

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



## SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL FLUJO EN TANQUES AGITADOS MECÁNICAMENTE

### T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN INGENIERÍA**  
ÁREA MECÁNICA  
MÓDULO DE TERMOFLUIDOS

PRESENTA:  
**HÉCTOR ALEXIS ESPINOSA GAYOSSO**

DIRECTOR DE TESIS:  
DR. ALEJANDRO RODRÍGUEZ VALDÉS

278066

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F., ABRIL DE 2000



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Para mi padre, mi madre y mi Geor.



## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Facultad de Ingeniería y su División de Estudios de Posgrado.

Al Instituto de Ingeniería, en especial a la Coordinación de Procesos, por el apoyo que se me brindó para la realización de este trabajo.

A los Doctores Álvaro Aldama, Jaime Cervantes y Francisco Solorio por los valiosos comentarios sobre esta tesis.

Al Dr. Alejandro Rodríguez y al Dr. Arturo Palacio por su apoyo a lo largo de mis estudios de Maestría. pero sobre todo, quiero agradecerles la amistad que me han brindado.

A la Dirección General de Estudios de Posgrado por el apoyo brindado a través de su programa de becas. También quiero agradecer al comité de becas de la Facultad de Ingeniería.

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Resumen	1
1.2 Estudio del flujo en tanques agitados	1
1.3 Descripción del trabajo	5
2. ECUACIONES FUNDAMENTALES	7
2.1 Movimiento, descripción espacial y descripción material de un campo	7
2.2 Ecuaciones de conservación	10
2.2.1 Ecuaciones en coordenadas cilíndricas	10
2.3 Modelo de turbulencia	11
2.3.1 Ecuaciones de Reynolds	11
2.3.2 Modelo $k-\varepsilon$	12
3. CÁLCULO DE COEFICIENTES ALGEBRAICOS USANDO EL MÉTODO DE VOLUMEN FINITO	15
3.1 Variables escalares	15
3.1.1 Contribución del término difusivo	17
3.1.2 Contribución del término convectivo	19
3.2 Componente radial de la velocidad	23
3.2.1 Contribución del término viscoso	24
3.2.2 Corrección de la contribución viscosa en dirección radial	26
3.2.3 Contribución del término convectivo	28
3.3 Componente tangencial de la velocidad	31
3.3.1 Contribución del término viscoso	31
3.3.2 Contribución del término convectivo	33
3.4 Contribución de los términos fuente	35

3.4.1 Fuentes viscosas en la ecuación de la velocidad radial	35
3.4.2 Fuentes viscosas en la ecuación de la velocidad tangencial	37
3.4.3 Fuentes convectivas en la ecuación de la velocidad radial	38
3.4.4 Fuentes convectivas en la ecuación de la velocidad radial	38
4. MODELOS DE MOVIMIENTO DEL IMPULSOR	39
4.1 Impulsor de fluido	39
4.2 Solución estática	40
4.2.1 Posición, velocidad y aceleración con respecto a un sistema no inercial	41
4.2.2 Obtención de la derivada temporal como término fuente	44
5. RESULTADOS	48
5.1 Características generales	48
5.2 Definición del problema para la solución numérica	49
5.2.1 Descretización o mallado	49
5.2.2 Paredes	49
5.2.3 Superficie libre	50
5.2.4 Condiciones de la simulación estática	51
5.3 Resultados	51
5.3.1 Curva de potencia	51
5.3.2 Velocidades	53
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
6.1 Conclusiones	58
6.2 Recomendaciones	59
7. APÉNDICE	A-1
7.1 Archivo de definición: q1	A-1
7.2 Archivo de subrutinas: ground.f	A-26
8. REFERENCIAS	R1

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 RESUMEN

El conocimiento del comportamiento de los fluidos dentro de tanques agitados se ha convertido en información de primera necesidad para el diseño de los procesos que se realizan en este tipo de equipos. De modo que, el contar con una herramienta computacional que permita conocer el flujo en todo el tanque, sin realizar mediciones experimentales, sería de gran utilidad. En el presente trabajo se reporta la solución numérica, tanto en régimen laminar como en régimen turbulento, del flujo dentro de un tanque cilíndrico agitado mecánicamente.

El movimiento del agitador o impulsor complica la definición de condiciones de frontera. En las soluciones numéricas reportadas en este trabajo se utilizan dos técnicas, la de *solución estática* y la de *impulsor de fluido*, las cuales no requieren mediciones experimentales para definir las condiciones de frontera del impulsor. Con la técnica de *solución estática*, llamada en inglés “snapshot”, se resuelve el flujo dentro del tanque para un instante, de modo que, la solución se obtiene para una posición específica del agitador o impulsor. Con la técnica de *impulsor de fluido* se obtiene una solución dependiente del tiempo, a lo largo de la cual, el impulsor cambia su posición conforme va rotando. Estas dos técnicas fueron programadas y agregadas al algoritmo del código de dinámica de fluidos computacional PHOENICS.

Los resultados obtenidos se compararon con las mediciones experimentales reportadas por Dyster *et al* (1993). Con la técnica de *impulsor de fluido* se obtiene una solución cualitativamente correcta del flujo, pero ésta difiere cuantitativamente de las mediciones experimentales. Los resultados obtenidos con la técnica de *solución estática* difieren tanto cualitativamente como cuantitativamente.

## 1.2 ESTUDIO DEL FLUJO EN TANQUES AGITADOS

Las operaciones de mezclado son usadas frecuentemente en la industria, sobre todo en procesos que involucren cambios físicos y químicos de las sustancias. La mayor parte del conocimiento en esta área proviene de la industria química, aunque muchos otros sectores productivos llevan a cabo operaciones de mezclado a gran escala. El mezclado es parte esencial en procesos de la industria alimenticia, farmacéutica, del papel y del plástico, entre otras. Entre las operaciones de mezclado más comunes se tienen la de mezcla de líquidos solubles, mezcla de líquidos insolubles, mezcla de sólidos con líquidos, mezcla de líquidos con gases y mezcla de sólidos.

Uno de los equipos con mezclado más utilizado en la industria es el reactor con agitación. Estos equipos constan, en su configuración básica, de un tanque prácticamente cilíndrico que en su pared interior tiene una serie de mamparas fijas, también llamadas baffles. En el eje del tanque se tiene una flecha sobre la cual están montados uno o varios impulsores que provocan el movimiento del fluido dentro del tanque. Las mamparas evitan que se genere un gran vórtice adentro, para que se logre un buen mezclado. En la figura 1- 1 se puede ver un esquema de este tipo de equipos.

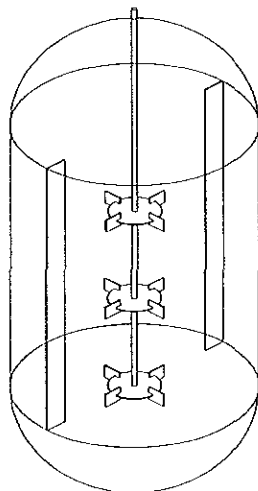


figura 1- 1 Esquema de un reactor con agitación.

En el ámbito experimental, se han realizado y reportado una gran cantidad de estudios de procesos en tanques agitados, siendo la velocidad, la variable de mayor interés, ya que el sólo conocer la hidrodinámica dentro del tanque permite al diseñador entender gran parte de los fenómenos de transporte presentes en el proceso.

En la mayoría de los trabajos reportados en la literatura se muestran datos sobre el flujo de un solo fluido, de modo que, no se lleva a cabo ninguna operación de mezclado real, pero se logra entender la hidrodinámica que imperaría en el proceso. Como ejemplo de trabajos experimentales podemos mencionar el de Yianneskis y Whitelaw (1993), quienes realizaron un estudio sobre los vórtices generados atrás de los álabes de un impulsor de paletas planas, y el de Ranade *et al.* (1992), quienes reportan una comparación de las velocidades del fluido dentro de tanques agitados con distintos impulsores de tipo axial.

El área de la dinámica de fluidos por computadora se ha desarrollado de forma importante durante las últimas dos décadas debido, principalmente, al crecimiento de las capacidades de cómputo. Este crecimiento ha permitido que hoy en día, el análisis por computadora del movimiento de los fluidos se aplique a prácticamente todas las áreas de la ingeniería, siendo el estudio del mezclado en tanques una de ellas. En el estudio del flujo en tanques agitados se tiene un problema o característica principal que ha marcado la línea de desarrollo del análisis por computadora de estos procesos: el movimiento del impulsor.

Modelar el movimiento del impulsor, el cual provoca el movimiento del fluido dentro del tanque, no es simple. Dado que el impulsor cambia de posición constantemente, en principio, se tendría que redefinir la malla computacional para cada paso del tiempo, de modo que se pudiera resolver el flujo



para cada posición del impulsor. Debido a esto, se han buscado simplificaciones y planteamientos alternos para realizar este tipo de simulaciones, evitando la redefinición del mallado computacional.

La simulación del flujo dentro de tanques agitados se empieza a aplicar de forma importante al diseño de procesos en la década de los 80. Los primeros modelos utilizados fueron modelos simplificados en dos dimensiones (Harvey y Greaves, 1982). En este tipo de simulaciones se utiliza sólo una celda computacional en dirección tangencial y se resuelven las tres componentes de la velocidad. La zona correspondiente al impulsor y a las mamparas se modela utilizando fuentes y sumideros de cantidad de movimiento (Pericleous y Patel, 1987), la figura 1- 2 ilustra esta metodología.

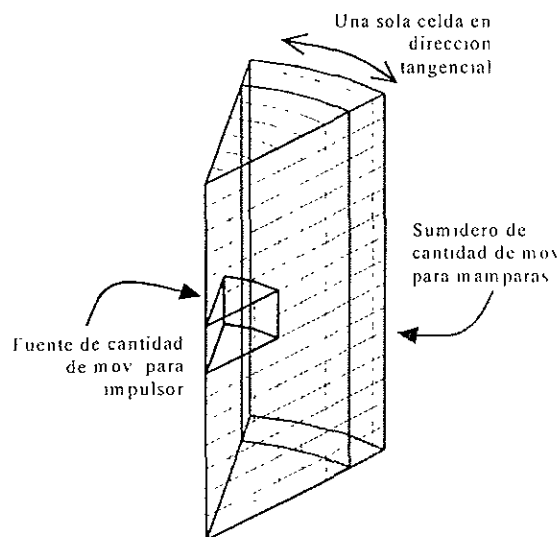


figura 1- 2 Esquema para simulación en dos dimensiones.

Las simulaciones en tres dimensiones empiezan su desarrollo a partir de modelos simplificados en tres dimensiones, como el trabajo reportado por Middleton *et al.* (1986). La simplificación consiste en utilizar datos de la velocidad obtenidos a partir de mediciones experimentales como condiciones de frontera. Las mediciones se toman sobre una superficie que envuelve al impulsor girando, de modo que se evite el cálculo del flujo justo en la zona del impulsor y se pueda calcular el flujo en el resto del tanque. Para que la simulación sea lo más apegada a la realidad, se tendrían que proporcionar datos de la velocidad en función del tiempo al modelo numérico, lo cual involucraría una gran cantidad de información y de trabajo experimental; por esto, regularmente se utilizan velocidades promedio obtenidas a partir de un número reducido de puntos de medición y las simulaciones se realizan en estado permanente.

Otra forma de evitar el problema del movimiento del impulsor en el dominio computacional es utilizar un marco de referencia fijo al impulsor, de modo que, con respecto a este marco de referencia, el impulsor permanezca estático. Este tipo de simulaciones es ideal para tanques en los que no se tienen mamparas (Hutchings *et al.* , 1989). En el trabajo de Espinosa (1997) se realizaron simulaciones de tanques con mamparas utilizando un marco de referencia giratorio, sin embargo, las mamparas no se definieron como tales, sino que se modelaron mediante fuentes de cantidad de movimiento en la dirección tangencial como en los modelos simplificados en dos dimensiones.

En la mayoría de las simulaciones en tres dimensiones se considera que el comportamiento del flujo es cíclico, de modo que, el dominio computacional en la dirección tangencial no se extienda los  $360^\circ$ , resolviéndose, únicamente, el flujo en un sector del tanque. Esta simplificación se ilustra en la figura 1-3.

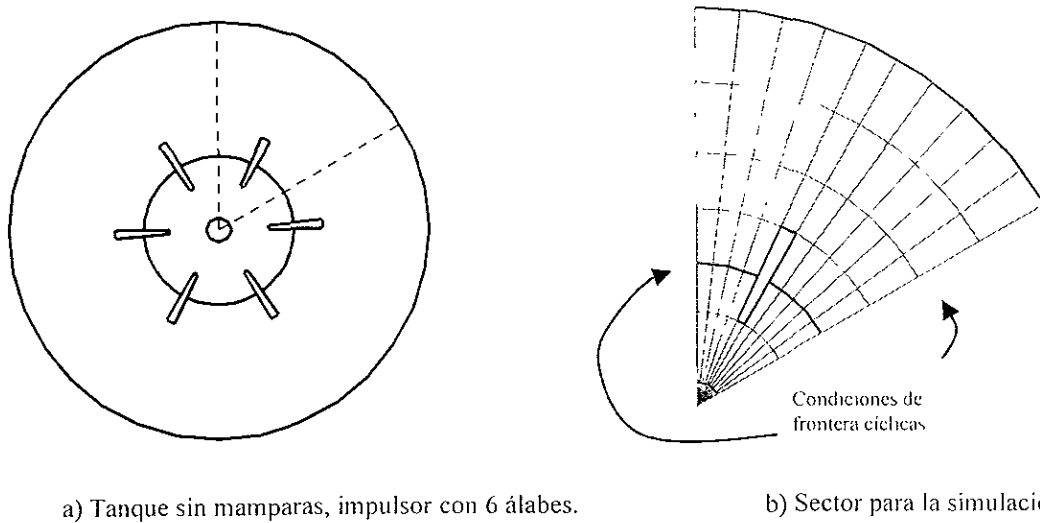
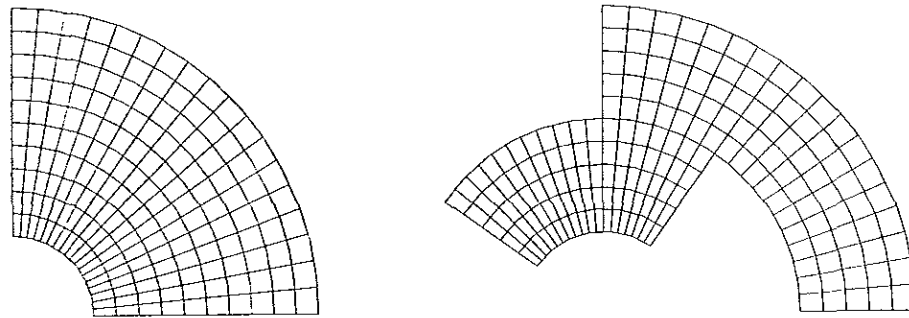


figura 1-3 Esquema del uso de condiciones cíclicas

Un marco de referencia giratorio no evita el movimiento de fronteras sólidas en el dominio, pues, en el caso de tanques con mamparas, éstas se verían en movimiento; este problema se evitó con la metodología llamada simulación interior-exterior. En esta metodología se divide el dominio computacional en dos zonas: la zona interior está asociada al impulsor y está referida a un marco giratorio que se encuentra fijo al impulsor, la zona exterior corresponde al resto del tanque y está referida a un marco estático. El cálculo del flujo se realiza por partes, primero se resuelve el flujo en la zona exterior usando como condiciones de frontera datos estimados de las componentes de la velocidad en la frontera común a las dos zonas. Posteriormente, los resultados obtenidos cerca de la frontera se promedian en dirección tangencial y se transforman para referirlos al marco giratorio; estos datos se utilizan como condiciones de frontera para la solución del flujo en la zona interior. Como siguiente paso se resuelve el flujo en la zona interior, posteriormente se obtiene el promedio de la velocidad en la frontera común y se transforma para referirla al marco de referencia exterior. Nuevamente se resuelve el flujo en la zona exterior y el proceso se repite hasta que la solución del flujo en todo el tanque converja. Esta técnica fue aplicada con éxito por Brucato *et al.* (1994). La metodología necesita de técnicas especiales para promover la convergencia.

El siguiente desarrollo en el modelado del flujo en tanques agitados es la técnica de mallas deslizantes. En esta técnica también se utilizan dos zonas, una fija al impulsor y otra para el resto del tanque, pero en este caso, durante la solución hay un corrimiento entre ambas mallas computacionales. La figura 1-4 ilustra un ejemplo de corrimiento entre mallas.



a) Malla al inicio de la simulación.      b) Malla para un paso en el tiempo posterior.

figura 1- 4. Esquema de mallas deslizantes.

En esta metodología se deben modificar las ecuaciones de conservación y el algoritmo de solución, de modo que, para la zona interior se utiliza un marco giratorio y para la zona exterior un marco de referencia estático. Por la naturaleza del modelo, éste demanda grandes recursos de cómputo, además de que el cálculo debe realizarse en estado transitorio; sin embargo, esta técnica es muy utilizada actualmente para calcular el flujo dentro de tanques agitados. Un ejemplo de aplicación de las mallas deslizantes es el reportado por Luo *et al.* (1993).

A pesar de que la técnica de mallas deslizantes ha mostrado buenos resultados, el tiempo necesario para los cálculos puede ser demasiado en ciertas aplicaciones. Una propuesta alternativa es la técnica de solución estática (Ranade y Dometti, 1996). En esta técnica se resuelve el flujo dentro del tanque para una posición específica del impulsor. Las ecuaciones que se resuelven con esta metodología son las ecuaciones de conservación en estado permanente y la dependencia temporal se modela a través de términos fuente. Esta técnica será explicada con mayor detalle más adelante y se presentarán resultados de su aplicación.

Con base en las ideas de Tanguy *et al.* (1992), en el presente trabajo también se utiliza una técnica dependiente del tiempo en la cual un impulsor de fluido se mueve como cuerpo sólido dentro del dominio. Este método también se explicará más adelante.

### 1.3 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

En el siguiente capítulo, llamado *Ecuaciones Fundamentales*, se da una breve explicación sobre conceptos de movimiento, campo material y campo espacial. También se describen las ecuaciones de conservación que rigen el movimiento de los fluidos en coordenadas cilíndricas. Además, se presentan las características del modelo  $k-\epsilon$ , que es el modelo de turbulencia utilizado.

El tercer capítulo, *Cálculo de Coeficientes Algebraicos Usando el Método de Volumen Finito*, trata sobre la metodología utilizada en la técnica del volumen finito para obtener el sistema de ecuaciones algebraicas que, al ser resuelto, proporcionará una solución numérica del problema. Las expresiones obtenidas en este capítulo difieren de las que utiliza el código PHOENICS por defecto, de modo que, se codificaron para ser utilizadas en el algoritmo del código.

En el cuarto capítulo, *Modelos de Movimiento del Impulsor*, se explican las dos técnicas utilizadas en el presente trabajo para solucionar el problema del movimiento del impulsor. Estas técnicas son la de impulsor de fluido y la de solución estática. Para explicar la técnica de solución estática, se explican las relaciones de los campos espaciales vistos desde un marco de referencia fijo y otro móvil.

En el quinto capítulo se explican las características generales del problema resuelto: geometría, propiedades, condiciones de frontera, etc. Posteriormente se comparan los resultados con las mediciones experimentales de Dyster *et al.* (1993).

En el sexto capítulo se dan las conclusiones y recomendaciones para trabajos posteriores.

En el apéndice se incluyen dos listados, el primero es del archivo *ql* que es el archivo de definición de condiciones de frontera del código PHOENICS. El segundo listado es del archivo *ground.f* donde se incluye el código que permiten modelar el movimiento del impulsor, las correcciones en los coeficientes algebraicos descritas en el tercer capítulo y otras condiciones de frontera.

## 2. ECUACIONES FUNDAMENTALES

En este capítulo se presenta una breve explicación sobre los conceptos de movimiento, descripción material y descripción espacial de un campo.

Posteriormente, se describen las ecuaciones que rigen el comportamiento dinámico de los fluidos para un sistema de coordenadas cilíndricas.

Dado que las soluciones reportadas en el presente trabajo simulan el flujo tanto en régimen laminar como en régimen turbulento, se presenta una breve explicación sobre el modelo de turbulencia  $k-\epsilon$  que es el modelo de turbulencia utilizado.

### 2.1 MOVIMIENTO, DESCRIPCIÓN ESPACIAL Y DESCRIPCIÓN MATERIAL DE UN CAMPO

Si  $\mathcal{B}$  es un cuerpo cualquiera y sea  $(L_1, L_2, \mathbf{o})$  un sistema coordenado de referencia. A cualquier punto  $\mathbf{p}$  en el espacio que pertenezca al cuerpo  $\mathcal{B}$  en la configuración de referencia  $(\mathcal{B}_0)$ , o sea, al inicio de un movimiento, se le llama punto material. Sea un movimiento de  $\mathcal{B}$  es una función  $\underline{x}$  que para cualquier tiempo  $t$  nos proporciona la posición  $\mathcal{B}_t$  que ocupa el cuerpo  $\mathcal{B}$  en ese instante, entonces

$$\mathcal{B}_t = \underline{x}(\mathcal{B}, t) .$$

La posición ocupada por un punto material  $\mathbf{p}$  en cierto instante  $t$  se le denota con  $\mathbf{x}$ ,

$$\mathbf{x} = \underline{x}(\mathbf{p}, t) .$$

La función  $\mathbf{p}$  que nos indica qué punto material ocupa la posición  $\mathbf{x}$  en el instante  $t$  se le llama transformación de referencia,

$$\mathbf{p} = \underline{p}(\mathbf{x}, t) .$$

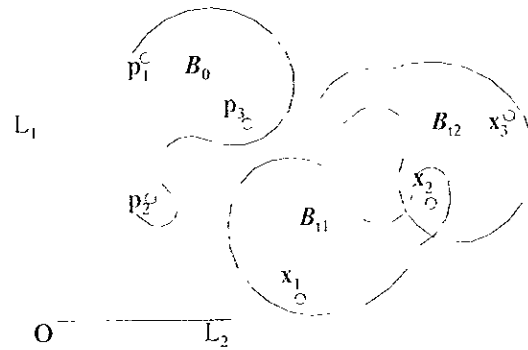


figura 2- 1 Esquema del movimiento de un cuerpo.

En la figura 2- 1 se presenta el esquema del movimiento de un cuerpo rígido en el cual se puede identificar, de acuerdo a lo explicado anteriormente, que

$$x_1 = x(p_1, t_1).$$

$$x_2 = x(p_2, t_1) = x(p_3, t_2),$$

$$x_3 = x(p_1, t_2),$$

$$p_1 = p(x_1, t_1) = p(x_3, t_2),$$

$$p_2 = p(x_2, t_1), \text{ y}$$

$$p_3 = p(x_2, t_2).$$

Según las definiciones usadas en mecánica,

$$\dot{x}(p, t) = \frac{\partial}{\partial t} x(p, t)$$

es la velocidad y

$$\ddot{x}(p, t) = \frac{\partial^2}{\partial t^2} x(p, t)$$

la aceleración.

Si utilizamos la transformación de referencia, se puede expresar la velocidad en función de la posición  $x$  y del tiempo  $t$

$$v(x, t) = \dot{x}(p(x, t), t).$$

A esta forma de expresar a la velocidad se le llama descripción espacial de la velocidad. El vector  $v$  es la velocidad del punto material que ocupa la posición  $x$  en el instante  $t$ .

En general, cualquier campo asociado con el movimiento de un cuerpo puede ser expresado en función de un punto material y del tiempo, a esta forma se le llama campo material; si el campo es expresado en función de la posición y del tiempo se le llama campo espacial. De modo que,  $\dot{x}$  es un campo material y  $v$  es un campo espacial.

A la transformación de un campo material  $\Phi(\mathbf{p}, t)$  en un campo espacial se le llama descripción espacial y se denota por  $\Phi_{,}$ . La descripción espacial se obtiene haciendo uso de la transformación de referencia

$$\Phi_{,}(\mathbf{x}, t) = \Phi(\mathbf{p}(\mathbf{x}, t), t).$$

A la transformación de un campo espacial  $\Psi(\mathbf{x}, t)$  en un campo material se le llama descripción material y se denota por  $\Psi_{,m}$ ,

$$\Psi_{,m}(\mathbf{p}, t) = \Psi(\mathbf{x}(\mathbf{p}, t), t).$$

Es claro que para las descripciones material o espacial de un campo se cumple

$$(\Phi_{,})_{,m} = \Phi \text{ y } (\Psi_{,m})_{,} = \Psi.$$

Para un campo material, la derivada con respecto al tiempo se escribe

$$\dot{\Phi}(\mathbf{p}, t) = \frac{\partial}{\partial t} \Phi(\mathbf{p}, t)$$

y se le llama derivada material con respecto al tiempo. Asimismo, la derivada con respecto al tiempo de un campo espacial  $\Psi$  se escribe

$$\Psi'(\mathbf{x}, t) = \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\mathbf{x}, t)$$

y se le llama derivada espacial con respecto al tiempo.

La derivada material  $\dot{\Psi}$  de un campo espacial  $\Psi$  es, por definición, la descripción espacial de la derivada material con respecto al tiempo de la descripción material del campo, esto es,

$$\dot{\Psi} = \left( \frac{\partial}{\partial t} (\Psi_{,m}) \right)_{,} = ((\Psi_{,m})' )_{,}.$$

Es claro que para un campo material  $\Phi$

$$(\Phi_{,})' = ((\Phi_{,})_{,m})' = (\Phi' )_{,},$$

de modo que, para la derivada material de la descripción espacial de la velocidad se tiene

$$(\mathbf{v})' = ((\mathbf{v})_{,m})' = \left( \left( \dot{\mathbf{x}} \right)_{,} \right)' = (\ddot{\mathbf{x}})_{,}.$$

Entonces, la derivada material de  $\mathbf{v}$  es la descripción espacial de la aceleración.

Si  $\varphi$  es un campo escalar espacial y  $\mathbf{u}$  es un campo vectorial espacial. Entonces, se puede demostrar a través de la regla de la cadena que

$$\dot{\varphi} = \varphi' + \text{grad}(\varphi) \bullet \mathbf{v} \ ,$$

donde  $\bullet$  denota producto interno vectorial. Asimismo,

$$\dot{\mathbf{u}} = \mathbf{u}' + (\text{grad}(\mathbf{u}))\mathbf{v} \ .$$

Aquí se considera al gradiente de un campo vectorial como un tensor.

Si se aplica la expresión anterior a la descripción espacial de la velocidad se obtiene la descripción espacial de la aceleración,

$$\dot{\mathbf{v}} = \mathbf{v}' + (\text{grad}(\mathbf{v}))\mathbf{v} \ ,$$

ver Gurtin (1981).

## 2.2 ECUACIONES DE CONSERVACIÓN

La ecuación de conservación de masa cuando el fluido es incompresible es

$$\text{div}(\mathbf{v}) = 0. \tag{2-1}$$

y la ecuación de conservación de cantidad de movimiento en forma vectorial es

$$\rho \dot{\mathbf{v}} = -\text{grad}(p) + \text{div}(\mu(\text{grad}(\mathbf{v}) + \text{grad}^T(\mathbf{v}))) + \rho \mathbf{g}, \tag{2-2}$$

donde  $\rho$  es la densidad,  $p$  es la presión,  $\mu$  es la viscosidad y  $\mathbf{g}$  es el vector de fuerzas de cuerpo.

### 2.2.1 Ecuaciones en coordenadas cilíndricas

Cuando se utiliza un sistema de referencia en coordenadas cilíndricas, el vector de posición  $\mathbf{r}$ , la velocidad  $\mathbf{v}$  y el vector de fuerzas de cuerpo  $\mathbf{g}$  se escriben

$$\mathbf{r} = \begin{pmatrix} r \\ 0 \\ z \end{pmatrix} \ , \quad \mathbf{v} = \begin{pmatrix} v_r \\ v_\theta \\ v_z \end{pmatrix} \quad \text{y} \quad \mathbf{g} = \begin{pmatrix} g_r \\ g_\theta \\ g_z \end{pmatrix}$$

respectivamente.

La ecuación de conservación de masa (2-1) se escribe, en coordenadas cilíndricas,

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0. \tag{2-3}$$



Considerando viscosidad constante, la componente radial de la ecuación de conservación de cantidad de movimiento (2- 2) queda

$$\rho \left( \dot{v}_r - \frac{v_0^2}{r} \right) = - \frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left( \operatorname{div}(\operatorname{grad}(v_r)) - \frac{v_r}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_0}{\partial \theta} \right) + \rho g_r, \quad (2- 4)$$

la componente tangencial se escribe

$$\rho \left( \dot{v}_\theta + \frac{v_0 v_r}{r} \right) = - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \mu \left( \operatorname{div}(\operatorname{grad}(v_\theta)) - \frac{v_\theta}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} \right) + \rho g_\theta. \quad (2- 5)$$

y la componente axial queda

$$\rho \dot{v}_z = - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \operatorname{div}(\operatorname{grad}(v_z)) + \rho g_z. \quad (2- 6)$$

## 2.3 MODELO DE TURBULENCIA

### 2.3.1 Ecuaciones de Reynolds

Utilizando la idea de Reynolds (1895), cualquier variable del flujo  $Y$  se puede descomponer en un valor promedio temporal  $\bar{Y}$  más un valor llamado fluctuación  $\hat{Y}$ , donde, por definición,

$$Y = \frac{1}{T} \int_0^{T-\tau} Y dt.$$

donde  $T$  es grande comparado con el período de las fluctuaciones. De modo que, para cualquier variable de flujo, como por ejemplo, la velocidad y la presión se tiene

$$\mathbf{v} = \bar{\mathbf{v}} + \hat{\mathbf{v}} \quad \text{y} \quad p = \bar{p} + \hat{p}. \quad (2- 7)$$

Si se sustituye la ecuación de la velocidad de (2- 7) en la ecuación de continuidad (2- 1), y a su vez se obtiene un promedio temporal sobre toda la ecuación, el resultado es

$$\operatorname{div}(\bar{\mathbf{v}}) = 0.$$

Realizando el mismo procedimiento sobre la ecuación de cantidad de movimiento (2- 2) se obtiene

$$\rho \dot{\bar{\mathbf{v}}} + \operatorname{div}(\rho(\hat{\mathbf{v}} \otimes \hat{\mathbf{v}})) = -\operatorname{grad}(\bar{p}) + \operatorname{div}(\mu(\operatorname{grad}(\bar{\mathbf{v}}) + \operatorname{grad}^1(\bar{\mathbf{v}}))) + \rho \bar{\mathbf{g}}, \quad (2- 8)$$

donde  $\otimes$  denota producto tensorial. La forma en la que opera el producto tensorial se expresa, en notación indicial, de la siguiente forma

$$(\mathbf{a} \otimes \mathbf{b})_{ij} = a_i b_j,$$

siendo  $\mathbf{a}$  y  $\mathbf{b}$  dos vectores cualquiera.

El último término del lado derecho de la ecuación (2- 8) se puede factorizar junto con los términos de los esfuerzos viscosos, quedando

$$\rho \dot{\mathbf{v}} = -\text{grad}(p) + \text{div}(\mu(\text{grad}(\mathbf{v}) + \text{grad}^T(\mathbf{v})) - \rho(\hat{\mathbf{v}} \otimes \hat{\mathbf{v}})) + \rho \mathbf{g}, \quad (2- 9)$$

al término  $-\rho(\hat{\mathbf{v}} \otimes \hat{\mathbf{v}})$  se le conoce como el tensor de esfuerzos turbulentos o de esfuerzos de Reynolds.

Las ideas clásicas del modelado de la turbulencia proponen resolver la ecuación (2- 9) teniendo como incógnitas a las variables promedio y modelar el tensor de esfuerzos turbulentos únicamente en función de variables promedio, de modo que el problema quede cerrado matemáticamente.

### 2.3.2 Modelo $k$ - $\varepsilon$

En 1877, J. Boussinesq propuso que el efecto de las fluctuaciones turbulentas es similar al producido por el movimiento aleatorio de las moléculas en un fluido. Dado que el movimiento de las moléculas provoca la aparición de los esfuerzos viscosos en un flujo laminar, se puede suponer que las fluctuaciones turbulentas provocan a los esfuerzos turbulentos. Este efecto se modela a través de una llamada viscosidad turbulenta, de modo que, haciendo una analogía con el tensor de esfuerzos viscosos, el tensor de esfuerzos turbulentos se puede modelar como

$$-\rho(\hat{\mathbf{v}} \otimes \hat{\mathbf{v}}) = \rho \nu_t (\text{grad}(\mathbf{v}) + \text{grad}^T(\mathbf{v})), \quad (2- 10)$$

donde  $\nu_t$  es la viscosidad cinemática turbulenta.

El modelo  $k$ - $\varepsilon$  parte de la idea de Boussinesq (2- 10). En este modelo se propone que la viscosidad turbulenta no es constante, sino que dependerá de las características del flujo en cada punto. Para representar correctamente a la viscosidad cinemática turbulenta se utilizan dos propiedades del flujo, la energía cinética turbulenta  $k$  y la disipación turbulenta  $\varepsilon$ .

La energía cinética turbulenta se define como

$$k = \frac{1}{2} (\hat{\mathbf{v}} \bullet \hat{\mathbf{v}}).$$

Si se utiliza notación indicial,  $k$  se escribe

$$k = \frac{1}{2} \hat{v}_i \hat{v}_i.$$

La disipación turbulenta se define como

$$\varepsilon = \nu(\text{grad}(\hat{\mathbf{v}})) : (\text{grad}(\hat{\mathbf{v}}) + \text{grad}^T(\hat{\mathbf{v}})),$$

donde  $:$  denota producto interno tensorial. Si se utiliza notación indicial,  $\varepsilon$  se escribe

$$\varepsilon = v \frac{\partial \hat{v}_k}{\partial x_i} \left( \frac{\partial \hat{v}_i}{\partial x_k} + \frac{\partial \hat{v}_k}{\partial x_i} \right).$$

La escala de velocidad utilizada para representar a  $v$ , es

$$vel = k^{1/2}$$

y la escala de longitud es

$$l = \frac{k^{-1/2}}{\varepsilon}.$$

El modelo propone que  $v_i \propto l(vel)$ , de modo que

$$v_i = C_{ii} \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (2-11)$$

donde  $C_{ii}$  es una constante.

Dado que tanto  $k$  como  $\varepsilon$  dependen de un promedio del producto de las fluctuaciones de la velocidad y del producto de sus derivadas, se deben modelar estas dos propiedades en función de las variables promedio. Para ello se utilizan las ecuaciones de transporte de estas dos variables escalares, las cuales se pueden obtener a través de manipulaciones algebraicas de la ecuación de conservación de cantidad de movimiento.

