

Simulación numérica directa de turbulencia homogénea.
Paralelización de un método pseudoespectral.

Ignacio López Díaz

A mis padres por su cariño y apoyo,
a Patricia por su amor y paciencia,
y a todos aquellos que me hacen
sentir la vida.

Quisiera expresar mi agradecimiento a todos los que me han ayudado a la elaboración del proyecto. Especialmente al Dr. Javier Dávila por su tutela y colaboración y al Dr. Manuel Contreras por su ayuda en la correcta formulación matemática, así como a todo el Área de Mecánica de Fluidos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla por su apoyo durante el desarrollo del proyecto.

Índice general

1. Resumen del proyecto y nomenclatura	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Estructura del proyecto	1
1.3. Nomenclatura	2
2. Notas de turbulencia	3
2.1. Introducción	3
2.2. Turbulencia	3
2.3. Cascada de Kolmogorov	4
2.4. Espectro	8
2.5. Invariantes	9
3. Análisis de Fourier	11
3.1. Series de Fourier	11
3.1.1. Definición	11
3.1.2. Propiedades	12
3.2. Transformada Discreta de Fourier (DFT)	14
3.2.1. DFT en una dimensión	14
3.2.2. DFT en tres dimensiones	15
3.2.3. DFT de una secuencia real	16
3.2.4. La DFT en el problema de estudio	16
3.2.5. FFT	17
3.3. Relación de la DFT con la serie de Fourier	18
4. Desarrollo teórico	19
4.1. Introducción	19
4.2. Aproximación por series de Fourier	19
4.2.1. Cálculo del término no lineal	21
4.3. Integración numérica	22
4.3.1. Paso previo	22
4.3.2. Método de Euler	23
4.3.3. Método de Runge-Kutta de segundo orden	24
4.3.4. Método de Adams-Bashforth de segundo orden	24
5. Cluster	27
5.1. Introducción	27
5.2. Descripción del cluster <i>Euler</i>	27
5.3. Configuración del cluster <i>Euler</i>	28
5.3.1. Sistema operativo	28

5.3.2.	Instalación de las tarjetas SCI	29
5.3.3.	Instalación de fftw	36
6.	Implementación del código numérico	37
6.1.	Introducción	37
6.2.	Codificación	38
6.3.	Diagramas de flujo	38
6.4.	Configuración en tiempo real	42
6.5.	Compilación y ejecución del programa	44
6.6.	Paralelización	44
6.6.1.	Introducción	44
6.6.2.	Uso de índices	45
6.6.3.	Uso de la librería MPI	46
7.	Resultados	49
7.1.	Estado	49
7.2.	Parámetros	50
7.3.	Evolución de $K_{max}\eta$	51
7.4.	Espectro	52
7.5.	Invariantes	53
7.6.	Errores numéricos	54
7.7.	Paralelización	56
8.	Conclusiones y futuras líneas de investigación	59
8.1.	Conclusiones	59
8.2.	Futuras líneas de investigación	60
	Bibliografía	61
	A. Código fuente	63