



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería de Minas
Área de Procesamiento de Minerales
<http://cipres.cec.uchile.cl/~pmineral>



MODSIM – Modular Simulator for ore dressing plants

Simulador de Procesamiento de Minerales en Estado Estacionario

Manual del Usuario

Magín Torres Rubilar

Santiago de Chile

Agosto de 2006

Antecedentes

MODSIM (Modular simulator for ore dressing plants) es un software de simulación de plantas de procesamiento de minerales, fue desarrollado en virtud de los exitosos resultados logrados por la creación de un simulador de plantas de flotación durante un programa de Investigación del Mintek's Chemical Engineering Research Group del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Natal, Durban, Sudáfrica. La aplicación extraordinaria del simulador a la industria (King, Pugh y Langely 1973), activó el desarrollo de un simulador de circuitos arbitrarios y complejos de diversas operaciones asociadas al procesamiento de minerales.

El módulo principal (núcleo) del software MODSIM, fue desarrollado como proyecto de tesis de doctorado de M. A. Ford (1979), quien en código FORTRAN escribió el código correspondiente a los bucles de búsqueda, a la descomposición de circuitos y a los cálculos secuenciales. El núcleo del código escrito por Ford no ha sufrido variación alguna y todavía es incluido en las versiones más recientes del software.

Los modelos para las operaciones unitarias son independientes del núcleo central (módulos), con el fin de que los modelos evolucionan gradualmente de acuerdo a los requerimientos de operación y a los avances en investigación.

En la medida de que un simulador completo como es MODSIM produzca información útil del proceso a ser simulado, el usuario debe tener en mente tres tipos de datos básicos:

- La estructura del flowsheet: Qué operaciones unitarias están presentes en el proceso y cómo se encuentran conectadas.
- La naturaleza del mineral a ser procesado: Composición mineralógica y estructura, tonelaje y granulometría.
- Las características operacionales de cada unidad en el flowsheet: Cuál es el mejor modelo que se adapta al problema y cuáles son los valores de los parámetros del modelo escogido.

MODSIM ha sido utilizado principalmente como una herramienta académica en la familiarización de los estudiantes de procesamiento de minerales con la simulación y resolución de problemas. Asimismo, la estructura modular del software permite agregar fácilmente nuevos modelos y del mismo modo modificarlos.

El alcance no menos importante de MODSIM corresponde a que es un simulador steady-state, por lo que no está diseñado para simular operaciones dinámicas, útiles en el control de procesos.

Cómo utilizar el MODSIM

La elaboración de un circuito metalúrgico puede ser desarrollada por el usuario en un período de tiempo considerablemente corto, construyendo el flowsheet e ingresando toda la información en interfaces

gráficas. Asimismo la información de salida puede ser fácilmente obtenida para su posterior procesamiento mediante hojas de cálculo.

Para comenzar a simular un circuito, se debe ejecutar el programa desde el sistema operativo, posteriormente aparecerá la siguiente ventana:

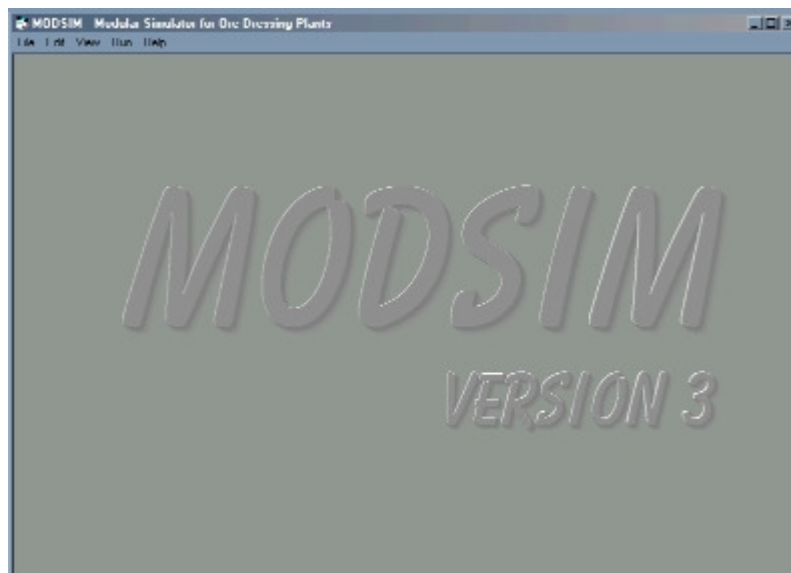
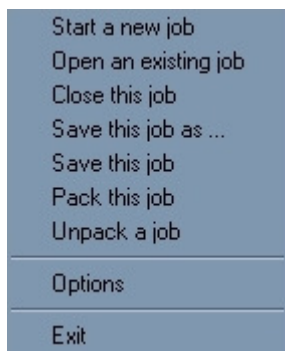
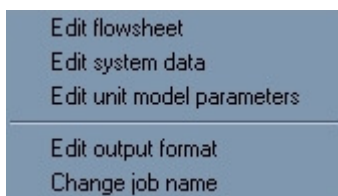


Fig 1. Ventana principal de la aplicación

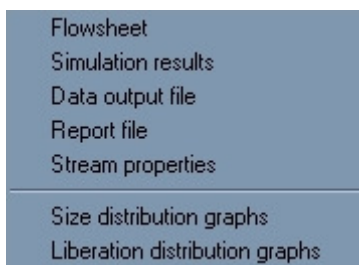
Los datos y las simulaciones están organizados según una base de archivos individuales (JOBS). Si el usuario desea realizar la misma experiencia en otra estación de trabajo, debe guardar todos los archivos relacionados con la simulación. Para facilitar la experiencia es posible compilar estos trabajos y generar un archivo (PAK) que contiene toda la información relativa al circuito simulado.



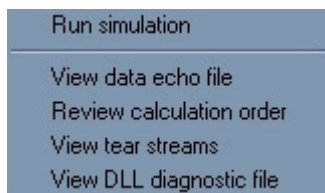
Desde el menú FILE es posible crear un nuevo trabajo, abrir uno existente, guardar el trabajo actual así como generar y abrir los trabajos compilados (PAK).



Desde el menú EDIT es posible editar el flowheet usando el editor gráfico, editar o ingresar datos al sistema, así como elegir el modelo de la operación unitaria, escoger el formato de los datos de salida y cambiar el nombre del trabajo.



Desde el menú VIEW es posible visualizar el flowsheet, los resultados y archivos de salida de la simulación, así como las gráficas de granulometría y liberación.



Desde el menú RUN se puede ejecutar la simulación y realizar diversas pruebas de diagnóstico en el caso de generarse un error de ejecución debido a una serie de datos inconsistentes o mal ingresados.

Para comenzar un nuevo trabajo, se debe abrir el menú File y se debe seleccionar Start a new job. Posteriormente aparecerá la ventana de edición gráfica donde es posible comenzar a dibujar el diagrama de flujos.

Dibujo del Flowsheet

La descripción principal de un circuito metalúrgico corresponde al flowsheet, éste diagrama identifica a cada una de las operaciones unitarias y describe las relaciones de