La ecuación para  $k$  resulta

$$\begin{aligned} \rho \dot{k} = & -\text{div}(\hat{p}\hat{v} + \rho k\hat{v} - \mu(\text{grad}(\hat{v}) + \text{grad}^T(\hat{v}))\hat{v}), \\ & -\rho(\hat{v} \otimes \hat{v}) : \text{grad}(\mathbf{v}) - \rho\varepsilon \end{aligned} \quad (2-12)$$

que en notación indicial se escribe

$$\rho \dot{k} = - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \hat{p}\hat{v}_i + \rho k\hat{v}_i - \mu\hat{v}_j \left( \frac{\partial \hat{v}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \hat{v}_j}{\partial x_i} \right) \right) - \rho\hat{v}_i\hat{v}_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} - \rho\varepsilon. \quad (2-12)b$$

La ecuación para  $\varepsilon$  en notación indicial es

$$\begin{aligned} \rho \dot{\varepsilon} = & \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \mu \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} - \rho\hat{v}_j\varepsilon - 2v \frac{\partial \hat{p}}{\partial x_i} \frac{\partial \hat{v}_i}{\partial x_j} \right) - 2\mu \left( \frac{\partial \hat{v}_i}{\partial x_j} \frac{\partial \hat{v}_j}{\partial x_i} + \frac{\partial \hat{v}_i}{\partial x_i} \frac{\partial \hat{v}_j}{\partial x_j} \right) \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \\ & - 2\mu\hat{v}_i \frac{\partial \hat{v}_i}{\partial x_j} \frac{\partial^2 v_i}{\partial x_j \partial x_i} - 2\mu \frac{\partial \hat{v}_i}{\partial x_j} \frac{\partial \hat{v}_j}{\partial x_i} \frac{\partial \hat{v}_k}{\partial x_k} - 2\rho \left( v \frac{\partial^2 \hat{v}_i}{\partial x_j \partial x_i} \right)^2 \end{aligned} \quad (2-13)$$

Las ecuaciones (2-12) y (2-13) no cierran el problema matemáticamente, de modo que, para darle cerradura al problema, se deben modelar sus términos en función de variables promedio. La

propuesta de Jones y Launder (1972) para modelar los términos de las ecuaciones de  $k$  y  $\varepsilon$  dan cierre al problema y completan el modelo. La ecuación para  $k$  es

$$\rho \dot{k} \approx \text{div} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \text{grad}(k) \right) + \mu_t (\text{grad}(\mathbf{v})) : (\text{grad}(\mathbf{v}) + \text{grad}^T(\mathbf{v})) - \rho \varepsilon. \quad (2-14)$$

y la ecuación para  $\varepsilon$  es

$$\rho \dot{\varepsilon} \approx \text{div} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \text{grad}(\varepsilon) \right) + \frac{C_1 \mu_t \varepsilon}{k} (\text{grad}(\mathbf{v})) : (\text{grad}(\mathbf{v}) + \text{grad}^T(\mathbf{v})) - \frac{C_2 \rho \varepsilon^2}{k} \quad (2-15)$$

El modelo  $k$ - $\varepsilon$  consta de las ecuaciones (2-10), (2-11), (2-14) y (2-15) donde las constantes empíricas que se utilizan tienen los valores

$$C_\mu = 0.09, \quad C_1 = 1.44, \quad C_2 = 1.92, \quad \sigma_k = 1.0 \quad \text{y} \quad \sigma_\varepsilon = 1.3,$$

estas constantes se obtuvieron al analizar datos experimentales de flujos simples. Debido a lo anterior, la aplicabilidad del modelo  $k$ - $\varepsilon$  no es universal.

Se han escrito varias revisiones sobre la aplicabilidad del modelo  $k$ - $\varepsilon$  y otros modelos de turbulencia como las de Rodi (1979), Launder *et al.* (1984), Lakshminarayana (1986) y Hanjalic (1994). Además, se han realizado evaluaciones de los modelos de turbulencia organizadas por el departamento de termofluidos de la universidad de Stanford (Kline *et al.* 1982 y Bradshaw *et al.*, 1996) en las que han participado prácticamente todos los grupos de investigación dedicados al modelado de la turbulencia. En todos los reportes mencionados se ha concluido que el modelo  $k$ - $\varepsilon$  predice el flujo en forma correcta únicamente para turbulencia isotrópica y bidimensional.

A pesar de lo mencionado anteriormente, el modelo  $k$ - $\varepsilon$  sigue siendo el más utilizado en aplicaciones de ingeniería, esto debido a que las mejoras que se obtienen con modelos de orden superior como el de esfuerzos de Reynolds muchas veces no ameritan su uso ya que son sumamente complejos.

También se han desarrollado modificaciones al modelo de modo que sea aplicable a problemas específicos, por ejemplo, Galmes y Lakshminarayana (1984) propusieron una modificación a la ecuación de  $\varepsilon$  para tomar en cuenta los efectos de curvatura y de rotación presentes en aplicaciones de turbomáquinas.

En lo que respecta a la simulación del flujo en tanques agitados, la mayoría de los trabajos reportados en la literatura hacen uso del modelo  $k$ - $\varepsilon$  estándar para representar el efecto de la turbulencia. Los trabajos mencionados en la introducción, como el de Middleton *et al.* (1986), el de Brucato *et al.* (1994) o el de Ranade y Dometti (1996), reportan simulaciones de flujo turbulento en tanques agitados utilizando el modelo  $k$ - $\varepsilon$  estándar. En el caso del estudio reportado en este trabajo, también se utilizó el modelo  $k$ - $\varepsilon$  estándar sabiendo que el efecto de la turbulencia no es modelado perfectamente pero que, de acuerdo a los trabajos reportados en la literatura, representa el fenómeno de una forma útil para el estudio de la hidrodinámica en tanques.

# 3. CÁLCULO DE COEFICIENTES ALGEBRAICOS USANDO EL MÉTODO DE VOLUMEN FINITO

El método de volumen finito es utilizado en distintos códigos comerciales de dinámica de fluidos computacional como PHOENICS, FLUENT o FLOW3D. Su principio básico es aplicar las ecuaciones de conservación a pequeños volúmenes de control obteniendo, mediante aproximaciones adecuadas, un sistema de ecuaciones algebraicas donde las incógnitas son las variables de flujo en cada celda computacional. Normalmente, la presión se calcula en forma acoplada con la velocidad mediante un algoritmo de la familia SIMPLE, estos algoritmos calculan, mediante iteraciones, un campo de presión con el cual se cumplan las ecuaciones de conservación de masa y de cantidad de movimiento. El método de volumen finito y los procedimientos iterativos para el cálculo de la presión se explican con bastante detalle en el texto de Patankar (1980) y en el de Versteeg y Malalasekera (1995).

Las expresiones presentadas en este capítulo se obtienen para coordenadas cilíndricas y modifican las interpolaciones lineales en dirección radial para las distintas componentes de la velocidad, de modo que, se contemple el efecto de cambio de área en la celda al variar la coordenada radial. Su descripción se hace en dos dimensiones, ya que, su extensión a tres dimensiones es muy similar. Estas nuevas expresiones fueron programadas e incluidas en el algoritmo del código PHOENICS y su codificación se presenta en el apéndice.

## 3.1 VARIABLES ESCALARES

La ecuación de conservación para un escalar  $\phi$  es

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi\mathbf{v}) = \text{div}(\Gamma_{\phi}\text{grad}(\phi)) + S_{\phi}, \quad (3-1)$$

donde  $\Gamma_{\phi}$  es la difusividad y a  $S_{\phi}$  se le llama término fuente, el cual incluye todos aquellos términos "extras" que tenga la ecuación.

Para resolver la ecuación numéricamente se discretiza el dominio a estudiar en pequeños volúmenes de control, los cuales son las celdas de un mallado computacional. La figura 3-1 ilustra un



algebraicos indica con qué celda vecina tiene relación el coeficiente, de modo que  $a_{gen}$  es el coeficiente de  $\phi_p$  que es la variable buscada en la celda genérica y  $a_{norte}$  es el coeficiente de  $\phi_N$  que es la variable buscada en la celda vecina al norte.

En las siguientes secciones se explicará la contribución del término difusivo y del término convectivo de la ecuación (3- 1) a los coeficientes algebraicos  $a_i$  de las ecuaciones del tipo (3- 2).

### 3.1.1 Contribución del término difusivo

Si integramos el término difusivo de la ecuación (3- 1) sobre un volumen de control cualquiera, esto es, sobre el volumen genérico P, y aplicamos el teorema de la divergencia se tiene

$$\int_{V.C} \text{div}(\Gamma_\phi \text{grad}(\phi)) dV = \int_{S.C} (\Gamma_\phi \text{grad}(\phi) \cdot \mathbf{n}) dA, \tag{3- 3}$$

donde *V.C.* indica volumen de control y *S.C.* superficie de control.

La integral de superficie de la ecuación (3- 3) se descompone en integrales sobre las cuatro fronteras del volumen de control

$$\begin{aligned} \int_{S.C} (\Gamma_\phi \text{grad}(\phi) \cdot \mathbf{n}) dA &= \int_{este} \Gamma_\phi \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} dA - \int_{oeste} \Gamma_\phi \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} dA + \int_{norte} \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial r} dA \\ &- \int_{sur} \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial r} dA \end{aligned} \tag{3- 4}$$

Las ideas clásicas del método de volumen finito proponen aproximar las integrales considerando que los integrandos son constantes a lo largo de cada frontera; por ejemplo, para la integral en la frontera *este*

$$\int_{este} \Gamma_\phi \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} dA \approx \left( \Gamma_\phi \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \right)_e A_e.$$

Note que los términos deben ser evaluados en la frontera del volumen de control, en este caso la frontera *este* se denota con la letra minúscula *e* (ver la figura 3- 1).

La derivada de  $\phi$  en la frontera *este* puede ser aproximada considerando que  $\phi$  varía en forma lineal desde el nodo P hasta el nodo E, esto es,

$$\begin{pmatrix} \partial \phi \\ \partial \theta \end{pmatrix}_e \approx \begin{pmatrix} \phi_e - \phi_p \\ \theta_e - \theta_p \end{pmatrix}.$$

Finalmente la aproximación de la integral queda

$$\int_{este} \Gamma_\phi \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} dA \approx (\Gamma_\phi A)_e \frac{1}{r_p} \frac{\phi_e - \phi_p}{\theta_e - \theta_p}. \tag{3- 5}$$

La difusividad  $\Gamma_\phi$  en la frontera *este* se puede obtener mediante un promedio,

$$(\Gamma_\phi)_e \approx \frac{(\Gamma_\phi)_L + (\Gamma_\phi)_P}{2} ;$$

dado que, en el caso de que la difusividad sea variable, ésta se calcula en el centro de cada celda y no en las fronteras.

Siguiendo los mismos pasos para el resto de las integrales se tiene,

$$\int_{\text{oeste}} \Gamma_\phi \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} dA \approx (\Gamma_\phi A)_u \frac{1}{r_p} \frac{\phi_P - \phi_W}{\theta_P - \theta_W} \quad (3-6)$$

$$\int_{\text{norte}} \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial r} dA \approx (\Gamma_\phi A)_n \frac{\phi_N - \phi_P}{r_N - r_P} \quad (3-7)$$

$$\int_{\text{sur}} \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial r} dA \approx (\Gamma_\phi A)_s \frac{\phi_P - \phi_S}{r_P - r_S} \quad (3-8)$$

Haciendo uso de las ecuaciones (3-3) a la (3-8), la integral del término difusivo sobre el volumen de control se aproxima por

$$\begin{aligned} \int_V \text{div}(\Gamma_\phi \text{grad}(\phi)) dV \approx & - \left( \frac{(\Gamma_\phi A)_e}{r_p(\theta_L - \theta_P)} + \frac{(\Gamma_\phi A)_u}{r_p(\theta_P - \theta_W)} + \frac{(\Gamma_\phi A)_n}{r_P - r_N} + \frac{(\Gamma_\phi A)_s}{r_S - r_P} \right) \phi_P \\ & + \frac{(\Gamma_\phi A)_e}{r_p(\theta_L - \theta_P)} \phi_L + \frac{(\Gamma_\phi A)_u}{r_p(\theta_P - \theta_W)} \phi_W + \frac{(\Gamma_\phi A)_n}{r_P - r_N} \phi_N + \frac{(\Gamma_\phi A)_s}{r_S - r_P} \phi_S \end{aligned} \quad (3-9)$$

Si denotamos con  $a_i^D$  a la contribución del término difusivo en los coeficientes algebraicos  $a_i$  de la ecuación (3-2) se tiene

$$a_{\text{oeste}}^D = \frac{(\Gamma_\phi A)_e}{r_p(\theta_L - \theta_P)} \quad (3-10)$$

$$a_{\text{norte}}^D = \frac{(\Gamma_\phi A)_u}{r_p(\theta_P - \theta_W)} \quad (3-10b)$$

$$a_{\text{norte}}^D = \frac{(\Gamma_\phi A)_n}{r_N - r_P} \quad (3-10c)$$

$$a_{\text{sur}}^D = \frac{(\Gamma_\phi A)_s}{r_S - r_P} \quad (3-10d)$$



$$a_{gen}^D = a_{este}^D + a_{oeste}^D + a_{norte}^D + a_{sur}^D ; \tag{3- 10)e}$$

note que  $a_{gen}^D$  no tiene el signo *menos* que aparece en la ecuación (3- 9) ya que el término difusivo de la ecuación (3- 1) se encuentra del lado derecho de la igualdad y en la ecuación (3- 2) el coeficiente algebraico  $a_{gen}^D$  aparece del lado izquierdo.

### 3.1.2 Contribución del término convectivo

Siguiendo un procedimiento similar al de la sección anterior, pero ahora para el término convectivo de la ecuación (3- 1),

$$\int_V \text{div}(\rho\phi\mathbf{v})dV = \int_{S,C} (\rho\phi\mathbf{v} \cdot \mathbf{n})dA ,$$

la cual se descompone nuevamente en cuatro integrales de superficie, quedando

$$\int_{S,C} (\rho\phi\mathbf{v} \cdot \mathbf{n})dA = \int_{este} \rho\phi v_0 dA - \int_{oeste} \rho\phi v_0 dA + \int_{norte} \rho\phi v_y dA - \int_{sur} \rho\phi v_y dA .$$

Nuevamente se considera que los integrandos son constantes a lo largo de cada una de las fronteras. Por ejemplo, para la frontera *este* se tiene

$$\int_{este} \rho\phi v_0 dA \approx (\rho\phi v_0)_e A_e .$$

Observe que la aproximación también se evalúa en la frontera del volumen de control. Como se explicará más adelante, las componentes de la velocidad se resuelven en las caras del volumen de control, por lo que  $(v_0)_e$  es justamente la velocidad tangencial calculada. Para evaluar  $\phi_e$  se puede suponer que  $\phi$  varía linealmente entre nodos, a lo cual se le llama esquema de diferenciación central.

Entonces, el esquema de diferenciación central consiste en interpolar linealmente los valores de  $\phi$  para obtener un valor aproximado en la frontera,

$$\phi_e \approx \frac{\phi_E - \phi_P}{\theta_e - \theta_P} (\theta_e - \theta_P) + \phi_P .$$

Para una malla regular, la frontera *este* se encuentra justo en medio de los nodos *E* y *P* con lo que

$$\phi_e \approx \frac{\phi_E + \phi_P}{2} .$$

Así pues, usando el método de diferenciación central para aproximar la integral en la cara *este* de una malla regular

$$\int_{este} \rho\phi v_0 dA \approx \rho(v_0)_e A_e \left( \frac{\phi_E + \phi_P}{2} \right) .$$

Si llamamos al gasto másico en cualquier frontera *i*

$$F_i = \rho v_{normal,i} A_i ,$$

la aproximación de la integral en la frontera *este* se puede escribir

$$\int_{este} \rho \phi v_{\theta} dA \approx \frac{F_e}{2} (\phi_L + \phi_P).$$

Utilizando el esquema de diferenciación central para el resto de las integrales se tiene

$$\int_{oeste} \rho \phi v_{\theta} dA \approx \frac{F_w}{2} (\phi_W + \phi_P),$$

$$\int_{norte} \rho \phi v_r dA \approx \frac{F_n}{2} (\phi_N + \phi_P),$$

$$\int_{sur} \rho \phi v_r dA \approx \frac{F_s}{2} (\phi_S + \phi_P).$$

Si denotamos por  $a_i^c$  a la contribución del término convectivo en los coeficientes algebraicos de las ecuaciones del tipo (3- 2), se tiene, para una malla regular, que

$$(a_{este}^c)_{d.c.} = -\frac{F_e}{2}, \tag{3- 11}$$

$$(a_{oeste}^c)_{d.c.} = \frac{F_w}{2}, \tag{3- 11)b}$$

$$(a_{norte}^c)_{d.c.} = -\frac{F_n}{2}, \tag{3- 11)c}$$

$$(a_{sur}^c)_{d.c.} = \frac{F_s}{2}, \tag{3- 11)d}$$

$$(a_{gen}^c)_{d.c.} = -\left( (a_{este}^c)_{d.c.} + (a_{oeste}^c)_{d.c.} + (a_{norte}^c)_{d.c.} + (a_{sur}^c)_{d.c.} \right), \tag{3- 11)e}$$

donde el subíndice *d.c.* indica diferenciación central.

El esquema de diferenciación central predice en forma bastante exacta el transporte de  $\phi$  cuando la convección es “débil” pero falla cuando es “fuerte”, lo anterior con respecto al número de Peclet local, el cual se definirá más adelante. (Ver Patankar (1980) y Versteeg, *et.al.* (1995)).

Un método alternativo es el esquema de aguas arriba, *upwind* en inglés, el cual propone tomar como valor de  $\phi$  en la frontera al mismo valor que tenga  $\phi$  justo en el nodo inmediato aguas arriba, de modo que, para la frontera *este*,

$$\text{si } (v_{\theta})_e > 0 \text{ entonces } \phi_e = \phi_P, \text{ y}$$

$$\text{si } (v_{\theta})_e < 0 \text{ entonces } \phi_e = \phi_E.$$

Si se define una función  $\max(x,y)$  tal que

$$\max(x,y) = x \text{ si } x > y \quad y$$

$$\max(x,y) = y \text{ si } x < y \quad ,$$

la aproximación de la integral en la frontera *este* se expresa por

$$\int_{este} \rho \phi v_0 dA \approx \phi_p \max(F_e, 0) - \phi_l \max(-F_e, 0) .$$

Usando el esquema de aguas arriba en el resto de las integrales se tiene.

$$\int_{oeste} \rho \phi v_0 dA \approx \phi_W \max(F_u, 0) - \phi_p \max(-F_u, 0) .$$

$$\int_{norte} \rho \phi v_r dA \approx \phi_p \max(F_n, 0) - \phi_N \max(-F_n, 0) .$$

$$\int_{sur} \rho \phi v_r dA \approx \phi_S \max(F_s, 0) - \phi_p \max(-F_s, 0) .$$

Entonces, las contribuciones del término convectivo en los coeficientes algebraicos para el esquema de aguas arriba son

$$(a_{este})_{aa} = \max(-F_e, 0) . \tag{3-12}$$

$$(a_{oeste})_{aa} = \max(F_u, 0) . \tag{3-12b}$$

$$(a_{norte})_{aa} = \max(-F_n, 0) , \tag{3-12c}$$

$$(a_{sur})_{aa} = \max(F_s, 0) , \tag{3-12d}$$

$$(a_{gen})_{aa} = \max(F_e, 0) + \max(-F_u, 0) + \max(F_n, 0) + \max(-F_s, 0) . \tag{3-12e}$$

El esquema de aguas arriba resulta mejor que el de diferenciación central sólo cuando la convección es “fuerte” y se ha visto que se obtienen mejores resultados si se elimina la contribución del término difusivo.

Para aprovechar las ventajas de los dos esquemas convectivos mencionados se utiliza una combinación de ambos en el esquema híbrido (Spalding, 1972). El esquema híbrido utiliza distintas expresiones dependiendo de la “fuerza” de convección en la frontera. Esta fuerza de convección se mide con respecto al número de Peclet en cada frontera  $i$

$$Pe_i = \left( \begin{array}{c} \rho v_{normal} \delta \\ \Gamma_\phi \end{array} \right)_i ,$$

donde  $\delta$  es la distancia entre los nodos vecinos a la frontera  $i$ . Por ejemplo, el número de Peclet en la frontera este está dado por

$$Pe_e = \frac{\rho(v_0)_e (r_p (\theta_E - \theta_P))}{(\Gamma_\phi)_e} = \frac{\rho(v_0)_e A_e}{A_e (\Gamma_\phi)_e} = \frac{F_e}{a_{e,n}^D},$$

de modo que en la frontera, el número de Peclet es la relación entre el gasto másico y el coeficiente debido al término difusivo, y justamente esta es la definición que se utiliza en el esquema híbrido. De modo que, para cada frontera, el número de Peclet queda definido por

$$Pe_i = \frac{F_i}{a_i^D}. \quad (3-13)$$

En el esquema híbrido se evalúa el número de Peclet en cada frontera del volumen de control y de acuerdo al valor que se tenga se decide el esquema a utilizar para la convección en esa frontera y también si se eliminará la contribución del término difusivo en la misma. De modo que, para cada frontera se tiene,

$$\text{si } Pe_i \leq 2.0$$

$$a_i^t = (a_i^t)_{a,c},$$

$$a_i^D \text{ permanece};$$

$$\text{y si } Pe_i > 2.0$$

$$a_i^t = (a_i^t)_{a,a},$$

$$a_i^D = 0.$$

(3-14)

Estos valores se obtienen tras una aproximación a la solución exacta de un problema de convección-difusión unidimensional, ver Patankar (1980), y por esto se elimina el efecto difusivo en la frontera cuando el Peclet es mayor que dos.

Las ecuaciones (3-10)e, (3-11)e y (3-12)e muestran la contribución difusiva o convectiva en el coeficiente algebraico que corresponde a la variable en el nodo genérico,  $\phi_p$ . Como se puede observar en cada una de las ecuaciones mencionadas, este coeficiente involucra una suma de términos que se deben a la relación de  $\phi_p$  con sus vecinos. Cuando se utiliza el esquema híbrido, cada sumando se maneja de acuerdo a lo propuesto por la regla (3-14), de modo que si  $Pe_{norte} > 2.0$  el tercer término de la ecuación (3-10)e desaparece ya que la contribución difusiva en la cara norte se elimina y el término que permanece para representar la convección en la cara norte será el tercer término de la ecuación (3-12)e.

En los siguientes temas se aplican las técnicas vistas sobre las ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento, ya que a partir de éstas se calculan las distintas componentes de la velocidad.

### 3.2 COMPONENTE RADIAL DE LA VELOCIDAD ( $v_r$ )

La ecuación de conservación de cantidad de movimiento en dirección radial para un sistema inercial se obtiene a partir de la ecuación (2-17) que se puede escribir

$$\frac{\partial(\rho v_r)}{\partial t} + \text{div}(\rho v_r v) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \text{div}(\mu \text{grad}(v_r)) + \rho g,$$

$$+ \mu \left( -\frac{v_r}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} \right) - \rho \frac{v_\theta^2}{r}$$

(3-15)

Se puede ver que todos los términos del lado derecho de la ecuación (3-15) son términos fuente excepto el término difusivo o viscoso.

Patankar (1980) explica que es conveniente resolver las distintas componentes de la velocidad en las caras de las celdas computacionales y no en el centro de las mismas, esto con la finalidad de facilitar la obtención de campos de velocidad y de presión físicamente realistas. El código PHOENICS utiliza esta convención, que se llama en inglés "staggered grid".

Las variables escalares como  $k, \epsilon, \mu$  y  $p$  se calculan en el centro de las celdas y las componentes de la velocidad se calculan en las caras de las celdas computacionales. Esto se ilustra en la figura 3-2 junto con la notación utilizada.

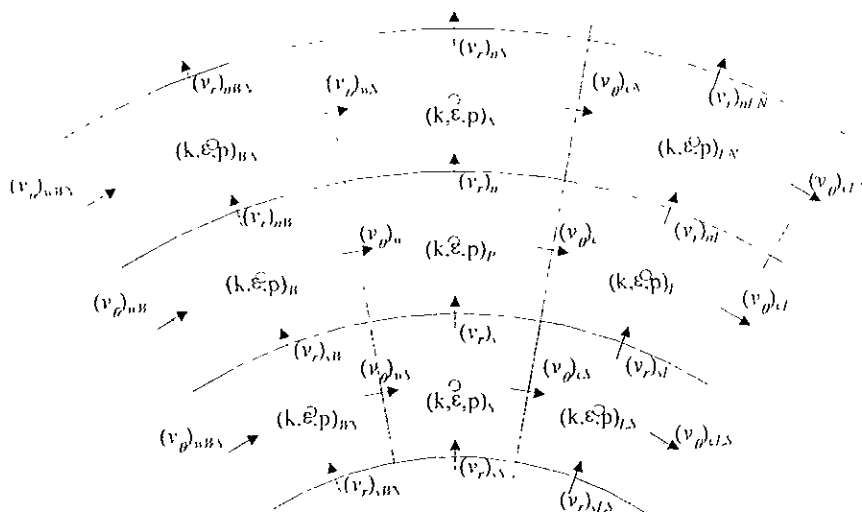


figura 3-2 Diagrama de posición de la solución de escalares y de las componentes de la velocidad.

La componente radial de la velocidad  $v_r$  que se resuelve para cada celda es la que se encuentra en la cara *norte* de la misma, y la componente tangencial  $v_\theta$  que corresponde a cada celda es la que se encuentra en la frontera *este*. Por ejemplo, la velocidad radial que corresponde a la celda de P es  $(v_r)_n$ , la velocidad tangencial que corresponde a la celda de P es  $(v_\theta)_e$ , la componente radial que corresponde a la celda del nodo *sur* (S) es  $(v_r)_s$  (ya que se encuentra en la cara *norte* de la celda mencionada), y la

componente tangencial que corresponde a la celda de WS es  $(v_\theta)_{WS}$  (ya que se encuentra en la frontera *este* de la celda mencionada).

El que las componentes de la velocidad se resuelvan en las caras de las celdas computacionales provoca que los volúmenes de control utilizados para las distintas componentes de la velocidad no coincidan con los volúmenes de control de los escalares. Los volúmenes de control de los escalares coinciden con las celdas computacionales como lo ilustra la figura 3- 1, mientras que la figura 3- 3 muestra los volúmenes de control utilizados para la componente radial de la velocidad.

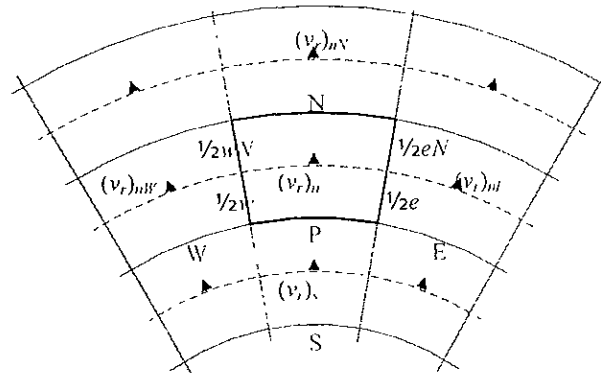


figura 3- 3. Volúmenes de control para  $v_r$

Note que la malla para la velocidad radial se encuentra desplazada en dirección radial. Las líneas punteadas son las correspondientes a la malla de escalares. La velocidad radial correspondiente a la celda genérica P es  $(v_r)_n$ , de modo que la celda genérica para la componente radial es la que se encuentra remarcada. Su frontera *norte* pasa por el nodo N y su frontera *sur* pasa por el nodo P, mientras que la frontera *este* está formada por la mitad de la cara (e) y por la mitad de la cara (eN); asimismo, la frontera *oeste* está formada por la mitad de la cara (w) y la mitad de la cara (wN).

Al aplicar la técnica de volumen finito sobre el volumen de control genérico de la componente radial se llegará, como en el caso de los escalares, a una ecuación algebraica con la forma

$$a_{gen}(v_r)_n = a_{este}(v_r)_{nE} + a_{oeste}(v_r)_{nW} + a_{norte}(v_r)_{nN} + a_{sur}(v_r)_n + b_{v_r} \tag{3- 16}$$

### 3.2.1 Contribución del término viscoso

Si aplicamos al término viscoso de la ecuación (3- 15) la misma secuencia de pasos utilizada para el término difusivo de los escalares se tiene

$$\int_{\Omega} \text{div}(\mu \text{grad}(v_r)) dV = \int_{\Omega} (\mu \text{grad}(v_r) \cdot \mathbf{n}) dA ,$$

tras el uso del teorema de la divergencia.

La integral de superficie se descompone en integrales sobre las cuatro caras del volumen de control

$$\int_{\text{este}} (\mu \text{grad}(v_r) \cdot \mathbf{n}) dA = \int_{\text{oeste}} \mu \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} dA - \int_{\text{este}} \mu \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} dA + \int_{\text{norte}} \mu \frac{\partial v_r}{\partial r} dA - \int_{\text{sur}} \mu \frac{\partial v_r}{\partial r} dA$$

La ecuación (3- 15) es válida para viscosidad constante; a pesar de esto, los análisis que se muestran de aquí en adelante considerarán el tratamiento general de las integrales considerando que la viscosidad puede variar. Dado que la viscosidad se calcula para los volúmenes de control de los escalares, es conveniente dividir la integral en la frontera *este* en dos integrales, cada una sobre la mitad correspondiente a la cara (e) y a la cara (eN), ver la figura 3- 3. De modo que

$$\int_{\text{este}} \mu \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} dA = \int_e \mu \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} dA + \int_{eN/2} \mu \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} dA$$

Para ambas integrales se supondrá constante la derivada de la velocidad radial sobre toda la frontera y su aproximación se obtiene suponiendo una variación lineal entre nodos. De modo que

$$\left( \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} \right)_{\text{este}} \approx \frac{1}{r_n} \frac{(v_r)_{mL} - (v_r)_n}{\theta_L - \theta_p}$$

La viscosidad se considera constante en cada una de las integrales, con lo que se obtiene

$$\int_{\text{este}} \mu \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} dA \approx \mu_e \frac{A_e}{2} \frac{1}{r_n} \frac{(v_r)_{mL} - (v_r)_n}{\theta_L - \theta_p} + \mu_{eN} \frac{A_{eN}}{2} \frac{1}{r_n} \frac{(v_r)_{mL} - (v_r)_n}{\theta_L - \theta_p}$$

De modo que las integrales en la frontera *este* y *oeste* se aproximan por

$$\int_{\text{oeste}} \mu \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} dA \approx \frac{(\mu A)_e + (\mu A)_{eN}}{2} \frac{1}{r_n} \frac{(v_r)_{mL} - (v_r)_n}{\theta_L - \theta_p}$$

$$\int_{\text{norte}} \mu \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} dA \approx \frac{(\mu A)_n + (\mu A)_{nN}}{2} \frac{1}{r_n} \frac{(v_r)_n - (v_r)_{mN}}{\theta_p - \theta_W}$$

En la integral de la cara *norte* se considera constante todo el integrando, observe que la frontera *norte* pasa por el nodo N como lo indica la figura 3- 3. Para aproximar la derivada en la frontera se supone nuevamente una variación lineal de  $v_r$ , de modo que

$$\left( \frac{\partial v_r}{\partial r} \right)_{\text{norte}} \approx \frac{(v_r)_{nN} - (v_r)_n}{r_{nN} - r_n} \tag{3- 17}$$

y la integral en la cara *norte* se aproxima por

$$\int_{\text{norte}} \mu \frac{\partial v_r}{\partial r} dA \approx (\mu A)_N \frac{(v_r)_{mN} - (v_r)_n}{r_{mN} - r_n}$$

De forma similar se obtiene la aproximación de la integral en la cara *sur*,

$$\int_{sur} \mu \frac{\partial v_r}{\partial r} dA \approx (\mu A)_p \frac{(v_r)_n - (v_r)_s}{r_n - r_s}$$

Entonces, las contribuciones viscosas  $a_i^u$  a los coeficientes  $a_i$  de la ecuación (3- 16) son

$$a_{este}^u = \frac{(\mu A)_e + (\mu A)_{eN}}{2r_n(\theta_e - \theta_p)} \tag{3- 18}$$

$$a_{oeste}^u = \frac{(\mu A)_o + (\mu A)_{oN}}{2r_n(\theta_p - \theta_o)} \tag{3- 18)b}$$

$$a_{norte}^u = \frac{(\mu A)_N}{r_{nN} - r_n} \tag{3- 18)c}$$

$$a_{sur}^u = \frac{(\mu A)_p}{r_n - r_s} \tag{3- 18)d}$$

$$a_{gen}^u = a_{este}^u + a_{oeste}^u + a_{norte}^u + a_{sur}^u \tag{3- 18)e}$$

### 3.2 2 Corrección de la contribución viscosa en dirección radial

Esta corrección se basa en el uso de un flujo radial puro para aproximar el flujo radial en cada celda. La componente radial de la velocidad para un flujo radial puro con densidad constante es

$$v_r = \frac{B}{r} \tag{3- 19}$$

donde  $B$  es una constante. De modo que la derivada de la componente radial en cualquier punto, para un flujo radial puro, está dada por

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} = - \frac{B}{r^2} \tag{3- 20}$$

La aproximación clásica utilizada para la derivada en la frontera *norte* del volumen de control genérico de  $v_r$  está dada por la ecuación (3- 17). Para un flujo radial puro, la aproximación resulta

$$\left( \frac{\partial v_r}{\partial r} \right)_{norte} \approx \frac{B}{r_{nN}} - \frac{B}{r_n} = - \frac{B}{r_{nN}r_n}$$

mientras que la derivada *exacta* en la frontera *norte* está dada por la ecuación (3- 20), quedando



$$\left( \frac{\partial v_r}{\partial r} \right)_{norte} = - \frac{B}{r_N^2} \tag{3-21}$$

Note que la frontera *norte* es la que pasa por el nodo N (ver figura 3-3).

La derivada en la frontera *norte* se puede aproximar de una mejor forma si utilizamos una expresión para  $v_r$  de la forma (3-19) en la que se tenga una variable  $\hat{B}$  que dependa de  $r$  y de  $\theta$ ,

$$v_r = \frac{\hat{B}(r, \theta)}{r} \tag{3-22}$$

de modo que

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} = - \frac{\hat{B}}{r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \hat{B}}{\partial r}$$

Con esta nueva expresión se puede aproximar en forma lineal a  $\hat{B}$  en lugar de  $v_r$ .

Obteniendo las aproximaciones para  $\hat{B}$  y su derivada,

$$\begin{aligned} (\hat{B})_{norte} = (\hat{B})_N &\approx \frac{\hat{B}_{nN} + \hat{B}_n}{2}, \\ \left( \frac{\partial \hat{B}}{\partial r} \right)_{norte} = \left( \frac{\partial \hat{B}}{\partial r} \right)_N &\approx \frac{\hat{B}_{nN} - \hat{B}_n}{r_{nN} - r_n}; \end{aligned}$$

con lo que la derivada de  $v_r$  en la frontera *norte* se aproxima por

$$\left( \frac{\partial v_r}{\partial r} \right)_{norte} \approx \frac{1}{r_N} \left( \frac{\hat{B}_{nN} - \hat{B}_n}{r_{nN} - r_n} - \frac{\hat{B}_{nN} + \hat{B}_n}{2r_N} \right),$$

y tomando en cuenta que

$$r_N = \frac{r_{nN} + r_n}{2}$$

se tiene

$$\left( \frac{\partial v_r}{\partial r} \right)_{norte} \approx \left( \frac{r_n r_{nN}}{r_N^2} \right) (v_r)_{nN} - (v_r)_n \tag{3-23}$$

Haciendo uso de la aproximación (3-23), para un flujo radial puro se tiene

$$\left( \frac{\partial v_r}{\partial r} \right)_{norte} \approx - \frac{B}{r_N^2},$$

que es justo la expresión exacta (3-21).

Con esta nueva aproximación para la derivada de  $v_r$ , las ecuaciones (3- 18)c y (3- 18)d cambian por

$$a_{,orte}^{u} = \left( \begin{matrix} r_n r_{n\lambda} \\ r_{\lambda}^2 \end{matrix} \right) \frac{(\mu A)_{\lambda}}{r_{n\lambda} - r_n}, \tag{3- 24}$$

$$a_{,sur}^{u} = \left( \begin{matrix} r_{\lambda} r_n \\ r_p^2 \end{matrix} \right) \frac{(\mu A)_p}{r_n - r_{\lambda}}, \tag{3- 24)b}$$

respectivamente.

