que gobiernan el flujo de glaciares, con especial atención a la relación constitutiva del medio material, y discretización de las ecuaciones mediante elementos finitos.
- Definición geométrica del modelo de glaciar: topografía superficial y relieve subglacial. Este último requiere la determinación de espesores de hielo mediante una campaña radioglaciológica, que exige a su vez la adaptación de la radioecsonda disponible y el desarrollo de un sistema de registro digital de propósito específico.
- Determinación de las condiciones de contorno: campos de velocidades o tensiones en la superficie, el lecho, la divisoria de hielo y la zona terminal del glaciar.
- Desarrollo de algoritmos numéricos específicos para nuestro modelo e implementación de los mismos en programas de ordenador.

B. RESULTADOS MÁS RELEVANTES ALCANZADOS EN EL PROYECTO

1) Desarrollo de un modelo de simulación numérica bidimensional de la dinámica, en estado estacionario, de glaciares templados, que resuelve el sistema de ecuaciones diferenciales de Stokes completo, sin

simplificaciones adicionales tales como *la shallow ice approximation* típica de la modelización de mantos de hielo.

2) Diseño y desarrollo de una radioecosonda (VIRL2) de baja frecuencia especialmente diseñada para su uso en glaciares templados (aunque no restringida a éstos), que ha sido utilizada con éxito en el glaciar Aldegondabreen, en Spitsbergen, Svalbard (Ártico).

C. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO

C1. FORMACIÓN DE PERSONAL EN RELACIÓN AL PROYECTO

Conferencias formativas:

1ª ANUALIDAD (1997-1998):

Ley de flujo del hielo (relación constitutiva)
Ecuaciones dinámicas de los glaciares
Ecuaciones de régimen térmico de los glaciares
Formulación variacional ecuaciones de campo

1ª ANUALIDAD (1998-1999):

Cálculo tensorial.
Conceptos básicos de dinámica de fluidos.
Ecuaciones dinámicas de los glaciares.
Estructura y deformación del hielo.
Conceptos básicos del método de elementos finitos.
Aplicación del método de elementos finitos a la resolución de las ecuaciones dinámicas de los glaciares.
Métodos numéricos de resolución de sistemas no lineales de ecuaciones.
Balance de masas de los glaciares.
Deslizamiento en el lecho de los glaciares.
Régimen térmico de los glaciares.

C2. ARTÍCULOS CIENTÍFICOS EN REVISTAS (adjuntar separatas)

NAVARRO, F., CORCUERA, M.I., CUADRADO, M.L. & CORRALES, J.M. 1999.
Numerical modelling of dynamics and thermal regime of glaciers by finite element methods.
Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy, **87**, 21-27.

C3. LIBROS, CAPÍTULO DE LIBROS Y MONOGRAFÍAS

NAVARRO, F.J., CORCUERA, M.I. & ALARCÓN, P. 1998.
Numerical modelling of glaciers with finite element methods.
In *Modeling and Simulation Based Engineering*, Atluri, S.N. & O'Donoghue, P.E. (Eds.), Vol. II, 1811-1818.
Forsyth, Georgia, USA: Tech Science Press.

C4. CONFERENCIAS EN CONGRESOS, SIMPOSIOS Y REUNIONES

Contribuciones en congresos nacionales:

La participación en el *IV Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería* (Sevilla, junio de 1999) dio lugar a las dos siguientes publicaciones:

CORCUERA, M.I., NAVARRO, F.J., CUADRADO, M.L. & GARCÍA, A. 1999. Modelización numérica de glaciares templados mediante métodos de elementos finitos. In *Métodos Numéricos en Ingeniería*, Abascal, R., Domínguez, J. & Bujeda, G. (Eds.), 9 p. CD-ROM book. Barcelona: Sociedad Española de Métodos Numéricos en Ingeniería. Sevilla: Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla.