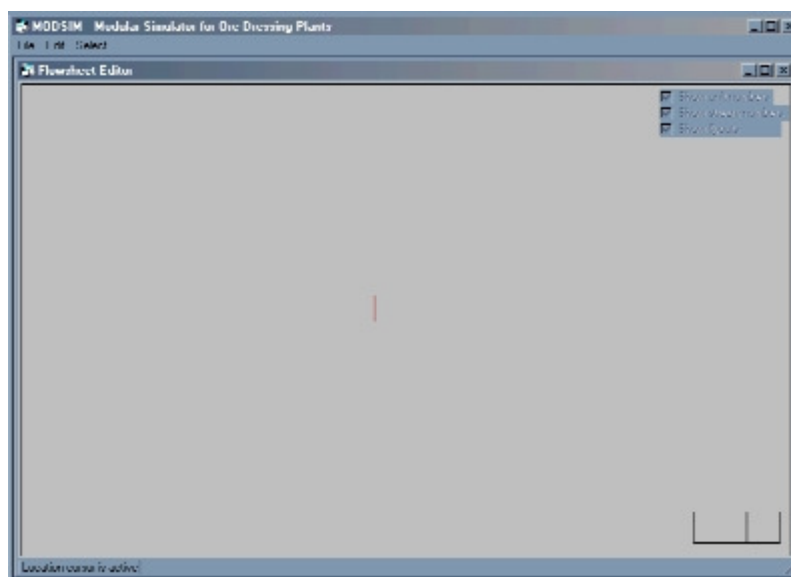
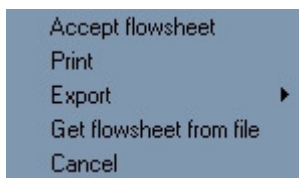
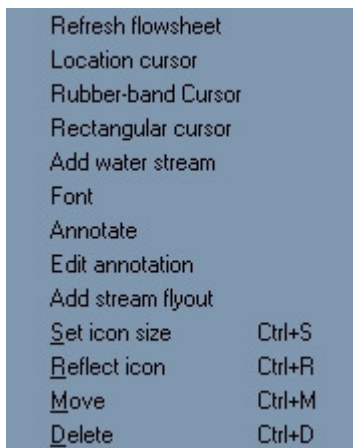


Fig 2. Ventana del editor de gráficos (Flowsheet Editor)

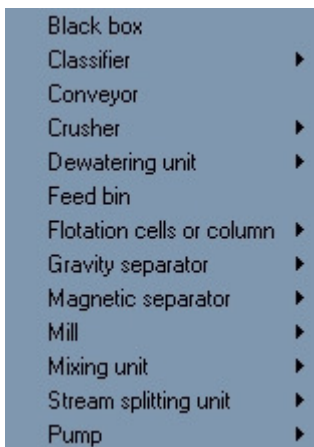
flujos entre ellas. MODSIM facilita la construcción de éstos diagramas mediante herramientas de diseño, las cuales incluyen íconos representativos para cada operación.



El menú FILE permite aceptar el flowsheet para el circuito diseñado, imprimirlo, exportarlo como archivo PostScript



El menú EDIT permite actualizar el diagrama, dibujar los flujos de agua y mineral, escribir anotaciones y modificar propiedades de los flujos e íconos.



El menú SELECT contiene los íconos todas las operaciones unitarias disponibles en el MODSIM: Clasificación, Chancado, Filtración y espesamiento, Concentración por flotación, Concentración por gravedad, Concentración por medios magnéticos, Molienda y Mezclamiento.

Cada ícono se dibujará donde se encuentre situado el cursor rojo. Las unidades se conectan por líneas de flujo que comienzan y terminan en puntos específicos de cada ícono, tal como muestra el diagrama de la Fig 3.

Los flujos se dibujan dependiendo del tipo de cursor, el ítem *Rectangular cursor* del menú *Edit* es usado para dibujar flujos que contienen segmentos horizontales y verticales, si el flujo a dibujar contiene segmentos diagonales, entonces se debe seleccionar el ítem *Rubber band cursor* del menú *Edit*. Presione el botón izquierdo del mouse para empezar a dibujar el flujo y presiónelo tantas veces por tantas esquinas o giros que sean necesarios. Una vez terminado, presione el botón derecho del mouse para terminar.