### 3.2.3 Contribución del término convectivo

Aplicando la integral de volumen y el teorema de la divergencia sobre el término convectivo de la ecuación (3- 15) se tiene

$$\int_V \text{div}(\rho v_r \mathbf{v}) dV = \int_{\Sigma} \rho v_r (\mathbf{v} \cdot \mathbf{n}) dA.$$

Nuevamente esta integral se convierte en la suma de cuatro integrales, cada una sobre cada frontera del volumen de control, quedando

$$\int_{\Sigma} \rho v_r (\mathbf{v} \cdot \mathbf{n}) dA = \int_{este} \rho v_r v_0 dA - \int_{oeste} \rho v_r v_0 dA + \int_{norte} \rho v_r v_r dA - \int_{sur} \rho v_r v_r dA.$$

La integral sobre la cara *este* del volumen de control se parte nuevamente en dos integrales, una sobre la mitad de la frontera *e* y otra sobre la mitad de la frontera *eN* (ver la figura 3- 3). De modo que,

$$\int_{este} \rho v_r v_0 dA = \int_{e/2} \rho v_r v_0 dA + \int_{eN/2} \rho v_r v_0 dA.$$

Si se utiliza el esquema de diferenciación central,

$$\int_{este} \rho v_r v_0 dA \approx \frac{F_e}{2} \left( \frac{(v_r)_n}{2} + \frac{(v_r)_{nl}}{2} \right) + \frac{F_{eN}}{2} \left( \frac{(v_r)_n}{2} + \frac{(v_r)_{nl}}{2} \right),$$

$$\int_{este} \rho v_r v_0 dA \approx \left( \frac{F_e}{2} + \frac{F_{eN}}{2} \right) \left( \frac{(v_r)_n}{2} + \frac{(v_r)_{nl}}{2} \right).$$

De la misma forma para la frontera *oeste* se tiene

$$\int_{oeste} \rho v_r v_0 dA \approx \left( \frac{F_n}{2} + \frac{F_{nN}}{2} \right) \left( \frac{(v_r)_n}{2} + \frac{(v_r)_{nw}}{2} \right).$$

La frontera *norte* del volumen de control pasa por el nodo N, pero en ese nodo no se resuelve ninguna componente de la velocidad, de modo que se debe estimar el valor de  $F$  en esta frontera. Para esto se puede usar una interpolación lineal para  $v_r$ , pero en vez de esto se utilizará la forma de la

velocidad radial propuesta en la ecuación (3- 22), y se considerará que el coeficiente  $\hat{B}$  es el que varía linealmente, teniendo

$$(v_r)_{\lambda} = \frac{\hat{B}_{\lambda}}{r_{\lambda}} \approx \left( \frac{\hat{B}_n + \hat{B}_{n\lambda}}{2} \right) \frac{1}{r_{\lambda}} = \left( \frac{(v_r)_n r_n + (v_r)_{n\lambda} r_{n\lambda}}{2} \right) \frac{1}{r_{\lambda}}$$

y con esto,

$$F_{\lambda} \approx \rho \left( \frac{(v_r)_n r_n + (v_r)_{n\lambda} r_{n\lambda}}{2} \right) \frac{A_{\lambda}}{r_{\lambda}} ; \tag{3- 25}$$

de la misma forma se puede obtener

$$F_p \approx \rho \left( \frac{(v_r)_n r_n + (v_r)_{\lambda} r_{\lambda}}{2} \right) \frac{A_p}{r_p} \tag{3- 26}$$

para la frontera *sur* del volumen de control.

Para el esquema de diferenciación central se utilizará también la forma (3- 22) de la velocidad radial, de modo que las integrales en la frontera *norte* y la frontera *sur* del volumen de control para  $v_r$  quedan

$$\int_{norte} \rho v_r v_r dA \approx F_{\lambda} \left( \frac{(v_r)_n r_n + (v_r)_{n\lambda} r_{n\lambda}}{2} \right) \frac{1}{r_{\lambda}}$$

y

$$\int_{sur} \rho v_r v_r dA \approx F_p \left( \frac{(v_r)_n r_n + (v_r)_{\lambda} r_{\lambda}}{2} \right) \frac{1}{r_p}$$

Entonces, las contribuciones convectivas utilizando el esquema de diferenciación central quedan

$$(a'_{conv})_{d\lambda} = -\frac{1}{4} (F_e + F_{e\lambda}), \tag{3- 27}$$

$$(a'_{conv})_{d\lambda} = \frac{1}{4} (F_w + F_{w\lambda}), \tag{3- 27b}$$

$$(a'_{norte})_{d\lambda} = -\frac{F_{\lambda}}{2} \frac{r_{n\lambda}}{r_{\lambda}}, \tag{3- 27c}$$

$$(a'_{sur})_{d\lambda} = \frac{F_p}{2} \frac{r_{\lambda}}{r_p}, \tag{3- 27d}$$

$$(a_{gen}^c)_{aa} = - \left( (a_{estc}^c) + (a_{ovestc}^c) + \frac{r_n}{r_{n\lambda}} (a_{norte}^c) + \frac{r_n}{r_\lambda} (a_{sur}^c) \right), \tag{3- 27)e}$$

donde  $F_\lambda$  y  $F_p$  están dados por las ecuaciones (3- 25) y (3- 26) respectivamente.

De acuerdo a lo que se ha propuesto en el manejo de la velocidad radial, el esquema de aguas arriba debe contemplar el valor de  $\hat{B}$  en vez del de  $v_r$ , por lo que la propuesta para la frontera *norte* queda.

$$\text{si } F_\lambda > 0 \text{ entonces } \hat{B}_N = \hat{B}_n, \text{ por lo que } (v_r)_N \approx \frac{r_n}{r_N} (v_r)_n; \text{ y}$$

$$\text{si } F_\lambda < 0 \text{ entonces } \hat{B}_N = \hat{B}_{nN}, \text{ por lo que } (v_r)_N \approx \frac{r_{nN}}{r_N} (v_r)_{nN}.$$

De modo que, usando el esquema de aguas arriba, la contribución del término convectivo a las coeficientes algebraicos queda

$$(a_{estc}^c)_{aa} = \max \left( - \frac{F_c + F_{c\lambda}}{2}, 0 \right), \tag{3- 28}$$

$$(a_{ovestc}^c)_{aa} = \max \left( \frac{F_w + F_{w\lambda}}{2}, 0 \right), \tag{3- 28)b}$$

$$(a_{norte}^c)_{aa} = \frac{r_{n\lambda}}{r_\lambda} \max(-F_\lambda, 0). \tag{3- 28)c}$$

$$(a_{sur}^c)_{aa} = \frac{r_\lambda}{r_p} \max(F_p, 0), \tag{3- 28)d}$$

$$(a_{gen}^c)_{aa} = \max \left( \frac{F_c + F_{c\lambda}}{2}, 0 \right) + \max \left( - \frac{F_w + F_{w\lambda}}{2}, 0 \right) + \frac{r_n}{r_\lambda} \max(F_\lambda) + \frac{r_n}{r_p} \max(-F_p) \tag{3- 28)e}$$

Para el uso del esquema híbrido se sigue el mismo criterio propuesto en (3- 14), donde el número de Peclet en las fronteras se evalúa de acuerdo a la ecuación (3- 13).

### 3.3 COMPONENTE TANGENCIAL DE LA VELOCIDAD ( $v_\theta$ )

La ecuación de conservación de cantidad de movimiento en dirección tangencial para un sistema inercial se obtiene a partir de la ecuación (2-18), y se puede escribir

$$\frac{\partial(\rho v_\theta)}{\partial t} + \text{div}(\rho v_\theta \mathbf{v}) = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \text{div}(\mu \text{grad}(v_\theta)) + \rho g_\theta$$

$$+ \mu \left( -\frac{v_\theta}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} \right) + \rho \frac{v_\theta v_r}{r}$$
(3-29)

Al aplicar la metodología vista en los temas anteriores sobre la ecuación (3-29) se obtendrá una ecuación algebraica de la forma

$$a_{gen}(v_\theta)_e = a_{este}(v_\theta)_{el} + a_{oeste}(v_\theta)_{en} + a_{norte}(v_\theta)_{en} + a_{sur}(v_\theta)_{es} + b_{v_\theta}$$
(3-30)

El mallado para la componente tangencial de la velocidad se muestra en la figura 3-4.

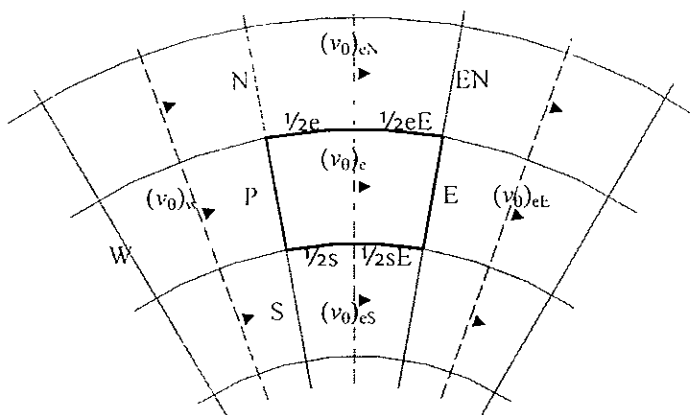


figura 3-4 Volúmenes de control para  $v_\theta$

#### 3.3.1 Contribución del término viscoso

Si integramos el término viscoso de la ecuación (3-29) sobre el volumen de control genérico de  $v_\theta$ , se tiene

$$\int_{VC} \text{div}(\mu \text{grad}(v_\theta)) dV = \int_{SC} \mu \text{grad}(v_\theta) \cdot \mathbf{n} dA =$$

$$= \int_{este} \mu \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} dA - \int_{oeste} \mu \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} dA + \int_{norte} \mu \frac{\partial v_\theta}{\partial r} dA - \int_{sur} \mu \frac{\partial v_\theta}{\partial r} dA$$

Suponiendo una variación lineal entre nodos para  $v_\theta$  con respecto a  $\theta$ , las integrales en la cara *este* y *oeste* se aproximan por

$$\int_{este} \mu \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} dA \approx (\mu A)_e \frac{(v_\theta)_{el} - (v_\theta)_e}{r_p(\theta_{el} - \theta_e)}$$

$$\int_{oeste} \mu \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} dA \approx (\mu A)_p \frac{(v_\theta)_e - (v_\theta)_n}{r_p(\theta_e - \theta_n)}$$

Note que la cara *este* pasa por el nodo E y que la cara *oeste* pasa por el nodo P. (Ver la figura 3- 4)

Para la integral en la cara *norte* del volumen de control se tiene

$$\int_{norte} \mu \frac{\partial v_\theta}{\partial r} dA = \int_{n:2} \mu \frac{\partial v_\theta}{\partial r} dA + \int_{nb:2} \mu \frac{\partial v_\theta}{\partial r} dA.$$

Para toda la cara norte se considera que la derivada con respecto a  $r$  es constante. Al igual que con la componente radial de la velocidad, es conveniente manejar a la velocidad tangencial de una forma tal que se obtenga una mejora a las aproximaciones lineales. En este caso se utiliza una función  $\hat{G}(r, \theta)$  que representa la velocidad angular local, de modo que

$$v_\theta = r\hat{G}(r, \theta). \tag{3- 31}$$

Usando esta forma para la velocidad tangencial se tiene que

$$\frac{\partial v_\theta}{\partial r} = \hat{G} + r \frac{\partial \hat{G}}{\partial r}.$$

Si se supone una variación lineal para  $\hat{G}$ ,

$$\frac{\partial \hat{G}}{\partial r} \approx \frac{\hat{G}_{eN} - \hat{G}_e}{r_N - r_p} \text{ y}$$

$$\hat{G}_{norte} \approx \left( \frac{\hat{G}_{eN} - \hat{G}_e}{r_N - r_p} \right) (r_n - r_p) + \hat{G}_e.$$

Entonces, la aproximación de la derivada en la frontera *norte* es

$$\left( \frac{\partial v_\theta}{\partial r} \right)_{norte} \approx \frac{\hat{G}_{eN}(2r_n - r_p) - \hat{G}_e(2r_n - r_N)}{r_N - r_p},$$

y utilizando la ecuación (3- 31)

$$\left( \frac{\partial v_\theta}{\partial r} \right)_{norte} \approx \frac{(v_\theta)_{eN} r_p (2r_n - r_p) - (v_\theta)_e r_N (2r_n - r_N)}{r_N r_p (r_N - r_p)}. \tag{3- 32}$$

Haciendo uso de la aproximación (3- 32) para las integrales en la cara *norte* se tiene

$$\int_{norte} \mu \frac{\partial v_n}{\partial r} dA \approx \frac{(\mu A)_n}{2} + \frac{(\mu A)_{nl}}{2} \left( \frac{(v_n)_e r_p (2r_n - r_p) - (v_n)_e r_N (2r_n - r_N)}{r_N r_p (r_N - r_p)} \right);$$

de la misma forma la integral en la cara *sur* se puede aproximar por

$$\int_{sur} \mu \frac{\partial v_n}{\partial r} dA \approx \frac{(\mu A)_s}{2} + \frac{(\mu A)_{sl}}{2} \left( \frac{(v_n)_e r_s (2r_s - r_p) - (v_n)_e r_p (2r_s - r_p)}{r_p r_s (r_p - r_s)} \right).$$

Finalmente la contribución del término viscoso a los coeficientes algebraicos de la ecuación (3-30) se escribe

$$a_{est}^{II} = \frac{(\mu A)_l}{r_p (\theta_{el} - \theta_e)} \quad (3-33)$$

$$a_{esl}^{II} = \frac{(\mu A)_p}{r_p (\theta_e - \theta_n)} \quad (3-33)b$$

$$a_{enl}^{II} = \frac{(\mu A)_n}{2} + \frac{(\mu A)_{nl}}{2} \frac{(2r_n - r_p)}{r_N (r_N - r_p)} \quad (3-33)c$$

$$a_{enr}^{II} = \frac{(\mu A)_s}{2} + \frac{(\mu A)_{sl}}{2} \frac{(2r_s - r_p)}{r_p (r_p - r_s)} \quad (3-33)d$$

$$a_{gen}^{II} = a_{est}^{II} + a_{esl}^{II} + \frac{r_N (2r_n - r_N)}{r_p (2r_n - r_p)} a_{enl}^{II} + \frac{r_s (2r_s - r_s)}{r_p (2r_s - r_p)} a_{enr}^{II} \quad (3-33)e$$

### 3.3.2 Contribución del término convectivo

Siguiendo el mismo procedimiento explicado en los temas anteriores, la contribución del término convectivo en los coeficientes algebraicos de la ecuación (3-30) es, para el esquema de diferenciación central,

$$(a_{est}^I)_{dc} = -\frac{F_l}{2} \quad (3-34)$$

$$(a_{esl}^I)_{dc} = \frac{F_p}{2} \quad (3-34)b$$

$$(a_{enl}^I)_{dc} = -\frac{F_n + F_{nl}}{4} \frac{r_n}{r_N} \quad (3-34)c$$

$$(a_{norte}^c)_{d,c} = \frac{F_v + F_{st}}{4} \frac{r_v}{r_s}, \tag{3-34d}$$

$$(a_{gen}^c)_{d,c} = - \left( (a_{este}^c)_{d,c} + (a_{oeste}^c)_{d,c} + \frac{r_N}{r_p} (a_{norte}^c)_{d,c} + \frac{r_s}{r_p} (a_{sur}^c)_{d,c} \right), \tag{3-34e}$$

donde

$$F_L = \frac{F_e + F_{el}}{2},$$

$$F_p = \frac{F_n + F_c}{2}.$$

Para el esquema de aguas arriba se tiene

$$(a_{este}^c)_{a,u} = \max(-F_L, 0), \tag{3-35}$$

$$(a_{oeste}^c)_{a,u} = \max(F_p, 0), \tag{3-35b}$$

$$(a_{norte}^c)_{a,u} = \frac{r_n}{r_v} \max\left(-\frac{F_n + F_{nl}}{2}, 0\right), \tag{3-35c}$$

$$(a_{sur}^c)_{a,u} = \frac{r_s}{r_s} \max\left(\frac{F_v + F_{st}}{2}, 0\right), \tag{3-35d}$$

$$(a_{gen}^c)_{a,u} = \max(F_L, 0) + \max(-F_p, 0) + \frac{r_n}{r_p} \max\left(\frac{F_n + F_{nl}}{2}, 0\right) + \frac{r_s}{r_p} \max\left(-\frac{F_v + F_{st}}{2}, 0\right). \tag{3-35e}$$

Para el esquema híbrido se utilizan nuevamente el criterio (3-14) y la ecuación (3-13) para evaluar el número de Peclet.



### 3.4 CONTRIBUCIÓN DE LOS TÉRMINOS FUENTE

#### 3.4.1 Fuentes viscosas en la ecuación de $v_r$

Los términos fuente debidos a la viscosidad presentes en la ecuación (3- 15) son

$$S_{\mu}^v = \mu \left( -\frac{v_r}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_{\theta}}{\partial \theta} \right).$$

Este término debe ser integrado sobre el volumen de control para encontrar su contribución a los coeficientes algebraicos de la ecuación (3- 16).

Una forma de aproximar estas integrales es considerar valores promedio para las variables de flujo dentro del integrando. Por ejemplo, para el primer término de la fuente viscosa se tiene

$$\int_{V_c} \left( -\mu \frac{v_r}{r^2} \right) dV \approx -(v_r)_{prom} \left( \int_{r_p}^{r_n} \int_{\theta_c}^{\theta_n} \mu d\theta dr + \int_{r_n}^{r_\lambda} \int_{\theta_c}^{\theta_n} \mu d\theta dr \right), \tag{3- 36}$$

donde el valor promedio lógico a considerar es

$$(v_r)_{prom} = (v_r)_n$$

ya que es justo el valor de la velocidad radial para el volumen de control genérico. La integral se parte nuevamente en dos para considerar el caso general en el que la viscosidad es variable. Para identificar los límites de integración es conveniente referirse a la figura 3- 3.

Finalmente la aproximación de la integral (3- 36) queda

$$\int_{V_c} \left( -\mu \frac{v_r}{r^2} \right) dV \approx -(v_r)_n \left( \mu_p \text{Ln} \left( \frac{r_n}{r_p} \right) + \mu_v \text{Ln} \left( \frac{r_\lambda}{r_n} \right) \right) (\theta_c - \theta_n)$$

Se ha visto en secciones anteriores que el uso de la ecuación (3- 22) para la velocidad radial produce mejores aproximaciones cuando se utiliza en las integrales de los términos difusivos y convectivos de la ecuación (3- 16). Su uso en las integrales de los términos fuente también sirve para obtener una buena aproximación de las integrales. En el caso de la primera parte de  $S_{\mu}^v$  se tiene

$$\int_{V_c} \left( -\mu \frac{v_r}{r^2} \right) dV = - \int_{V_c} \left( \mu \frac{\hat{B}}{r^3} \right) dV.$$

Si consideramos ahora un  $\hat{B}_{prom}$ , la integral queda

$$\begin{aligned}
 - \int_V \left( \mu \frac{\hat{B}}{r^3} \right) dV &\approx -\hat{B}_{prom} \left( \int_{r_1}^{r_2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{\mu}{r^2} d\theta dr + \int_{r_2}^{r_3} \int_{\theta_2}^{\theta_3} \frac{\mu}{r^2} d\theta dr \right) \approx \\
 &\approx -(v_r)_n r_n \left( \mu_p \left( \frac{1}{r_p} - \frac{1}{r_n} \right) + \mu_v \left( \frac{1}{r_n} - \frac{1}{r_v} \right) \right) (\theta_e - \theta_n)
 \end{aligned}$$

donde

$$\hat{B}_{prom} = (v_r)_n r_n.$$

En el segundo término de  $S_\mu$  se tiene a la derivada de la velocidad tangencial  $v_\theta$ . Si se utiliza la ecuación (3- 31) para la velocidad tangencial, la integral de volumen de la segunda parte de la fuente viscosa queda

$$\int_V \left( - \frac{2\mu}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} \right) dV = -2 \int_V \frac{\mu}{r} \frac{\partial \hat{G}}{\partial \theta} dV,$$

ahora se utiliza la siguiente aproximación,

$$\left( \frac{\partial \hat{G}}{\partial \theta} \right)_{prom} \approx \frac{\hat{G}_{prom radial e} - \hat{G}_{prom radial n}}{\theta_e - \theta_n},$$

de modo que se considera una variación lineal de  $\hat{G}_{prom radial}$  en dirección tangencial, donde

$$\begin{aligned}
 \hat{G}_{prom radial e} &= \frac{(v_\theta)_{eN}}{r_v} + \frac{(v_\theta)_e}{r_p} = \frac{r_p (v_\theta)_{eN} + r_N (v_\theta)_e}{2r_p r_N} \quad y \\
 \hat{G}_{prom radial n} &= \frac{r_p (v_\theta)_{nN} + r_N (v_\theta)_n}{2r_p r_N}.
 \end{aligned}$$

Usando la aproximación anterior se tiene

$$\begin{aligned}
 -2 \int_V \frac{\mu}{r} \frac{\partial \hat{G}}{\partial \theta} dV &\approx -2 \left( \frac{\partial \hat{G}}{\partial \theta} \right)_{prom} \left( \int_{r_1}^{r_2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \mu d\theta dr + \int_{r_2}^{r_3} \int_{\theta_2}^{\theta_3} \mu d\theta dr \right) = \\
 &= - \frac{r_p ((v_\theta)_{eN} - (v_\theta)_{nN}) + r_N ((v_\theta)_e - (v_\theta)_n)}{r_p r_N} (\mu_p (r_n - r_p) + \mu_v (r_v - r_n))
 \end{aligned}$$

De modo que la integral de volumen del término fuente viscosa se aproxima mediante

$$\int_{V_c} S_u^v dV \approx -r_n \left( \mu_p \left( \frac{1}{r_p} - \frac{1}{r_n} \right) + \mu_v \left( \frac{1}{r_n} - \frac{1}{r_N} \right) \right) (\theta_c - \theta_u) (v_r)_n -$$

$$\frac{r_p \left( (v_r)_{c\lambda} - (v_r)_{u\lambda} \right) + r_N \left( (v_r)_{c\lambda} - (v_r)_{u\lambda} \right)}{r_p r_N} (\mu_p (r_n - r_p) + \mu_N (r_N - r_n))$$
(3-37)

Esta aproximación contribuye directamente a los coeficientes de las ecuaciones algebraicas del tipo (3-16). En el primer término del lado derecho de la ecuación (3-37) aparece la variable incógnita perteneciente al volumen de control genérico,  $(v_r)_n$ , por lo que su coeficiente contribuye directamente en el coeficiente  $a_{gen}$  de la ecuación (3-16). En el segundo término del lado derecho de la ecuación (3-37) no aparece ninguna componente radial vecina por lo que este término contribuye al término independiente de la ecuación (3-16),  $b_{c\lambda}$ . De modo que,

$$a_{gen}^v = r_n \left( \mu_p \left( \frac{1}{r_p} - \frac{1}{r_n} \right) + \mu_v \left( \frac{1}{r_n} - \frac{1}{r_N} \right) \right) (\theta_c - \theta_u)$$
(3-38)

$$b_{c\lambda}^v = - \frac{r_p \left( (v_r)_{c\lambda} - (v_r)_{u\lambda} \right) + r_N \left( (v_r)_{c\lambda} - (v_r)_{u\lambda} \right)}{r_p r_N} (\mu_p (r_n - r_p) + \mu_N (r_N - r_n))$$
(3-39)

### 3.4.2 Fuentes viscosas en la ecuación de $v_\theta$

El término fuente viscoso de la ecuación (3-29) es

$$S_u^v = \mu \left( - \frac{v_\theta}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} \right).$$

Al integrar sobre el volumen de control de la componente tangencial  $v_\theta$  y tras el uso de las ecuaciones (3-22) y (3-31) se tiene que la contribución a los coeficientes algebraicos de la ecuación (3-30) es

$$a_{gen}^v = \frac{r_n - r_p}{r_p} (\mu_p (\theta_c - \theta_p) + \mu_L (\theta_L - \theta_c))$$
(3-40)

$$b_{c\lambda}^v = \frac{r_\lambda \left( (v_r)_{c\lambda} - (v_r)_{u\lambda} \right) + r_n \left( (v_r)_{c\lambda} - (v_r)_{u\lambda} \right)}{\theta_L - \theta_p} \left( \frac{1}{r_\lambda} - \frac{1}{r_n} \right) (\mu_p (\theta_c - \theta_p) + \mu_L (\theta_L - \theta_p))$$
(3-41)

### 3.4.3 Fuentes convectivas en la ecuación de $v_r$

La fuente convectiva de la ecuación (3-15) es

$$S_{conv}^v = \rho \frac{v_r^2}{r}$$

Al integrar sobre el volumen de control de  $v_r$  y considerando densidad constante se obtiene la contribución al término independiente de la ecuación (3-16) como sigue

$$h_{v_r}^{conv} = \rho \hat{G}_{prom}^2 (\theta_c - \theta_u) \frac{r_\lambda^3 - r_p^3}{3}, \tag{3-42}$$

donde

$$\hat{G}_{prom} = \frac{1}{4} \left( \frac{(v_\theta)_c}{r_p} + \frac{(v_\theta)_u}{r_p} + \frac{(v_\theta)_{c\lambda}}{r_\lambda} + \frac{(v_\theta)_{u\lambda}}{r_\lambda} \right). \tag{3-43}$$

### 3.4.4 Fuentes convectivas en la ecuación de $v_\theta$

El término fuente convectivo de la ecuación (3-29) es

$$S_{conv}^v = -\rho \frac{v_r v_\theta}{r}$$

Al integrar este término sobre el volumen de control para  $v_\theta$  y considerando densidad constante se obtiene la siguiente contribución al coeficiente de  $(v_\theta)_r$  en la ecuación (3-30)

$$a_{gen}^{conv} = \rho \hat{B}_{prom} \frac{1}{r_p} (\theta_c - \theta_u) (r_u - r_\lambda), \tag{3-44}$$

donde

$$\hat{B}_{prom} = \frac{1}{4} (r_u (v_r)_u + r_u (v_r)_{ul} + r_\lambda (v_r)_\lambda + r_\lambda (v_r)_{\lambda l}). \tag{3-45}$$

# 4. MODELOS DE MOVIMIENTO DEL IMPULSOR

En el presente capítulo se explica la técnica de impulsor de fluido y la de solución estática, las cuales son utilizadas para modelar el movimiento del impulsor. El uso de estas técnicas para la solución numérica del flujo en tanques agitados se reporta en el siguiente capítulo.

## 4.1 IMPULSOR DE FLUIDO

En todos los códigos utilizados para la solución numérica de la dinámica de fluidos se tiene una etapa de preprocesamiento asociada con la definición del problema. Los códigos comerciales regularmente cuentan con un programa que auxilia al usuario en esta etapa. Así pues, con el uso del preprocesador, se pueden definir condiciones de frontera como la geometría del dominio, condiciones del flujo en entradas, existencia de paredes sólidas y condiciones iniciales.

Actualmente, cada código realiza las definiciones necesarias en las propiedades de las celdas donde el usuario especifique que se encuentra un cuerpo sólido. Sin embargo, una práctica muy usada, sobre todo hace algunos años en los que los códigos no eran tan complejos como hoy en día, era definir "sólidos de fluido". De modo que, si en el dominio se encontraba un sólido estático, lo que se recomendaba era asignarle a todas las celdas computacionales que correspondieran al sólido una velocidad de *cero*. (Ver Patankar, 1980)

Con base en lo anterior, la técnica de impulsor de fluido consiste en definir una velocidad de cuerpo sólido en las celdas por las que va pasando el impulsor. De modo que, los únicos sólidos reales que se definen son las mamparas y las paredes del tanque mientras que el impulsor será un cuerpo de fluido rotando como sólido. Obviamente, la solución numérica debe ser dependiente del tiempo. Tanguy *et al.* (1992) utilizan esta idea en estudios con fluidos muy viscosos.

Para facilitar la definición del movimiento del impulsor, el avance en cada paso del tiempo se determina de modo que el impulsor abarque exactamente un grupo de celdas computacionales en ese instante.

En el presente trabajo, el efecto viscoso entre el "impulsor de fluido" y el fluido se eliminó para *las componentes de la velocidad paralelas* a las paredes del impulsor. Sin embargo, en el modelo no se desea eliminar la fricción con el sólido, así que la fricción se modela a través de una *ley de pared*. La ley de pared utilizada se explica en el siguiente capítulo.

De modo que, además de definir una velocidad de cuerpo sólido para las celdas con las que coincida el impulsor en cada paso del tiempo, también se debe definir la eliminación del efecto viscoso para las caras de las celdas involucradas (esto se hace anulando la contribución del término viscoso en los coeficientes de las ecuaciones algebraicas) y, a su vez, se define el uso de la ley de pared sobre las mismas superficies en cada paso del tiempo. En la figura 4- 1 se ilustra lo dicho anteriormente.

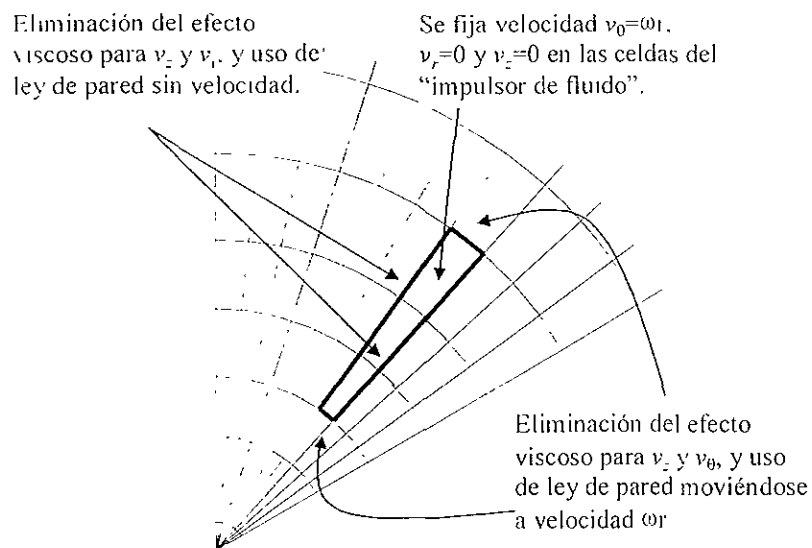


figura 4- 1 Esquema del método de impulsor de fluido en un determinado paso del tiempo durante la solución numérica

En lo que se refiere a los escalares, también se elimina el efecto difusivo a través de las paredes del impulsor para cada paso del tiempo

Cuando un sólido estático se define a través de la técnica de "sólido de fluido", la convección de cualquier variable a través sus superficies queda eliminada ya que la velocidad es cero en todo el sólido. En nuestro caso, el sólido se encuentra en movimiento, sin embargo, el efecto convectivo a través de sus paredes debe eliminarse.

En realidad las únicas caras que necesitan un tratamiento especial son las caras *este* y *oeste* de las celdas del impulsor, ya que en las demás caras la velocidad perpendicular a las superficies es cero. De modo que, es en estas caras donde se elimina el efecto convectivo para todas la variables, excepto para la componente tangencial de la velocidad ya que, como se explicó en el capítulo anterior, las fronteras de los volúmenes de control para  $v_\theta$  no coinciden con las caras del impulsor en esta dirección.

## 4.2 SOLUCIÓN ESTÁTICA

Este modelo se basa en la idea de calcular las variables de flujo en una sola posición del impulsor propuesta por Ranade y Dommeti (1996), lo cual evita el problema del movimiento del impulsor. Por esto se le llama a esta técnica en inglés *snapshot*, que se podría traducir como fotografía instantánea.

Como primera idea para implementar este modelo se puede proponer que, después de escoger una posición para el impulsor, sólo bastaría definir como condición de frontera a la velocidad de las paredes o caras del mismo impulsor. Pero esto no es suficiente ya que falta tomar en cuenta la variación de las variables con respecto al tiempo, pues en realidad el impulsor se encuentra en movimiento y el flujo está cambiando en cada instante.

La variación en el tiempo se modela a través de fuentes en las ecuaciones de conservación para estado permanente. lo cual se explica en los siguientes puntos.

Debido a que el impulsor no se encuentra en movimiento dentro del dominio computacional, ya que se está resolviendo el flujo para una sola posición, las celdas que corresponden al impulsor se pueden definir como sólidos, pero además se deben definir fuentes y sumideros de masa en las celdas que se encuentran en contacto con el impulsor (Ranade y Dommeti, 1996). Para evitar el uso de estas fuentes y sumideros, en este trabajo se modela el impulsor como un "sólido de fluido", de modo que las condiciones de frontera son las mismas que se explicaron para la técnica anterior, con la ventaja de que estas condiciones no cambian durante la solución ya que ésta se obtiene para una única posición del impulsor.

En los siguientes dos puntos se obtienen las expresiones que permiten modelar la dependencia temporal de las variables del flujo. Primero se explican las relaciones entre los campos espaciales vistos desde un marco de referencia fijo y otro móvil, y en el siguiente punto, se obtienen los términos fuente que se agregarán a las ecuaciones en estado permanente, que son las que se resuelven en la técnica de solución estática

#### 4.2.1 Posición, velocidad y aceleración con respecto a un sistema no inercial

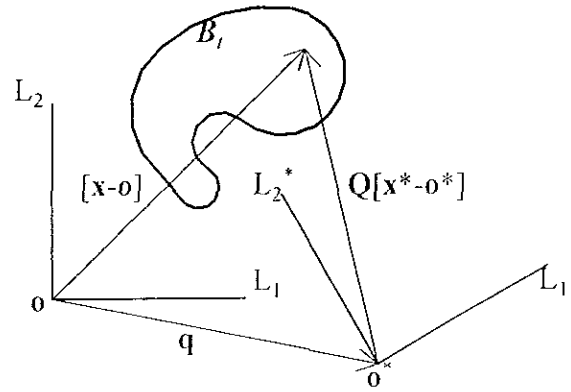
Si el movimiento de un cuerpo se refiere a dos marcos de referencia distintos, los observadores de cada marco de referencia verán movimientos diferentes. De hecho, la diferencia entre ambos será el movimiento rígido de un sistema con respecto al otro.

Para entender las relaciones entre los movimientos vistos desde marcos de referencia distintos analizaremos un caso en dos dimensiones. La extensión a tres dimensiones se hace de la misma forma.

Sean  $\underline{x}$  y  $\underline{x}^*$  movimientos de un cuerpo  $B$ , estos movimientos medidos con respecto a un marco de referencia fijo  $(L_1, L_2, \mathbf{o})$  y con respecto a un marco de referencia móvil  $(L_1^*, L_2^*, \mathbf{o}^*)$ , respectivamente. De acuerdo a las definiciones de movimiento, posición y punto material descritas en la sección 2.1 del capítulo 2, podemos expresar la relación que existe entre ambos movimientos como

$$\underline{x}(\mathbf{p}, t) - \mathbf{o} = \mathbf{q}(t) + \mathbf{Q}(t) \left[ \underline{x}^*(\mathbf{p}, t) - \mathbf{o}^* \right], \tag{4-1}$$

donde  $\mathbf{Q}(t)$  es una rotación, con la cual se orientan los vectores con respecto al marco de referencia fijo, y  $\mathbf{q}(t)$  es el vector de posición del origen móvil  $\mathbf{o}^*$  con respecto al sistema de referencia  $(L_1, L_2, \mathbf{o})$ . Esto se ilustra en la figura 4-2.


 figura 4- 2 Relación entre los movimientos  $x$  y  $x^*$ 

La posición del punto material  $p$  será distinta para cada movimiento;  $\mathbf{x} = \mathbf{x}(\mathbf{p}, t)$  será la posición de acuerdo al sistema fijo y  $\mathbf{x}^* = \mathbf{x}^*(\mathbf{p}, t)$  la posición con respecto al sistema móvil. La ecuación (4- 1) se puede escribir

$$\mathbf{x} - \mathbf{o} = \mathbf{q}(t) + \mathbf{Q}(t)[\mathbf{x}^* - \mathbf{o}^*], \quad (4- 2)$$

y las transformaciones de referencia para ambos movimientos serán.

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}(\mathbf{x}, t) \quad \text{y} \quad \mathbf{p} = \mathbf{p}^*(\mathbf{x}^*, t).$$

de modo que.

$$\mathbf{p}(\mathbf{x}, t) = \mathbf{p}^*(\mathbf{x}^*, t).$$

Si obtenemos la derivada material de la ecuación (4- 1) se tiene

$$\dot{\mathbf{x}}(\mathbf{p}, t) = \dot{\mathbf{q}}(t) + \dot{\mathbf{Q}}(t)[\mathbf{x}^*(\mathbf{p}, t) - \mathbf{o}^*] + \mathbf{Q}(t)\dot{\mathbf{x}}^*(\mathbf{p}, t),$$

y usando  $\mathbf{p}$  del lado izquierdo y  $\mathbf{p}^*$  del lado derecho,

$$\mathbf{v}(\mathbf{x}, t) = \dot{\mathbf{q}}(t) + \dot{\mathbf{Q}}(t)[\mathbf{x}^* - \mathbf{o}^*] + \mathbf{Q}(t)\mathbf{v}^*(\mathbf{x}^*, t). \quad (4- 3)$$

Esta es la relación que existe entre las descripciones espaciales de la velocidad para ambos movimientos.

