

ANEXO A. Manual TITAN2D

# Guía del usuario TITAN2D

Junio de 2010

# Índice general

<b>1. Introducción a TITAN2D</b>	<b>95</b>
<b>2. Nuevas características de Titan Versión 2.0.1</b>	<b>97</b>
<b>3. Cómo empezar</b>	<b>99</b>
3.1. Requisitos del sistema . . . . .	99
3.2. Programa Titan2D . . . . .	99
3.3. Programa Grass GIS . . . . .	99
3.4. Instrucciones para el uso de Titan2D . . . . .	100
3.4.1. Titan2D, Interfaz Gráfica de Usuario . . . . .	100
3.4.2. Ejecutando TITAN2D . . . . .	112
<b>4. ParaView Aplicación de Visualización</b>	<b>114</b>

# Índice de figuras

3.1. Ejemplo de Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) Python . . . . .	101
3.2. Ingreso de datos SIG en la interfaz gráfica de usuario . . . . .	102
3.3. Opciones de visualización de salida de datos . . . . .	107
3.4. Ventana emergente de entrada de ángulos de fricción . . . . .	109
3.5. Ángulos de fricción . . . . .	109
3.6. Ventana emergente para especificar las dimensiones y localización de cada pila . . . . .	110
3.7. Ventana emergente de entrada de datos de la fuente de flujo . . .	112
3.8. Ventana de entrada de datos para planos de descarga . . . . .	112
4.1. Panel izquierdo ParaView . . . . .	115

# Capítulo 1

## Introducción a TITAN2D

TITAN2D es un programa informático desarrollado con el propósito de simular avalanchas granulares secas sobre modelos de elevación digital del terreno natural. Este programa está diseñado para simular flujos de masas geológicas tales como avalanchas de escombros y deslizamientos de tierra. TITAN2D combina simulaciones numéricas de un flujo con datos de elevación digital del terreno natural soportados a través de la interfaz gráfica de un sistema de información geográfica (SIG).

El programa TITAN2D se basa en un modelo de profundidad promedio para medio continuo incompresible, en el cual se cumplen las leyes de Coulomb para un flujo granular de “aguas poco profundas”. Aquí revisaremos brevemente la funcionalidad ya que los detalles de la modelación numérica y la metodología se pueden encontrar en la literatura. Las ecuaciones de conservación de masa y momento se resuelven con un término de fricción tipo Coulomb para la interacción entre los granos al interior del flujo y entre el material granular y la superficie basal. El sistema hiperbólico de ecuaciones resultante se resuelve mediante un esquema de Godunov, paralelo y de malla adaptativa. El Message Passing Interface (MPI) [<http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/>] Interfaz de Programadores de Aplicaciones (API, por sus siglas en inglés), permite el uso de múltiples procesadores, incrementando así el poder de cómputo, disminuyendo el tiempo de procesamiento y permite el uso de grandes conjuntos de datos. Adaptar la grilla permite la concentración de la capacidad de procesamiento en las regiones de especial interés.

El refinamiento de la malla capta las características del complejo flujo en el borde de la corriente, así como los lugares donde la topografía cambia rápidamente. Una malla no refinada se aplica cuando los valores de la solución son relativamente constantes o pequeños, esto para mejorar aun más la eficiencia computacional.

El modelo utilizado en TITAN2D supone una pila<sup>1</sup> de material granular, que se desliza cuesta abajo por acción de la gravedad. La fricción entre partículas

---

<sup>1</sup>Pila: Montón, rimer o cúmulo de material granular.

y entre las partículas y la superficie de tierra hacen que la pila se resista a este movimiento. Las ecuaciones que gobiernan este modelo, la conservación de la masa y la conservación del momento, se resuelven usando una solución aproximada por métodos numéricos, por ejemplo, volúmenes finitos, etc. Los resultados directos de TITAN2D son profundidad de flujo y momento. Éstos pueden entonces ser utilizados para calcular, en diferentes puntos, las variables observables, como altura previa, área de inundación y el tiempo de flujo.

TITAN2D opera a través de una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI, por sus siglas en inglés) escrita en lenguaje Python. A través de esta interfaz el usuario introduce los parámetros necesarios para ejecutar correctamente el programa, tales como dimensiones de pila, coordenadas de partida de la pila, ángulos de fricción interna y basal, y el tiempo de simulación. La simulación se calcula sobre un modelo de elevación digital (DEM) de la región deseada y los resultados se pueden visualizar a través del visualizador de TITAN2D, u otros paquetes de software de visualización. Los visualizadores de TITAN2D están diseñados para presentar a los usuarios una clara representación de las diversas propiedades del flujo, así como la altura de pila y la magnitud de la velocidad. Las propiedades incorporadas en los elementos de datos que constituyen la malla poligonal están codificadas por colores y se aplican como una textura sobre el terreno.

## Capítulo 2

# Nuevas características de Titan Versión 2.0.1

En esta versión de TITAN2D, se incorporaron varias mejoras que agregan capacidades adicionales al simulador, se corrigieron problemas numéricos presentados en versiones anteriores (capturándose ahora correctamente el flujo de capa delgada), y se aumentó la eficiencia del proceso de reparticionamiento de datos.