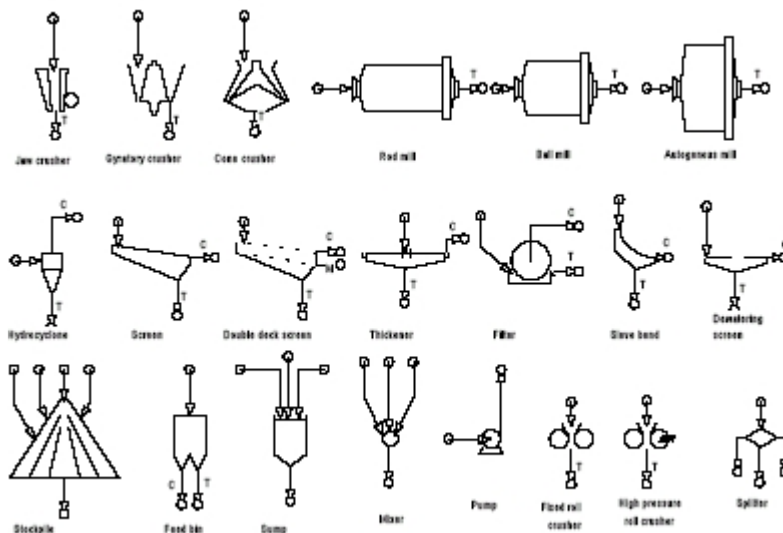


Fig 3. Configuraciones únicas de flujos para los íconos de operaciones unitarias

Alcances en la creación de flowsheets:

- Si el flujo está mal enlazado, entonces se dibujará un círculo en el extremo libre del mismo.
- Todos los íconos excepto un mezclador, un stockpile y un pozo poseen sólo un flujo de alimentación.
- Los flujos de alimentación y los productos de la planta o circuito no comienzan ni terminan en un ícono respectivamente.
- Cuando se requiere unir dos flujos, es necesario que ambos alimenten a un mezclador.
- Puede ser agregada agua al sistema mediante la opción `Add water stream` del menú `Edit`. La cantidad de agua a agregar puede ingresarse como m^3/h o como la necesaria para obtener cierto porcentaje de sólidos en peso de la pulpa.
- Se puede asociar una unidad a un flujo que no esté conectado moviendo el ícono hasta la posición deseada. Es importante actualizar el flowsheet después de realizar cualquier cambio, ésta operación se realiza seleccionando el ítem `Refresh Flowsheet` del menú `Edit`.
- El tamaño y la orientación de los íconos se pueden modificar con los ítems `Change icon size` y `Reflect icon` del menú `Edit`.
- Para borrar un ícono o una línea de flujo se debe seleccionar el ítem `Delete` del menú `edit` y posteriormente hacer click sobre el ícono o flujo a borrar.
- Se pueden escribir comentarios utilizando la opción `Annotate` del menú `Edit`, se selecciona la posición a escribir mediante la cruz roja. La fuente del comentario puede ser elegida del ítem `Font` del mismo menú.

Una vez terminado el diagrama, se selecciona la opción `Accept Flowsheet` del menú `File`. Inmediatamente MODSIM preguntará por el nombre del trabajo:

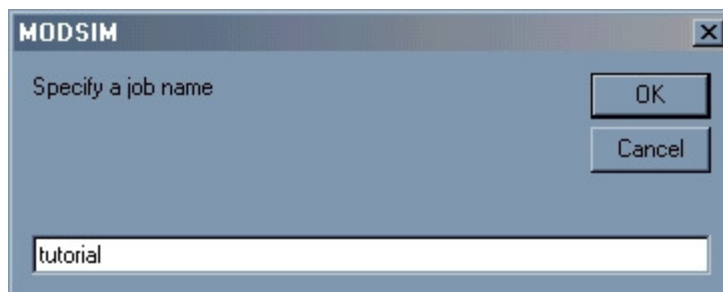


Fig 4. Cuadro de diálogo de ingreso del nombre del trabajo

Ingreso de Datos: Características del Mineral

Los datos del sistema describen las características del mineral a procesar en el circuito. Éstas características se mantienen fijas durante toda la simulación y son ingresadas en la opción `System data` del menú `Edit`. Aparecerá un formulario de ingreso de datos de las características del mineral y de los flujos en pantalla. Puesto que el uso del software está orientado a los procesos de conminución, siempre se procesarán minerales convencionales (*conventional minerals*). Por otro lado MODSIM también puede simular plantas de lavaderos de carbones.