Para entender lo que representa  $\dot{\mathbf{Q}}$ , suponga que el cuerpo  $B$  se encuentra moviéndose en rotación pura, de modo que  $\mathbf{q}(t) = \dot{\mathbf{q}}(t) = \mathbf{0}$  y entonces la ecuación (4- 2) se reduce a

$$\mathbf{x} - \mathbf{o} = \mathbf{Q}(t)[\mathbf{x}^* - \mathbf{o}^*]. \quad (4- 4)$$



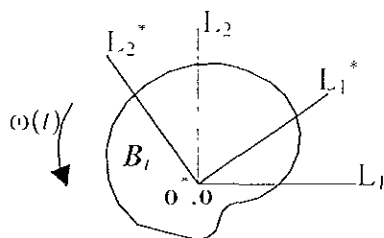


figura 4- 3 Cuerpo en rotación pura

Si el sistema  $(L_1^*, L_2^*, o^*)$  gira junto con el cuerpo  $B$ , la velocidad en cualquier posición con respecto al sistema en rotación será

$$v^*(x^*, t) = 0 .$$

y la velocidad en cualquier posición  $x$  del sistema fijo será

$$v(x, t) = \omega(t) \times [x - o] .$$

donde  $\omega(t)$  es la velocidad angular a la que gira el cuerpo  $B$  en el tiempo  $t$ , esto se ilustra en la figura 4-3.

Sea  $\Omega(t)$  el tensor antisimétrico correspondiente a la velocidad angular  $\omega(t)$ , de modo que

$$\Omega(t)a = \omega(t) \times a$$

para todo vector  $a$ . Entonces.

$$v(x, t) = \Omega(t)[x - o] .$$

(4- 5)

Sustituyendo la ecuación (4- 4) en (4- 5) se tiene

$$v(x, t) = \Omega(t)Q(t)[x^* - o^*] ,$$

pero se sabe, a partir de la ecuación (4- 3), que para el caso de rotación pura

$$v(x, t) = \dot{Q}(t)[x^* - o^*] ,$$

de modo que

$$\dot{Q}(t) = \Omega(t)Q(t) .$$

Entonces, la ecuación (4- 3) se puede escribir

$$v(x, t) = \dot{q}(t) + \Omega(t)Q(t)[x^* - o^*] + Q(t)v^*(x, t) .$$

(4- 6)

Al obtener la derivada material de la ecuación (4- 6) se encuentra una expresión que relaciona la descripción espacial de la aceleración con respecto al sistema móvil y la descripción espacial de la aceleración con respecto al sistema fijo,

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{v}}(\mathbf{x}, t) = & \dot{\mathbf{q}}(t) + \dot{\Omega}(t)\mathbf{Q}(t)[\mathbf{x}^* - \mathbf{o}^*] + \Omega(t)\dot{\Omega}(t)\mathbf{Q}(t)[\mathbf{x}^* - \mathbf{o}^*] + \\ & 2\Omega(t)\mathbf{Q}(t)\mathbf{v}^*(\mathbf{x}^*, t) + \mathbf{Q}(t)\dot{\mathbf{v}}^*(\mathbf{x}^*, t) \end{aligned} \quad (4- 7)$$

En la ecuación (4- 7), el primer término del lado derecho es la aceleración del origen del sistema móvil,  $\mathbf{o}^*$ , con respecto al sistema fijo; el segundo término es la aceleración angular en la posición  $\mathbf{x}^*$  del sistema móvil; el tercer término se conoce como aceleración centrípeta; el cuarto término es la aceleración de Coriolis y el quinto término es la rotación de la descripción espacial de la aceleración para el sistema móvil.

#### 4.2.2 Obtención de la derivada temporal como término fuente

La ecuación (4- 7), que indica la relación entre la aceleración de un sistema inercial y otro no inercial, se puede escribir

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \text{grad}(\mathbf{v})\mathbf{v} = & \mathbf{Q} \left( \frac{\partial \mathbf{v}^*}{\partial t} + \text{grad}^*(\mathbf{v}^*)\mathbf{v}^* \right) + \dot{\Omega}\mathbf{Q}[\mathbf{x}^* - \mathbf{o}^*] \\ & + \Omega\dot{\Omega}\mathbf{Q}[\mathbf{x}^* - \mathbf{o}^*] + 2\Omega\mathbf{Q}\mathbf{v}^* + \dot{\mathbf{q}} \end{aligned} \quad (4- 8)$$

A partir de la ecuación (4- 2) se tiene

$$\mathbf{x}^* - \mathbf{o}^* = \mathbf{Q}^{-1}([\mathbf{x} - \mathbf{o}] - \mathbf{q}); \quad (4- 9)$$

a su vez, la ecuación (4- 3) se puede escribir

$$\mathbf{v}^* = \mathbf{Q}^{-1}(\mathbf{v} - \Omega\mathbf{Q}[\mathbf{x}^* - \mathbf{o}^*] - \dot{\mathbf{q}}),$$

y haciendo uso de la ecuación (4- 9)

$$\mathbf{v}^* = \mathbf{Q}^{-1}(\mathbf{v} + \Omega(\mathbf{q} - [\mathbf{x} - \mathbf{o}]) - \dot{\mathbf{q}}). \quad (4- 10)$$

El gradiente de la velocidad  $\mathbf{v}^*$  se relaciona con el de  $\mathbf{v}$  de la siguiente forma,

$$\text{grad}^*(\mathbf{v}^*) = \mathbf{Q}^{-1}(\text{grad}(\mathbf{v}))\mathbf{Q} - \mathbf{Q}^{-1}\Omega\mathbf{Q}. \quad (4- 11)$$

Sustituyendo las ecuaciones (4- 9), (4- 10) y (4- 11) en (4- 8) se tiene,

$$\begin{aligned} \mathbf{v}^* + \text{grad}(\mathbf{v})\mathbf{v} = & \mathbf{Q}\mathbf{v}^* + \text{grad}(\mathbf{v})\mathbf{v} + \Omega\mathbf{v} + \\ & \left( \text{grad}(\mathbf{v})\Omega - \dot{\Omega} \right) (\mathbf{q} - [\mathbf{x} - \mathbf{o}]) - (\text{grad}(\mathbf{v}) + \Omega)\dot{\mathbf{q}} + \dot{\mathbf{q}} \end{aligned}$$

de modo que

$$\mathbf{v}^* = \mathbf{Q}\mathbf{v}' + \Omega\mathbf{v} + \left( \text{grad}(\mathbf{v})\Omega - \dot{\Omega} \right) (\mathbf{q} - [\mathbf{x} - \mathbf{o}]) - (\text{grad}(\mathbf{v}) + \Omega)\mathbf{q} + \dot{\mathbf{q}}. \quad (4-12)$$

Con la ecuación (4-12) se puede expresar la derivada temporal de la velocidad en función de las variables de flujo en ese instante, siempre y cuando

$$\frac{\partial \mathbf{v}^*}{\partial t} = 0. \quad (4-13)$$

esto es, que el flujo se encuentre en *estado permanente con respecto al marco de referencia móvil*.

Si se cumple la condición (4-13), y además

$$\mathbf{q} = \dot{\mathbf{q}} = \ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{0} \quad \text{y} \quad \dot{\Omega} = 0, \quad (4-14)$$

que son las condiciones utilizadas en este trabajo, la ecuación (4-12) se reduce a

$$\frac{\partial \mathbf{v}^*}{\partial t} = \Omega\mathbf{v} - \text{grad}(\mathbf{v})\Omega[\mathbf{x} - \mathbf{o}]. \quad (4-15)$$

Con el uso de esta última ecuación se puede modelar la variación temporal como un término fuente en las ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento en estado permanente.

Para los escalares se tiene una expresión similar. Si  $\phi$  es un campo escalar, entonces el campo es el mismo para ambos sistemas de referencia.

$$\phi = \phi^*.$$

Entonces,

$$\phi^* = (\phi^*)^* ,$$

lo cual se puede escribir

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \text{grad}(\phi) \bullet \mathbf{v} = \frac{\partial \phi^*}{\partial t} + \text{grad}^*(\phi^*) \bullet \mathbf{v}^*. \quad (4-16)$$

Para un campo escalar se tiene que

$$\text{grad}^*(\phi^*) = \mathbf{Q}^{-1} \text{grad}(\phi), \quad (4-17)$$

de modo que, haciendo uso de las ecuaciones (4-10) y (4-17), la ecuación (4-16) queda

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \text{grad}(\phi) \bullet \mathbf{v} = \frac{\partial \phi^*}{\partial t} + \text{grad}(\phi) \bullet (\mathbf{v} - \mathbf{q} - \Omega([\mathbf{x} - \mathbf{o}] - \mathbf{q})),$$

y entonces

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial \phi'}{\partial t} - \text{grad}(\phi) \bullet (\mathbf{q} + \Omega([\mathbf{x} - \mathbf{o}] - \mathbf{q})). \quad (4-18)$$

Nuevamente, si se tiene estado permanente visto desde el marco de referencia móvil,

$$\frac{\partial \phi'}{\partial t} = 0. \quad (4-19)$$

y si se cumplen las condiciones (4-14), se tiene que

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = -\text{grad}(\phi) \bullet \Omega[\mathbf{x} - \mathbf{o}]. \quad (4-20)$$

La técnica de simulación estática sólo es aplicable cuando se cumplen las condiciones (4-13) y (4-19). Estas condiciones son válidas únicamente cuando se tenga un flujo periódico cuyo período es el tiempo que tarda un álabe en ocupar la posición que ocupa el álabe de enfrente en ese mismo instante.

Para que se llegue al flujo periódico, es estrictamente necesario que el tanque no tenga mamparas. Sin embargo, se ha comprobado experimentalmente que para régimen turbulento el flujo es prácticamente periódico, esto es,

$$\frac{\partial \mathbf{v}'}{\partial t} \approx 0$$

cerca del impulsor, y además

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} \approx 0$$

lejos del mismo (Bakker *et al.*, 1996). Lo mismo sucede con los escalares.

Debido a lo anterior, la técnica de simulación estática aplicada al cálculo del flujo en tanques agitados propone asumir que el flujo se encuentra prácticamente en estado permanente lejos del impulsor; y que en una zona cercana al impulsor, se puede utilizar la ecuación (4-15) para modelar la derivada temporal de la velocidad y la ecuación (4-20) para modelar la derivada temporal de cualquier escalar

De modo que las ecuaciones de conservación a utilizar en esta técnica son las ecuaciones en estado permanente y se agrega el término fuente

$$S_v = \text{grad}(v)\Omega[x - o] - \Omega v \tag{4-21}$$

a la ecuación de cantidad de movimiento en una zona cercana al impulsor, y el término

$$S_\phi = \text{grad}(\phi) \bullet \Omega[x - o] \tag{4-22}$$

a la ecuación de cada escalar en esa misma zona.

# 5. RESULTADOS

Para evaluar los modelos propuestos en el presente trabajo, se comparan las soluciones numéricas de la dinámica de fluidos en tanques, obtenidas con el uso de la técnica de impulsor de fluido y la de simulación estática, con las mediciones experimentales reportadas por Dyster *et al* (1993).

En este capítulo se presentan las características generales del problema resuelto y se explican las condiciones de frontera utilizadas. Posteriormente se muestran los resultados obtenidos.

## 5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los experimentos reportados por Dyster *et al* (1993) fueron realizados en un tanque cilíndrico con las características mostradas en la figura 5- 1.

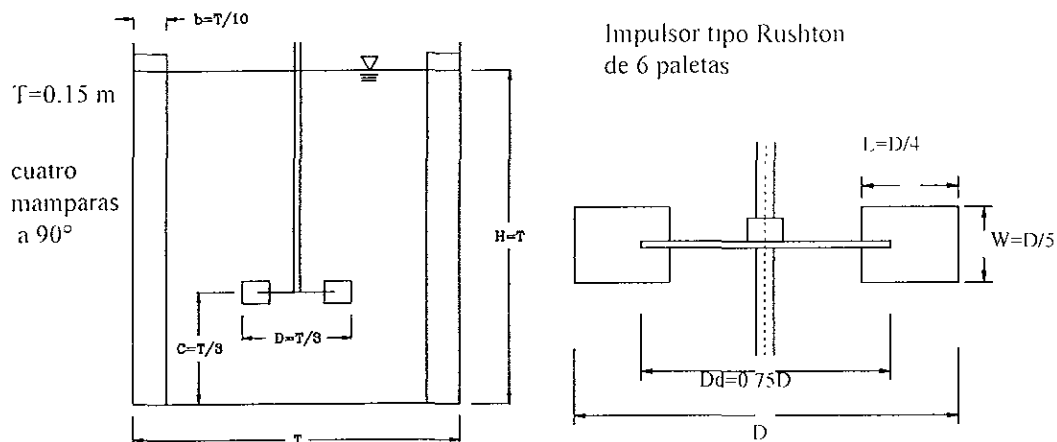


figura 5- 1 Configuración del tanque utilizado en Dyster *et al* (1993).

Las cuatro mamparas que tiene la pared del tanque son planas. El impulsor tipo Rushton consta de un disco acoplado a la flecha sobre el cual se tienen 6 paletas planas igualmente espaciadas, sus características también se muestran en la figura 5- 1.

En los experimentos reportados por Dyster se utilizaron soluciones de glicerina de modo que se varió el número de Reynolds en un rango de 4.5 a 4166. El número de Reynolds en estas aplicaciones se define como

$$Re = \frac{\rho ND^2}{\mu} \quad (5-1)$$

donde  $N$  son las revoluciones por segundo a las que gira el impulsor y  $D$  es el diámetro del impulsor.

## 5.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA PARA LA SOLUCIÓN NUMÉRICA

### 5.2.1 Discretización o Mallado

Como se explicó en la introducción, es común simplificar el problema suponiendo condiciones cíclicas, de modo que, sólo se resuelva un sector del dominio real. Para este trabajo se resuelve el flujo en medio tanque suponiendo condiciones cíclicas cada 180 grados, esto debido a las características geométricas (4 mamparas y 6 paletas).

En la figura 5-2 se muestra el mallado numérico utilizado. Por claridad, no se dibujó el mallado en dirección tangencial cerca del centro de la figura.

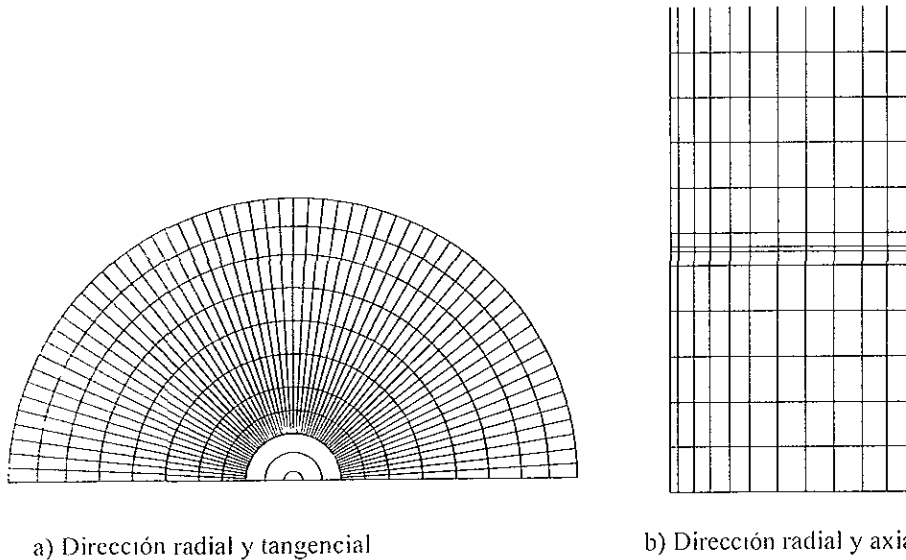


figura 5-2 Malla numérica utilizada.

En dirección tangencial se tiene una malla uniforme de 60 celdas, en dirección radial la malla es de 11 celdas y en dirección axial se tienen 13 celdas.

### 5.2.2 Paredes

Para modelar la interacción de las paredes con el fluido se utilizó la ley de pared turbulenta (ver White, 1991) Esta ley se presenta en forma adimensional, utilizando como escala de velocidad a la velocidad de pared  $v^*$  que se define como

$$v^* = \left( \frac{\tau_p}{\rho} \right)^{1/2}$$

donde  $\tau_p$  es el esfuerzo cortante en la pared.

La escala de longitud utilizada es

$$l = \frac{v^*}{v}$$

Con estas escalas, la velocidad se adimensionaliza como

$$v^- = \frac{v}{v^*}$$

y la coordenada perpendicular a la pared,  $y$ , se adimensionaliza como

$$y^- = \frac{y}{l} = \frac{yv^*}{v}$$

La ley de pared utilizada consta de dos partes, en la subcapa viscosa ( $y^+ \leq 10$ ) la ley tiene un comportamiento lineal

$$v^- = y^- \tag{5- 2}$$

y para  $10 < y^+ < 300$  se considera un comportamiento logarítmico

$$v^- = 2.44 \text{Ln}(y^+) + 5.0 \tag{5- 3}$$

Las ecuaciones (5- 2) y (5- 3) se utilizan para definir la condición de frontera para la velocidad en cada celda que se encuentre en contacto con un sólido. Su uso dependerá de la posición del nodo más cercano al sólido; esto es, si se encuentra en la subcapa viscosa o fuera de ella. En el caso de las soluciones laminares, se utilizó la ley lineal (ecuación (5- 2) ) ya que esta condición de frontera es adecuada para flujo laminar.

Como ya se explicó en el capítulo anterior, esta condición también se impone en las celdas que corresponden a las paredes del impulsor y se definen para cada paso del tiempo cuando se utiliza la técnica de impulsor de fluido.

### 5.2.3 Superficie libre

Para la superficie libre del líquido se consideró que ésta permanece plana, horizontal y libre de fricción.



### 5.2.4 Condiciones de la Simulación Estática

Como se explicó en el capítulo anterior, la técnica de simulación estática permite resolver el flujo dentro del tanque para una posición determinada del impulsor, aunque para que su aplicación quede justificada, el flujo debe cumplir con algunas características especiales, las cuales, se cumplen para flujo turbulento ( Bakker *et al* , 1996). Es por esto, que esta técnica sólo se utilizó en cálculos con flujo turbulento.

Como también se explicó en el capítulo anterior, esta técnica resuelve las ecuaciones fundamentales en estado permanente para todo el tanque y en una zona cercana al impulsor se agregan términos fuente que representan la variación del flujo debida al movimiento del impulsor.

La zona interior, en la cual se agregan los términos fuente expresados en las ecuaciones (4-21) y (4-22), se consideró como el cilindro interior con altura igual a la altura del impulsor y cuyo radio llega a la distancia intermedia entre mamparas y álabes, como se muestra en la figura 5- 3. Es en esta zona donde se supone importante la variación con respecto al tiempo; en el resto del tanque se resuelven las ecuaciones en estado permanente.

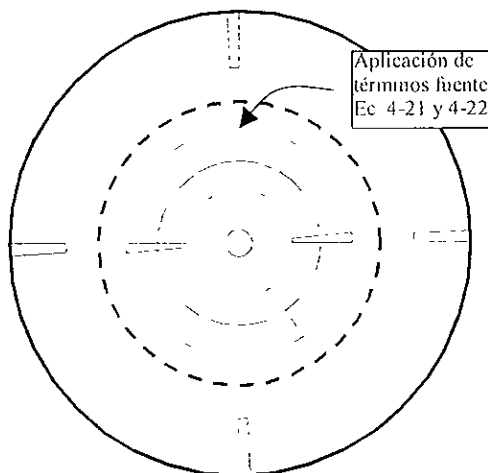


figura 5- 3 Zonas para la técnica de simulación estática.

## 5.3 RESULTADOS

En los resultados que se reportan a continuación se utilizó la técnica de impulsor de fluido para régimen laminar, transición a la turbulencia y régimen turbulento. Para los casos en régimen turbulento se reporta también la aplicación de la técnica de simulación estática.

### 5.3.1 Curva de Potencia

El consumo de energía en cualquier proceso siempre ha sido de interés. En el caso de mezclado en tanques, se utiliza la curva de potencia para reportar el consumo de energía que se tiene en este tipo

de operaciones. En la curva de potencia se grafica el número de potencia  $P_0$  contra el número de Reynolds ( ecuación (5- 1)) El número de potencia se define como

$$P_0 = \frac{P}{\rho \lambda^3 D^5} \quad (5- 4)$$

donde  $P$  es la potencia que se suministra al fluido.

El par al que está sometido el impulsor se calculó mediante una integración numérica de la presión sobre las caras "anterior" y "posterior" de los álabes del impulsor. Además, el par debido a fuerzas viscosas se calculó mediante la integración del esfuerzo cortante sobre el disco, flecha y cantos de los álabes. La potencia suministrada es simplemente el par total multiplicado por la velocidad angular a la que gira el impulsor.

En la figura 5- 4 se muestra la curva de potencia calculada y la reportada por Dyster. En la curva se pueden identificar tres zonas, la primera es la que se considera régimen laminar,  $Re < 20$ ; la segunda se considera de transición a la turbulencia,  $20 < Re < 1E3$ ; y en la tercera se presenta un régimen turbulento  $Re > 1E3$ . Se puede observar que la tendencia de la curva de potencia calculada es muy similar a la curva experimental.

En la zona laminar, los experimentos reportan que el número de potencia es proporcional al inverso del número de Reynolds, de modo que la pendiente de la curva en una gráfica doblemente logarítmica es de  $-1$  para esta zona. Se puede observar que la solución numérica predice prácticamente esta pendiente aunque el número de potencia calculado es menor que el experimental.

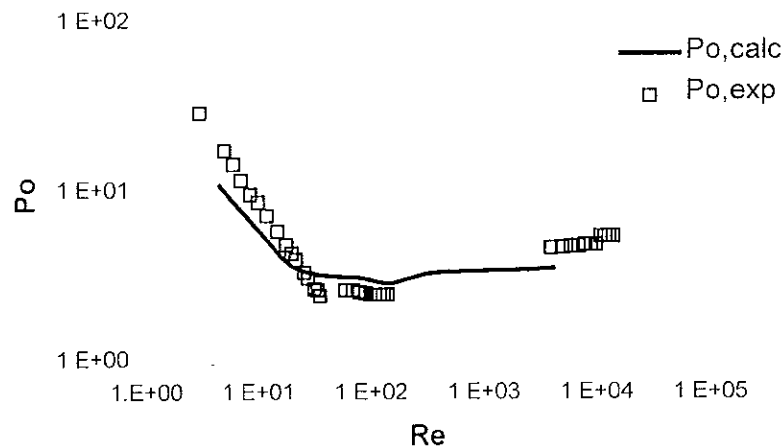


figura 5- 4 Curva de potencia

Cuando la curva cambia de pendiente se considera que el flujo ha entrado a la zona de transición. En esta transición, las fuerzas viscosas dejan de ser importantes en el par actuante sobre el impulsor y, por lo tanto, en la potencia consumida. Cuando el proceso alcanza un régimen turbulento, el número de potencia se mantiene prácticamente constante e independiente del número de Reynolds.

En la curva de potencia calculada se puede observar que se logra una predicción correcta de la transición a la turbulencia. a pesar de que en este régimen de flujo la potencia calculada es ligeramente superior a la reportada por Dyster *et al* (1993).

Para altos números de Reynolds la curva calculada es nuevamente distinta a la curva experimental. sin embargo. como en las etapas anteriores, la tendencia de la curva es bien representada por la solución numérica y se puede observar que la curva tiende a mantenerse en un valor constante e independiente del número de Reynolds.

### 5.3 2 Velocidades

En el trabajo de Dyster, *et al.* (1993) se reportan mediciones de la componente radial de la velocidad. Esto es debido a que el impulsor utilizado, la turbina Rushton, es un impulsor de descarga radial. A continuación se presenta una comparación de la velocidad radial calculada numéricamente con los datos experimentales reportados.

Para mostrar los datos en forma adimensional, la velocidad se normaliza con la velocidad de la punta del impulsor  $v_{pim}$  que se calcula simplemente como

$$v_{pim} = \omega r_{imp}$$

donde  $\omega$  es la velocidad angular del impulsor y  $r_{imp}$  es el radio del mismo.

En la figura 5- 5 se muestra el promedio de la componente radial de la velocidad con respecto al radio. Los datos son reportados para el plano horizontal justo a la mitad del impulsor.

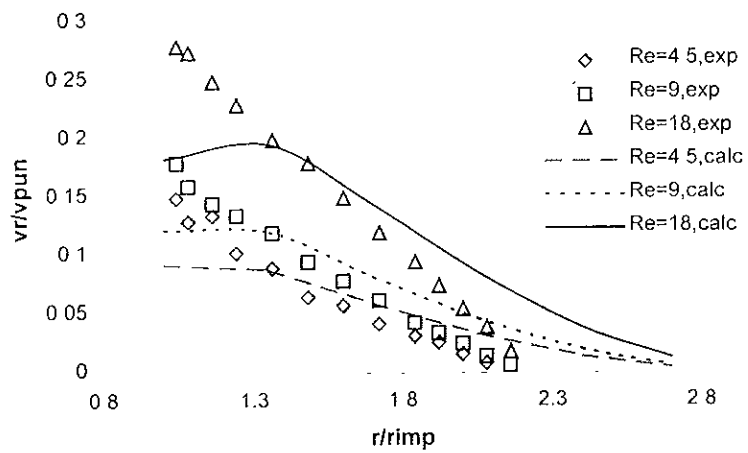


figura 5- 5 Componente radial promedio en el plano medio del impulsor. Régimen laminar.

Para los tres casos presentados, la componente radial calculada cerca de la punta del impulsor es menor en los cálculos. Para el resto del tanque las curvas muestran una tendencia parecida a las curvas experimentales aunque en los cálculos la velocidad disminuye en forma más lenta conforme se incrementa el radio y nos acercamos a la pared del tanque. La magnitud de las velocidades que calcula el modelo es correcta, aunque el perfil no se calcula en forma adecuada.

En la figura 5- 6 se muestran los resultados obtenidos para régimen de transición a la turbulencia.

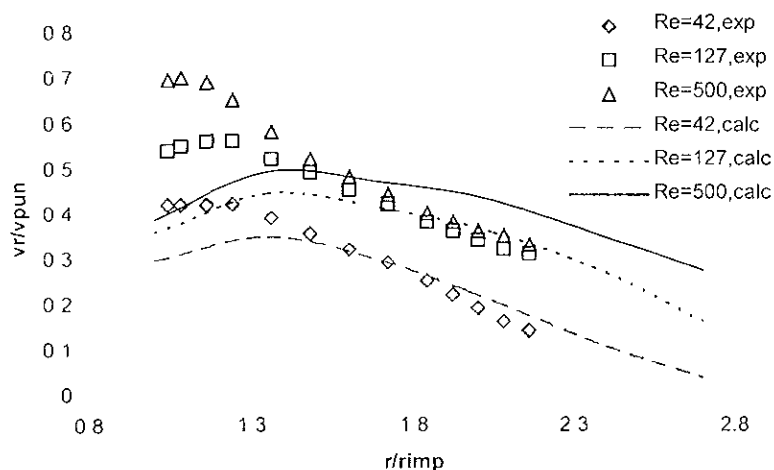


figura 5- 6 Componente radial promedio en el plano medio del impulsor Transición a la turbulencia.

Al igual que en régimen laminar, la componente radial cerca de la punta del impulsor es mucho menor en los cálculos numéricos. También se puede observar que para el resto del tanque, la velocidad calculada se acerca a las curvas experimentales, a pesar de que muestra nuevamente una disminución menos pronunciada conforme se incrementa la distancia radial.

Conforme el número de Reynolds se incrementa, el perfil promedio de la componente radial tiende a mantenerse constante en la zona entre el impulsor y las mamparas y se mantiene en el rango de velocidades medido experimentalmente.

En los datos experimentales se observa que la cantidad de movimiento en dirección radial se disipa en forma mucho más rápida que lo que predice el modelo numérico. Este problema existe tanto para régimen laminar como para el régimen en transición a la turbulencia.

Los resultados obtenidos para régimen turbulento se muestran en la figura 5- 7 . Nuevamente se observa la imposibilidad del modelo de calcular la componente radial de la velocidad cerca de la punta del impulsor. En los datos experimentales reportados por Dyster *et al.* (1993) se puede observar claramente cómo el perfil se colapsa en uno solo. En el caso de los cálculos numéricos esto sólo sucede cerca del impulsor, mientras que conforme se incrementa el radio ambas curvas se separan.

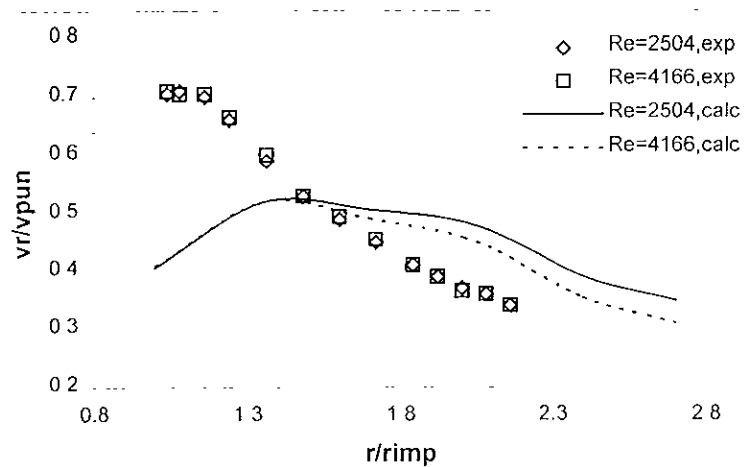


figura 5- 7 Componente radial promedio. Régimen turbulento.

Nuevamente la magnitud de la velocidad promedio se encuentra dentro del rango reportado en las mediciones y se observa con más claridad la tendencia a mantener un valor constante de la velocidad radial entre el impulsor y las mamparas. Nuevamente el modelo numérico disipa la cantidad de movimiento en forma incorrecta.

En todas las gráficas mostradas anteriormente se reportan cálculos que utilizan la técnica de impulsor de fluido. En la figura 5- 8 se muestran los resultados obtenidos con la técnica de solución estática, la cual se aplicó únicamente a régimen turbulento.

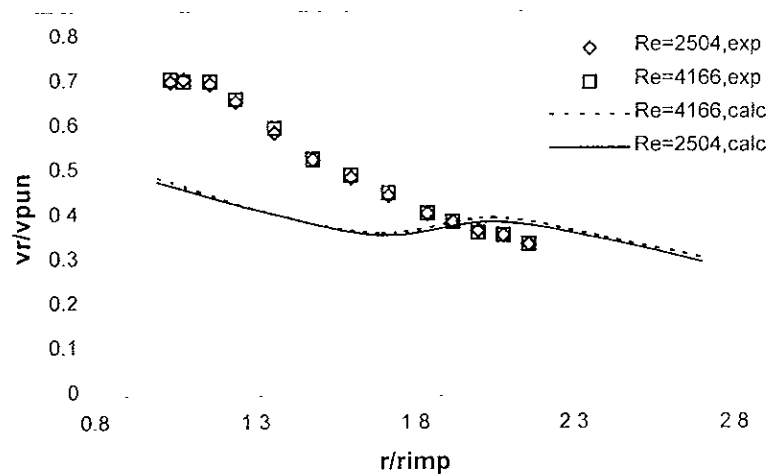


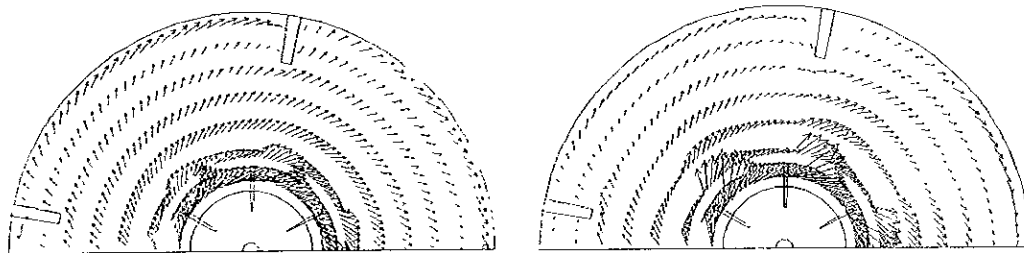
figura 5- 8 Componente radial promedio, solución estática. Régimen turbulento.

La curva de la componente radial muestra una forma distinta para la técnica de solución estática. Se puede observar que cerca de la punta del impulsor la velocidad radial es superior a la obtenida en los cálculos con la técnica de impulsor de fluido. Sin embargo, la magnitud de la velocidad es menor en el

resto del tanque. Conforme la distancia radial se incrementa, la componente radial promedio disminuye y después vuelve a presentar un pequeño incremento. Este segundo incremento se debe a la aparición de un vórtice en la solución numérica.

A pesar de que los perfiles promedio de la componente radial calculada en el presente trabajo no son muy parecidos a los perfiles promedio reportados por Dyster *et al.* (1993), la magnitud es similar. Esto puede explicar que la tendencia de la curva de potencia calculada sea parecida a la experimental, manteniendo una zona laminar, otra de transición y finalmente una zona turbulenta, que concuerdan con los datos experimentales aunque ésta difiera en magnitud.

La diferencia entre los campos de velocidad obtenidos utilizando la técnica de impulsor de fluido y la técnica de simulación estática para régimen turbulento se pueden observar en la figura 5- 9 y en la figura 5- 10.



a) Impulsor de Fluido

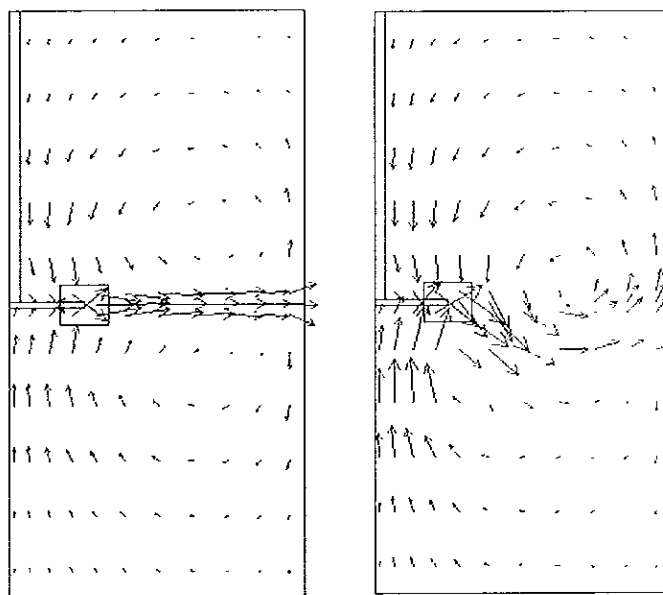
b) Simulación estática

figura 5- 9 Campo de velocidades en el plano del impulsor.  $Re=2504$

En la figura 5- 9 se muestra el campo de velocidad en la plano medio horizontal del impulsor. Cuando se utiliza la técnica de impulsor de fluido se puede observar que el campo de velocidad lejos del impulsor no parece estar afectado por la posición del mismo, lo cual es una de las consideraciones usadas en la técnica de simulación estática. Sin embargo, cuando se aplica la técnica de simulación estática se observa que la suposición de flujo en estado permanente lejos del impulsor no se cumple ya que el flujo depende totalmente de la posición del impulsor en todo el tanque cuando se aplica esta técnica.

En la figura 5- 10 se muestra el campo promedio de las componentes radial y axial para ambas técnicas. En el caso de impulsor de fluido se observa que la descarga del impulsor es totalmente en dirección radial, lo cual concuerda con las observaciones experimentales (Dyster *et al.*, 1993) ya que la turbina Rushton es un impulsor de este tipo. Utilizando la técnica de impulsor de fluido se puede obtener un patrón de flujo semejante al que ocurre en la realidad.