Esto se resume a continuación:

- Incluye la capacidad de reinicio que permite la continuación de una simulación sin tener que empezar de nuevo desde el principio.
- Se añade la opción “Flux Sources”, fuente de flujo. Esta opción permite la simulación de materiales que son expulsados activamente desde el suelo a una velocidad específica durante un período determinado de tiempo. Anteriormente, sólo podía ser simulada una cantidad fija de material en forma de una pila colocada en un terreno en pendiente y sujeta a las fuerzas gravitacionales. Ahora, las simulaciones se pueden ejecutar utilizando pilas, flujo de fuentes, o mediante la combinación de cualquier número de cada una de estas.
- El diseño inicial de la malla computacional y el nivel máximo de refinamiento en la red es determinado cuando el usuario especifica el número de celdas de cómputo a través del diámetro de la pila o de la fuente de flujo. Antes de esta actualización, la densidad de la malla se determinaba por parte del usuario al seleccionar el número de celdas de cálculo que se abarcan el mapa en una sola dirección.
- Se añade la opción “Discharge Planes”, planos de descarga. Un plano de descarga es un plano ubicado vertical y perpendicularmente al modelo de elevación digital, interceptando el modelo, tal que todo el material que pase sobre la línea que se forma en el mapa (cuando se ve en planta),

es sumado durante todo el curso de la simulación. Esto permite al usuario hacer un seguimiento del volumen de material en movimiento dentro o fuera de cualquier área del DEM (por ejemplo, mediante el uso de 4 planos de descarga se puede delimitar una caja al rededor de una región determinada).

- Se implementan varios métodos de controlar los poco realistas flujos rápidos que ocurren en delgadas capas de material alrededor de los bordes de la pila, tales como:
  - Se modifica el proceso de generación de la malla adaptativa incluyendo diferentes espacios temporales de memoria que poseen un refinamiento máximo de sus celdas “buffer” ubicadas cerca o en el borde del flujo; esto se hace para suprimir el error numérico introducido. Esto también garantiza que el flujo del borde de una pila solo fluirá dentro de las celdas de máximo refinamiento.
  - Se cambia de método estándar para obtener velocidad de cómputo por una variación de la regla de L'Hôpital, llamada diferenciación de regla de cadena (en inglés, Chainrule Differentiation), esto se hace para calcular la velocidad de flujo cuando se encuentran capas demasiado delgadas (utilizado únicamente para fines de información estadística).
- Se añade la opción de un nuevo visualizador. Titan2D ahora puede generar archivos de salida de datos que pueden ser visualizados usando la aplicación de visualización ParaView disponible de manera gratuita (<http://www.paraview.org>).
- Se actualiza la función de reparticionamiento. Se introdujo un “truco” inicial al generar la grilla, que consiste en dividir automáticamente el dominio computacional en un número adecuado de subdominios, obteniéndose como efecto la disminución de la cantidad de información que se necesita intercambiar entre los procesadores no secuenciales durante una ejecución de Titan con multi-procesadores, ahorrando tiempo computacional.

## Capítulo 3

# Cómo empezar

### 3.1. Requisitos del sistema

El software de Titan es de código abierto y se construye únicamente usando otros sistemas de código abierto. Titan está diseñado para el uso en computadores con un único procesador de gama baja, como también para el uso en computadores con múltiples procesadores con memoria compartida o distribuida.

\* Nota: A partir de esta versión, propendemos por el no uso del Visor de GMFG y los usuarios son animados a migrar a Paraview.

### 3.2. Programa Titan2D

La última edición del programa TITAN2D puede obtenerse poniéndose en contacto con el GMFG en la Universidad de Buffalo - dirigido por el Dr. Abani Patra (Profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica y Aeroespacial), o para usuarios fuera de la UB, desde la página web del grupo:  
<http://www.gmfg.buffalo.edu>.

### 3.3. Programa Grass GIS

\* Nota: TITAN2D se ejecuta independientemente de GRASS. Es decir, GRASS NO es necesario para la ejecución TITAN2D.

GRASS (acrónimo inglés de Geographic Resources Analysis Support System), es un software SIG (Sistema de Información Geográfica) de código abierto que puede soportar información tanto raster como vectorial y posee herramientas de procesado digital de imágenes. GRASS opera en varias plataformas a través de una interfaz gráfica de usuario y shell en X-Windows. GRASS está disponible de forma gratuita bajo licencia GNU General Public License (GPL) [<http://grass.ibiblio.org/>].



TITAN2D realiza simulaciones de flujo sobre un DEM en una región definida por el usuario. El archivo DEM, que contiene datos de elevación, debe estar en un formato tal que pueda ser operado en el entorno GRASS GIS.

La precisión de simulación depende en gran medida el nivel de resolución y calidad del DEM. Los DEM con resoluciones más altas (por ejemplo, 5 a 30m), generan representaciones de manera más precisa de los acontecimientos de flujo geofísicos reales, especialmente en situaciones que involucran flujos canalizados. La interfaz GRASS GIS usada en conjunto con la interfaz gráfica de usuario TITAN2D permite al usuario ajustar el área inicial deseada del DEM. Esta capacidad disminuye el tamaño del archivo de salida lo que aumentará la velocidad de visualización y permite al usuario prestar especial atención sobre una región específica de interés dentro de un DEM de mayor tamaño.

### 3.4. Instrucciones para el uso de Titan2D

Después de obtener la versión más reciente de TITAN2D y de configurar un DEM para Grass de la región deseada, el usuario está listo para simular el flujo de un evento geológico. Primero, desde una línea de comandos debe ir al directorio “.../titan/bin/”, ubicado en el lugar donde se instaló el programa. Entonces, ejecute “titan\_gui.py”. Este comando abrirá la interfaz gráfica de usuario TITAN2D.