Fig 5. Formulario de ingreso de características del mineral y flujos

Los campos del formulario de ingreso de datos (Fig. 5) se describen a continuación:

- **Number of minerals:** Indica el número de especies significativas en la simulación (en éste caso siempre es uno).

- Mineral names: Asigna un nombre a cada mineral especificado por el número ingresado en el campo anterior. En éste caso, se ha denominado “Roca” al único mineral.
- Mineral specific gravities: Corresponde a la gravedad específica
- Number of size classes: Especifica el número de tamaños que utilizará MODSIM en la simulación. Se recomiendan 25 tamaños, puesto que proveen una mejor aproximación a la distribución de tamaños. El número especificado no necesariamente debe ser igual al número de tamaños que están disponibles por datos experimentales.
- Largest particle size: Determina el tamaño máximo de partícula utilizado en la simulación, debe ser de un tamaño mayor al determinado por la distribución granulométrica y su valor debe ser ingresado en metros.

MODSIM proporciona métodos para mejorar la convergencia del cálculo iterativo. Las características y criterios de convergencia pueden ser especificados en el formulario siguiente, el cual se accede presionando el botón *Set convergence properties* del formulario anterior.

The image shows a Windows-style dialog box titled "Specify convergence parameters". It has a close button (X) in the top right corner. Inside the dialog, there are two main sections. The first section, "Convergence method", contains four radio buttons: "Direct substitution", "Bounded Wegstein", "Modified Newton" (which is selected), and "Midpoint". The second section, "Tolerance required", contains three radio buttons: "10%", "0.1%" (which is selected), and "1%". Below these sections, there is a text field labeled "Maximum iterations allowed" with the value "30" entered. At the bottom left, there is a checked checkbox labeled "Start simulation from previous end point". At the bottom right, there are two buttons: "Cancel" and "Accept".

Fig 6. Formulario de ingreso de propiedades de convergencia

Existen cuatro métodos de convergencia. El método de Newton modificado es preferido, pero a veces su radio de convergencia puede ser muy pequeño y surge la sustitución directa como un método robusto, pero lento. Los métodos de Wegstein y del punto medio (midpoint) pueden ser utilizados cuando la convergencia parece ser ondulatoria, pero tienden a ser métodos muy lentos. La falta de convergencia se traduce en un indicador de que los datos especificados para las operaciones unitarias no pueden generar soluciones finitas para un modelo steady-state.

En el mismo formulario se puede escoger la tolerancia para el cálculo de las iteraciones y el número máximo de iteraciones en el caso que la convergencia sea dificultosa.

Cuando un flowsheet contiene cargas circulantes, es necesario descomponer los flujos para un cálculo secuencial. MODSIM realiza estos cálculos internamente usando flujos separados. Se comienza a iterar suponiendo que no existe tal carga circulante, al término del ciclo se ingresan los últimos datos (sin considerar el flujo recirculado) a la siguiente iteración hasta obtener un grado de tolerancia requerido. La activación de ésta opción puede ahorrar mucho tiempo de ejecución.

Ingreso de Datos: Características de los Flujos

Los flujos de alimentación al circuito, debe ser completamente descritos con respecto a tonelaje, composición y distribución de tamaños. Para editar las propiedades de cada flujo, se debe hacer doble click en el número correspondiente al flujo (número determinado al momento de dibujar el flowsheet). El MODSIM reconoce los flujos de alimentación al circuito y los flujos de alimentación de agua. Al hacer doble click en el flujo que está en la lista Feed del formulario de ingreso de datos del sistema (Fig 5).