Cuando se utiliza la técnica de simulación estática, el patrón de flujo cambia y la descarga del impulsor es tanto radial como axial, lo cual no concuerda con las observaciones experimentales. El vórtice que se forma frente al impulsor explica la forma del perfil promedio de la componente radial mostrado en la figura 5- 8.



a) Impulsor de fluido

b) Simulación estática

figura 5- 10 Campo de velocidad radial y axial promedio.  $Re=2504$ .

Es claro que ambos modelos tienen dificultades en predecir de forma correcta la velocidad de descarga cerca del impulsor así como la disipación de energía conforme el fluido se acerca a la pared del tanque. Sin embargo, la técnica de impulsor de fluido sí logra simular de forma cualitativamente correcta el comportamiento del fluido dentro del tanque, mientras que la técnica de solución estática provoca que parte de la descarga del impulsor sea en forma axial.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

Se utilizó el método de elemento finito en la obtención de expresiones para los coeficientes algebraicos que provienen de los términos viscosos y convectivos de las ecuaciones de conservación cantidad de movimiento en coordenadas cilíndricas. Estas expresiones contemplan el cambio en la geometría de las celdas numéricas al variar la coordenada radial y se proponen como una alternativa para la solución de las ecuaciones en coordenadas cilíndricas.

Se estudió la relación que existe entre movimientos relativos a dos marcos de referencia. A través de este estudio, se dedujeron expresiones que permiten relacionar la derivada espacial de un campo con respecto al tiempo y las variables de flujo en ese instante (ecuaciones 4-12 y 4-18), siempre y cuando, el flujo sea permanente con respecto al marco de referencia móvil. Las ecuaciones se presentan en una forma tensorial simple y pueden ser de gran utilidad en el estudio de cualquier flujo que presente movimiento de sólidos. Estas expresiones fueron utilizadas para deducir los términos fuente que se agregan a las ecuaciones en estado permanente para la técnica de simulación estática.

Para la simulación del flujo en tanques agitados se utilizaron dos técnicas, la de *impulsor de fluido* y la de *simulación estática*, llamada en inglés "snapshot". La primera se basa en fijar la velocidad en las celdas que le corresponden al impulsor, para un determinado paso en el tiempo, como un movimiento de cuerpo rígido. La segunda técnica modela el flujo para una sola posición del impulsor y la variación temporal se introduce a través de un término fuente en las ecuaciones en estado permanente.

La técnica de impulsor de fluido permite calcular con buena aproximación la curva de potencia experimental. Además, se calcula un patrón de flujo cualitativamente correcto con respecto al que provoca realmente el impulsor Rushton, ya que éste es un impulsor con descarga radial.

Con la técnica de impulsor de fluido, las condiciones de frontera en la zona del impulsor cambian para cada paso del tiempo; de modo que, para un nuevo tiempo, el impulsor se encuentra en una nueva posición. Lo anterior es natural, ya que la solución numérica es discreta en el tiempo; sin embargo, esta transición discreta hacia la siguiente posición del impulsor no permite obtener una solución cuantitativamente correcta.



La técnica de simulación estática parte de una hipótesis que simplifica el problema numérico: el flujo en una zona “lejana” al impulsor se encuentra en estado permanente para un observador fijo y el flujo en una zona “cercana” al impulsor se encuentra en estado permanente para un observador que se mueve junto con el impulsor. Estas ideas fueron comprobadas experimentalmente y reportadas por Bakker *et al.*, (1996) para flujos turbulentos. Un comportamiento de este tipo se puede observar en las soluciones que utilizan la técnica de impulsor de fluido.

La hipótesis anterior permite obtener expresiones para representar la variación temporal del flujo en la zona cercana al impulsor, las cuales se introducen como términos fuente en las ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento en estado permanente. Sin embargo, la aplicación de la técnica produce una solución que no concuerda cualitativamente ni cuantitativamente con los datos experimentales. De hecho, se puede observar que el flujo obtenido con esta técnica en la zona “lejana” al impulsor depende totalmente de la posición de éste, violando la hipótesis inicial.

Es claro que la división del dominio en dos zonas, de acuerdo con las ideas de Bakker *et al.*, (1996), no es adecuada para la solución del flujo dentro de tanques agitados que tengan mamparas.

## 6.2 RECOMENDACIONES

Se espera que un refinamiento en la malla espacial y el uso de un incremento en el tiempo más pequeño permitan obtener una mejor aproximación del flujo cuando se utilice la técnica de impulsor de fluido; sin embargo, la gran cantidad de recursos computacionales puede resultar impráctica. Debido a esto, se debe realizar un análisis teórico sobre la técnica de impulsor de fluido que permita concluir cuál es el avance en el tiempo máximo que se puede utilizar para modelar el movimiento de un objeto sólido, de modo que, se tenga una base teórica que permita decidir si la técnica es práctica.

Las ideas utilizadas para la técnica de simulación estática pueden resultar útiles en otros casos. Por ejemplo, en el caso del flujo en un tanque sin mamparas, el problema se puede considerar como permanente para un marco de referencia moviéndose con el impulsor. Para este tipo de flujos, el uso de los términos fuente ya no está restringido a una zona hipotética, sino que, se aplicarían en todo el dominio.

Como punto final, es importante recordar que la superficie libre se modeló como una superficie plana y sin fricción. Esta aproximación es utilizada en la gran mayoría de los trabajos reportados sobre el cálculo del movimiento de fluidos en tanques agitados. Sin embargo, es recomendable que en trabajos posteriores se incluyan modelos que estudien el comportamiento de la superficie libre.



```

C1 = 2 * QDEN
C2 = 1.1159
C3 = L * RPS * 2.0 * PI
C4 = GAWEL

** Si se utiliza algun modelo de turbulencia @@
TURBENT

** DEFINICION DEL TIPO DE SIMULACION @@

** Movimiento de alabes @@
MOTION=1
** (SPLM) THEN
** (SPLM) THEN
** (SPLM) THEN
** Numero de celdas de avance por paso del tiempo
** (SPLM) THEN
** (SPLM) THEN
** (SPLM) THEN

** Simulacion de movimiento con derivada estatica @@
** (SPLM) THEN
** (SPLM) THEN
** (SPLM) THEN
** (SPLM) THEN

** Geometria del Tanque @@
** FCON es el factor de conversion de angulo a radianes.
** FCON=1.0*PI/360

** ATOT es al angulo total que cubre el sector a simular [rad]
** (SPLM) THEN

** RPLECHA es el radio de la flecha [m]
** (SPLM) THEN

** RINNER es el radio interno del dominio definido en PHOENICS.
** (SPLM) THEN

** RTANQUE es el radio del tanque [m]
** (SPLM) THEN

** RDISC es el radio del disco del impulsor Rushton [m]
** (SPLM) THEN

** ZTOT es la altura de liquido en el tanque [m]
** (SPLM) THEN

** ZIMP es la altura donde se coloca el impulsor [m]
** (SPLM) THEN

** Definicion del Dominio en PHOENICS @@
** (SPLM) THEN
** (SPLM) THEN

** Definicion de Parametros para Mamparas @@
** ABX1 es el angulo hasta la mampara [rad]
** (SPLM) THEN

** ADBX es el angulo del espesor de la mampara [rad]
** (SPLM) THEN

** GDBY es el ancho de la mampara en direccion radial. [m]
** (SPLM) THEN

** GBZ1 es la posicion en direccion axial donde inicia la mampara con
** respecto al fondo del tanque [m]
** (SPLM) THEN

** GDBZ es la altura de la mampara. [m]
** (SPLM) THEN

** GBCP es la separacion entre la mampara y la pared del tanque [m]
** (SPLM) THEN

** Definicion de la Primera Mampara como Objeto de PHOENICS @@
** (SPLM) THEN

```





```

-   ICF 3)=T
-   VOLUE(C20,C21)
-   TEMPS(C20,N,N,N,N,Y,N)
-   IEPMS C21,N,N,N,N,Y,N)
-   STORPE C22,C23,C24,C25)
-   FIINIT(C20)=0.0
-   FIINIT(C21)=0.0
-   FIINIT(C22)=0.0
-   FIINIT(C23)=0.0
-   FIINIT(C24)=0.0
-   FIINIT(C25)=0.0
-   FIINIT(C26)=0.0
-   FIINIT(C27)=0.0
-   ENIF

    34 Variables para indicar la posicion de solidos (C
    )C28= 1,C14,C16)

    35 Para guardar los radios al centro y a la cara norte de las celdas @@
    )C29= C31,C35)

    36 Variables para la correccion de coeficientes convectivos y difusivos
    en direccion radial
    )C30= GFN7,GFSV,GDNV,GDSV)
    )C30= GFNU,GFSU,GDSU,GDSU)
    37 Se guarda tambien a la viscosidad laminar y turbulenta
    )C30= ENUR,ENUT)

    GROUP 8. Terms (in differential equations) & generics

    38 Para permitir la modificacion de coeficientes convectivos y difusivos
    )C31=F=1
    )C31=G=1

    (GROUP 9. Properties of the medium (or media)

    )N L=GMC/GDEN
    )M1=GDN
    )IF (ELTURB) THEN
    -   )LPMOD (EMODL)
    -   )G(PEVENUT)
    -   )WALCO=GRND2
    -   )LGE
    -   )WALCO=GRND2
    -   ENIF

    GROUP 10 Inter-phase-transfer processes and properties
    GROUP 11. Initialization of variable or porosity fields

    39 Variables auxiliares para condiciones de frontera de movimiento @@
    )M1=GPN0
    )M1=1.0

    38 Inicializacion de velocidad y presion @@
    FIINIT(P1)=0.0
    FIINIT(U1)=0.0
    FIINIT(W1)=0.0

    38 Inicializacion de variables auxiliares
    FIINIT(GFN7)=0.0
    FIINIT(GFSV)=0.0
    FIINIT(GDN7)=0.0
    FIINIT(GDSV)=0.0
    FIINIT(GFNU)=0.0
    FIINIT(GFSU)=0.0
    FIINIT(GDSU)=0.0
    FIINIT(GDSU)=0.0

    38 DEFINICION DE MARCAS DE POSICION DE SOLIDOS FIJOS @@
    FIINIT(C1)=1.0
    FIINIT(C16)=1.0

    38 Disco @@
    PATCH(GCD,INIVAL,1,NX,#JDYI,#JDYF,#JDZI,#JDZF,1,LSTEP)
    )M1(GCD,C1,0.0,0.0)

    38 Mamparas @@
    PATCH(GCB1,INIVAL,#JBX1,#JBY1,#JBYF,#JBZI,#JBZF,1,1)
    )M1(GCB1,C1,0.0,0.0)

```

```

PATCH'INIVL1,INIVL1,=JB'2,=FB'2,=JBI1,=JBYP,=JBZI,=JBZF,1,1)
PATCH'IN,1,0,0,0,0)

22 Condicion de Aleas @@
PATCH'INIVL1,INIVL1,0)
PATCH'INIVL1,INIVL1,NX,=JP11,=JPYF,=JPZI,=JPZF,1,1)
PATCH'IN,1,1,0,0,0)

23 Patchwise adjustment of terms (in differential equations)
24 Boundary conditions and special sources

25 Condicion de Condiciones Ciclicas @@
PATCH'IN,1,1,0,0,0)

26 Condicion de Frontera para la Presion (se da la presion en 1 celda)@@
PATCH'INPEF,CELL,=JEM'2,=SJE'2,=SJB'1,=SJB'1,NZ/2,NZ/2,1,LSTEP)
PATCH'INPEF,1,1,EB,0,0)
PATCH'INPEF,U1,ONLYMS,SAME)
PATCH'INPEF,V1,ONLYMS,SAME)
PATCH'INPEF,W1,ONLYMS,SAME)
PATCH'INPEF,YE,ONLYMS,SAME)
PATCH'INPEF,EP,ONLYMS,SAME)

27 Condicion de la Pared del Tanque @@
PATCH'INPPAR,NWALL,1,NX,NY,NY,1,NZ,1,LSTEP)
PATCH'INPPAR,U1,WALLCO,VECT)
PATCH'INPPAR,W1,WALLCO,0,0)
PATCH'INPPAR,PE,WALLCO,WALLCO)
PATCH'INPPAR,EF,WALLCO,WALLCO)
PATCH'INPPAR,01,FIXVAL,GRND3)

28 Condicion de Fondo del Tanque @@
PATCH'INPFON,SWALL,1,NX,1,NY,1,1,1,LSTEP)
PATCH'INPFON,U1,WALLCO,VECT)
PATCH'INPFON,W1,WALLCO,0,0)
PATCH'INPFON,PE,WALLCO,WALLCO)
PATCH'INPFON,EF,WALLCO,WALLCO)
PATCH'INPFON,01,FIXVAL,GRND3)

29 Correccion de fuentes convectivas
PATCH'INCCO1,CELL,1,NX,1,NY-1,1,NZ,1,LSTEP)
PATCH'INCCO1,V1,FIXFLU,GRND1)

PATCH'INCCO2,CELL,1,NX,1,NY,1,NZ,1,LSTEP)
PATCH'INCCO2,U1,FIXFLU,GRND1)

PATCH'INCCO3,CELL,1,NZ,1,NY,1,NZ,1,LSTEP)
PATCH'INCCO3,U1,GRND1,0)

30 Correccion de coeficientes convectivos
PATCH'INCCN1,CELL,1,NX,1,NY-1,1,NZ,1,LSTEP)
PATCH'INCCN1,A,1,GRND1,0,0)

PATCH'INCCN2,CELL,1,NX,1,NY,1,NZ,1,LSTEP)
PATCH'INCCN2,B,1,GRND1,0,0)

31 Correccion de coeficientes difusivos
PATCH'INCSF1,CELL,1,NX,1,NY-1,1,NZ,1,LSTEP)
PATCH'INCSF1,V1,GRND1,GRND1)

PATCH'INCSF2,CELL,1,NX,1,NY-1,1,NZ,1,LSTEP)
PATCH'INCSF2,W1,GRND1,GRND1)

PATCH'INCSF3,CELL,1,NX,1,NY,1,NZ,1,LSTEP)
PATCH'INCSF3,V1,GRND1,GRND1)

PATCH'INCSF4,CELL,1,NY,1,NY,1,NZ,1,LSTEP)
PATCH'INCSF4,W1,GRND1,GRND1)

32 Correccion de fuentes viscosas
PATCH'INIFV,CELL,1,NX,1,NY-1,1,NZ,1,LSTEP)
PATCH'INIFV,V1,GRND1,0,0)

```

```

*3 Condicion de frontera para la flecha @@
** FLECHA,C,C,VOLUME,1,NX,#JFYI,#JFYF,#JFZI,#JFZF)

** Fijado de la flecha @@
** FLECHA-1
** FLECHA(GPPFNC,SWALL,1,NX,$AUX,$AUX,#JFZI,#JFZF,1,LSTEP)
** FLECHA(GPPFNC,U1,WALLCO,VINT)
** FLECHA(GPPFNC,W1,WALLCO,0.0)
** FLECHA(GPPFNC,FE,WALLCO,WALLCO)
** FLECHA(GPPFNC,EP,WALLCO,WALLCO)
** FLECHA(GPPFNC,C2C,FIKVAL,GRND3)

*3 Condiciones de frontera del Disco como Solido @@
** DISCO(GDPDISC,CELL,1,NX,#JDYI,#JDYF,#JDZI,#JDZF,1,LSTEP)
** DISCO(GDPDISC,U1,FIKVAL,VINT)
** DISCO(GDPDISC,W1,FIKVAL,0.0)
** DISCO(GDPDISC,FE,FIKVAL,0.0)
** DISCO(GDPDISC,EP,FIKVAL,0.0)
** DISCO(GDPDISC,C2C,FIKVAL,GRND3)

*3 Partidas del Disco @@
** DISCO-1
** DISCO(GDPDUNC,LWALL,1,NX,#AUX2,#JDYF,$AUX,$AUX,1,LSTEP)
** DISCO(GDPDUNC,U1,WALLCO,VINT)
** DISCO(GDPDUNC,W1,WALLCO,0.0)
** DISCO(GDPDUNC,FE,WALLCO,WALLCO)
** DISCO(GDPDUNC,EP,WALLCO,WALLCO)
** DISCO(GDPDUNC,C2C,FIKVAL,GRND3)

** DISCO-2
** DISCO(GDPDUCS,SWALL,1,NX,#JDYI,#JDYF,$AUX,$AUX,1,LSTEP)
** DISCO(GDPDUCS,W1,FIKVAL,0.0)
** DISCO(GDPDUCS,U1,WALLCO,VINT)
** DISCO(GDPDUCS,W1,WALLCO,0.0)
** DISCO(GDPDUCS,FE,WALLCO,WALLCO)
** DISCO(GDPDUCS,EP,WALLCO,WALLCO)
** DISCO(GDPDUCS,C2C,FIKVAL,GRND3)

** DISCO-3
** DISCO(GDPDTPF,SWALL,1,NX,$AUX,$AUX,#JDZI,#JDZF,1,LSTEP)
** DISCO(GDPDTPF,U1,WALLCO,VINT)
** DISCO(GDPDTPF,W1,WALLCO,0.0)
** DISCO(GDPDTPF,FE,WALLCO,WALLCO)
** DISCO(GDPDTPF,EP,WALLCO,WALLCO)
** DISCO(GDPDTPF,C2C,FIKVAL,GRND3)

*3 Eliminando built-in sources para las celdas del disco @@
** DISCO(%SCPD,CELL,1,NX,#JDYI,#JDYF,#JDZI,#JDZF,1,LSTEP)
** DISCO(%SCPD,FE,0.0,0.0)
** DISCO(%SCPD,EP,0.0,0.0)

*3 Eliminando terminos difusivos y convectivos en las celdas del disco @@
** DISCO-%JDZI-1
** DISCO(%DFPD,CELL,1,NX,#JDYI,#JDYF,$AUX,#JDZF,1,LSTEP)
** DISCO(%DFPD,U1,0.0,0.0)
** DISCO(%DFPD,W1,0.0,0.0)
** DISCO(%DFPD,FE,0.0,0.0)
** DISCO(%DFPD,EP,0.0,0.0)

** DISCO(%DFND,CELL,1,NX,#JDYI,#JDYF,#JDZI,#JDZF,1,LSTEP)
** DISCO(%DFND,U1,0.0,0.0)
** DISCO(%DFND,W1,0.0,0.0)
** DISCO(%DFND,FE,0.0,0.0)
** DISCO(%DFND,EP,0.0,0.0)

** DISCO(%DFED,CELL,1,NX,#JDYI,#JDYF,#JDZI,#JDZF,1,LSTEP)
** DISCO(%DFED,U1,0.0,0.0)
** DISCO(%DFED,W1,0.0,0.0)
** DISCO(%DFED,FE,0.0,0.0)
** DISCO(%DFED,EP,0.0,0.0)

** DISCO(%CNED,CELL,1,NX,#JDYI,#JDYF,#JDZI,#JDZF,1,LSTEP)
** DISCO(%CNED,U1,0.0,0.0)
** DISCO(%CNED,W1,0.0,0.0)
** DISCO(%CNED,FE,0.0,0.0)
** DISCO(%CNED,EP,0.0,0.0)

```



```

*+-----+
*+   1) 101-1
*+   1) 101-1, NND, CHDD, 1, NX, #JDYI, #JDYF, #AUX, #JDZF, 1, LSTEP)
*+   1) 101-1, NND, W, 0.0, 0.0)
*+   1) 101-1, NND, V, 0.0, 0.0)
*+   1) 101-1, NND, KE, 0.0, 0.0)
*+   1) 101-1, NND, EP, 0.0, 0.0)
*+-----+
*+   2) 102-1, NND, ELL, 1, NY, #JDYI, #JDYF, #AUX, #JDZF-1, 1, LSTEP)
*+   1) 102-1, NND, W, 0.0, 0.0)
*+-----+
*+   3) 103-1, NND, CELL, 1, NY, #JDYI, #JDYF, #JEZI, #JDZF, 1, LSTEP)
*+   1) 103-1, NND, W, 0.0, 0.0)
*+   1) 103-1, NND, V, 0.0, 0.0)
*+   1) 103-1, NND, KE, 0.0, 0.0)
*+   1) 103-1, NND, EP, 0.0, 0.0)
*+-----+
*+   4) 104-1, NND, CELL, 1, NY, #JDYI, #JDYF-1, #JDZI, #JDZF, 1, LSTEP)
*+   1) 104-1, NND, W, 0.0, 0.0)
*+-----+
*+   5) Bloque de la derivada temporal estatica en la zona del impulsor @@
*+   1) 105-1, NND, AND, STEADY, TREN
*+   1) 105-1, NND, PHASEM, 1, NX, #JPYI, #JPYF, #JPZI, #JPZF, 1, LSTEP)
*+   1) 105-1, NND, U, 1, FIXFLU, SORDEN)
*+   1) 105-1, NND, W, 1, FIXFLU, SORDEN)
*+   1) 105-1, NND, V, 1, FIXFLU, SORDEN)
*+   1) 105-1, NND, KE, 1, FIXFLU, SORDEN)
*+   1) 105-1, NND, EP, 1, FIXFLU, SORDEN)
*+-----+
*+   6) BLOQUE PARA PATCHES DE LOS ALABES DEL IMPULSOR CUANDO SE SIMULAN
*+       ESTATICOS @@
*+   1) 106-1, NND, IMPALM, TREN
*+   1) 106-1, NND, U, 1, FIXVAL, VINT)
*+   1) 106-1, NND, V, 1, FIXVAL, 0.0)
*+   1) 106-1, NND, W, 1, FIXVAL, 0.0)
*+   1) 106-1, NND, KE, 1, FIXVAL, 0.0)
*+   1) 106-1, NND, EP, 1, FIXVAL, 0.0)
*+-----+
*+   7) Paleta @3
*+   1) 107-1, NND, GDRPAL, II, CELL, #JX, #JX, #JPYI, #JPYF, #JPZI, #JPZF, 1, LSTEP)
*+   1) 107-1, NND, GDRPAL, II, U, 1, FIXVAL, VINT)
*+   1) 107-1, NND, GDRPAL, II, V, 1, FIXVAL, 0.0)
*+   1) 107-1, NND, GDRPAL, II, W, 1, FIXVAL, 0.0)
*+   1) 107-1, NND, GDRPAL, II, KE, 1, FIXVAL, 0.0)
*+   1) 107-1, NND, GDRPAL, II, EP, 1, FIXVAL, 0.0)
*+-----+
*+   8) Eliminamos los built in sources para la paleta @@
*+   1) 108-1, NND, ASORP, II, CELL, #JX, #JX, #JPYI, #JPYF, #JPZI, #JPZF, 1, LSTEP)
*+   1) 108-1, NND, ASORP, II, KE, 0.0, 0.0)
*+   1) 108-1, NND, ASORP, II, EP, 0.0, 0.0)
*+-----+
*+   9) Eliminamos los terminos difusivos y convectivos para la paleta @@
*+   1) 109-1, NND, DFEP, II, CELL, #AUX, #JX, #JPYI, #JPYF, #JPZI, #JPZF, 1, LSTEP)
*+   1) 109-1, NND, DFEP, II, V, 0.0, 0.0)
*+   1) 109-1, NND, DFEP, II, W, 0.0, 0.0)
*+   1) 109-1, NND, DFEP, II, KE, 0.0, 0.0)
*+   1) 109-1, NND, DFEP, II, EP, 0.0, 0.0)
*+-----+
*+   10) Eliminamos los built in sources para los alabes @@
*+   1) 110-1, NND, DFNP, II, CELL, #JX, #JX, #AUX, #JPYF, #JPZI, #JPZF, 1, LSTEP)
*+   1) 110-1, NND, DFNP, II, U, 0.0, 0.0)
*+   1) 110-1, NND, DFNP, II, W, 0.0, 0.0)
*+   1) 110-1, NND, DFNP, II, KE, 0.0, 0.0)
*+   1) 110-1, NND, DFNP, II, EP, 0.0, 0.0)
*+-----+
*+   11) Eliminamos los built in sources para los alabes @@
*+   1) 111-1, NND, DFNP, II, CELL, #JX, #JX, #JPYI, #JPYF, #AUX, #JPZF, 1, LSTEP)
*+   1) 111-1, NND, DFNP, II, U, 0.0, 0.0)
*+   1) 111-1, NND, DFNP, II, V, 0.0, 0.0)
*+   1) 111-1, NND, DFNP, II, KE, 0.0, 0.0)
*+   1) 111-1, NND, DFNP, II, EP, 0.0, 0.0)

```

```

* AUX=JY-1
* PATCH(%CNBP:II,CELL,%AUX,%JX,%JPYI,%JPYF,%JPZI,%JPZF,1,LSTEP)
* CQUAL(%CNBP:II,W1,0.0,0.0)
* CQUAL(%CNBP:II,KE,0.0,0.0)
* CQUAL(%CNBP:II,EP,0.0,0.0)

* AUX=%CNBPV:II,CELL,%AUX,%JX,%JPYI-1,%JPYF,%JPZI,%JPZF,1,LSTEP)
* CQUAL(%CNBPV:II,W1,0.0,0.0)

* PATCH(%CNBPV:II,CELL,%AUX,%JX,%JPYI,%JPYF,%JPZI,%JPZF,1,LSTEP)
* CQUAL(%CNBPV:II,U1,0.0,0.0)

* AUX=JPYI-1
* PATCH(%CNBP:II,CELL,%JX,%JX,%AUX,%JPYF,%JPZI,%JPZF,1,LSTEP)
* CQUAL(%CNBP:II,U1,0.0,0.0)
* CQUAL(%CNBP:II,W1,0.0,0.0)
* CQUAL(%CNBP:II,KE,0.0,0.0)
* CQUAL(%CNBP:II,EP,0.0,0.0)

* PATCH(%CNBPV:II,CELL,%JX,%JX,%AUX,%JPYF-1,%JPZI,%JPZF,1,LSTEP)
* CQUAL(%CNBPV:II,V1,0.0,0.0)

* AUX=JPZI-1
* PATCH(%CNBP:II,CELL,%JX,%CX,%JPYI,%JPYF,%AUX,%JPZF,1,LSTEP)
* CQUAL(%CNBP:II,U1,0.0,0.0)
* CQUAL(%CNBP:II,V1,0.0,0.0)
* CQUAL(%CNBP:II,KE,0.0,0.0)
* CQUAL(%CNBP:II,EP,0.0,0.0)

* PATCH(%CNBPV:II,CELL,%JX,%JX,%JPYI,%JPYF,%AUX,%JPZF-1,1,LSTEP)
* CQUAL(%CNBPV:II,W1,0.0,0.0)

    !! Paredes de la paleta !!
* AUX=JX-1
* PATCH(%GDRPUNC:II,EWALL,%AUX,%AUX,%JPYI,%JPYF,%JPZI,%JPZF,1,LSTEP)
* CQUAL(%GDRPUNC:II,U1,FIXVAL,VINT)
* CQUAL(%GDRPUNC:II,V1,WALLCO,0.0)
* CQUAL(%GDRPUNC:II,W1,WALLCO,0.0)
* CQUAL(%GDRPUNC:II,KE,WALLCO,WALLCO)
* CQUAL(%GDRPUNC:II,EP,WALLCO,WALLCO)
* CQUAL(%GDRPUNC:II,C20,FIXVAL,GRND3)

* AUX=JX+1
* PATCH(%GDRPDOS:II,WALL,%AUX,%AUX,%JPYI,%JPYF,%JPZI,%JPZF,1,LSTEP)
* CQUAL(%GDRPDOS:II,V1,WALLCO,0.0)
* CQUAL(%GDRPDOS:II,W1,WALLCO,0.0)
* CQUAL(%GDRPDOS:II,KE,WALLCO,WALLCO)
* CQUAL(%GDRPDOS:II,EP,WALLCO,WALLCO)
* CQUAL(%GDRPDOS:II,C20,FIXVAL,GRND3)

* AUX=JPYF-1
* PATCH(%GDRPTRE:II,SWALL,%JX,%JX,%AUX,%AUX,%JPZI,%JPZF,1,LSTEP)
* CQUAL(%GDRPTRE:II,U1,WALLCO,VINT)
* CQUAL(%GDRPTRE:II,W1,WALLCO,0.0)
* CQUAL(%GDRPTRE:II,KE,WALLCO,WALLCO)
* CQUAL(%GDRPTRE:II,EP,WALLCO,WALLCO)
* CQUAL(%GDRPTRE:II,C20,FIXVAL,GRND3)

* AUX=JPYI-1
* PATCH(%GDRPCUA:II,NWALL,%JX,%JX,%AUX,%AUX,%JPZI,%JPZF,1,LSTEP)
* CQUAL(%GDRPCUA:II,V1,FIXVAL,0.0)
* CQUAL(%GDRPCUA:II,U1,WALLCO,VINT)
* CQUAL(%GDRPCUA:II,W1,WALLCO,0.0)
* CQUAL(%GDRPCUA:II,KE,WALLCO,WALLCO)
* CQUAL(%GDRPCUA:II,EP,WALLCO,WALLCO)
* CQUAL(%GDRPCUA:II,C20,FIXVAL,GRND3)

* AUX=JPZI-1
* PATCH(%GDRPCIN:II,HWALL,%JX,%JX,%JPYI,%JPYF,%AUX,%AUX,1,LSTEP)
* CQUAL(%GDRPCIN:II,W1,FIXVAL,0.0)
* CQUAL(%GDRPCIN:II,U1,WALLCO,VINT)
* CQUAL(%GDRPCIN:II,V1,WALLCO,0.0)
* CQUAL(%GDRPCIN:II,KE,WALLCO,WALLCO)
* CQUAL(%GDRPCIN:II,EP,WALLCO,WALLCO)
* CQUAL(%GDRPCIN:II,C20,FIXVAL,GRND3)

* AUX=JPZF+1

```

```

      PATCH(GDRPSEI:II:,LWALL,#JX,#JX,#JPYI,#JPYF,%AUX,%AUX,1,LSTEP)
      COVAL(GDRPSEI:II:,V1,WALLCO,VINT)
      COVAL(GDRPSEI:II:,V1,WALLCO,0.0)
      COVAL(GDRPSEI:II:,VE,WALLCO,WALLCO)
      COVAL(GDRPSEI:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
      COVAL(GDRPSEI:II:,C2G,FIXVAL,GRND3)

```

```

      ENDIF

```

!! CICLO PARA MAMPARAS @@

```

      JI=J-1
      JF=J+1
      WALL=1
      COVAL(GDRBAP:II:,FIXVAL)
      PATCH(GDRBAP:II:,CELL,#JX,#JX,#JBYI,#JBYF,#JBZI,#JBZF,1,LSTEP)
      COVAL(GDRBAP:II:,V1,FIXVAL,0.0)
      COVAL(GDRBAP:II:,W1,FIXVAL,0.0)
      COVAL(GDRBAP:II:,U1,FIXVAL,VEXT)
      COVAL(GDRBAP:II:,VE,FIXVAL,0.0)
      COVAL(GDRBAP:II:,EP,FIXVAL,0.0)

```

!! Eliminamos fuentes en las celdas de la Mampara @@

```

      PATCH(SOPEB:II:,CELL,#JX,#JX,#JBYI,#JBYF,#JBZI,#JBZF,1,LSTEP)
      COVAL(SOPEB:II:,KE,0.0,0.0)
      COVAL(SOPEB:II:,EP,0.0,0.0)

```

!! Eliminamos difusion y conveccion en la mampara @@

```

      JX=JX-1
      PATCH(DFEF:II:,CELL,%AUX,#JX,#JBYI,#JBYF,#JBZI,#JBZF,1,LSTEP)
      COVAL(DFEF:II:,V1,0.0,0.0)
      COVAL(DFEF:II:,W1,0.0,0.0)
      COVAL(DFEF:II:,KE,0.0,0.0)
      COVAL(DFEF:II:,EP,0.0,0.0)

```

```

      JBYI=JBYI-1
      PATCH(DFNB:II:,CELL,#JX,#JX,%AUX,#JBYF,#JBZI,#JBZF,1,LSTEP)
      COVAL(DFNB:II:,U1,0.0,0.0)
      COVAL(DFNB:II:,W1,0.0,0.0)
      COVAL(DFNB:II:,KE,0.0,0.0)
      COVAL(DFNB:II:,EP,0.0,0.0)

```

```

      IF (JBZI.GT.1) THEN
        JX=JBZI-1
        PATCH(DFHB:II:,CELL,#JX,#JX,#JBYI,#JBYF,%AUX,#JBZF,1,LSTEP)
      ELSE
        PATCH(DFHB:II:,CELL,#JX,#JX,#JBYI,#JBYF,#JBZI,#JBZF,1,LSTEP)
      ENDEF
      COVAL(DFHB:II:,U1,0.0,0.0)
      COVAL(DFHB:II:,V1,0.0,0.0)
      COVAL(DFHB:II:,KE,0.0,0.0)
      COVAL(DFHB:II:,EP,0.0,0.0)

```

```

      JX=JX-1
      PATCH(CNEB:II:,CELL,%AUX,#JX,#JBYI,#JBYF,#JBZI,#JBZF,1,LSTEP)
      COVAL(CNEB:II:,W1,0.0,0.0)
      COVAL(CNEB:II:,KE,0.0,0.0)
      COVAL(CNEB:II:,EP,0.0,0.0)

```

```

      PATCH(CNEBU:II:,CELL,%AUX,#JX-1,#JBYI,#JBYF,#JBZI,#JBZF,1,LSTEP)
      COVAL(CNEBU:II:,U1,0.0,0.0)

```

```

      PATCH(CNEBV:II:,CELL,%AUX,#JX,#JBYI-1,#JBYF,#JBZI,#JBZF,1,LSTEP)
      COVAL(CNEBV:II:,V1,0.0,0.0)

```

```

      JBYI=JBYI-1
      PATCH(CNNB:II:,CELL,#JX,#JX,%AUX,#JBYF,#JBZI,#JBZF,1,LSTEP)
      COVAL(CNNB:II:,U1,0.0,0.0)
      COVAL(CNNB:II:,W1,0.0,0.0)
      COVAL(CNNB:II:,KE,0.0,0.0)
      COVAL(CNNB:II:,EP,0.0,0.0)