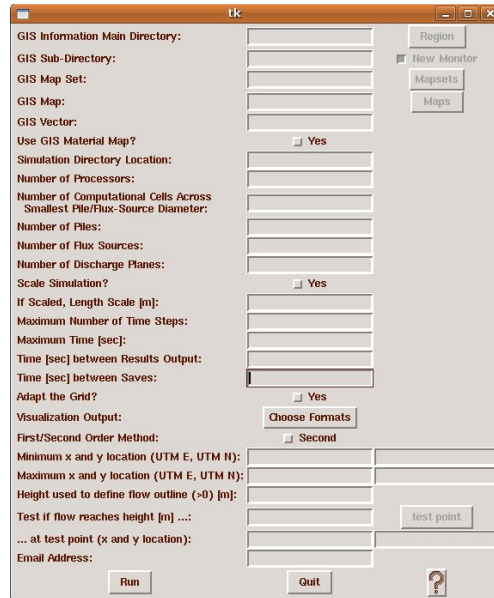
#### 3.4.1. Titan2D, Interfaz Gráfica de Usuario

La información de insumo del usuario es introducida en los cuadros destinados para tal fin en la interfaz gráfica de usuario (GUI por sus siglas en inglés), previo a ejecutar la simulación. La información requerida se encuentra incluida en uno de los siguientes tres tipos: 1) especificaciones de los datos de SIG, 2) Parámetros Computacionales y 3) Pila, “Flux-Source”, y parámetros de propiedades del material.

1. **Especificaciones de los datos del SIG:** Las primeras seis opciones preguntan al usuario la información de entrada sobre los datos del SIG para ser utilizados en la simulación:

- La casilla “GIS Information Main Directory” muestra la ubicación de los SIG datasets (conjunto de datos). Por ejemplo, para este caso “/nombre\_del\_equipo/home/usuario/directorio/grass.data/grass/”. El directorio “./grass/” es el directorio principal del SIG donde se almacenan todos los datos. Dentro de este directorio, se encuentran los subdirectorios que contienen los conjuntos de datos separados. Cuando se ejecuta la simulación, un subdirectorio específico se introduce en el sub-SIG cuadro Directorio.
- Las casillas “GIS Map Set” y “GIS Map” permiten que el usuario escoja dentro del DEM dataset que conjunto de datos usar. El “GIS

Figura 3.1: Ejemplo de Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) Python



Map” debe estar dentro del directorio del “GIS Map Set”. Escriba el nombre de ambos dentro de la casilla apropiada (Ver Figura 3.2).

- \* NOTA: La siguiente característica está disponible sólo para usuarios que tienen una hoja de material específico (archivo con terminación en Mat). La casilla de verificación “Use GIS Material Map?” permite la entrada de una Base SIG del material superficial que coincida con el área cubierta por el DEM. Este mapa es usado para definir zonas de la región donde los cambios morfológicos de la superficie son resultado de un cambio en el ángulo de fricción basal. Cuando esta función está habilitada, ventanas emergentes (que aparecen después de hacer clic en el botón “run”) preguntarán por el ángulo de fricción interna y por el ángulo de fricción basal de cada material representado sobre el mapa del material. Si bien la ventana emergente le pide tantos ángulos de fricción interna y basal como materiales haya, TITAN2D usa únicamente el primer ángulo de fricción interna ingresado. No es necesario para introducir los valores para cada material, los ángulos ingresados en la primera ventana se trasladarán automáticamente a la siguiente si los valores no se modifican. Usted puede entrar el ángulo de fricción interna en la primera ventana y cambiar sólo los ángulos basales en las ventanas posteriores.

Figura 3.2: Ingreso de datos SIG en la interfaz gráfica de usuario



2. **Parámetros Computacionales:** Las siguientes entradas están relacionadas con cálculos y datos de salida.

- En la casilla “Simulation Directory Location” se especifica el directorio donde los archivos de salida de datos se almacenarán (Ver Figura 3.2). Es necesario que un directorio se especifique en esta casilla. Si el directorio especificado ya existe, este no será reemplazado y los datos no serán procesados. La localización de las simulaciones se ubicarán en “.../titan/bin/nombre\_del\_directorio/”. Por ejemplo, la ruta del directorio de la simulación “Prueba1” sería “.../titan/bin/Prueba1/”. Cada vez que se corra una simulación, un nuevo directorio debe ser creado.
- El número de procesadores que el usuario decida utilizar debe ser especificado en la casilla “Number of Processors”. Si se especifica más de un procesador, cada uno recibe una parte de la carga de procesamiento, lo que disminuye el tiempo de ejecución de la simulación. Sin embargo, si se especifican más procesadores, los datos presentados pueden estar en cola hasta que el número de procesadores elegidos estén disponibles. El usuario debe ser consciente de la cantidad de procesadores disponibles en su máquina.
- TITAN2D crea una cuadrícula regular, malla, en la que el cálculo se lleva a cabo. El valor especificado por el usuario en la casilla

“Number of Computational Cells Across Smallest Pile/Flux-Source Diameter” se utiliza por Titan para determinar el nivel máximo de refinamiento en la grilla de celdas permitido durante toda la simulación. Utilizando el caso por defecto, como ejemplo, que se produce si el usuario deja en blanco este campo, será usado el valor 20. Luego, cuando se inicie la simulación, la grilla de celdas que contienen el centroide de cada pila es sucesivamente refinada (es decir, dividida en 4 celdas “hijas”) hasta que el tamaño de esta celda refinada no sea mayor que  $1/20$  del diámetro más pequeño de la pila o la fuente de flujo. Este es el tamaño de la celda más pequeña de cómputo que puede permitirse en el mapa durante el curso de la simulación. Aunque con la opción “adaptive grid” (donde las celdas son máximamente refinadas), este refinamiento no se producirá en todas partes, sino cuando sea necesario (sólo en la proximidad del borde de una pila, o cuando un flujo de masa llegue a ser muy grande), es importante elegir un valor que logre un equilibrio entre el tiempo de cálculo y la precisión del mismo. Si hay muchas pilas de escombros, todas ellas tendrán un máximo de refinamiento en el borde de toda la simulación. Si el tamaño de las celdas refinadas es muy pequeño, entonces habrá más celdas y por ende será necesario más tiempo de cálculo para procesar los datos, junto con más espacio en disco para almacenamiento.