Mesh size	% Passing
Infinity	100.00
4.750E-3	99.90
3.350E-3	99.20
2.360E-3	97.70
1.700E-3	94.50
1.180E-3	88.20
8.500E-4	80.40
6.000E-4	70.50
4.250E-4	61.80
3.000E-4	52.20
2.120E-4	43.90
1.500E-4	35.80
1.060E-4	28.50
7.500E-5	22.20
5.300E-5	17.80

Stream number 1 Stream name Rod mill discharge

Number of mesh sizes in your data 15

Units of size: ☒ micron ☐ mm ☐ cm ☐ m ☐ inch

☐ Use Rosin-Rammler distribution

Feed rate 4.4528E+1 Percent solids 76.10

Units of feed rate: ☒ kg/s ☐ Short tons/hr ☐ tonnes/hr ☐ Long tons/hr

Data set: ☒ New ☐ Current ☐ Default

Specify grade distributions

Specify distribution over S-classes

Cancel Accept

Fig 7. Formulario de ingreso de propiedades de los flujos

El número del flujo está determinado en el campo `Stream number`, se puede asignar un nombre al flujo en el campo `Stream name` para una posterior identificación. Se puede especificar el número de tamaños que estarán disponibles en el análisis granulométrico del flujo. No es necesario que tal valor sea el mismo que el número especificado en el formulario de datos del sistema.

Las tablas `Mesh size` y `% passing`, se deben completar con los valores de la abertura de la malla y el porcentaje bajo tamaño respectivamente. Si bien los datos de la granulometría se pueden ingresar manualmente, también existe la posibilidad de ingresarlos mediante los parámetros de la distribución de Rosin-Rammler. Los parámetros de Rosin-Rammler corresponden a λ (exponente de la distribución) y a $d_{63.2}$, que corresponde al tamaño bajo el cual se encuentra el 63.2% de la muestra. El botón `Clear`, limpia los campos de la distribución y genera la nueva distribución de Rosin-Rammler en caso de estar activada.

Las unidades del tamaño y tasa de alimentación, pueden ser elegidas haciendo click con el botón izquierdo del mouse. Al hacer click con el botón derecho, se seleccionará tal unidad y MODSIM realizará la conversión automáticamente a esas unidades. Este procedimiento es válido para cualquier formulario.

El campo correspondiente a `Feed rate` corresponde al flujo de pulpa a tratar (en las unidades seleccionadas) y el campo `Percent solids` corresponde al porcentaje de sólidos en peso de la pulpa (0-100%).

Para ingresar un flujo de agua, se debe hacer click en el número del flujo presente en la lista del formulario mostrado en la Fig 5.

Fig 8. Formulario de ingreso de propiedades del flujo de agua

Análogamente con el formulario de la Fig. 7, se puede asignar un nombre al flujo de agua. El agua añadida al proceso puede ser ingresada de dos formas: Como una tasa fija de modo de obtener un porcentaje de sólidos requerido o como un flujo normal.

Elección de un modelo

La mayoría de los modelos incorporados en el MODSIM requieren uno o más parámetros para operar, el ingreso de tales parámetros es realizado en formularios especialmente diseñados para tal propósito. Al elegir el ítem `Edit unit model parameters` del menú `Edit`, aparecerá el siguiente cuadro de diálogo.

Unit number	Unit type
1	Vibrating screen
2	Mixer
3	Sieve bend
4	Dewatering screen
5	Dense-medium cyclone
6	Mixer
7	Mixer
8	Coal washing unit
9	Mixer
10	Water-only cyclone
11	Sump
12	Mixer
13	Mixer
14	Pass-through unit

Fig 9. Cuadro de diálogo de selección modelos para cada operación unitaria

El número de cada unidad corresponde al número entregado al momento de editar el flowsheet. Al seleccionar una unidad, se visualizarán todos los modelos disponibles en la casilla MODELS. El acceso del formulario de ingreso de los parámetros para cada modelo se consigue haciendo doble click sobre el modelo seleccionado. Si la casilla Help se encuentra seleccionada, se visualizará una pantalla de ayuda para el modelo elegido junto con una pequeña reseña del modelo y el significado de cada parámetro.

Presentación de los datos de salida y ejecución de la simulación

Al escoger el ítem Edit output format del menú Edit, aparecerá el siguiente formulario donde se pueden escoger los valores calculados a mostrar, las unidades y la granulometría de los flujos seleccionados.