```

```

* PATCH(GCNNBV:II:,CELL,#JX,#JX,%AUX,%JBYF-1,#JBZI,#JBZF,1,LSTEP)
* COVAL(&CNNBV:II:,V1,0.0,0.0)

* IF (JBZI.GT.1) THEN
*   AUX=JBZI-1
*   PATCH(&CNHB:II:,CELL,#JX,#JX,#JBYI,#JBYF,-AUX,#JBZF,1,LSTEP)
* ELSE
*   PATCH(&CNHB:II:,CELL,#JX,#JX,#JBYI,#JBYF,#JBZI,#JBZF,1,LSTEP)
* ENDF
* COVAL(&CNHB:II:,U1,0.0,0.0)
* COVAL(&CNHB:II:,V1,0.0,0.0)
* COVAL(&CNHB:II:,W1,0.0,0.0)
* COVAL(&CNHB:II:,XE,0.0,0.0)
* COVAL(&CNHB:II:,EP,0.0,0.0)

** Paredes de las mamparas

* AUX=JX-1
* PATCH(GDRBUNO:II:,EWALL,%AUX,%AUX,#JBYI,#JBYF,#JBZI,#JBZF,1,LSTEP)
* COVAL(GDRBUNO:II:,U1,FIXVAL,VEXT)
* COVAL(GDRBUNO:II:,V1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GDRBUNO:II:,W1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GDRBUNO:II:,XE,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRBUNO:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRBUNO:II:,C21,FIXVAL,GRND3)

* AUX=JX-1
* PATCH(GDRBDOS:II:,WALL,%AUX,%AUX,#JBYI,#JBYF,#JBZI,#JBZF,1,LSTEP)
* COVAL(GDRBDOS:II:,V1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GDRBDOS:II:,W1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GDRBDOS:II:,XE,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRBDOS:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRBDOS:II:,C21,FIXVAL,GRND3)

* IF (JBYF.LT.NREGY) THEN
*   AUX=JBYF+1
*   PATCH(GDRBTRE:II:,SWALL,#JX,#JX,%AUX,%AUX,#JBZI,#JBZF,1,LSTEP)
*   COVAL(GDRBTRE:II:,U1,WALLCO,VEXT)
*   COVAL(GDRBTRE:II:,W1,WALLCO,0.0)
*   COVAL(GDRBTRE:II:,XE,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDRBTRE:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDRBTRE:II:,C21,FIXVAL,GRND3)
* ENDF

* AUX=JBYI-1
* PATCH(GDRBCUA:II:,NWALL,#JX,#JX,%AUX,%AUX,#JBZI,#JBZF,1,LSTEP)
* COVAL(GDRBCUA:II:,V1,FIXVAL,0.0)
* COVAL(GDRBCUA:II:,U1,WALLCO,VEXT)
* COVAL(GDRBCUA:II:,W1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GDRBCUA:II:,XE,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRBCUA:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRBCUA:II:,C21,FIXVAL,GRND3)

* IF (JBZI.GT.1) THEN
*   AUX=JBZI-1
*   PATCH(GDRBCIN:II:,EWALL,#JX,#JX,#JBYI,#JBYF,%AUX,%AUX,1,LSTEP)
*   COVAL(GDRBCIN:II:,W1,FIXVAL,0.0)
*   COVAL(GDRBCIN:II:,U1,WALLCO,VEXT)
*   COVAL(GDRBCIN:II:,V1,WALLCO,0.0)
*   COVAL(GDRBCIN:II:,XE,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDRBCIN:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDRBCIN:II:,C21,FIXVAL,GRND3)
* ENDF

* IF (JBZF.LT.NREGZ) THEN
*   AUX=JBZF+1
*   PATCH(GDRBSEI:II:,LWALL,#JX,#JX,#JBYI,#JBYF,%AUX,%AUX,1,LSTEP)
*   COVAL(GDRBSEI:II:,U1,WALLCO,VEXT)
*   COVAL(GDRBSEI:II:,V1,WALLCO,0.0)
*   COVAL(GDRBSEI:II:,XE,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDRBSEI:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDRBSEI:II:,C21,FIXVAL,GRND3)
* ENDF
+ENDDO

```

@@ CONDICION DE FRONTERA PARA ALABES EN MOVIMIENTO @@

```

-IF (ALPALM) THEN
- PATCH(GSOLM1,CELL,1,NX,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,1,LSTEP)
- COVAL(GSOLM1,U1,GRND,VINT)
- COVAL(GSOLM1,V1,GRND,0.0)
- COVAL(GSOLM1,W1,GRND,0.0)
- COVAL(GSOLM1,XE,GRND,GRND)
- COVAL(GSOLM1,EP,GRND,GRND)
- I1=1
- I2=1
- I3=3
- I4=20
-
-   : Paredes de solidos @@
-
-   I1 Primera Paleta @@
-   I1 1,LSTEP
-   E1=I1*IG(18)
-   E2=(JB1-1)/NX
-   E3=JB1-JB2*NX
-   E4=JB3-IG(20)
-   J1=(JB1-1)/NX
-   J2=JB1-JB2*NX
-
-   JW=JW-IG(9),+1
-   IF (JW.LT.1) THEN
-     JW=NX-JW
-   ENDOF
-   JW=JW-1
-   IF (JW.LT.1) THEN
-     JW=NX-JW
-   ENDOF
-   J1=J1-1
-   IF (J1.LT.1) THEN
-     J1=NX-J1
-   ENDOF
-
-   IF (JW.GE.JW) THEN
-     AUX=JPYI-1
-     PATCH(GDRMA:II:,NWALL,JW,JM,%AUX,%AUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
-     COVAL(GDRMA:II:,V1,FIXVAL,0.0)
-     COVAL(GDRMA:II:,U1,WALLCO,VINT)
-     COVAL(GDRMA:II:,W1,WALLCO,0.0)
-     COVAL(GDRMA:II:,XE,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDRMA:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDRMA:II:,C20,FIXVAL,GRND3)
-
-     AUX=JPYF+1
-     PATCH(GDRMB:II:,SWALL,JW,JM,%AUX,%AUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
-     COVAL(GDRMB:II:,U1,WALLCO,VINT)
-     COVAL(GDRMB:II:,W1,WALLCO,0.0)
-     COVAL(GDRMB:II:,XE,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDRMB:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDRMB:II:,C20,FIXVAL,GRND3)
-
-     AUX=JPZI-1
-     PATCH(GDRMC:II:,HWALL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,%AUX,%AUX,II,II)
-     COVAL(GDRMC:II:,W1,FIXVAL,0.0)
-     COVAL(GDRMC:II:,U1,WALLCO,VINT)
-     COVAL(GDRMC:II:,V1,WALLCO,0.0)
-     COVAL(GDRMC:II:,XE,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDRMC:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDRMC:II:,C20,FIXVAL,GRND3)
-
-     AUX=JPZF-1
-     PATCH(GDRMD:II:,LWALL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,%AUX,%AUX,II,II)
-     COVAL(GDRMD:II:,U1,WALLCO,VINT)
-     COVAL(GDRMD:II:,V1,WALLCO,0.0)
-     COVAL(GDRMD:II:,XE,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDRMD:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDRMD:II:,C20,FIXVAL,GRND3)
-
-   ELSE
-
-     AUX=JPYI-1
-     PATCH(GDRMA:II:,NWALL,1,JM,%AUX,%AUX,#JPZI,#JPZF,II,II)

```

```

* COVAL(GDRMA:II:,V1,FIXVAL,0.0)
* COVAL(GDRMA:II:,U1,WALLCO,VINT)
* COVAL(GDRMA:II:,W1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GDRMA:II:,FE,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMA:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMA:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

* PATCH(GDRMZ:II:,HWALL,JW,NX,SAUX,SAUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
* COVAL(GDRMZ:II:,V1,FIXVAL,0.0)
* COVAL(GDRMZ:II:,U1,WALLCO,VINT)
* COVAL(GDRMZ:II:,W1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GDRMZ:II:,FE,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMZ:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMZ:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

* JPYF-1
* PATCH(GDRMB:II:,HWALL,1,JM,SAUX,SAUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
* COVAL(GDRMB:II:,U1,WALLCO,VINT)
* COVAL(GDRMB:II:,W1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GDRMB:II:,FE,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMB:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMB:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

* JPYF GDRMY:II:,HWALL,JW,NX,SAUX,SAUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
* COVAL(GDRMY:II:,U1,WALLCO,VINT)
* COVAL(GDRMY:II:,W1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GDRMY:II:,FE,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMY:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMY:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

* JPYF-1
* PATCH(GDRMC:II:,HWALL,1,JM,#JPYI,#JPYF,SAUX,SAUX,II,II)
* COVAL(GDRMC:II:,W1,FIXVAL,0.0)
* COVAL(GDRMC:II:,U1,WALLCO,VINT)
* COVAL(GDRMC:II:,V1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GDRMC:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMC:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMC:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

* JPYF GDRMX:II:,HWALL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,SAUX,SAUX,II,II)
* COVAL(GDRMX:II:,W1,FIXVAL,0.0)
* COVAL(GDRMX:II:,U1,WALLCO,VINT)
* COVAL(GDRMX:II:,V1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GDRMX:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMX:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMX:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

* JPYF-1
* PATCH(GDRMD:II:,LWALL,1,JM,#JPYI,#JPYF,SAUX,SAUX,II,II)
* COVAL(GDRMD:II:,U1,WALLCO,VINT)
* COVAL(GDRMD:II:,V1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GDRMD:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMD:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMD:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

* JPYF GDRMW:II:,LWALL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,SAUX,SAUX,II,II)
* COVAL(GDRMW:II:,U1,WALLCO,VINT)
* COVAL(GDRMW:II:,V1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GDRMW:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMW:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GDRMW:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

* ENDIF

* PATCH(GPME:II:,EWALL,JWU,JWU,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
* COVAL(GPME:II:,V1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GPME:II:,W1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GPME:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GPME:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GPME:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

* PATCH(GPMF:II:,WWALL,JEU,JEU,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
* COVAL(GPMF:II:,V1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GPMF:II:,W1,WALLCO,0.0)
* COVAL(GPMF:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GPMF:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
* COVAL(GPMF:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

```

```

- FINCLD
-
- 33 Segunda Paleta @@
- DO II=1,LSTEP
-   JB1=II*IG(18)
-   JCB=(JB1-1)/NX
-   JCB=JB1-JB2/NX
-   JB3=JB3-IG(20)+IG(15)
-   JBC=(JB3-1)/NY
-   JCM=JB1-JB2/NX
-
-   JW=JM-IG(9)+1
-   IF (JW.LT.1) THEN
-     JW=NX-JW
-   ENDDIF
-   JJU=JW-1
-   IF (JJU.LT.1) THEN
-     JJU=NX+JJU
-   ENDDIF
-   JED=JM+1
-   IF (JED.GT.NX) THEN
-     JED=1
-   ENDDIF
-
-   IF (JCM.GE.JW) THEN
-     AUX=JPYI-1
-     PATCH(GDR2A:II:,NWALL,JW,JM,%AUX,%AUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
-     COVAL(GDR2A:II:,V1,FIXVAL,0.0)
-     COVAL(GDR2A:II:,U1,WALLCO,VINT)
-     COVAL(GDR2A:II:,W1,WALLCO,0.0)
-     COVAL(GDR2A:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDR2A:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDR2A:II:,C20,FIXVAL,GRND3)
-
-     AUX=JPYF+1
-     PATCH(GDR2B:II:,SWALL,JW,JM,%AUX,%AUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
-     COVAL(GDR2B:II:,U1,WALLCO,VINT)
-     COVAL(GDR2B:II:,W1,WALLCO,0.0)
-     COVAL(GDR2B:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDR2B:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDR2B:II:,C20,FIXVAL,GRND3)
-
-     AUX=JPZI-1
-     PATCH(GDR2C:II:,HWALL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,%AUX,%AUX,II,II)
-     COVAL(GDR2C:II:,W1,FIXVAL,0.0)
-     COVAL(GDR2C:II:,U1,WALLCO,VINT)
-     COVAL(GDR2C:II:,V1,WALLCO,0.0)
-     COVAL(GDR2C:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDR2C:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDR2C:II:,C20,FIXVAL,GRND3)
-
-     AUX=JPZF+1
-     PATCH(GDR2D:II:,LWALL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,%AUX,%AUX,II,II)
-     COVAL(GDR2D:II:,U1,WALLCO,VINT)
-     COVAL(GDR2D:II:,V1,WALLCO,0.0)
-     COVAL(GDR2D:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDR2D:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDR2D:II:,C20,FIXVAL,GRND3)
-
-   ELSE
-
-     AUX=JPYI-1
-     PATCH(GDR2A:II:,NWALL,1,JM,%AUX,%AUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
-     COVAL(GDR2A:II:,V1,FIXVAL,0.0)
-     COVAL(GDR2A:II:,U1,WALLCO,VINT)
-     COVAL(GDR2A:II:,W1,WALLCO,0.0)
-     COVAL(GDR2A:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDR2A:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
-     COVAL(GDR2A:II:,C20,FIXVAL,GRND3)
-
-     PATCH(GDR2Z:II:,NWALL,JW,NX,%AUX,%AUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
-     COVAL(GDR2Z:II:,V1,FIXVAL,0.0)
-     COVAL(GDR2Z:II:,U1,WALLCO,VINT)
-     COVAL(GDR2Z:II:,W1,WALLCO,0.0)
-     COVAL(GDR2Z:II:,KE,WALLCO,WALLCO)

```

```

- COVAL(GDR2Z:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR2Z:II:,C20, FIXVAL,GRND3)

- JPK=JPYF+1
- PATCH(GDR2B:II:,SWALL,1,JM,$AUX,$AUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(GDR2B:II:,U1,WALLCO,VINT)
- COVAL(GDR2B:II:,W1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GDR2B:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR2B:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR2B:II:,C20, FIXVAL,GRND3)

- PATCH(GDR2Y:II:,SWALL,JW,NX,$AUX,$AUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(GDR2Y:II:,U1,WALLCO,VINT)
- COVAL(GDR2Y:II:,W1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GDR2Y:II:,YE,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR2Y:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR2Y:II:,C20, FIXVAL,GRND3)

- JPY=JPZI-1
- PATCH(GDR2C:II:,HWALL,1,JM,#JPYI,#JPYF,$AUX,$AUX,II,II)
- COVAL(GDR2C:II:,W1, FIXVAL,0.0)
- COVAL(GDR2C:II:,U1,WALLCO,VINT)
- COVAL(GDR2C:II:,V1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GDR2C:II:,YE,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR2C:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR2C:II:,C20, FIXVAL,GRND3)

- PATCH(GDR2X:II:,HWALL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,$AUX,$AUX,II,II)
- COVAL(GDR2X:II:,W1, FIXVAL,0.0)
- COVAL(GDR2X:II:,U1,WALLCO,VINT)
- COVAL(GDR2X:II:,V1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GDR2X:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR2X:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR2X:II:,C20, FIXVAL,GRND3)

- JPA=JPZF+1
- PATCH(GDR2D:II:,LWALL,1,JM,#JPYI,#JPYF,$AUX,$AUX,II,II)
- COVAL(GDR2D:II:,U1,WALLCO,VINT)
- COVAL(GDR2D:II:,V1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GDR2D:II:,YE,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR2D:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR2D:II:,C20, FIXVAL,GRND3)

- PATCH(GDR2W:II:,LWALL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,$AUX,$AUX,II,II)
- COVAL(GDR2W:II:,U1,WALLCO,VINT)
- COVAL(GDR2W:II:,V1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GDR2W:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR2W:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR2W:II:,C20, FIXVAL,GRND3)

- ENDIF

- PATCH(GP2E:II:,EWALL,JWU,JWU,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(GP2E:II:,V1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GP2E:II:,W1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GP2E:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GP2E:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GP2E:II:,C20, FIXVAL,GRND3)

- PATCH(GP2F:II:,WWALL,JEU,JEU,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(GP2F:II:,V1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GP2F:II:,W1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GP2F:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GP2F:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GP2F:II:,C20, FIXVAL,GRND3)

- ENDDO

      @@ Tercera Paleta @@
- II=1,LSTEP
- JB1=II*IG(18)
- JB2=(JB1-1)/NX
- JB3=JB1-JB2*NX
- JB1=JB3+IG(20)+2*IG(15)
- JB2=(JB1-1)/NX
- JM=JB1-JB2*NX

```



```

* JW=JM-IG(9)+1
* IF (JW.LT.1) THEN
*   JW=NX-JW
* ENDF
* JW=JW-1
* IF (JWU.LT.1) THEN
*   JWU=NX+JWU
* ENDF
* JU=JM+1
* IF (JU.GT.NX) THEN
*   JU=1
* ENDF

* IF (JX.GE.JW) THEN
*   AUX=JPYI-1
*   PATCH(GDR3A:II:,NWALL,JW,JM,%AUX,%AUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
*   COVAL(GDR3A:II:,V1,FIXVAL,0.0)
*   COVAL(GDR3A:II:,U1,WALLCO,VINT)
*   COVAL(GDR3A:II:,W1,WALLCO,0.0)
*   COVAL(GDR3A:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDR3A:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDR3A:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

*   AUX=JPYF+1
*   PATCH(GDR3B:II:,SWALL,JW,JM,$AUX,$AUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
*   COVAL(GDR3B:II:,U1,WALLCO,VINT)
*   COVAL(GDR3B:II:,W1,WALLCO,0.0)
*   COVAL(GDR3B:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDR3B:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDR3B:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

*   AUX=JPZI-1
*   PATCH(GDR3C:II:,HWALL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,%AUX,%AUX,II,II)
*   COVAL(GDR3C:II:,W1,FIXVAL,0.0)
*   COVAL(GDR3C:II:,U1,WALLCO,VINT)
*   COVAL(GDR3C:II:,V1,WALLCO,0.0)
*   COVAL(GDR3C:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDR3C:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDR3C:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

*   AUX=JPZF+1
*   PATCH(GDR3D:II:,LWALL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,$AUX,$AUX,II,II)
*   COVAL(GDR3D:II:,U1,WALLCO,VINT)
*   COVAL(GDR3D:II:,V1,WALLCO,0.0)
*   COVAL(GDR3D:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDR3D:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDR3D:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

* ELSE

*   AUX=JPYI-1
*   PATCH(GDR3A:II:,NWALL,1,JM,%AUX,%AUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
*   COVAL(GDR3A:II:,V1,FIXVAL,0.0)
*   COVAL(GDR3A:II:,U1,WALLCO,VINT)
*   COVAL(GDR3A:II:,W1,WALLCO,0.0)
*   COVAL(GDR3A:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDR3A:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDR3A:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

*   PATCH(GDR3Z:II:,NWALL,JW,NX,%AUX,%AUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
*   COVAL(GDR3Z:II:,V1,FIXVAL,0.0)
*   COVAL(GDR3Z:II:,U1,WALLCO,VINT)
*   COVAL(GDR3Z:II:,W1,WALLCO,0.0)
*   COVAL(GDR3Z:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDR3Z:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDR3Z:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

*   AUX=JPYF+1
*   PATCH(GDR3B:II:,SWALL,1,JM,$AUX,$AUX,#JPZI,#JPZF,II,II)
*   COVAL(GDR3B:II:,U1,WALLCO,VINT)
*   COVAL(GDR3B:II:,W1,WALLCO,0.0)
*   COVAL(GDR3B:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDR3B:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
*   COVAL(GDR3B:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

*   PATCH(GDR3Y:II:,SWALL,JW,NX,$AUX,$AUX,#JPZI,#JPZF,II,II)

```

```

- COVAL(GDR3Y:II:,U1,WALLCC,VINT)
- COVAL(GDR3Y:II:,W1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GDR3Y:II:,KE,WALLCC,WALLCO)
- COVAL(GDR3Y:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR3Y:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

- JJP=JPZI-1
- PATCH(GDR3C:II:,HWALL,1,JM,#JPYI,#JPYF,-AUX,-AUX,II,II)
- COVAL(GDR3C:II:,W1,FIXVAL,0.0)
- COVAL(GDR3C:II:,U1,WALLCO,VINT)
- COVAL(GDR3C:II:,V1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GDR3C:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR3C:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR3C:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

- PATCH(GDR3X:II:,HWALL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,-AUX,-AUX,II,II)
- COVAL(GDR3X:II:,W1,FIXVAL,0.0)
- COVAL(GDR3X:II:,U1,WALLCO,VINT)
- COVAL(GDR3X:II:,V1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GDR3X:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR3X:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR3X:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

- JJP=JPZF-1
- PATCH(GDR3D:II:,LWALL,1,JM,#JPYI,#JPYF,SAUX,SAUX,II,II)
- COVAL(GDR3D:II:,U1,WALLCO,VINT)
- COVAL(GDR3D:II:,V1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GDR3D:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR3D:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR3D:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

- PATCH(GDR3W:II:,LWALL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,SAUX,SAUX,II,II)
- COVAL(GDR3W:II:,U1,WALLCO,VINT)
- COVAL(GDR3W:II:,V1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GDR3W:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR3W:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GDR3W:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

- ENDIF

- PATCH(GP3E:II:,EWALL,JWU,JWU,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(GP3E:II:,V1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GP3E:II:,W1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GP3E:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GP3E:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GP3E:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

- PATCH(GP3F:II:,WWALL,JEU,JEU,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(GP3F:II:,V1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GP3F:II:,W1,WALLCO,0.0)
- COVAL(GP3F:II:,KE,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GP3F:II:,EP,WALLCO,WALLCO)
- COVAL(GP3F:II:,C20,FIXVAL,GRND3)

+ FINCC

      @@ Eliminacion de terminos fuente en los solidos @@

      @@ Primera paleta @@
- DO II=1,LSTEP
-   JB1=II*IG(18)
-   JB2=(JB1-1)/NX
-   JB3=JB1-JB2*NX
-   JB1=JB3+IG(20)
-   JB2=(JB1-1)/NX
-   JM=JB1-JB2*NX
-   JW=JM-IG(9)+1
-   IF (JW.LT.1) THEN
-     JW=NX+JW
-   ENDIF
-   JWU=JW-1
-   IF (JWU.LT.1) THEN
-     JWU=NX+JWU
-   ENDIF

-   IF (JM.GE.JW) THEN
-     PATCH(&SORM:II:,CELL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)

```

```

- COVAL(&SORM:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&SORM:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFEM:II:,CELL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFEM:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFEM:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFEM:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFEM:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFEMW:II:,CELL,JWU,JWU,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFEMW:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFEMW:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFEMW:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFEMW:II:,EP,0.0,0.0)

- AUX=JPYI-1
- PATCH(&DFNM:II:,CELL,JW,JM,%AUX,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFNM:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFNM:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFNM:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFNM:II:,EP,0.0,0.0)

- AUX=JPZI-1
- PATCH(&DFHM:II:,CELL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,%AUX,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFHM:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFHM:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFHM:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFHM:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNEM:II:,CELL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNEM:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNEM:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNEM:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNEMW:II:,CELL,JW,JM,$JPYI-1,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNEMW:II:,V1,0.0,0.0)

- PATCH(&CNEMW:II:,CELL,JWU,JWU,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNEMW:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNEMW:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNEMW:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNEMW:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNEMB:II:,CELL,JWU,JWU,$JPYI-1,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNEMB:II:,V1,0.0,0.0)

- AUX=JPYI-1
- PATCH(&CNM:II:,CELL,JW,JM,%AUX,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNM:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNM:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNM:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNM:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNMV:II:,CELL,JW,JM,%AUX,%JPYF-1,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNMV:II:,V1,0.0,0.0)

- AUX=JPZI-1
- PATCH(&CNHM:II:,CELL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,%AUX,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNHM:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNHM:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNHM:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNHM:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNHMW:II:,CELL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,%AUX,%JPZF-1,II,II)
- COVAL(&CNHMW:II:,W1,0.0,0.0)

- ELSE
- PATCH(&SORM:II:,CELL,1,JM,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&SORM:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&SORM:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&SORMZ:II:,CELL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&SORMZ:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&SORMZ:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFEM:II:,CELL,1,JM,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFEM:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFEM:II:,W1,0.0,0.0)

```

```

- COVAL(&DFEM:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFEM:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFEMZ:II:,CELL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFEMZ:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFEMZ:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFEMZ:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFEMZ:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFEMW:II:,CELL,JWU,JWU,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFEMW:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFEMW:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFEMW:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFEMW:II:,EP,0.0,0.0)

- NOX=JPYI-1
- PATCH(&DFNM:II:,CELL,1,JM,%AUX,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFNM:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFNM:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFNM:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFNM:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFNMZ:II:,CELL,JW,NX,%AUX,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFNMZ:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFNMZ:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFNMZ:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFNMZ:II:,EP,0.0,0.0)

- NOX=JPZI-1
- PATCH(&DFHM:II:,CELL,1,JM,#JPYI,#JPYF,%AUX,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFHM:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFHM:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFHM:II:,YE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFHM:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFHMZ:II:,CELL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,%AUX,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFHMZ:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFHMZ:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFHMZ:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFHMZ:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNEM:II:,CELL,1,JM,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNEM:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNEM:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNEM:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNEMV:II:,CELL,1,JM,$JPYI-1,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNEMV:II:,V1,0.0,0.0)

- PATCH(&CNEMZ:II:,CELL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNEMZ:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNEMZ:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNEMZ:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNEMA:II:,CELL,JW,NX,$JPYI-1,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNEMA:II:,V1,0.0,0.0)

- PATCH(&CNEMW:II:,CELL,JWU,JWU,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNEMW:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNEMW:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNEMW:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNEMW:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNEMB:II:,CELL,JWU,JWU,$JPYI-1,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNEMB:II:,V1,0.0,0.0)

- NOX=JPYI-1
- PATCH(&CNMM:II:,CELL,1,JM,%AUX,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNMM:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNMM:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNMM:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNMM:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNMMV:II:,CELL,1,JM,%AUX,%JPYF-1,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNMMV:II:,V1,0.0,0.0)

- PATCH(&CNMMZ:II:,CELL,JW,NX,%AUX,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNMMZ:II:,U1,0.0,0.0)

```

```

* COVAL(&CNHMZ:II:,W1,0.0,0.0)
* COVAL(&CNHMZ:II:,KE,0.0,0.0)
* COVAL(&CNHMZ:II:,EP,0.0,0.0)

* PATCH(&CNHMA:II:,CELL,JW,NX,%AUX,%JPYF-1,#JPZI,#JPZF,II,II)
* COVAL(&CNHMA:II:,V1,0.0,0.0)

* AUX=JPZI-1
* PATCH(&CNHM:II:,CELL,1,JM,#JPYI,#JPYF,%AUX,#JPZF,II,II)
* COVAL(&CNHM:II:,U1,0.0,0.0)
* COVAL(&CNHM:II:,V1,0.0,0.0)
* COVAL(&CNHM:II:,KE,0.0,0.0)
* COVAL(&CNHM:II:,EP,0.0,0.0)

* PATCH(&CNHMA:II:,CELL,1,JM,#JPYI,#JPYF,%AUX,#JPZF-1,II,II)
* COVAL(&CNHMA:II:,W1,0.0,0.0)

* PATCH(&CNHMZ:II:,CELL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,%AUX,#JPZF,II,II)
* COVAL(&CNHMZ:II:,U1,0.0,0.0)
* COVAL(&CNHMZ:II:,V1,0.0,0.0)
* COVAL(&CNHMZ:II:,KE,0.0,0.0)
* COVAL(&CNHMZ:II:,EP,0.0,0.0)

* PATCH(&CNHMA:II:,CELL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,%AUX,#JPZF-1,II,II)
* COVAL(&CNHMA:II:,W1,0.0,0.0)

* ENDIF
* ENDDO

```

@@ Segunda paleta @@

```

* DO II=1,LSTEP
* JB1=II*IG(18)
* JB2=(JB1-1)/NX
* JB3=JB1-JB2*NX
* JB1=JB3+IG(20,-IG(15))
* JB2=(JB1-1)/NX
* JW=JB1-JB2*NX
* JW=JW-IG(9)+1
* IF (JW.LT.1) THEN
*   JW=NX+JW
* ENDIF
* JWU=JW-1
* IF (JWU.LT.1) THEN
*   JWU=NX+JWU
* ENDIF

* IF (JM.GE.JW) THEN
*   PATCH(&SOR2:II:,CELL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
*   COVAL(&SOR2:II:,KE,0.0,0.0)
*   COVAL(&SOR2:II:,EP,0.0,0.0)

*   PATCH(&DFE2:II:,CELL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
*   COVAL(&DFE2:II:,V1,0.0,0.0)
*   COVAL(&DFE2:II:,W1,0.0,0.0)
*   COVAL(&DFE2:II:,KE,0.0,0.0)
*   COVAL(&DFE2:II:,EP,0.0,0.0)

*   PATCH(&DFE2W:II:,CELL,JWU,JWU,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
*   COVAL(&DFE2W:II:,V1,0.0,0.0)
*   COVAL(&DFE2W:II:,W1,0.0,0.0)
*   COVAL(&DFE2W:II:,KE,0.0,0.0)
*   COVAL(&DFE2W:II:,EP,0.0,0.0)

*   AUX=JPYI-1
*   PATCH(&DFN2:II:,CELL,JW,JM,%AUX,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
*   COVAL(&DFN2:II:,U1,0.0,0.0)
*   COVAL(&DFN2:II:,W1,0.0,0.0)
*   COVAL(&DFN2:II:,KE,0.0,0.0)
*   COVAL(&DFN2:II:,EP,0.0,0.0)

*   AUX=JPZI-1
*   PATCH(&DFH2:II:,CELL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,%AUX,#JPZF,II,II)
*   COVAL(&DFH2:II:,U1,0.0,0.0)
*   COVAL(&DFH2:II:,V1,0.0,0.0)
*   COVAL(&DFH2:II:,KE,0.0,0.0)
*   COVAL(&DFH2:II:,EP,0.0,0.0)

*   PATCH(&CNE2:II:,CELL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)

```

```

- COVAL(&CNE2:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE2:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE2:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNE2V:II:,CELL,JW,CM,%JPYI-1,%JPYF,%JPZI,%JPZF,II,II)
- COVAL(&CNE2V:II:,V1,0.0,0.0)

- PATCH(&CNE2W:II:,CELL,JWU,JWU,%JPYI,%JPYF,%JPZI,%JPZF,II,II)
- COVAL(&CNE2W:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE2W:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE2W:II:,FE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE2W:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNE2B:II:,CELL,JWU,JWU,%JPYI-1,%JPYF,%JPZI,%JPZF,II,II)
- COVAL(&CNE2B:II:,V1,0.0,0.0)

- AUX=JPYI-1
- PATCH(&CNH2:II:,CELL,JW,JM,%AUX,%JPYF,%JPZI,%JPZF,II,II)
- COVAL(&CNH2:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNH2:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNH2:II:,FE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNH2:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNH2V:II:,CELL,JW,JM,%AUX,%JPYF-1,%JPZI,%JPZF,II,II)
- COVAL(&CNH2V:II:,V1,0.0,0.0)

- AUX=JPZI-1
- PATCH(&CNH2:II:,CELL,JW,JM,%JPYI,%JPYF,%AUX,%JPZF,II,II)
- COVAL(&CNH2:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNH2:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNH2:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNH2:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNH2W:II:,CELL,JW,JM,%JPYI,%JPYF,%AUX,%JPZF-1,II,II)
- COVAL(&CNH2W:II:,W1,0.0,0.0)

- ELSE
- PATCH(&SOR2:II:,CELL,1,JM,%JPYI,%JPYF,%JPZI,%JPZF,II,II)
- COVAL(&SOR2:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&SOR2:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&SOR2Z:II:,CELL,JW,NX,%JPYI,%JPYF,%JPZI,%JPZF,II,II)
- COVAL(&SOR2Z:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&SOR2Z:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFE2:II:,CELL,1,JM,%JPYI,%JPYF,%JPZI,%JPZF,II,II)
- COVAL(&DFE2:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE2:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE2:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE2:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFE2Z:II:,CELL,JW,NX,%JPYI,%JPYF,%JPZI,%JPZF,II,II)
- COVAL(&DFE2Z:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE2Z:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE2Z:II:,FE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE2Z:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFE2W:II:,CELL,JWU,JWU,%JPYI,%JPYF,%JPZI,%JPZF,II,II)
- COVAL(&DFE2W:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE2W:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE2W:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE2W:II:,EP,0.0,0.0)

- AUX=JPYI-1
- PATCH(&DFN2:II:,CELL,1,JM,%AUX,%JPYF,%JPZI,%JPZF,II,II)
- COVAL(&DFN2:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFN2:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFN2:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFN2:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFN2Z:II:,CELL,JW,NX,%AUX,%JPYF,%JPZI,%JPZF,II,II)
- COVAL(&DFN2Z:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFN2Z:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFN2Z:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFN2Z:II:,EP,0.0,0.0)

- AUX=JPZI-1
- PATCH(&DFH2:II:,CELL,1,JM,%JPYI,%JPYF,%AUX,%JPZF,II,II)

```

```

- COVAL(&DFH2:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFH2:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFH2:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFH2:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFH2Z:II:,CELL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,%AUX,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFH2Z:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFH2Z:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFH2Z:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFH2Z:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNE2:II:,CELL,1,JW,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNE2:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE2:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE2:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNE2V:II:,CELL,1,JW,%JPYI-1,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNE2V:II:,V1,0.0,0.0)

- PATCH(&CNE2Z:II:,CELL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNE2Z:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE2Z:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE2Z:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNE2A:II:,CELL,JW,NX,%JPYI-1,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNE2A:II:,V1,0.0,0.0)

- PATCH(&CNE2W:II:,CELL,JWU,JWU,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNE2W:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE2W:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE2W:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE2W:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNE2B:II:,CELL,JWU,JWU,%JPYI-1,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNE2B:II:,V1,0.0,0.0)

- AUX=JPYI-1
- PATCH(&CNN2:II:,CELL,1,JW,%AUX,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNN2:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNN2:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNN2:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNN2:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNN2V:II:,CELL,1,JW,%AUX,%JPYF-1,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNN2V:II:,V1,0.0,0.0)

- PATCH(&CNN2Z:II:,CELL,JW,NX,%AUX,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNN2Z:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNN2Z:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNN2Z:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNN2Z:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNN2A:II:,CELL,JW,NX,%AUX,%JPYF-1,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNN2A:II:,V1,0.0,0.0)

- AUX=JPZI-1
- PATCH(&CNH2:II:,CELL,1,JW,#JPYI,#JPYF,%AUX,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNH2:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNH2:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNH2:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNH2:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNH2W:II:,CELL,1,JW,#JPYI,#JPYF,%AUX,%JPZF-1,II,II)
- COVAL(&CNH2W:II:,W1,0.0,0.0)

- PATCH(&CNH2Z:II:,CELL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,%AUX,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNH2Z:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNH2Z:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNH2Z:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNH2Z:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNH2A:II:,CELL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,%AUX,%JPZF-1,II,II)
- COVAL(&CNH2A:II:,W1,0.0,0.0)

- ENDF
- ENDDO