- El usuario también debe especificar “Number of Piles”, número de pilas, para incluir en una simulación. El usuario puede especificar cualquier número de pilas para una sola simulación. Cada uno de los atributos de las pilas, tales como su tamaño, orientación y ubicación, se especificarán por separado en ventanas emergentes tras completar esta primera ventana y ejecutar “Run”. Si dos o más pilas se incluyen en una simulación, estas se pueden colocar en cualquier parte del mapa, incluso superpuestas. Si se superponen varias pilas, la altura del material en ese lugar en particular se define como la mayor de las alturas de las pilas en ese punto en lugar de sumarlas todas.
- Además de modelar la evolución de una cantidad de material, como por ejemplo una pila de escombros, que atraviesa un terreno inclinado, Titan2D tiene la capacidad para simular la evolución de un material que es extruido activamente desde el suelo. Estas fuentes de material son llamadas “Flux-Sources” o en español fuentes de flujo. Al igual que el número de pilas, cualquier número de fuentes de flujo puede ser implementada utilizando la casilla “Number of Flux Sources”. Para cada flujo de fuente especificada se abrirá una ventana adicional más adelante, lo que permite al usuario definir sus propiedades específicas.
- En la siguiente casilla “Number of Discharge Planes”, el usuario especifica el número de planos de descarga. Esta nueva característica de Titán le da la capacidad de calcular la cantidad de material que cruza un plano, o una línea si el mapa es visto en planta, sobre el ma-

pa DEM. Por cada plano de descarga que se especifica, se abrirá otra ventana para que el usuario introduzca las coordenadas de dos puntos extremos que formaran el plano. Conforme la simulación avanza, la cantidad (metros cúbicos) de material que cruzan por el plano se guarda en el directorio de la simulación (.../ bin/Prueba1, para este caso) en un archivo llamado discharge.out.

\* Nota: El usuario puede especificar cualquier número de planos de descarga y se pueden conectar en cualquier forma para captar el volumen de flujo que cruza por un límite específico. Una de ellas es la de formar un cuadro alrededor de una región en el mapa con cuatro planos. Esto le permitirá realizar el seguimiento de un volumen de flujo que entre o salga de esa zona, independientemente de su dirección.

- TITAN2D permite que varias propiedades de la simulación puedan ser escaladas. Al hacer clic en la casilla de verificación “Scale Simulation?”, escalar simulación, (la casilla se vuelve roja cuando se selecciona) permitiendo volver adimensionales las ecuaciones que gobiernan la simulación, usando la altura de la pila, gravedad y factores de escalamiento de longitud (otros, como la velocidad y escalas de tiempo, son variables derivadas a partir de las primeras). El escalamiento de la altura de pila se calcula automáticamente y se toma como la raíz cubica del volumen total de material que aparecerá en el mapa, ya sea una pila de masa constante, una fuente de flujo que extruye material activamente o una combinación de ambas. El factor de escala de la gravedad se toma simplemente como  $9,80 \frac{m}{s^2}$ . La escala de longitud debe ser especificada por el usuario en la casilla “If Scaled, Length Scale [m]”. Este factor hace referencia a la longitud que se espera recorra el flujo y sólo necesita ser especificada si la simulación se escala, lo cual para cálculos en terreno real es altamente recomendable.
- Los siguientes dos parámetros de entrada hacen referencia al tiempo de la simulación. El usuario debe especificar “Maximun Number of Time Steps”, número máximo de pasos y “Maximun Time [sec]”, máximo de tiempo en segundos (aunque se pueden utilizar fracciones de segundo). La simulación se detendrá cuando se llegue al número máximo de pasos o cuando se llegue al tiempo de simulación especificado; lo que ocurra primero.

\* Nota: La determinación de un criterio aceptable para detener la simulación es difícil cuando se consideran los casos en general. Debido a esto, los criterios de detención de la simulación deben ser establecidos por el usuario. Los dos criterios, el máximo tiempo y el número máximo de intervalos, deben ser suficientemente elevados para que el evento geológico que se simula ya haya terminado o su velocidad sea considerablemente baja. Si cualquiera de estos valores es demasiado pequeño la simulación finalizará antes de que el material haya

alcanzado el equilibrio estático. Si los dos valores se establecen excesivamente altos, se desperdiciará tiempo de cálculo en una pila que ya ha alcanzado el reposo. La simulación se acabará cuando el número de pasos calculados sea igual al valor de la casilla “Maximum Number of Time Steps” o el tiempo de simulación alcance al valor de la casilla “Maximum Time [sec]”. El número de pasos de cálculo necesarios para simular un evento geológico puede variar dependiendo de la cantidad de puntos de malla de cálculo, los parámetros de fricción, el uso de la red de adaptación, el orden de simulación, y la geometría inicial de pila y la ubicación.

- En la casilla “Time [sec] Between Results Output”, tiempo entre salida de resultados en segundos, el usuario puede especificar la frecuencia con la cual se crearan archivos de salida. Por ejemplo, si el usuario ejecuta la simulación con un valor de 5 en esta casilla no se producirán archivos cada 5 segundos sino cada 5 segundos simulados. El usuario también puede ingresar un valor en fracciones de segundos si así lo desea.
- El usuario también puede especificar el tiempo en segundos cada cuanto desea que se guarde la información, en la casilla “Time [sec] Between Saves”. Titan ahora tiene la capacidad de reinicio de la ejecución de una simulación guardada. Esto puede ser necesario en el caso que usted deba apagar o reiniciar el equipo o cuando el número máximo de iteraciones se ha alcanzado o ha caducado el tiempo de simulación. En lugar de ejecutar la simulación desde el inicio, usted puede continuar desde el punto en donde esta fue detenida. El valor introducido en este campo indica la frecuencia con que los datos de configuración para la ejecución actual se guardan en un archivo ubicado en la carpeta de la simulación. Para continuar con una simulación previamente detenida, el usuario debe:
  - (a) Buscar el archivo restart0000.x más recientemente guardado (si se ejecuta en un equipo con dos procesadores, deberá buscar los archivos restart0000.x y restart0001.x, así sucesivamente según el número de procesadores). Usted puede verificar en la última línea en el archivo output.summary.-00001, cual fue el último archivo guardado observando el valor de “savefile”, que puede ser 0 ó 1.
  - (b) Cambiar la extensión 0 ó 1 por la extensión *this*, es decir, el nombre del archivo restart0000.x (más reciente) por restart0000.this y ejecutar Titan de nuevo como de costumbre. (Se debe tener en cuenta que con dos procesadores, el usuario debe cambiar el nombre de ambos archivos restart0000.x y restart0001.x a la extensión *.this* y ejecutar de nuevo Titan en su equipo con múltiples procesadores). \* Nota: Si el interés de reiniciar la simulación es porque esta ha terminado debido a que el número máximo de iteraciones o tiempo de ejecución ha concluido, primero se debe