Fig 9. Formulario de edición del formato de datos de salida

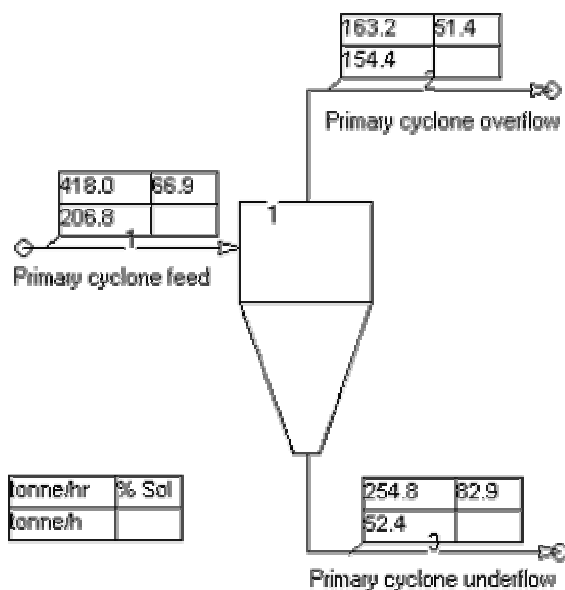
Para ejecutar la simulación se debe escoger el ítem Run simulation del menú Run. Al término de la ejecución aparecerán las siguientes ventanas indicando que la simulación y la salida de datos se han completado con éxito.



En caso contrario, es imperativo revisar la consistencia de los datos y el modo de ingresarlos al sistema.

Visualización de resultados

Una vez terminada la simulación, se puede mostrar el flowsheet haciendo click en la opción `Flowsheet` del menú `View`. Si se desea observar las propiedades de cada flujo, se pueden agregar ventanas de información denominadas flyouts.



Para agregar un flyout, se debe escoger la opción `Add stream flyout` del menú `Edit` y luego hacer click sobre el flujo que se desea caracterizar. Para actualizar los datos se debe escoger la opción `Refresh flowsheet` del menú `Edit`.

Obtención de datos

Para obtener datos, copiarlos y luego procesarlos en cualquier hoja de cálculo; se debe escoger la opción `Simulation results` del menú `View`. Aparecerá una pantalla similar a una hoja de cálculo, en la cual se muestran los datos especificados en el formulario mostrado en la Fig. 9.

Stream	Solid flow (t/hr)	Volatile flow (t/hr)	C. ash	Yield of Solids	Rec. of Ash	Grade of Ash	Rec. of Lumps	Grade of Lumps	Rec. of Ash	Grade of Ash	Rec. of Lumps	Grade of Lumps
1	100000	0.00	100000	100000	100000	10.00	100000	10.00	100000	10.00	100000	10.00
2	200000	0.00	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
3	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
4	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
5	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
6	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
7	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
8	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
9	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
10	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
11	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
12	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
13	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
14	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
15	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
16	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
17	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
18	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
19	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
20	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
21	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
22	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
23	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
24	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00
25	200000	100000	200000	200000	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00	200000	10.00

Fig 10. Ventana de datos entregados por el simulador

Los datos necesarios pueden ser fácilmente seleccionados y copiados (Ctrl + C) para su posterior análisis y procesamiento.