```

```

13 Torceva paleta @0
* II=1,LSSTEP
* I=II*IG(15)
* J=JPI-1,NM
* K=JPI-1,NC
* L=I+J+K-2*IG(15)
* M=JPI-1,NA
* N=JPI-1,ND
* O=IG(15)
* P=LIMIT1-1,PN
* Q=N+O
* R=I
* S=J+L+1 THEN
* T=N+O+Q
* U=I
* V=J
* W=K
* X=I
* Y=J
* Z=K
* AA=L
* AB=M
* AC=N
* AD=O
* AE=P
* AF=Q
* AG=R
* AH=S
* AI=T
* AJ=U
* AK=V
* AL=W
* AM=X
* AN=Y
* AO=Z
* AP=AA
* AQ=AB
* AR=AC
* AS=AD
* AT=AE
* AU=AF
* AV=AG
* AW=AH
* AX=AI
* AY=AJ
* AZ=AK
* BA=AL
* BB=AM
* BC=AN
* BD=AO
* BE=AP
* BF=AQ
* BG=AR
* BH=AS
* BI=AT
* BJ=AU
* BK=AV
* BL=AW
* BM=AX
* BN=AY
* BO=BZ
* BP=CA
* BQ=CB
* BR=CC
* BS=CD
* BT=CE
* BU=CF
* BV=CG
* BW=CH
* BX=CI
* BY=CJ
* BZ=CK
* CA=CL
* CB=CM
* CC=CN
* CD=CO
* CE=CP
* CF=CQ
* CG=CR
* CH=CS
* CI=CT
* CJ=CU
* CK=CV
* CL=CW
* CM=CX
* CN=CY
* CO=CA
* CP=CB
* CQ=CC
* CR=CD
* CS=CE
* CT=CF
* CU=CG
* CV=CH
* CW=CI
* CX=CJ
* CY=CK
* CZ=CL
* DA=CM
* DB=CN
* DC=CO
* DD=CP
* DE=CQ
* DF=CR
* DG=CS
* DH=CT
* DI=CU
* DJ=CV
* DK=AW
* DL=AX
* DM=AY
* DN=AZ
* DO=BA
* DP=BB
* DQ=BC
* DR=BD
* DS=BE
* DT=BF
* DU=BG
* DV=BH
* DW=BI
* DX=BJ
* DY=BK
* DZ=BL
* EA=BM
* EB=BN
* EC=BO
* ED=BP
* EE=BQ
* EF=BR
* EG=BS
* EH=BT
* EI=BU
* EJ=BV
* EK=BW
* EL=BX
* EM=BY
* EN=CA
* EO=CB
* EP=CC
* EQ=CD
* ER=CE
* ES=CF
* ET=CG
* EU=CH
* EV=CI
* EW=CJ
* EX=CK
* EY=CL
* EZ=CM
* FA=CN
* FB=CO
* FC=CP
* FD=CQ
* FE=CR
* FF=CS
* FG=CT
* FH=CU
* FI=CV
* FJ=CW
* FK=CX
* FL=CY
* FM=CA
* FN=CB
* FO=CC
* FP=CD
* FQ=CE
* FR=CF
* FS=CG
* FT=CH
* FU=CI
* FV=CJ
* FW=CK
* FX=CL
* FY=CM
* FZ=CN
* GA=CO
* GB=CP
* GC=CQ
* GD=CR
* GE=CS
* GF=CT
* GG=CU
* GH=CV
* GI=CW
* GJ=CX
* GK=CY
* GL=CA
* GM=CB
* GN=CC
* GO=CD
* GP=CE
* GQ=CF
* GR=CG
* GS=CH
* GT=CI
* GU=CJ
* GV=CK
* GW=CL
* GX=CM
* GY=CN
* GZ=CO
* HA=CP
* HB=CQ
* HC=CR
* HD=CS
* HE=CT
* HF=CU
* HG=CV
* HH=CW
* HI=CX
* HJ=CY
* HK=CA
* HL=CB
* HM=CC
* HN=CD
* HO=CE
* HP=CF
* HQ=CG
* HR=CH
* HS=CI
* HT=CJ
* HU=CK
* HV=CL
* HW=CM
* HX=CN
* HY=CO
* HZ=CP
* IA=CQ
* IB=CR
* IC=CS
* ID=CT
* IE=CU
* IF=CV
* IG=CW
* IH=CX
* II=CY
* IJ=CA
* IK=CB
* IL=CC
* IM=CD
* IN=CE
* IO=CF
* IP=CG
* IQ=CH
* IR=CI
* IS=CJ
* IT=CK
* IU=CL
* IV=CM
* IW=CN
* IX=CO
* IY=CP
* IZ=CQ
* JA=CR
* JB=CS
* JC=CT
* JD=CU
* JE=CV
* JF=CW
* JG=CX
* JH=CY
* JI=CA
* JJ=CB
* JK=CC
* JL=CD
* JM=CE
* JN=CF
* JO=CG
* JP=CH
* JQ=CI
* JR=CJ
* JS=CK
* JT=CL
* JU=CM
* JV=CN
* JW=CO
* JX=CP
* JY=CQ
* JZ=CR
* KA=CS
* KB=CT
* KC=CU
* KD=CV
* KE=CW
* KF=CX
* KG=CY
* KH=CA
* KI=CB
* KJ=CC
* KK=CD
* KL=CE
* KM=CF
* KN=CG
* KO=CH
* KP=CI
* KQ=CJ
* KR=CK
* KS=CL
* KT=CM
* KU=CN
* KV=CO
* KW=CP
* KX=CQ
* KY=CR
* KZ=CS
* LA=CT
* LB=CU
* LC=CV
* LD=CW
* LE=CX
* LF=CY
* LG=CA
* LH=CB
* LI=CC
* LJ=CD
* LK=CE
* LL=CF
* LM=CG
* LN=CH
* LO=CI
* LP=CJ
* LQ=CK
* LR=CL
* LS=CM
* LT=CN
* LU=CO
* LV=CP
* LW=CQ
* LX=CR
* LY=CS
* LZ=CT
* MA=CU
* MB=CV
* MC=CW
* MD=CX
* ME=CY
* MF=CA
* MG=CB
* MH=CC
* MI=CD
* MJ=CE
* MK=CF
* ML=CG
* MN=CH
* MO=CI
* MP=CJ
* MQ=CK
* MR=CL
* MS=CM
* MT=CN
* MU=CO
* MV=CP
* MW=CQ
* MX=CR
* MY=CS
* MZ=CT
* NA=CV
* NB=CW
* NC=CX
* ND=CY
* NE=CA
* NF=CB
* NG=CC
* NH=CD
* NI=CE
* NJ=CF
* NK=CG
* NL=CH
* NM=CI
* NN=CJ
* NO=CK
* NP=CL
* NQ=CM
* NR=CN
* NS=CO
* NT=CP
* NU=CQ
* NV=CR
* NW=CS
* NX=CT
* NY=CU
* NZ=CV
* OA=CW
* OB=CX
* OC=CY
* OD=CA
* OE=CB
* OF=CC
* OG=CD
* OH=CE
* OI=CF
* OJ=CG
* OK=CH
* OL=CI
* OM=CJ
* ON=CK
* OO=CL
* OP=CM
* OQ=CN
* OR=CO
* OS=CP
* OT=CQ
* OU=CR
* OV=CS
* OW=CT
* OX=CU
* OY=CV
* OZ=CW
* PA=CX
* PB=CY
* PC=CA
* PD=CB
* PE=CC
* PF=CD
* PG=CE
* PH=CF
* PI=CG
* PJ=CH
* PK=CI
* PL=CJ
* PM=CK
* PN=CL
* PO=CM
* PP=CN
* PQ=CO
* PR=CP
* PS=CQ
* PT=CR
* PU=CS
* PV=CT
* PW=CU
* PX=CV
* PY=CW
* PZ=CX
* QA=CY
* QB=CA
* QC=CB
* QD=CC
* QE=CD
* QF=CE
* QG=CF
* QH=CG
* QI=CH
* QJ=CI
* QK=CJ
* QL=CK
* QM=CL
* QN=CM
* QO=CN
* QP=CO
* QQ=CP
* QR=CQ
* QS=CR
* QT=CS
* QU=CT
* QV=CU
* QW=CV
* QX=CW
* QY=CX
* QZ=CY
* RA=CA
* RB=CB
* RC=CC
* RD=CD
* RE=CE
* RF=CF
* RG=CG
* RH=CH
* RI=CI
* RJ=CJ
* RK=CK
* RL=CL
* RM=CM
* RN=CN
* RO=CO
* RP=CP
* RQ=CQ
* RR=CR
* RS=CS
* RT=CT
* RU=CU
* RV=CV
* RW=CW
* RX=CX
* RY=CY
* RZ=CA
* SA=CB
* SB=CC
* SC=CD
* SD=CE
* SE=CF
* SF=CG
* SG=CH
* SH=CI
* SJ=CJ
* SK=CK
* SL=CL
* SM=CM
* SN=CN
* SO=CO
* SP=CP
* SQ=CQ
* SR=CR
* SS=CS
* ST=CT
* SU=CU
* SV=CV
* SW=CW
* SX=CX
* SY=CY
* SZ=CB
* TA=CC
* TB=CD
* TC=CE
* TD=CF
* TE=CG
* TF=CH
* TG=CI
* TH=CJ
* TI=CK
* TJ=CL
* TK=CM
* TL=CN
* TM=CO
* TN=CP
* TO=CQ
* TP=CR
* TQ=CS
* TR=CT
* TS=CU
* TT=CV
* TU=CW
* TV=CX
* TV=CY
* TW=CA
* TX=CB
* TY=CC
* TZ=CD
* UA=CD
* UB=CE
* UC=CF
* UD=CG
* UE=CH
* UF=CI
* UG=CJ
* UH=CK
* UI=CL
* UJ=CM
* UK=CN
* UL=CO
* UM=CP
* UN=CQ
* UR=CR
* US=CS
* UT=CT
* UV=CU
* UV=CV
* UW=CW
* UX=CX
* UY=CY
* UZ=CA
* VA=CE
* VB=CF
* VC=CG
* VD=CH
* VE=CI
* VF=CJ
* VG=CK
* VH=CL
* VI=CM
* VJ=CN
* VK=CO
* VL=CP
* VM=CQ
* VN=CR
* VO=CS
* VP=CT
* VQ=CU
* VR=CV
* VS=CW
* VT=CX
* VU=CY
* VZ=CA
* WA=CF
* WB=CG
* WC=CH
* WD=CI
* WE=CJ
* WF=CK
* WG=CL
* WH=CM
* WI=CN
* WJ=CO
* WK=CP
* WL=CQ
* WM=CR
* WN=CS
* WO=CT
* WP=CU
* WQ=CV
* WR=CW
* WS=CX
* WT=CY
* WZ=CB
* XA=CG
* XB=CH
* XC=CI
* XD=CJ
* XE=CK
* XF=CL
* XG=CM
* XH=CN
* XI=CO
* XII=CP
* XIII=CQ
* XIV=CR
* XV=CS
* XVI=CT
* XVII=CU
* XVIII=CV
* XIX=CW
* XX=CX
* XY=CY
* XZ=CA
* YA=CH
* YB=CI
* YC=CJ
* YD=CK
* YE=CL
* YF=CM
* YG=CN
* YH=CO
* YI=CP
* YJ=CQ
* YK=CR
* YL=CS
* YM=CT
* YN=CU
* YO=CV
* YP=CW
* YQ=CX
* YR=CY
* YS=CA
* YT=CB
* YU=CC
* YV=CD
* YW=CE
* YX=CF
* YY=CG
* YZ=CH
* ZA=CI
* ZB=CJ
* ZC=CK
* ZD=CL
* ZE=CM
* ZF=CN
* ZG=CO
* ZH=CP
* ZI=CQ
* ZJ=CR
* ZK=CS
* ZL=CT
* ZM=CU
* ZN=CV
* ZO=CW
* ZP=CX
* ZQ=CY
* ZR=CA
* ZS=CB
* ZT=CC
* ZU=CD
* ZV=CE
* ZW=CF
* ZX=CG
* ZY=CH
* ZZ=CI

```



```

- COVAL(&CNH3:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNH3:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNH3:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNH3W:II:,CELL,JW,JM,#JPYI,#JPYF,#AUX,#JPZF-1,II,II)
- COVAL(&CNH3W:II:,W1,0.0,0.0)

- FILE
- PATCH(&SOR3:II:,CELL,1,JM,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&SOR3:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&SOR3:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&SOR3Z:II:,CELL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&SOR3Z:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&SOR3Z:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFE3:II:,CELL,1,JM,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFE3:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE3:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE3:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE3:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFE3Z:II:,CELL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFE3Z:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE3Z:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE3Z:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE3Z:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFE3W:II:,CELL,JWU,JWU,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFE3W:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE3W:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE3W:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFE3W:II:,EP,0.0,0.0)

- AUX=JPYI-1
- PATCH(&DFN3:II:,CELL,1,JM,#AUX,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFN3:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFN3:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFN3:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFN3:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFN3Z:II:,CELL,JW,NX,#AUX,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFN3Z:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFN3Z:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFN3Z:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFN3Z:II:,EP,0.0,0.0)

- AUX=JPZI-1
- PATCH(&DFH3:II:,CELL,1,JM,#JPYI,#JPYF,#AUX,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFH3:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFH3:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFH3:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFH3:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&DFH3Z:II:,CELL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,#AUX,#JPZF,II,II)
- COVAL(&DFH3Z:II:,U1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFH3Z:II:,V1,0.0,0.0)
- COVAL(&DFH3Z:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&DFH3Z:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNE3:II:,CELL,1,JM,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNE3:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE3:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE3:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNE3W:II:,CELL,1,JM,$JPYI-1,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNE3W:II:,V1,0.0,0.0)

- PATCH(&CNE3Z:II:,CELL,JW,NX,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNE3Z:II:,W1,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE3Z:II:,KE,0.0,0.0)
- COVAL(&CNE3Z:II:,EP,0.0,0.0)

- PATCH(&CNE3A:II:,CELL,JW,NX,$JPYI-1,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNE3A:II:,V1,0.0,0.0)

- PATCH(&CNE3W:II:,CELL,JWU,JWU,#JPYI,#JPYF,#JPZI,#JPZF,II,II)
- COVAL(&CNE3W:II:,W1,0.0,0.0)

```

```

- COVAL (&CNEB3W:II, U1, 0.0, 0.0)
- COVAL (&CNEB3W:II, KE, 0.0, 0.0)
- COVAL (&CNEB3W:II, EP, 0.0, 0.0)

- PATCH (&CNEB3E:II, CELL, JWU, JWU, $JPYI-1, #JPYF, #JPZI, #JPZF, II, II)
- COVAL (&CNEB3E:III, V1, 0.0, 0.0)

- ACA=JPYI-1
- PATCH (&CNEB3:II, CELL, 1, JM, %AUX, %JPYF, #JPZI, #JPZF, II, II)
- COVAL (&CNEB3:II, U1, 0.0, 0.0)
- COVAL (&CNEB3:II, W1, 0.0, 0.0)
- COVAL (&CNEB3:II, KE, 0.0, 0.0)
- COVAL (&CNEB3:III, EP, 0.0, 0.0)

- PATCH (&CNEB3W:II, CELL, 1, JM, %AUX, %JPYF-1, #JPZI, #JPZF, II, II)
- COVAL (&CNEB3W:III, V1, 0.0, 0.0)

- PATCH (&CNEB3E:II, CELL, JW, NY, %AUX, #JPYF, #JPZI, #JPZF, II, II)
- COVAL (&CNEB3E:II, U1, 0.0, 0.0)
- COVAL (&CNEB3E:II, W1, 0.0, 0.0)
- COVAL (&CNEB3E:II, KE, 0.0, 0.0)
- COVAL (&CNEB3E:III, EP, 0.0, 0.0)

- PATCH (&CNEB3A:II, CELL, JW, NX, %AUX, %JPYF-1, #JPZI, #JPZF, II, II)
- COVAL (&CNEB3A:III, V1, 0.0, 0.0)

- ACA=JPZI-1
- PATCH (&CNEB3:II, CELL, 1, JH, #JPYI, #JPYF, %AUX, #JPZF, II, II)
- COVAL (&CNEB3:II, U1, 0.0, 0.0)
- COVAL (&CNEB3:II, W1, 0.0, 0.0)
- COVAL (&CNEB3:II, KE, 0.0, 0.0)
- COVAL (&CNEB3:III, EP, 0.0, 0.0)

- PATCH (&CNEB3W:II, CELL, 1, JK, #JPYI, #JPYF, %AUX, %JPZF-1, II, II)
- COVAL (&CNEB3W:III, V1, 0.0, 0.0)

- PATCH (&CNEB3E:II, CELL, JW, NX, #JPYI, #JPYF, %AUX, #JPZF, II, II)
- COVAL (&CNEB3E:III, U1, 0.0, 0.0)
- COVAL (&CNEB3E:III, V1, 0.0, 0.0)
- COVAL (&CNEB3E:III, KE, 0.0, 0.0)
- COVAL (&CNEB3E:III, EP, 0.0, 0.0)

- PATCH (&CNEB3A:II, CELL, JW, NX, #JPYI, #JPYF, %AUX, %JPZF-1, II, II)
- COVAL (&CNEB3A:III, W1, 0.0, 0.0)

- ENDDIF

- ENDDO
- ENDF

GROUP 14. Downstream pressure for PARAB=.TRUE.
GROUP 15. Termination of sweeps
NKEEP=5
NSTGWP=1
GROUP 16. Termination of iterations
LITER(U1)=3
LITER(V1)=3

GROUP 17. Under-relaxation devices
-IF (STEADY) THEN
- GRLX=1E-2
- RELAX(U1, FALSDT, GRLX)
- RELAX(W1, FALSDT, GRLX)
- RELAX(V1, FALSDT, GRLX)
- RELAX(KE, FALSDT, GRLX)
- RELAX(EP, FALSDT, GRLX)
- RELAX(P1, LINRLX, 0.6)
-ELSE
- RELAX(P1, LINRLX, 0.6)
-ENDDIF

GROUP 18. Limits on variables or increments to them
GROUP 19. Data communicated by satellite to GROUND
GROUP 20. Preliminary print-out
ECHO=T

```

```

GPOUP 21. Print-out of variables
GPOUP 22. Spot-value print-out
IXMON=12; IYMON=5 ; IZMON=4
GPOUP 23. Field print-out and plot control
GPOUP 24. Burps for restarts
IIISPA=10

```

## A.2 ARCHIVO DE SUBROUTINAS: GROUND.F

```

C FILE NAME GROUND.FTN-----081294
C ***** USER SECTION STARTS:
C
C 1 Set dimensions of data-for-GROUND arrays here WARNING: the
C corresponding arrays in the MAIN program of the satellite
C and EARTH must have the same dimensions.
C PARAMETER (NLG=100, NIG=200, NRG=200, NCG=100)
C *****
C
C ALE
C DIMENSIONES DE ARREGLOS
C PARAMETER (NXDIM=70, NYDIM=100, NZDIM=100)
C *****
C 2 User dimensions own arrays here, for example:
C DIMENSION GUX(10,10),GUC(10,10),GUX(10,10),GUZ(10)
C *****
C
C ALE
C ARREGLOS
C DIMENSION GADIST(NYDIM, NXDIM)
C DIMENSION GADCS(NYDIM, NXDIM)
C DIMENSION JD(3),JI(3),JE(3),JW(3)
C *****
C : Insert own coding below as desired, guided by GREX examples.
C Note that the satellite-to-GREX special data in the labelled
C COMMONs /RSG/, /ISG/, /LSG/ and /CSG/ can be included and
C used below but the user must check GREX for any conflicting
C uses. The same comment applies to the EARTH-spare working
C arrays EASP1, EASP2, ...EASP20. In addition to the EASPs,
C there are 10 Ground-earth SPare arrays, GRSP1, ...,GRSP10,
C supplied solely for the user, which are not used by GREX. If
C the call to GREX has been deactivated then all of the arrays
C may be used without reservation.
C *****
C ALE
C Archivo de salida
C INTEGER SALIDA
C SALIDA=20
C OPEN(UNIT=SALIDA, FILE='tanque')
C *****
C --- GPOUP 1. Run title and other preliminaries
C 1001 CONTINUE
C *****
C ALE
C Declaro las variables geometricas auxiliares que se utilizaran
C CALL MAKE(DXG2D)
C CALL MAKE(DXU2D)
C CALL MAKE(DYV2D)
C CALL MAKE(XG2D)
C CALL MAKE(XU2D)
C CALL MAKE(RV2D)
C CALL MAKE(RG2D)
C CALL MAKE(YG2D)
C CALL MAKE(YV2D)
C CALL MAKE(GRSP1)
C CALL MAKE(GRSP2)
C *****
C RETURN
C --- GROUP 8. Terms (in differential equations) & devices

```

PROGRAMA

SECTION 8 ---- Convection fluxes

When UCONV = .TPUE.; block-location indices are:  
 for east and north (accessible at the same time),  
 for west and south (accessible at the same time),  
 for high (which becomes low for the next slab).  
 should provide INDVAR and NDIREC IF's as appropriate.

-----  
 Correccion de los coeficientes convectivos para la  
 velocidad radial en direccion radial.  
 En GFNV y GFSV se guarda el verdadero flujo, en LD11 y LD12  
 se guarda el coeficiente multiplicado por el factor de radios.

```

IF (INDVAR.EQ.V1).AND.(NDIREC.EQ.1)) THEN
  LGN=LOF(LD11)
  LOS=LOF(LD12)
  LOV=LOF(V1)
  LOA=LOF(ANORTH)
  LC1=LOF(LBNAME('GFNV'))
  LC2=LOF(LBNAME('GFSV'))
  LORG=LOF(RG2D)
  LORV=LOF(RV2D)
  DO IIX=1,NX
    DO IIY=1, NY
      GCP=(IIX-1)*NY+IIY
      GCN=GCP+1
      GCS=GCP-1
      GRNN=F(LORV+GCN)
      GRN=F(LORG+GCN)
      GRS=F(LORV+GCS)
      GRP=F(LORG+GCP)
      IF (IIY.LT.(NY-1)) THEN
        GFN=RHO1*(F(LOV+GCP)*F(LOA+GCP)+F(LOV+GCN)*F(LOA+GCN))/2
        F(L01+GCP)=GFN
        F(L0N+GCP)=MAX(-GFN,0)*GRNN/GRN
      END IF
      IF (IIY.GT.1, THEN
        GFS=RHO1*(F(LOV+GCP)*F(LOA+GCP)+F(LOV+GCS)*F(LOA+GCS))/2
        F(L02+GCP)=GFS
        F(L0S+GCP)=MAX(GFS,0)*GRS/GRP
      END IF
    END DO
  END DO
END IF

```

-----  
 Correccion de los coeficientes convectivos para la  
 velocidad tangencial en direccion radial.  
 En GFNU y GFSU se guarda el verdadero flujo, en LD11 y LD12  
 se guarda el coeficiente multiplicado por el factor de radios.

```

IF (INDVAR.EQ.U1).AND.(NDIREC.EQ.1)) THEN
  LGN=LOF(LD11)
  LOS=LOF(LD12)
  LOV=LOF(V1)
  LOA=LOF(ANORTH)
  LC1=LOF(LBNAME('GFNU'))
  LC2=LOF(LBNAME('GFSU'))
  LORG=LOF(RG2D)
  LORV=LOF(RV2D)
  DO IIX=1,NX
    DO IIY=1, NY
      GCP=(IIX-1)*NY+IIY
      GCN=GCP+1
      GCS=GCP-1
      GCE=(IIX)*NY+IIY
      IF (IIX.EQ.NX) GCE=IIY
      GCSE=GCE-1
      GRN=F(LORG+GCN)
      GRS=F(LORV+GCS)
      GRSS=F(LORG+GCS)
      GRP=F(LORG+GCP)
      GRR=F(LORV+GCP)
      IF (IIY.LT.NY) THEN
        GFN=RHO1*(F(LOV+GCP)*F(LOA+GCP)+F(LOV+GCE)*F(LOA+GCE))/2
        F(L01+GCP)=GFN
        F(L0N+GCP)=MAX(-GFN,0)*GRR/GRN
      END IF
    END DO
  END DO

```

```

END IF
IF (IIY.GT.1) THEN
  GFS=RHO1*(F(LOV+GCS)*F(LOA+GCS)+
            F(LOV+GCSE)*F(LOA+GCSE))/2
  F(LO2-GCP)=GFS
  F(LOS+GCP)=MAX(GFS,0)*GRS/GRSS
END IF
END DO
END DO
END IF

```

\*\*\*\*\*

RETURN  
CONTINUE

----- SECTION 9 ---- Diffusion coefficients  
 entered when UDIFF =.TRUE., block-location indices are LAE  
 for east, LAW for west, LAN for north, LAS for  
 south, LDH for high, and LDl for low.  
 user should provide INDVAR and NDIREC IF's as above.  
 WARTH will apply the DIFCUT and GPI2 modifications after the user  
 has made his settings.

\*\*\*\*\*

LAE  
 Correccion de los coeficientes de difusion para la  
 velocidad radial en direccion radial.  
 En GDNV y GDSV se guarda el verdadero coeficiente. En LAN  
 y LAS se ponen zeros para que se use el esquema upwind para  
 la velocidad radial.  
 Se forza a usar siempre el upwind ya que el esquema hibrido  
 puede fallar debido al termino fuente viscoso extra que aparece  
 en las ecuaciones cilindricas.  
 El efecto viscoso se aplica por medio de fuentes  
 con patches de nombre GDIFV,GDNFV,GDSFV; en donde se usan los valores  
 del verdadero coeficiente.

```

IF (INDVAR.EQ.V1).AND.(NDIREC.EQ.1)) THEN
  LOLAN=LOF(LAN)
  LOLAS=LOF(LAS)
  LO3=LOF(LBNAME('GDNV'))
  LO4=LOF(LBNAME('GDSV'))
  LOML=LOF(VISL)
  LOMT=LOF(VIST)
  LOAR=LOF(ANORTH)
  LODR=LOF(DYV2D)
  LORG=LOF(RG2D)
  LORV=LOF(RV2D)
  DO IIX=1,NX
    DO IIY=1, NY
      GCP=(IIX-1)*NY+IIY
      GCN=GCP+1
      GCS=GCP-1
      GRR=F(LORV+GCP)
      GRS=F(LORV+GCS)
      GRNN=F(LORV+GCN)
      GRP=F(LORG+GCP)
      GRN=F(LORG+GCN)
      GMUN=RHO1*(F(LOML+GCN)+F(LOMT+GCN))
      GMUP=RHO1*(F(LOML+GCP)+F(LOMT+GCP))
      IF (IIY.LT.(NY-1)) THEN
        GARN=(F(LOAR+GCN)+F(LOAR+GCP))/2
        F(LO3+GCP)=GMUN*GARN/F(LODR+GCN)*GRR*GRNN/GRN**2.0
        F(LOLAN+GCP)=0
      END IF
      IF (IIY.GT.1) THEN
        GARP=(F(LOAR+GCS)+F(LOAR+GCP))/2
        F(LO4+GCP)=GMUP*GARP/F(LODR+GCP)*GRR*GRS/GRP**2.0
        F(LOLAS+GCP)=0
      END IF
    END DO
  END DO
END IF

```

\*\*\*\*\*

LAE

Correccion de los coeficientes de difusion para la  
 velocidad tangencial en direccion radial.  
 En GDNV y GDSV se guarda el verdadero coeficiente. En LAN  
 y LAS se ponen zeros para que se use el esquema upwind para

la velocidad radial.  
 Se forza a usar siempre el upwind ya que el esquema hibrido  
 puede fallar debido al termino fuente viscoso extra que aparece  
 en las ecuaciones cilindricas.  
 El efecto viscoso se aplica por medio de fuentes  
 con patrones de nombre GDIFU,GDNFU,GDSFU; en donde se usan los valores  
 del verdadero coeficiente.

```

IF (NDIREC.EQ.1) AND.(NDIREC.EQ.1)) THEN
  LCLAN=LQF/LAN
  LCLAS=LQF/LAS
  LCLG=LQF/LBNAME('GDNU')
  LCLV=LQF/LBNAME('GDSU')
  LCLM=LQF/VISL
  LCLT=LQF/VIST
  LCLP=LQF/PROPFI
  LCLDR=LQF/DVY2D
  LCLRG=LQF/PG2D
  LCLRV=LQF/RV2D
  DO IIX=1,NX
    DO IYY=1, NY
      GCP=(IIX-1)*NY+IYY
      GCN=GCP+1
      GCS=GCP-1
      GCE=(IIX)*NY+IYY
      IF (IIX.EQ.NX) GCE=IYY
      GCNE=GCE+1
      GCSE=GCE-1
      GRRN=F(LORV+GCP)
      GRRS=F(LORV+GCS)
      GRN=F(LORG+GCP)
      GRS=F(LORG+GCS)
      GMFACH=C.25*RHO1*
        ((F(LOML+GCP)+F(LOMT+GCP)+F(LOML+GCN)
          +F(LOMT+GCN))*F(LOAR+GCP)
          - (F(LOML+GCE)+F(LOMT+GCE)+F(LOML+GCNE)
            +F(LOMT+GCNE))*F(LOAR+GCE))
      GMFACS=C.25*RHO1*
        ((F(LOML+GCP)+F(LOMT+GCP)+F(LOML+GCS)
          -F(LOMT+GCS))*F(LOAR+GCS)
          +F(LOML+GCE)+F(LOMT+GCE)+F(LOML+GCSE)
            +F(LOMT+GCSE))*F(LOAR+GCSE))
      IF (IYY.LT.(NY-1)) THEN
        F(LQ3+GCP)=GMFACH*(2*GRRN-GRN)/(GRP*(GRN-GRP))
        F(LQLAN+GCP)=0
      END IF
      IF (IYY.GT.1) THEN
        F(LQ4-GCP)=GMFACS*(2*GRRS-GRS)/(GRP*(GRP-GRS))
        F(LQLAS+GCP)=0
      END IF
    END DO
  END DO
END IF
END IF

```

RETURN  
 --- GROUP 13. Boundary conditions and special sources  
 Index for Coefficient - CO  
 Index for Value - VAL

```

13 CONTINUE
----- SECTION 1 ----- coefficient = GRND
.....

```

COEFICIENTE PARA SOLIDO EN MOVIMIENTO  
 Cuando tengo solidos en movimiento, debo identificar las posiciones  
 en cada paso temporal de los alabes o de los baffles , en caso de  
 movimiento relativo.  
 Los limites quedaran marcados a la izquierda con JI(\*) y a la derecha con  
 JD(\*), la programacion esta hecha para tener un maximo de tres objetos en  
 movimiento.  
 JE(\*) y JW(\*) indican las celdas vecinas al este y al oeste del objeto.  
 RG(1) es la velocidad angular del solido en movimiento.  
 IF (NPATCH(1:5).EQ.'GSOLM'.AND.(.NOT.STEADY)) THEN  
 SCM=RG(1)  
 \*\*\* Definicion del coeficiente para las celdas que corresponden

###

```

a los solidos
CALL GETPTC(NPATCH,GTIPO,JIX1,JIX2,JY1,JY2,JZ1
,JZ2,JIT1,JIT2)
LLOC=LCPVAR(CO,IPNAME(NPATCH),0)
LLOC=LCP(C16)
LIX=JIX1,JIX2
LIY=JY1,JY2
GCP=(LIX-1)*NY+LIY
E=(LIX)*NY-LIY
IF (LIX.EQ.NX) GCE=LIY
F=LOCO-GCP,=-FIXVAL*(F(LCC16-GCP)-1.0)
IF (INDVAR.EQ.U1) THEN
IF (F(LCC16-GCE).EQ.0.0) F=LOCO+GCP=FIXVAL
END IF
END DO
END IF

```

```

.....
.....

```

```

----- SECTION 2 ----- coefficient = GRND1
.....
.....

```

Se corrige el coeficiente ap de la ecuacion de la velocidad tangencial para los terminos convectivos, ya que en este caso el coeficiente no se puede calcular con la suma de los vecinos pues hay que cambiar el factor de los radios. El patch debe ser tipo CELL con Value=0.

```

IF (NPATCH(1:5).EQ.'GCONV') THEN
IF (INDVAR.EQ.V1) THEN
CALL GETPTC(NPATCH,GTIPO,JIX1,JIX2,JY1,JY2,JZ1
,JZ2,JIT1,JIT2)
LLOC=LCPVAR(CO,IPNAME(NPATCH),0)
LLOC=LCP(PV2D)
LLOC=LCP(RG2D)
LLOC=LCP(LBNAME('GFNV'))
LLOC=LCP(LBNAME('GFSV'))
LIX=JIX1,JIX2
LIY=JY1,JY2
GCP=(LIX-1)*NY+LIY
LGN=GCP-1
GCS=GCP-1
GRNN=F(LORV+GCP)
GRN=F(LORG+GCP)
GRP=F(LORG+GCP)
GRS=F(LORV+GCS)
GRR=F(LORV+GCP)
GFN=F(LOFN+GCP)
GFS=F(LOFS+GCP)
GCOEF1=0.0
GCOEF2=0.0
GCOEF=0.0
IF (LIY.LT.NY) THEN
GCOEF1=MAX(0,GFN)*GRR/GRN-MAX(0,-GFN)*GRNN/GRN
GCOEF=GCOEF-GCOEF1
END IF
IF (LIY.GT.1) THEN
GCOEF2=MAX(0,-GFS)*GRR/GRP-MAX(0,GFS)*GRS/GRP
GCOEF=GCOEF+GCOEF2
END IF
F(LOCO+GCP)=GCOEF
END DO
END IF
END IF

```

```

.....
.....

```

Se corrige el coeficiente ap de la ecuacion de la velocidad tangencial para los terminos convectivos, ya que en este caso el coeficiente no se puede calcular con la suma de los vecinos pues hay que cambiar el factor de los radios. El patch debe ser tipo CELL con Value=0.

```

IF (NPATCH(1:5).EQ.'GCONV') THEN
IF (INDVAR.EQ.U1) THEN
CALL GETPTC(NPATCH,GTIPO,JIX1,JIX2,JY1,JY2,JZ1

```

```

, JIZ2, JIT1, JIT2)
LOCO=L0PVAR(CO, IPNAME(NPATCH), 0)
LORV=L0F(RV2D)
LORG=L0F(RG2D)
LOFN=L0F(LBNAME('GFNU'))
LOFS=L0F(LBNAME('GFSU'))
DO IIX=JIX1, JIX2
  DO IYY=JIY1, JIY2
    GCP=(IIX-1)*NY+IYY
    GCN=GCP+1
    GCS=GCP-1
    GRN=F(LORG+GCN)
    GRP=F(LORG+GCP)
    GRSS=F(LORG+GCS)
    GRS=F(LORV+GCS)
    GRR=F(LORV+GCP)
    GFN=F(LOFN+GCP)
    GFS=F(LOFS+GCP)
    GCOEF1=0.0
    GCOEF2=0.0
    GCOEF=0.0
    IF (IYY.LT.NY) THEN
      GCOEF1=MAX(0, GFN)*GRR/GRP-MAX(0, -GFN)*GRR/GRN
      GCOEF=GCOEF+GCOEF1
    END IF
    IF (IYY.GT.1) THEN
      GCOEF2=MAX(0, -GFS)*GRS/GRP-MAX(0, GFS)*GRS/GRSS
      GCOEF=GCOEF+GCOEF2
    END IF
    F(LOCO-GCP)=GCOEF
  END DO
END DO
END IF
END IF

```

.....  
 .....  
 .....