encontrar y aumentar estos valores de forma adecuada en el archivo `simulation.data`, para permitir que se extienda el periodo de la simulación, antes de reiniciar la ejecución.

- La siguiente opción es “Adapt the Grid?”, adaptar la grilla? que es una casilla de verificación que hace referencia a la grilla computacional y reduce el costo computacional mientras mantiene la precisión de la simulación. Sin embargo, esto también puede introducir cierta inestabilidad en el cálculo. También se debe tener en cuenta que si esta casilla no es seleccionada, entonces todo el DEM será analizado uniformemente con un máximo nivel de refinación, con celdas de tamaño determinado por el usuario en la casilla “Number of Computational Cells Across Smallest Pile/Flux-Source Diameter”. Debido al importante ahorro en tiempo de cálculo, se recomienda que el “Adapt the Grid” se seleccione a menos que se detecte inestabilidad en la salida.
- “Visualization Output”, salida de visualización permite al usuario elegir el formato de los archivos de salida (`tecplotxxxx.plt`, `mshplotxxxx.plt`, `GMFG Viz`, `XDMF/ Paraview`, `Web Viz` o `grass_sites`). El usuario debe activar los botones correspondientes a las salidas deseadas, puede activar una, varias o todas con cada simulación. `tecplotxxxx.plt` y `mshplotxxxx.plt` son archivos Tecplot [www.amtec.com]. `GMFG Viz` es para el visualizador TITAN2D. `XDMF/Paraview` genera archivos `xdmfxxxx.h5` y `xdmfxxxx.xmf` utilizados con la aplicación Paraview, disponible libremente en <http://www.paraview.org/>. `Web Viz` es salida para el Quickview Viewer. Ver Figura 3.3
- “First/Second Order Method”, método de primer o segundo orden. Por defecto Titan se encuentra el método de primer orden. Al hacer clic en el botón “Second”, le permite seleccionar el método de segundo orden para calcular los valores en la grilla de celdas. Según el método de primer orden, los valores de altura de pila, momentum, etc. que son calculados para el modelo son aproximados como constantes en toda la celda. Esto puede significar que hay un salto hacia arriba o abajo en el valor del mismo parámetro en la celda contigua. Bajo el método de segundo orden, se asume que los valores de los parámetros varían linealmente a través de la celda; en este método se tiene en cuenta el valor de las células vecinas y se usan para calcular el valor de la celda en cuestión. Por ejemplo, si las celdas vecinas flujo arriba respecto a la celda en cuestión tienen valores inferiores a las celdas flujo abajo de la misma, el valor de la celda se incrementa generando una pendiente en la dirección flujo abajo. Si no hay diferencia de valores entre las celdas vecinas, entonces la celda en cuestión también se mantendrá constante. Seleccionando el método de segundo orden se producirán resultados ligeramente más precisos, pero también puede incrementarse el tiempo de cómputo ya que con este se deben realizar más cálculos.
- La localización mínima y máxima “x”y “y” dentro de un DEM se

Figura 3.3: Opciones de visualización de salida de datos



especifica en “Minimum (and Maximum) x and y location (UTM E, UTM N)”. Si el usuario no especifica ningún valor, Titan realizará el cálculo sobre todo el mapa. Si la región de cálculo es más pequeña que la región entera, el usuario puede hacer el cálculo dentro de un cuadro formado por un mínimo y un máximo “x” y “y”, ingresado en coordenadas UTM, en las casillas para tal fin.

\* Nota para entrar las coordenadas: El usuario puede buscar los límites de un mapa en particular buscando en su correspondiente carpeta. Por ejemplo, si se utiliza el DEM “dembarranco”, los límites del mapa se encuentra en el archivo con ese nombre en el directorio: ../barranco/dembarranco/cellhd. (Las coordenadas también son necesarias para especificar la ubicación de la pila o fuente de flujo y los puntos extremos de los planos de descarga).

La casilla “Height used to define flow outline ( $z_0$ ) [m]”, establece un “límite” del flujo de masa. Esto era necesario en versiones anteriores de Titán, ya que, debido a valores numéricos, la altura de flujo se continuaba haciendo delgada con el incremento en la distancia al centroide de la pila, tomando valores exageradamente pequeños, sin realmente llegar a “cero”. En esta versión de Titan, aunque el flujo de capa delgada se controla, el usuario todavía es capaz de definir un límite de pila (es decir, ignorar material por debajo de una altura de pila determinada) introduciendo un valor mayor que cero en



esta casilla. Esto será utilizado para, entre otras cosas, calcular la propagación de la pila en las direcciones “x” y “y”. La difusión en cada dirección es definida como la máxima menos la mínima coordenada donde la altura de pila es mayor que el valor introducido aquí. Si no se introduce ningún valor este será por defecto a 1/50 de la altura máxima de la pila inicial. La propagación en “x” y “y” se encuentra en la posición 8 y 9 en cada línea de los archivos llamados “statout\_lhs.xx” (donde xx es un número de 2 dígitos). Vea la sección sobre simulaciones probabilísticas para más información.