Gráficos de distribución de tamaño

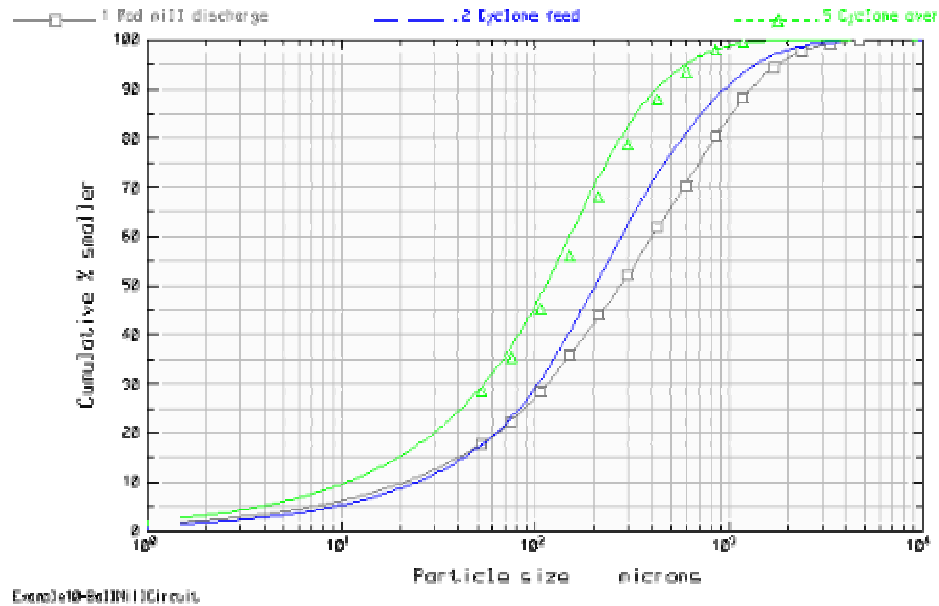
Se pueden obtener los gráficos de todos los flujos de la planta de forma rápida, en unidades y escalas definidas por el usuario.

Fig 11. Formulario de generación de gráficos de distribuciones

En la Fig. 11, se muestra que se han seleccionado las distribuciones de los flujos 1, 2 y 5 para ser graficadas (menú Graph list). Se ha seleccionado coordenadas semilogarítmicas (Linear-log) del

menú Coordinates y las unidades a graficar corresponden a micrones (Units for size = microns).

Al activar la casilla Show experimental data, se graficarán los datos ingresados en la alimentación en las tablas Mesh size y % passing, del formulario mostrado en la Fig. 7. La casilla Show grid lines, muestra las líneas del área de la grilla del gráfico.



Reportes

Se puede obtener un mayor nivel de detalle del comportamiento de las unidades participantes en el circuito, generando reportes mediante la opción Report File del menú View. El archivo de reportes generalmente mostrará las características de los flujos antes y después de pasar por la unidad, así como cualquier información relevante (warnings) que ayudarán al alumno o al ingeniero de planta a determinar el actual estado de la operación unitaria.

Las siguientes páginas corresponden a un archivo de reporte generado por MODSIM.

* MODSIM UNIT DESIGN REPORT *

UNIT EQUIPMENT DATA SHEET - BALL MILL

Unit number 1 MODSIM model name HFMI
Job name: Ex10-3BallMill

PARAMETERS:

Parameters for selection function

Energy-specific selection function at 1 mm: .600 tonnes/kWhr

Zeta 1: .800

Zeta 2: -.312

Parameters for breakage function

Beta: 3.700

Gamma: .748

Delta: .000

Phi at 5mm: .720

Specified power draw for the mill: 616. kW

Size distribution in FEED

Size mms	% passing
4.21	99.82
2.97	99.25
2.11	97.84
1.48	94.65
1.05	89.36
.742	81.59
.526	71.58
.371	59.02
.263	44.59
.186	32.02
.131	22.23
.929E-01	15.72

.657E-01	11.57
.464E-01	8.86
.328E-01	6.78
.232E-01	5.20
.164E-01	3.98
.000	.00

Size distribution in PRODUCT

Size mms	% passing
4.21	99.94
2.97	99.76
2.11	99.28
1.48	98.07
1.05	95.67
.742	91.36
.526	84.48
.371	74.12
.263	60.21
.186	46.02
.131	33.69
.929E-01	24.67
.657E-01	18.45
.464E-01	14.14
.328E-01	10.85
.232E-01	8.33
.164E-01	6.40
.000	.00

80% passing size in feed	700.	microns
80% passing size in product	449.	microns
Calculated specific power input	2.39	kWhr/tonne
Calculated operating work index for this mill	25.4	kWhr/tonne