MARTÍN, C., NAVARRO, F., MACHERET, Y.Y., ALARCÓN, P. & JURADO, F.J. 1999. Resultados preliminares de la modelización numérica de la dinámica del glaciar Abrámov (Cordillera Pamir-Alai). In *Métodos Numéricos en Ingeniería*, Abascal, R., Domínguez, J. & Bujeda, G. (Eds.), 8 p. CD-ROM book. Barcelona: Sociedad Española de Métodos Numéricos en Ingeniería. Sevilla: Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla.

Contribuciones en congresos internacionales:

Se participó asimismo en el *VIII International Symposium on Antarctic Earth Sciences* (Wellington, Nueva Zelanda, julio de 1999), donde se presentaron tres contribuciones de tipo póster que dieron lugar a tres artículos remitidos para publicación al *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, cuyos autores y títulos son:

- M.I. Corcuera, C. Martín, F. Navarro, J. Calvet and L. Ximenis: A flowplane model of the dynamics of Johnson's Dock Glacier (Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica).
- E.V. Vasilenko, V.A. Sokolov, Yu.Ya. Macheret, A.F. Glazovsky, M.L. Cuadrado and F. Navarro: A digital recording system for radioglaciological studies.
- F. Navarro, E.J. Vélez, A.G. Camacho and R. Vieira: A gravimetric survey of Deception Island (South Shetland Islands, Antarctica).

D. COLABORACIÓN Y PARTICIPACIÓN EN PROGRAMAS INTERNACIONALES

Reuniones de trabajo de especial relevancia con otros grupos investigadores:

- 1) Para la puesta en marcha del proyecto, en coordinación con las actividades del proyecto ANT96-0734 (Investigador Principal, Prof. Jaume Calvet), se realizó en Barcelona, en noviembre de 1997 una reunión de trabajo con el equipo investigador del mismo, orientada a conocer los datos glaciológicos de campo actualmente disponibles y las previsiones de obtención de nuevos datos, en función de las actividades planificadas para las campañas antárticas 1997-98 y 1998-99. Se dieron a conocer a este grupo las características básicas del modelo a desarrollar y los datos de campo que requiere para su funcionamiento.
- 2) Se realizaron en Moscú, en abril de 1998, una serie de reuniones de trabajo con los miembros del Departamento de Glaciología Polar del Instituto de Geografía de la Academia Rusa de Ciencias incorporados en nuestro proyecto (Dr. Yuri Macheret y Dr. Maxim Moskalevsky), así como el Ingeniero Electrónico Evgeny Vasilenko (Instituto de Mecánica de Precisión "Akademprigor" de la Academia de Ciencias de la República de Uzbekistán), responsable del diseño y desarrollo del sistema de registro digital para radioecosondas, en las que:
 - Se efectuó el diseño final del sistema de registro para la radioecsonda, se fijaron sus especificaciones técnicas y se formalizó el presupuesto final.
 - Se planificaron las tareas conjuntas en el marco del presente proyecto, en las que el equipo español aportaría su experiencia en la modelización numérica de procesos geofísicos (en este caso, la dinámica y régimen térmico de los glaciares) y el equipo ruso su experiencia en glaciología para la interpretación de los resultados de los modelos.
 - Se realizó una selección de glaciares para los que el equipo ruso disponía de datos de campo suficientes para que sirvieran de prueba para los modelos numéricos a desarrollar por el equipo español. Se seleccionaron tres glaciares: uno templado, uno frío y uno compuesto por un estrato superior frío y uno inferior templado.
 - Se definió una política de cooperación, incluyendo la formulación conjunta de proyectos internacionales, el intercambio de datos e información y la elaboración de publicaciones conjuntas, plasmándose todo ello en un convenio de colaboración (cuyas líneas maestras se establecieron en el contexto de una reunión de trabajo con el Director del Instituto de Geografía, Académico Vladimir Kotlyakov), posteriormente refrendado por el Vicerrector de Investigación de la Universidad Politécnica de Madrid, que se incluye como anexo.
 - En el contexto de la formulación de proyectos internacionales conjuntos, se abordaron cuestiones relativas al ya presentado a INTAS, actualmente en proceso de evaluación.