- En “Test if flow reaches height [m] ...”, probar si un flujo alcanza una altura, y “at test point (x and y location)”, prueba localizada en el punto, se establecen los criterios para determinar si la corriente llega a un punto en particular. Estas opciones permiten que el usuario compruebe si en el punto especificado en cualquier momento durante el cálculo el flujo alcanza una altura determinada. El tiempo dado en segundos que el flujo alcanza el punto está ubicado en la tercera posición en cada línea del archivo llamado “statout\_lhs.xx”. Un valor de -1 en la extensión indica que la corriente no llegó al lugar durante el período de tiempo simulado, es posible que no se haya simulado el tiempo suficiente. Vea la sección sobre simulaciones probabilísticas para más información.
- Cuando la simulación ha terminado de ejecutarse, el usuario será notificado a través de la dirección de correo electrónico especificada en la casilla “Email Address” Dirección de correo electrónico. Si no se especifica una dirección, la notificación será enviada a user@buffalo.edu. No se enviará notificación de correo electrónico si TITAN2D se utiliza en un equipo con Linux.
- En la parte inferior se encuentran tres botones, uno llamado “Run” y otro “Quit”, que en español son Ejecutar y Salir y un botón con un signo de interrogación “?”. Con el botón Run se crea una carpeta cuyo nombre se especificó anteriormente y dentro de ella, se crean también, los archivos necesarios para empezar la simulación. Cuando se activa este botón, aparecerá una nueva ventana (Figura 3.4), en la que el usuario especifica las propiedades de los materiales (ver sección siguiente). El botón Quit permite salir de la interfaz gráfica de usuario (GUI). Al hacer clic en el botón “?” se abre una nueva ventana que muestra un archivo de ayuda para el ingreso de los parámetros en la GUI

### 3. Pila, “Flux-Source”, y parámetros de propiedades del material:

esta información de entrada se utiliza para caracterizar la naturaleza del material en la simulación.

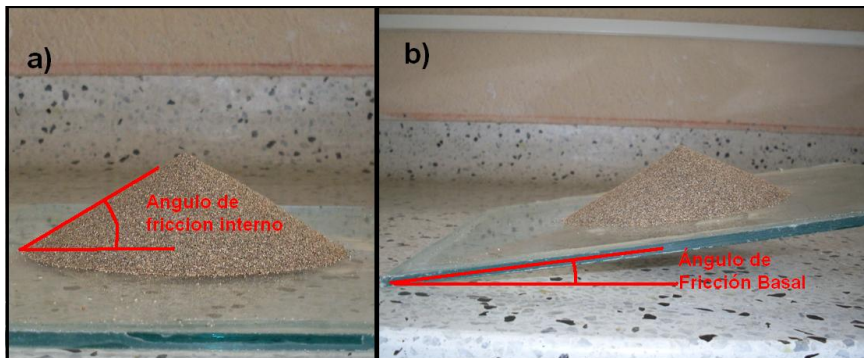
Ángulos de fricción - Ventana de entrada de datos

Figura 3.4: Ventana emergente de entrada de ángulos de fricción



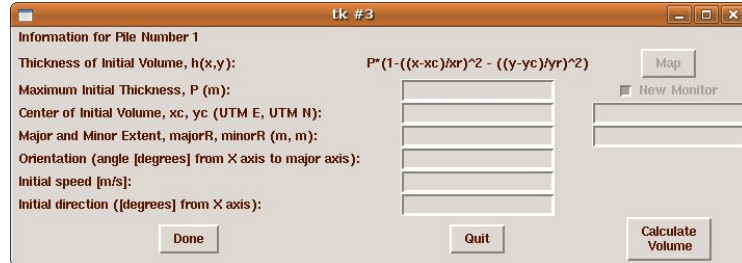
- Los siguientes dos parámetros, el ángulo de fricción interna y el ángulo de fricción basal establecen las fuerzas de resistencia por fricción que se producen dentro del material que se simula, y entre el material y la superficie basal. El ángulo de fricción interno corresponde a la fricción resultante de la interacción entre partícula y partícula dentro del material que fluye. Este valor es equivalente a la pendiente natural de la superficie libre que se forma si una pila cilíndrica del material granular se coloca en una superficie plana y se deja al colapso bajo su propio peso, ver Figura 3.5.a). El ángulo de fricción basal corresponde a la fricción que se desarrolla debido a las interacciones de las partículas del suelo. Este valor es equivalente a la pendiente mínima que se debe obtener sobre una superficie para que un material colocado sobre esta comience a deslizarse desde su posición estática, ver Figura 3.5.b). Los anteriores ángulos se deben introducir en grados en la ventana emergente, cuando este seguro de los valores haga clic en "Done" y luego en "Quit".

Figura 3.5: Ángulos de fricción



- Cuando se selecciona el botón "Done" los datos de los ángulos de fricción se almacenan en el directorio de simulación en el archivo denominado "frict.data" que será utilizado por Titan durante la simulación.

Figura 3.6: Ventana emergente para especificar las dimensiones y localización de cada pila



El botón Salir cierra la ventana.

\* Nota: Un rango típico de los ángulos de fricción interna que se producen en los flujos de escombros con una fracción de volumen de líquido de hasta el 60 por ciento es: 25 a 45 grados. Este ángulo de fricción, depende en gran medida del carácter de la superficie basal.