Se anfia la aproximacion para el termino fuente viscoso en direccion radial. El patch debe ser tipo CELL, con Value=0. Para la velocidad radial

```

IF NPATCH(1:5, .EQ. 'GDIFV') THEN
  IF (INDVAR.EQ.V1) THEN
    CALL GETPTC(NPATCH, GTIPO, JIX1, JIX2, JIY1, JIY2, JIZ1, JIZ2, JIT1, JIT2)
    LOCO=L0PVAR(CO, IPNAME(NPATCH), 0)
    LOML=L0F(VISL)
    LOMT=L0F(VIST)
    LORV=L0F(RV2D)
    LORG=L0F(RG2D)
    LODV=L0F(DYG2D)
    LOUV=L0F(ZU2D)
    LOFN=L0F(LBNAME('GFNV'))
    LOFS=L0F(LBNAME('GFSV'))
    LODN=L0F(LBNAME('GDNV'))
    LODS=L0F(LBNAME('GDSV'))
    DO IIX=JIX1, JIX2
      DO IYY=JIY1, JIY2
        GCP=(IIX-1)*NY+IYY
        GCN=GCP+1
        GCS=GCP-1
        GCW=(IIX-2)*NY+IYY
        IF (IIX.EQ.1) GCW=(IX-1)*NY+IYY
        GFN=F(LOFN+GCP)
        GFS=F(LOFS+GCP)
        GDN=F(LODN+GCP)
        GDS=F(LODS+GCP)
        GRNV=F(LORV+GCN)
        GRN=F(LORG+GCN)
        GRR=F(LORV+GCP)
        GRP=F(LORG+GCP)
        GRS=F(LORV+GCS)
        GVISCP=F(LOML+GCP)+F(LOMT+GCP)
        GVISCN=F(LOML+GCN)+F(LOMT+GCN)
        GCOEF1=GVISCP*LOG(GRR/GRP)+GVISCN*LOG(GRN/GRR)
        IF (IYY.EQ.NY) GCOEF1=0
        GCON=GVISCN*(1/GRR-1/GRN)
        GCOS=GVISCP*(1/GRP-1/GRR)
        GCOEF2=GRR*(GCON+GCOS)
      END DO
    END DO
  END IF

```



```

        IF (IIY.EQ.NY) GCOEF2=0
        GCOEF2=0
        GDTET=F(LCUX+GCP)-F(LOU)-GCW
        IF (IIX.EQ.1) GDTET=F(LOUX+GCP)
        F(LOCO-GCP)=RHO1*(-GCOEF1-GCOEF2)*GDTET*DZ
    END DO
END EC
END IF
END IF
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
NLE
Se agrega el efecto viscoso en la cara norte de la celda
para la velocidad radial
El patch debe ser tipo CELL con Value=GRND1 tambien.
IF (NPATCH(1:5).EQ.'GDNFV') THEN
    IF (INDVAR.EQ.V1) THEN
        CALL GETPTC(NPATCH,GTIPO,JIX1,JIX2,JIY1,JIY2,JIZ1
                    ,JIZ2,JIT1,JIT2)
        LOCC=LQPVAR(CO,IPNAME(NPATCH),G,
        LODN=LOF(LBNAME('GDNV'))
        DO IIX=JIX1,JIX2
            DO IIY=JIY1,JIY2
                GCP=(IIX-1)*NY+IIY
                GDN=F(LODN+GCP)
                GCOEF2=GDN
                IF (IIY.EQ.NY) GCOEF2=0
                F(LOCO-GCP)=GCOEF2
            END DO
        END DO
    END IF
END IF
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
NLE
Se agrega el efecto viscoso en la cara sur de la celda
para la velocidad radial
El patch debe ser tipo CELL con Value=GRND1 tambien.
IF (NPATCH(1:5).EQ.'GDSFV') THEN
    IF (INDVAR.EQ.V1) THEN
        CALL GETPTC(NPATCH,GTIPO,JIX1,JIX2,JIY1,JIY2,JIZ1
                    ,JIZ2,JIT1,JIT2)
        LOCC=LQPVAR(CO,IPNAME(NPATCH),0)
        LODS=LOF(LBNAME('GDSV'))
        DO IIX=JIX1,JIX2
            DO IIY=JIY1,JIY2
                GCP=(IIX-1)*NY+IIY
                GDS=F(LODS+GCP)
                GCOEF2=GDS
                IF (IIY.EQ.NY) GCOEF2=0
                F(LOCO-GCP)=GCOEF2
            END DO
        END DO
    END IF
END IF
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
NLE
Se agrega el efecto viscoso en la cara norte de la celda
para la velocidad tangencial
El patch debe ser tipo CELL con Value=GRND1 tambien.
IF (NPATCH(1:5).EQ.'GDNFU') THEN
    IF (INDVAR.EQ.U1) THEN
        CALL GETPTC(NPATCH,GTIPO,JIX1,JIX2,JIY1,JIY2,JIZ1
                    ,JIZ2,JIT1,JIT2)
        LOCC=LQPVAR(CO,IPNAME(NPATCH),0)
        LODN=LOF(LBNAME('GDNV'))
        DO IIX=JIX1,JIX2
            DO IIY=JIY1,JIY2
                GCP=(IIX-1)*NY+IIY
                GDN=F(LODN+GCP)
                GCOEF2=GDN
                IF (IIY.EQ.NY) GCOEF2=0
                F(LOCO+GCP)=GCOEF2
            END DO
        END DO
    END IF
END IF

```



```

        , JIZ2, JIT1, JIT2)
        IF (PG2D)
            INDVAP)
            ...
        II=JIX1, JIX2
        IY=JIY1, JIY2
        GP=(IIX-1)*NY+IIY
        IF (INDVAP.EQ.U1) THEN
            LOGAL+GCP,=GOM*(LORAD+GCP)
        ELSE
            LOGAL+GCP)=0.0
        END IF
    END DO
END SUB

```

```

-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
        APOE PARA FUENTES ROTATORIAS
        IF (I3.EQ.'GDR') THEN
            LOGAL=LORVAR VAL, IPNAME(NPATCH), 0)
            GETPTC(NPATCH, GTIPO, JIX1, JIX2, JIY1, JIY2, JIZ1
                , JIZ2, JIT1, JIT2)
            INDVAP)
            ...
        II=JIX1, JIX2
        IY=JIY1, JIY2
        GP=(IIX-1)*NY+IIY
        IF (INDVAP.EQ.U1) THEN
            LOGAL+GCP,=GOM*(LORAD+GCP)
        ELSE
            LOGAL+GCP)=0.0
        END IF
    END DO
END SUB

```

```

-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
        DEFINICION DE PRIMER ORDEN DE LA DERIVADA TEMPORAL
        EN EL SNAPSHOT
        El valor debe comenzar con las letras GSNAP.
        El valor debe ser del tipo PHASEM
        El coeficiente debe ser FIZFLU
        NOTA: LA DEFINICION ESTA HECHA PARA SIMULACIONES CON "XCICLE=T"
        Para los cilindros suponemos que el sistema movil se encuentra
        girando a velocidad angular constante OME, sobre el eje Z.
        El termino de derivada temporal y la fuente quedan:
         $\frac{\partial \phi}{\partial t} = OME * a(Vel) / d(teta)$ 
         $\phi = PHO * WD * OME * a(Vel) / d(teta)$ 
        La notacion debe usar del arreglo F para evaluar las derivadas.

```

```

        IF (NPATCH.I3.EQ.'GSNAP') THEN
            GETPTC(NPATCH, GTIPO, JIX1, JIX2, JIY1, JIY2, JIZ1
                , JIZ2, JIT1, JIT2)
            GOM=PG 1
            IF (INDVAP.EQ.U1) THEN
                LOGAL=LORVAR VAL, IPNAME(NPATCH), 0)
                LOGU=LORU*U1
                LOGG=LORG/XJ2D
                LOGC=LORC*C1
                DO IIX=JIX1, JIX2
                    DO IY=JIY1, JIY2
                        GCP=(IIX-1)*NY+IIY
                        GCE=IIX*NY+IIY
                        GCW=(IIX-2)*NY+IIY
                        IF (IIX.EQ.NX) GCE=IIY
                        IF (IIX.EQ.1) GCW=(NX-1)*NY+IIY
                        GXE=F(LOGU+GCE)-F(LOGU+GCP)
                        GXW=F(LOGU-GCP)-F(LOGU+GCW)
                        IF (IIX.EQ.NX) GXE=F(LOGU+IIY)
                        IF (IIX.EQ.1) GXW=F(LOGU+GCP)
                        GUE=F(LOU1+GCE)
                        GJP=F(LOU1+GCP)
                        GJW=F(LOU1+GCW)
                    END DO
                END DO
            END IF
        END IF
    END SUB

```

```

        IF (GOM.GT.0.0) THEN
            GDD=(GUE-GUP)/GXE
        ELSE
            GDD=(GUP-GUW)/GXW
        END IF
        F(LOVAL+GCP)=GDD*GOM*F(LOC1+GCP)
    END DO
END DO
ELSEIF ((INDVAR.EQ.12).OR.(INDVAR.EQ.13)) THEN
    LOVAL=LOPVAR(VAL,IPNAME(NPATCH),0)
    LCV1=LOF(INDVAR)
    LOGP=LOF(XG2D)
    LOGU=LOF(XU2D)
    LOC1=LOF(C1)
    DO IIX=JIX1,JIX2
        DO IYY=JIY1,JIY2
            GCP=(IIX-1)*NY+IIY
            GCE=(IIX)*NY+IIY
            GCW=(IIX-2)*NY+IIY
            IF (IIX.EQ.NX) GCE=IIY
            IF (IIX.EQ.1) GCW=(NX-1)*NY+IIY
            GXE=F(LOGP+GCE)-F(LOGP+GCP)
            GXW=F(LOGP+GCP)-F(LOGP+GCW)
            IF (IIX.EQ.NX) GXE=F(LOGP+GCE)+F(LOGU+GCP)-F(LOGP+GCP)
            IF (IIX.EQ.1) GXW=F(LOGP+GCP)+F(LOGU+GCW)-F(LOGP+GCW)
            GVE=F(LOV1+GCE)
            GVP=F(LOV1+GCP)
            GVW=F(LOV1+GCW)
            IF (GOM.GT.0) THEN
                GDD=(GVE-GVP)/GXE
            ELSE
                GDD=(GVP-GVW)/GXW
            END IF
            F(LOVAL+GCP)=GDD*GOM*F(LOC1+GCP)
        END DO
    END DO
ELSE
    LOVAL=LOPVAR(VAL,IPNAME(NPATCH),0)
    LCV1=LOF(INDVAR)
    LOGP=LOF(XG2D)
    LOGU=LOF(XU2D)
    LOC1=LOF(C1)
    DO IIX=JIX1,JIX2
        DO IYY=JIY1,JIY2
            GCP=(IIX-1)*NY+IIY
            GCE=(IIX)*NY+IIY
            GCW=(IIX-2)*NY+IIY
            IF (IIX.EQ.NX) GCE=IIY
            IF (IIX.EQ.1) GCW=(NX-1)*NY+IIY
            GXE=F(LOGP+GCE)-F(LOGP+GCP)
            GXW=F(LOGP+GCP)-F(LOGP+GCW)
            IF (IIX.EQ.NX) GXE=F(LOGP+GCE)+F(LOGU+GCP)-F(LOGP+GCP)
            IF (IIX.EQ.1) GXW=F(LOGP+GCP)+F(LOGU+GCW)-F(LOGP+GCW)
            GVE=F(LOV1+GCE)
            GVP=F(LOV1+GCP)
            GVW=F(LOV1+GCW)
            IF (GOM.GT.0) THEN
                GDD=(GVE-GVP)/GXE
            ELSE
                GDD=(GVP-GVW)/GXW
            END IF
            F(LOVAL+GCP)=GDD*GOM*F(LOC1+GCP)
        END DO
    END DO
END IF
END IF
.....
RETURN
3.2 CONTINUE
----- SECTION 13 ----- value = GRND1
.....
) ALL

```

Para agregar el efecto viscoso en la cara norte de la celda.  
para la velocidad radial  
IF (NPATCH(1:5).EQ.'GDNFV') THEN  
IF (INDVAR.EQ.V1) THEN

```

CALL GETPTC(NPATCH,GTIPO,JIX1,JIX2,JIY1,JIY2,JIZ1
,JIZ2,JIT1,JIT2)
LOVA=LOPVAR(VAL,IPNAME(NPATCH),0)
LOV=LOF(V1)
DO IIX=JIX1,JIX2
  IO IIY=JIY1,JIY2
    GCP=(IIX-1)*NY+IIY
    GCN=GCP-1
    F(LOVA-GCP)=F(LOV+GCN)
  END IO
END DO
END IF
END IF

```

```

.....
.....
* Para agregar el efecto viscoso en la cara sur de la celda.
* Para la velocidad radial
IF (NPATCH(1:5).EQ.'GDSEV') THEN
  IF (INDVAR.EQ.U1) THEN
    CALL GETPTC(NPATCH,GTIPO,JIX1,JIX2,JIY1,JIY2,JIZ1
,JIZ2,JIT1,JIT2)
    LOVA=LOPVAR(VAL,IPNAME(NPATCH),C)
    LOV=LOF(V1)
    DO IIX=JIX1,JIX2
      IO IIY=JIY1,JIY2
        GCP=(IIX-1)*NY-IIY
        GCS=GCP-1
        F(LOVA-GCP)=F(LOV+GCS)
      END IO
    END DO
  END IF
END IF

```

```

.....
.....
* Para agregar el efecto viscoso en la cara norte de la celda
* Para la velocidad tangencial
IF (NPATCH(1:5).EQ.'GDNFU') THEN
  IF (INDVAR.EQ.U1) THEN
    CALL GETPTC(NPATCH,GTIPO,JIX1,JIX2,JIY1,JIY2,JIZ1
,JIZ2,JIT1,JIT2)
    LOVA=LOPVAR(VAL,IPNAME(NPATCH),0)
    LOU=LOF(U1)
    LORG=LOF(RG2D)
    LORV=LOF(RV2D)
    DO IIX=JIX1,JIX2
      DO IIY=JIY1,JIY2
        GCP=(IIX-1)*NY+IIY
        GCN=GCP+1
        GRRN=F(LORV+GCP)
        GRP=F(LORG+GCP)
        GRN=F(LORG+GCN)
        F(LOVA+GCP)=F(LOU+GCN)*GRP*(2*GRRN-GRP)/
          (GRN*(2*GRRN-GRN))
      END DO
    END DO
  END IF
END IF

```

```

.....
.....
* Para agregar el efecto viscoso en la cara sur de la celda.
* Para la velocidad tangencial
IF (NPATCH(1:5).EQ.'GDSEFU') THEN
  IF (INDVAR.EQ.U1) THEN
    CALL GETPTC(NPATCH,GTIPO,JIX1,JIX2,JIY1,JIY2,JIZ1
,JIZ2,JIT1,JIT2)
    LOVA=LOPVAR(VAL,IPNAME(NPATCH),0)
    LOU=LOF(U1)
    LORG=LOF(RG2D)
    LORV=LOF(RV2D)
    DO IIX=JIX1,JIX2
      DO IIY=JIY1,JIY2
        GCP=(IIX-1)*NY+IIY
        GCS=GCP-1
        GRRS=F(LORV+GCS)
        GRP=F(LORG+GCP)
      END DO
    END DO
  END IF
END IF

```

```

GRS=F(LORG+GCS)
F(LOVA+GCP)=F(LOU+GCS)*GRP*(2*GRRS-GRP)/
(GRS*(2*GRRS-GRS))
END DO
END DO
END IF
END IF
.....
.....

```

31E Se corrige la fuente extra convectiva debida a la velocidad tang.  
en la ecuacion de la velocidad radial.

```

El patch debe ser tipo CELL y el Coef=FIXFLU.
IF (NPATCH(1:5).EQ.'GCECO') THEN
IF (INDVAR.EQ.V1) THEN
CALL GETPTC(NPATCH,GTIPO,JIX1,JIX2,JIY1,JIY2,JIZ1
,JIZ2,JIT1,JIT2)
LOVA=L0PVAR(VAL,IPNAME(NPATCH),0)
LOU=LOF(U1)
LORV=LOF(RV2D)
LORG=LOF(RG2D)
LODY=LOF(DYG2D)
LOUX=LOF(XU2D)
DO IIX=JIX1,JIX2
DO IYY=JIY1,JIY2
GCP=(IIX-1)*NY+IYY
GCN=GCP+1
GCW=(IIX-2)*NY+IYY
IF (IIX.EQ.1) GCW=(NX-1)*NY+IYY
GCWN=GCW+1
GRR=F(LORV+GCP)
GRP=F(LORG+GCP)
GRN=F(LORG+GCN)
GUEN=(F(LOU+GCP)+F(LOU+GCN))/2.0
GUWN=(F(LOU+GCW)+F(LOU+GCWN))/2.0
GVAL1=(GUEN*MAX(0,GUWN)-GUEN*MAX(0,-GUEN))
GVAL1=GVAL1*F(LODY+GCP)
GOMEN=(F(LOU+GCP)/GRP+F(LOU+GCN)/GRN)/2.0
GOMWN=(F(LOU+GCW)/GRP+F(LOU+GCWN)/GRN)/2.0
GOMPR=(GOMEN+GOMWN)/2.0
GVAL2=(GOMPR**2)*(GRN**3-GPP**3)/3.0
GDTET=F(LOUX+GCP)-F(LOUX+GCW)
IF (IIX.EQ.1) GDTET=F(LOUX+GCP)
F(LOVA+GCP)=RHO1*DZ*GDTET*(GVAL2-GVAL1)
END DO
END DO
END IF
END IF
.....
.....

```

32F Se corrige la fuente extra convectiva debida a la velocidad radial  
en la ecuacion de la velocidad tangencial.

```

El patch debe ser tipo CELL y el Coef=FIXFLU.
IF (NPATCH(1:5).EQ.'GCECO') THEN
IF (INDVAR.EQ.U1) THEN
CALL GETPTC(NPATCH,GTIPO,JIX1,JIX2,JIY1,JIY2,JIZ1
,JIZ2,JIT1,JIT2)
LOVA=L0PVAR(VAL,IPNAME(NPATCH),0)
LOU=LOF(U1)
LOV=LOF(V1)
LOAE=LOF(AEAST)
LOUX=LOF(XU2D)
DO IIX=JIX1,JIX2
DO IYY=JIY1,JIY2
GCP=(IIX-1)*NY+IYY
GCN=GCP+1
GCS=GCP-1
GCE=(IIX)*NY+IYY
IF (IIX.EQ.NX) GCE=IYY
GCSE=GCE-1
GCW=(IIX-2)*NY+IYY
IF (IIX.EQ.1) GCW=(NX-1)*NY+IYY
IF (IYY.EQ.1) THEN
GVPRW=F(LOV+GCP)
GVPRE=F(LOV+GCE)
ELSEIF (IYY.EQ.NY) THEN
GVPRW=F(LOV+GCS)

```

```

GVPRE=F.LOV+GCSE)
ELSE
GVPRW=(F(LOV+GCP)+F(LOV+GCS))/2.0
GVPRE=(F(LOV+GCE)+F(LOV+GCSE))/2.0
END IF
GUMW=PHOI*(F(LOU-GCP)+F(LOU+GCW))/2.0+F(LOAE+GCW)
GUME=RHOI*(F(LOU+GCP)+F(LOU+GCE))/2.0+F(LOAE+GCP)
DTWE=(F(LOUX+GCP)-F(LOUX+GCW))/2.0
IF (II/.EQ.1) DTWE=F(LOUX+GCP)/2.0
DTEE=(F(LOUX+GCE)-F(LOUX+GCP))/2.0
IF (III/.EQ.NN) DTEE=F(LOUX+GCE)/2.0
F(LOVA-GCP,=-2*(SIN(DTEE)*GVPRE*MAX(0,-GUME)-
SIN(DTWE)*GVPRW*MAX(0,GUMW))
END DO
END DO
END IF
END IF

```

```

-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
: FUPN
CONTINUE
----- SECTION 15 ----- value = GRND3
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

```

Calculo del par viscoso sobre los solidos
IF (INDVAR.EQ.C20).OR.(INDVAR.EQ.C21) THEN
IF (ISTEP.LT.LSTEP) THEN
CALL ENI(VAL,C.C)
ELSEIF (ISWEEP.LT.(LSWEEP-1)) THEN
CALL ENI(VAL,C.C)
ELSE
LOU1=LOF(U1)
LOU2=LOF(V1)
LOW1=LOF(W1)
LOUSUP=LOF(PIGH,J1)
LOUINF=LOF(LOW,U1)
LOWSUP=LOF(PIGH,V1)
LOVINP=LOF(LOW,V1)
LOWINF=LOF(LOW,W1)
LOMORT=LOF(ANCRTH)
LOHIGH=LOF(AHIGH)
LORADU=LOF(RG2D)
LORADV=LOF(RV2D)
LOVAL=LOPVAR(VAL,IPNAME(NPATCH),0)
LOSKIN=LOPVAR(PVSKIN,IPNAME(NPATCH),0)
LORIVL=LOPVAR(PVRLVL,IPNAME(NPATCH),0)
LOSTRS=LOPVAR(PVSTRS,IPNAME(NPATCH),0)
IF (INDVAR.EQ.C20) THEN
LOCVE=LOF(C22)
LOCHO=LOF(C23)
ELSE
LOCVE=LOF(C24)
LOCHO=LOF(C25)
ENDIF
CALL GETPTC(NPATCH,GTIPO,JIX1,JIX2,JIY1,JIY2,JIZ1
,JIZ2,JIT1,JIT2)
JNY=JIY2-JIY1+1
GCHEX=0.0
GCMIN=RG(1)
DO IIX=JIX1,JIX2
JXJ=IIX-JIX1+1
DO IIY=JIY1,JIY2
JYJ=IIY-JIY1+1
JCV=(IIX-1)*NY-IIY
JCP=(JXJ-1)*JNY-JYJ
IF ((GTIPO.EQ.17).OR.(GTIPO.EQ.18)) THEN
GFAC=0.0
ELSEIF (GTIPO.EQ.19) THEN
JCN=JCV+1
JCW=(IIX-2)*NY+IIY
IF (IIX.EQ.1) JCW=(NX-1)*NY+IIY
UVEL=(F(LOU1+JCV)+F(LOU1+JCW))/2.0
IF (INDVAR.EQ.C20) THEN
UVEL1=-UVEL+GOMIN*F(LORADU+JCV)

```

```

ELSE
  UVEL1=-UVEL+GOMEX*F(LORADU+JCV)
END IF
GFAC=F(LORLVL+JCP)*UVEL1*F(LOHORT+JCV)*F(LORADV+JCV)

ELSEIF (GTIPO.EQ.20) THEN
  JCS=JCV-1
  JCW= IIX-2)*NY+IIY
  IF IIX.EQ.1) JCW=(NX-1,*NY+IIY

  UVEL=(F(LOU1+JCV)+F(LOU1+JCW))/2.0
  IF INDVAR.EQ.C20) THEN
    UVEL1=-UVEL+GOMIN*F(LORADU+JCV)
  ELSE
    UVEL1=-UVEL+GOMEX*F(LORADU+JCV)
  END IF
  GFAC=F(LORLVL+JCP)*UVEL1*F(LOHORT+JCS)*F(LORADV+JCS)

ELSEIF (GTIPO EQ.21) THEN
  JCW=(IIX-2)*NY+IIY
  JCS=JCV-1
  IF IIX.EQ.1) JCW=(NX-1)*NY+IIY
  IF IIY.EQ.1) JCS=JCV

  UVEL=(F(LOU1+JCV)+F(LOU1+JCW))/2.0
  IF INDVAR.EQ.C20) THEN
    UVEL=-UVEL+F(LORADU+JCV)*GOMIN
  ELSE
    UVEL=-UVEL+F(LORADU+JCV)*GOMEX
  END IF
  GFAC=UVEL*F(LORLVL+JCP)*F(LOHIGH+JCV)*F(LORADU+JCV)

ELSEIF (GTIPO.EQ.22) THEN
  JCW=(IIX-2)*NY+IIY
  JCS=JCV-1
  IF IIX.EQ.1) JCW=JCV
  IF IIY.EQ.1) JCS=JCV

  UVEL=(F(LOU1+JCV)+F(LOU1+JCW))/2.0
  IF INDVAR.EQ.C20) THEN
    UVEL=-UVEL+F(LORADU+JCV)*GOMIN
  ELSE
    UVEL=-UVEL+F(LORADU+JCV)*GOMEX
  END IF
  GFAC=F(LORLVL+JCP)*UVEL*F(LOHIGH+JCV)*F(LORADU+JCV)

END IF
F(LOVAL+JCV)=F(LOSTRS+JCP)*GFAC
IF ((GTIPO.EQ.19).OR.(GTIPO.EQ.20)) THEN
  F(LOCVE+JCV)=GFAC*F(LOSKIN+JCP)*RH01
ELSEIF ((GTIPO.EQ.21).OR.(GTIPO.EQ.22)) THEN
  F(LJCHO+JCV)=GFAC*F(LOSKIN+JCP)*RH01
END IF
END DO
END DO
END IF
END IF
-----
RETURN
-- GROUP 19. Special calls to GROUND from EARTH
CONTINUE
----- SECTION 3 ----- Start of 12 slab.
-----
CALL
Colocacion de las marcas de los solidos que se mueven
IF (LG(6)) THEN
  IF (ISWEEP.EQ.1) THEN
=== Localizacion de las celdas que corresponden a los solidos ===
  SOM=RG(1)

  JB1=ISTEP*IG(18)
  JB2=(JB1-1)/NX
  JB3=JB1-JB2*NX

```



```

JB1=JB3-IG(20)
IF GCM.LT.0.0) THEN
  JB1=IG(20)-JB3
END IF
IF JB1.LT.1) THEN
  JB1=NX-JB1
END IF
JD=(JB1-1)/NX
JD1=JB1-JB2*NX
IF IG(16).GT.1) THEN
  JB1=JD(1)+IG(15)
  JB2=(JB1-1)/NX
  JD12=JB1-JB2*NX
  IF IG(16).GT.2) THEN
    JB1=JD(2)+IG(15)
    JB2=(JB1-1)/NX
    JD13=JB1-JB2*NX
  ELSE
    JD13=JD(2)
  END IF
ELSE
  JD12=JD(1)
  JD13=JD(1)
END IF
END IF
JD1=JD(1)-IG(9)+1
JD2=JD(2)-IG(9)+1
JD3=JD(3)-IG(9)+1
IF JD1.LT.1) JI(1)=NX+JI(1)
IF JD2.LT.1) JI(2)=NX+JI(2)
IF JD3.LT.1) JI(3)=NX+JI(3)

JW1=JI(1)-1
JW2=JI(2)-1
JW3=JI(3)-1
IF JW1.LT.1) JW1=NX
IF JW2.LT.1) JW2=NX
IF JW3.LT.1) JW3=NX

JE1=JD(1)+1
JE2=JD(2)+1
JE3=JD(3)+1

CALL FNI(C16,1.0)

LOC14=LOF(C14)
LOC16=LOF(C16)
DO IY=1,NX
  DO II=1,NY
    GCP=(IY-1)*NY+IIY
    IF (JD(1).GE.JI(1)) THEN
      IF((IIX.GE.JI(1)).AND.(IIX.LE.JD(1))) THEN
        F(LOC16+GCP)=F(LOC14+GCP)
      END IF
    ELSE
      IF((IIX.GE.JI(1)).OR.(IIX.LE.JD(1))) THEN
        F(LOC16+GCP)=F(LOC14+GCP)
      END IF
    END IF
  IF IG(16).GT.1) THEN
    IF (JD(2).GE.JI(2)) THEN
      IF((IIX.GE.JI(2)).AND.(IIX.LE.JD(2))) THEN
        F(LOC16+GCP)=F(LOC14+GCP)
      END IF
    ELSE
      IF((IIX.GE.JI(2)).OR.(IIX.LE.JD(2))) THEN
        F(LOC16+GCP)=F(LOC14+GCP)
      END IF
    END IF
  IF IG(16).GT.2) THEN
    IF (JD(3).GE.JI(3)) THEN
      IF((IIX.GE.JI(3)).AND.(IIX.LE.JD(3))) THEN
        F(LOC16+GCP)=F(LOC14+GCP)
      END IF
    END IF
  END IF

```

```

ELSE
  IF ((IIX.GE.JI(3)).OR.(IIX.LE.JD(3))) THEN
    F(LOC16+GCP)=F(LOC14+GCP)
  END IF
END IF
END IF
END DO
END DO
END IF
END IF
RETURN
END CONTINUE
----- SECTION 6 ---- Finish of 17 slab.
-----
ALE
CALCULOS AL FINAL DE LA SIMULACION
IF (ISWEEP.EQ.LSWEEP) THEN
  CALL ENG(C34, RG2D)
  CALL ENG(C35, RV2D)
  GCM=RG*1)
  IF (LG(20).OR.LG(8)) THEN
    CALL FHO(GRSP1,U1)
    CALL FN34(GRSP1, RG2D, -1.0*GCM)
    IF LG(8)) THEN
      CALL FN2(C6,U1,0.0,1/(RG(1)*RG(20)))
      CALL FN2(C7,V1,0.0,1/(RG(1)*RG(20)))
      CALL FN2(C8,W1,0.0,1/(RG(1)*RG(20)))
    END IF
    IF (LG(20)) THEN
      LOU1=LOF(U1)
      LOV1=LOF(V1)
      LOW1=LOF(W1)
      LOC11=LOF(C11)
      LOC12=LOF(C12)
      LOC13=LOF(C13)
      LOXU=LOF(XU2D)
      DO IIX=1,NY
        GUPROM=0.0
        GVPRM=0.0
        GWPRM=0.0
        DO IIX=1,NX
          GDIST=F(LOXU+(IIX-1)*NY+IIX,-F(LOXU+(IIX-2)*NY+IIX)
          IF (IIX EQ.1) THEN
            GDIST=F(LOXU+IIX)
          END IF
          GUPROM=GUPROM+F(LOU1+ IIX-1)*NY+IIX)*GDIST
          GVPRM=GVPRM+F(LOV1+ IIX-1)*NY+IIX)*GDIST
          GWPRM=GWPRM+F(LOW1+ IIX-1)*NY+IIX)*GDIST
        END DO
        GDTOT=F(LOXU+(NX-1)*NY+IIX)
        GUPROM=GUPROM/GDTOT/(RG(1)*RG(20))
        GVPRM=GVPRM/GDTOT/(RG(1)*RG(20))
        GWPRM=GWPRM/GDTOT/(RG(1)*RG(20))
        DO IIX=1,NX
          F(LOC11+(IIX-1)*NY+IIX)=GUPROM
          F(LOC12+(IIX-1)*NY+IIX)=GVPRM
          F(LOC13+(IIX-1)*NY+IIX)=GWPRM
        END DO
      END IF
    END IF
    IF (LG(3)) THEN
      LOPU=LOF(RG2D)
      LOAE=LOF(AEAST)
      LOPRE=LOF(P1)
      LOC14=LOF(C14)
      LOC1=LOF(C1)
      LOC16=LOF(C16)
      LOC30=LOF(C30)
      LOC22=LOF(C22)
      LOC23=LOF(C23)
      LOC24=LOF(C24)
      LOC25=LOF(C25)
      IF (IZSTEP.GT.1) LOA30=LOF(LOW(C30))
      F(LOC30+1)=0.0

```

```

F(LOC30-2)=0.0
F(LOC30-3)=0.0
F(LOC30+4)=0.0
DO IIX=1,NX
  DO IYY=1,NY
    GCP=(IIX-1)*NY+IYY
    GCE=(IIX)*NY+IYY
    GCW=(IIX-2)*NY+IYY
    IF (IIX.EQ.1) GCW=(NX-1)*NY+IYY
    IF (IIX.EQ.NX) GCE=IYY
    IF (LG(6)) THEN
      GPA=(F(LOC14+GCP)-1.0)*F(LOC16+GCP)*
        (F(LOC16+GCE)-1.0)
      GPD=(F(LOC14+GCP)-1.0)*F(LOC16+GCP)*
        (F(LOC16+GCW)-1.0)
    ELSE
      GPA=(F(LOC14+GCP)-1.0)*F(LOC1+GCP)*
        (F(LOC1+GCE)-1.0)
      GPD=(F(LOC14+GCP)-1.0)*F(LOC1+GCP)*
        (F(LOC1+GCW)-1.0)
    END IF
    F(LOC30+1)=F(LOC30+1)+F(LOPRE+GCP)*F(LOAE+GCP)
      *F(LORU+GCP)*(GPD-GPA)
    F(LOC30+2)=F(LOC30+2)+F(LOC22+GCP)+F(LOC23+GCP)
    F(LOC30-3)=F(LOC30+3)+F(LOPRE+GCP)*F(LOAE+GCP)
      *F(LORU+GCP)*(GBD-GBA)
    F(LOC30+4)=F(LOC30+4)+F(LOC24+GCP)+F(LOC25+GCP)
  END DO
END DO
IF (IZSTEP.GT.1) THEN
  F(LOC30+5)=F(LOA30+5)+F(LOC30+1)
  F(LOC30+6)=F(LOA30+6)+F(LOC30+2)
  F(LOC30+7)=F(LOA30+7)+F(LOC30+3)
  F(LOC30+8)=F(LOA30+8)+F(LOC30+4)
ELSE
  F(LOC30+5)=F(LOC30+1)
  F(LOC30+6)=F(LOC30+2)
  F(LOC30+7)=F(LOC30+3)
  F(LOC30+8)=F(LOC30+4)
END IF
GPE: S=RG(1)/(2*3.14159265)
GPE: NC=(RG(22)*GREVS*(2.0*RG(20))**2)/RG(21)
GPOWPP=F(LOC30+5)*RG(1)/(RG(22)*(GREVS**3.0)*
  ((2.0*RG(20))**5.0))
GPOWVP=F(LOC30+6)*RG(1)/(RG(22)*(GREVS**3.0)*
  ((2.0*RG(20))**5.0))
GPOWPB=F(LOC30+7)*RG(1)/(RG(22)*(GREVS**3.0)*
  ((2.0*RG(20))**5.0))
GPOWVB=F(LOC30+8)*RG(1)/(RG(22)*(GREVS**3.0)*
  ((2.0*RG(20))**5.0))
IF (IZSTEP.EQ.NZ) THEN
  WRITE(SALIDA,"(1X,1I3,1X,1I3,1X,1PE13.6,1X,1PE13.6
    ,1X,1PE13.6,1X,1PE13.6,1X,1PE13.6
    )") ISTEP,IZSTEP
    ,GREYNO,GPOWPP,GPOWVP,GPOWPB,GPOWVB
END IF
END IF
END IF
.....
PELUPN

```

# REFERENCIAS

Bradshaw P., Launder B.E. y Lumley J.L., (1996), "Colaborative testing of turbulence models", *J.Fluids Engg*, vol. 118, pág. 243-247.

Brucato A., Ciofalo M., Grisafi F. y Micale G., (1994), "Complete numerical simulation of flow fields in baffled stirred vessels: The inner-outer approach." *Memorias de simposium de la IChemE*, Serie No. 136, pág. 155-162

Dyster K.N., Koutsakos E., Jaworski S. y Nienow A.N., (1993), "An LDA study of the radial discharge velocities generated by a Rushton turbine: newtonian fluids,  $Re \geq 5$ ", *Trans IChemE*, vol. 71, pág. 11-23.

Espinosa H.A., (1997), "Modelado numérico del flujo en tanques agitados mecánicamente para fluidos con reología compleja", Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Galmes J.M. y Lakshminarayana B., (1984), "Turbulence modeling for three-dimensional shear flows over curved rotating bodies", *AIAA Journal*, vol.22, pág. 1420-1428.

Gurtin M., (1981), An introduction to continuum mechanics, Academic Press.

Harvey P.S. y Greaves M., (1982), "Turbulent flow in an agitated vessel. Parts I & II", *Trans. Inst. Chem. Eng.*, vol 60, pág. 195'200 y 201-210.

Hutchings B.J., Weetman R.J. y patel b.R., (1989), "Computation of flow fields in mixing tanks with experimental verification", Trabajo TN-481, Reunión de ASME, San Francisco, 1989.

Jones W.P. y Launder B.E., (1972), "The prediction of laminarization with two-equation model of turbulence", *Internat. J. Heat Mass Transfer*, vol. 43, pág. 801-811

Launder B.E., Reynolds W.C. y Rodi W., (1984), Turbulence models and their applications., Ediciones Eyrolles, Paris, 1984.

Lakshminarayana B., (1986), "Turbulence modeling for complex shear flows", *AIAA Journal*, vol.24, pág.1900-1917.

Hanjalic K., (1994), "Advanced turbulence closure models: a view of current status and future prospects", *Int. J. Heat and Fluid Flow*, vol.15, pág.178-203.

Kline S.J., Cantwell B. y Lilley G.M., (1982), Complex turbulent flows: comparison of computation and experiment, Vol. II y III., Stanford University Press.

Launder B.E y Spalding D.B., (1974), "The numerical computation of turbulent flows", *Comp. Meth. In Appl. Mech. & Eng.*, vol. 3, pág. 269

Luo J.V., Gosman A.D., Issa R.I., Middleton J.C. y Fitzgerald M.K., (1993), "Full flow field computation of mixing in baffled stirred reactors", Evento de Investigación de IChemE, Birmingham, 1993.

Middleton, J.C., Pierce, F. y Lynch, P.M., (1986), "Computations of flow fields and complex reaction yield in turbulent stirred reactors, and comparison with experimental data", *Chem.Eng. Res. & Des.*, vol. 64, pág. 18-22.

Patankar S.V., (1980), Numerical heat transfer and fluid flow, *Hemisphere Publishing Corporation*.

Pericleous K.A., y Patel M.K., (1987), "The source-sink approach in the modelling of stirred reactors", *Phys. Chem. Hydrodynam.*, vol. 9, pág. 279.

Ranade V.V. y Dometti S.M., (1996), "Computational snapshot of flow generated by axial impellers in baffled stirred vessels", *Chem. Eng. Res. and Des.*, vol 74, pág. 476-484.

Ranade V.V., Mishra V.P., Saraph V.S., Deshpande G.B. y Joshi J.B., (1992), "Comparison of axial flow impellers using a laser doppler anemometer", *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 31, pág. 2370-2379.

Reynolds O., (1895). "On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion", *Phil. Trans Roy. Soc. London Ser.A*, vol. 186, pág. 123-164.

Rodi W., (1979), Turbulence models and their application in hydraulics. A state of the art review., *IHR Monograph*.

Spalding D.B., (1972), "A novel finite-difference formulation for differential expressions involving both first and second derivatives", *Int. J. Numer. Methods Eng.*, vol 4, p 551.

Tanguy P.A., Lacroix R., Bertrand F., Choplin L. y Brito de la Fuente E., (1992), "Finite element analysis of viscous mixing with helical ribbon screw impeller", *AIChE Journal*, vol.38, núm. 6, pág. 939-944.

Versteeg H.V. y Malalasekera W., (1995), An introduction to computational fluid dynamics. The finite volume method., *Longman Scientific and Technical*.

White F.M., (1991), Viscous fluid flow, *McGraw Hill*, Segunda Edición.

Yianneskis M. Y Whitelaw J.H., (1993) "On the structure of the trailing vortices around Rushton turbine blades", *Trans IChemE*, vol. 71<sup>a</sup>, pág. 543-550.