#### Parámetros de la Pila - Ventana de entrada de datos

- La Figura 3.6 muestra la ventana emergente usada para especificar las dimensiones y localización de cada pila. Aparecerá una de estas ventanas por cada una de las pilas especificadas en la ventana principal de entrada de datos. La primera línea en la ventana identifica el número de la pila para la cual se ingresarán las dimensiones. La geometría inicial de las pilas que puede variar de acuerdo a un paraboloide dado por la siguiente ecuación (suponiendo un ángulo de orientación de cero):

$$P * \left[ 1 - \left( \frac{x - x_c}{x_r} \right)^2 - \left( \frac{y - y_c}{y_r} \right)^2 \right]$$

Los datos a ser introducidos por el usuario son: Maximum Initial Thickness, espesor inicial máximo, P (en metros); Center of Initial Volume, Centro inicial del volumen, xc, yc (en coordenadas UTM); the Major and Minor Extent, majorR, minorR of the initial pile, extensión de los ejes mayor y menor de la pila inicial (en metros); Orientation (angle [degrees] from X axis to major axis), la orientación en grados desde eje x al eje mayor; Initial speed, la velocidad inicial (m/s) y Initial direction, la dirección inicial de velocidad (en grados desde el eje x). Ambos ángulos se miden en sentido antihorario desde el eje x. Si no se ingresa ningún ángulo, por omisión se tomará cero. (Nota: El eje x se define como el Este en coordenadas UTM; eje y se define como el Norte en coordenadas UTM). Si para la simulación

se usan dos o más pilas y estas se superponen, se tomará la mayor de las dos alturas como la altura de pila en ese punto de la red. Hay tres botones en la parte inferior de esta ventana “Done”, “Quit” y “Calculate Volume”. Cuando se selecciona el botón “Done”, los parámetros de la pila se introducen en la interfaz gráfica de usuario. El botón “Quit” cierra la ventana de dimensiones y ubicación de la pila. Si se especificó más de una pila, una nueva ventana aparecerá para introducir la ubicación y dimensiones de la siguiente pila. Una vez que los parámetros de todas las pilas se han especificado, se guardarán todos los datos. El botón “Calculate Volume” (Calcular volumen), calcula el volumen individual de las pilas usando la altura de la pila y las dimensiones en  $x$  y  $y$ . El volumen se da en metros cúbicos y se supone que no hay superposición de las pilas.

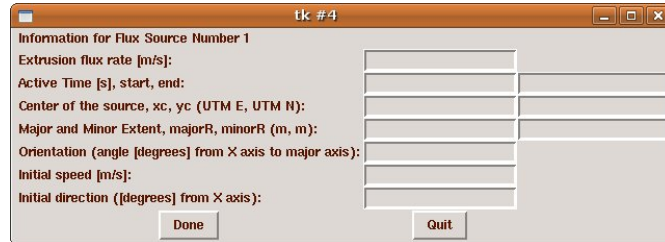
#### Fuentes de Flujo - Ventana de entrada de datos

- Esta ventana es similar a la ventana de información de pila (Figura 3.7). La ventana de entrada de datos de la fuente de flujo permite al usuario especificar ciertos parámetros que caracterizan la naturaleza de una o más fuentes de flujo. Cada fuente de flujo requiere la siguiente información: Extrusion flux rate, rata de extrusión del flujo en m/s, es la tasa media a la que la fuente expulsa el material verticalmente desde el suelo (el material es inicialmente expulsado al doble de la tasa media, y luego decrece linealmente hasta cero al final de la duración de la fuente de flujo); Active Time, tiempo de actividad en segundos, donde el usuario puede especificar un tiempo inicial y final para la fuente de flujo que puede abarcar una parte o todo el tiempo de la simulación; Center of the source,  $x_c$ ,  $y_c$ , centro de la fuente, dada en coordenadas UTM; Major and Minor Extent,  $majorR$ ,  $minorR$ , los ejes mayor y menor de la fuente de flujo, si se considera de forma elíptica; Orientation (angle [degrees] from X axis to major axis), la orientación en grados desde eje  $x$  al eje mayor; Initial speed, velocidad inicial en m/s refiriéndose a la velocidad horizontal inicial (es decir, tangente al terreno) del material que sale de la fuente de flujo (la fuente de flujo en sí misma, permanece inmóvil) y Initial direction, dirección inicial de material que se mide en grados en sentido antihorario desde el eje  $x$ .

#### Coordenadas de los Planos de Descarga - Ventana de entrada de datos

- Esta ventana permite al usuario introducir las coordenadas de los dos extremos de un plano de descarga orientado verticalmente. El usuario puede introducir los valores o, si ejecuta Titan a través de GRASS, puede seleccionar los dos puntos directamente utilizando el cursor del ratón sobre el mapa. Cada punto se identifica por un par de coordenadas en sistema UTM, introduciendo primero la coordenada Este y luego la Norte. Durante la simulación, Titan calculará la

Figura 3.7: Ventana emergente de entrada de datos de la fuente de flujo



The screenshot shows a window titled "tk #4" with the following fields and labels:

- Information for Flux Source Number 1
- Extrusion flux rate [m/s]:
- Active Time [s], start, end:
- Center of the source, xc, yc (UTM E, UTM N):
- Major and Minor Extent, majorR, minorR (m, m):
- Orientation (angle [degrees] from X axis to major axis):
- Initial speed [m/s]:
- Initial direction ([degrees] from X axis):

Buttons: Done, Quit

Figura 3.8: Ventana de entrada de datos para planos de descarga



The screenshot shows a window titled "tk #5" with the following fields and labels:

- Enter Discharge Plane 1 of 1:
- Point A (UTM E, UTM N):
- Point B (UTM E, UTM N):

Buttons: Done, Quit

cantidad (metros cúbicos) de material que pasa entre estos puntos y guarda los datos en el archivo discharge.out.

\* Nota: los planos de descarga tienen una orientación, esto significa que el flujo que pasa por ellos en una dirección puede ser registrado como de un volumen positivo, mientras que el flujo que pasa por en la dirección opuesta tendrá una contribución de volumen negativo. La orientación de los planos de descarga es tal, que si cada punto de cada uno de los 4 planos son sucesivamente establecidos en un sentido antihorario (donde el resultado es que los planos una caja cerrada), entonces cualquier flujo que salga de la caja tendrá un aporte positivo del volumen. Es decir, que el material que fluye a través de los planos de descarga obedece, en convención de signos, a la regla de la mano derecha.

### 3.4.2. Ejecutando TITAN2D

Después de hacer clic en los botones “done” y “quit” de la última ventana emergente en donde se debe llenar información, debe ubicarse por medio de la línea de comandos, en el directorio donde se está realizando la simulación (por ejemplo: .../titan2.0.2/bin/prueba1). En este momento tendrá que empezar el proceso de simulación escribiendo:

- Para un solo procesador en un P.C. Linux, se ejecuta: “./titan”

- Para todos los demás casos: “mpirun -np X ./titan” (donde X es igual al número de procesadores que se usan)

Durante la simulación se mostrará en pantalla la información de cada iteración. Esta información consta de:

1. Tiempo al final de cada paso en hh:mm:ss
2. Volumen del flujo
3. Altura máxima de la pila [m]
4. Velocidad máxima del flujo [m/s]
5. Velocidad promedio del flujo [m/s]

\*Nota: (Segmentation Violation) - Si esta ejecutando TITAN y recibe un mensaje de error “Segmentation violation”, cambie los parámetros de la pila para permitir un ilimitado tamaño de la pila.

Si utiliza csh/tcsh, escriba:

-limit stacksize unlimited (A continuación ejecute de nuevo TITAN como de costumbre)

Si utiliza sh/bash/ksh, escriba:

-ulimit -s unlimited (A continuación ejecute de nuevo TITAN como de costumbre)

Advertencia: Si el flujo no ha dejado de moverse al final de la simulación, puede parecer que TITAN2D da resultados no físico. Valores grandes de ángulos de fricción basal e internos resultan en velocidades bajas lo que se traduce en largos tiempos de simulación. Esto significa que una simulación con valores altos en sus ángulos de fricción puede tardar más tiempo en fluir y por lo tanto una simulación idéntica pero ángulos de fricción menores podrían viajar más lejos, en el mismo número de iteraciones. Al final de la simulación esta puede ser revisada. Una advertencia se muestra en la pantalla y se guarda en el archivo `sim_end_warning.readme` al final de cada ejecución indicando cuánto tiempo se simuló y la ubicación en coordenadas UTM de la velocidad máxima. El archivo `output.summary` se usa para mostrar datos de salida del avance de la simulación a lo largo de la ejecución. Este archivo contiene el tiempo simulado y el número de iteración.

## Capítulo 4

# ParaView Aplicación de Visualización

ParaView es un programa para la visualización de datos de código abierto. Está disponible en <http://www.paraview.org/> de manera libre. TITAN tiene la posibilidad de datos de salida en formato XDMF (eXtensible Data Model and Format, por sus siglas en inglés), que pueden ser visualizados a través de ParaView.

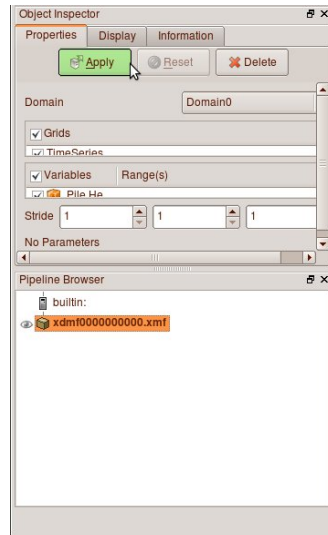
Aunque no es obligatorio, el formato XDMF utiliza librerías HDF5 para almacenar los datos (grilla computacional, altura de pila, etc.). Se recomienda que TITAN sea compilado con soporte HDF5. HDF5 es un software libre, que se puede descargar del sitio web de HDF (<http://hdf.ncsa.uiuc.edu/HDF5/>).

Cuando se selecciona este tipo de archivos de salida, si TITAN fue compilado con soporte HDF5, generará archivos con nombre *xdmf\*.xmf* y *xdmf\*.h5*. De otra forma solo se generarán archivos *xdmf\*.xmf*, los datos estarán en formato ASCII, archivos que pueden ocupar mayor espacio en comparación con los archivos HDF5.

Visualizar datos:

1. Para abrir ParaView, en linux, usar el comando `paraview` desde una terminal o línea de comandos.
2. Abrir el archivo `xdmf0000000000.xmf`, utilizando el menú “File” y a continuación “Open” o `Ctrl+O`.
3. Dar clic en el botón “Apply” ubicado en el panel de la izquierda (Ver Figura 4.1). En este momento aparecerá el mapa en la ventana principal.
4. Ajuste la visualización con el ratón de la siguiente manera:
  - Mantenga pulsado el botón izquierdo y mueva el ratón para girar la vista.

Figura 4.1: Panel izquierdo ParaView



- Mantenga pulsados los botones, izquierdo y derecho y mueva el ratón para desplazar la vista, también puede realizarlo con el botón scroll.
  - Mantenga pulsado el botón derecho y mueva el ratón para acercarse o alejarse.
5. En la pestaña “Display”, puede modificar las propiedades de la pila por el color o cambiar los niveles de contorno usando “Edit Color Map”.

Crear animaciones:

1. Realice los anteriores pasos y configure la visual deseada.
2. Con la barra de herramientas “VCR Controls” puede hacer una pre-visualización de toda la animación o cuadro a cuadro.
3. Guarde la animación, utilice el menú “File”, “Save Animation”

NOTA: ParaView es un software libre con versiones compatibles con Windows, presentando mejores resultados en la creación de animaciones con este sistema operativo que con Linux.