

5.4.3 Modelado de un sistema que incluye más de un proceso

Ejemplo 5.3

A un sistema arriban 2 tipos de piezas. La primera es un engrane que llega a una estación de rectificado donde se procesa por 3 ± 1 minutos; la distribución de probabilidad asociada a las llegadas de este engrane a la fila de la rectificadora es una distribución normal con tiempo promedio de 13 minutos y desviación estándar de 2 minutos. La segunda pieza es una placa de metal que llega a una prensa con una distribución de probabilidad exponencial con media de 12 minutos. La prensa procesa un engrane cada 3 minutos con distribución exponencial. Al terminar sus procesos iniciales, cada una de estas piezas pasa a un proceso automático de lavado que permite limpiar 2 piezas a la vez de manera independiente; este proceso, con distribución constante, tarda 10 minutos. Finalmente, las piezas son empacadas en una estación que cuenta con 2 operadores, cada uno de los cuales empaqueta un engrane en 5 ± 1 minuto y una placa en 7 ± 2 minutos. Se sabe que los tiempos de transporte entre las estaciones es de 3 minutos con distribución exponencial. No hay almacenes entre cada proceso: sólo se tiene espacio para 30 piezas antes de la prensa y 30 antes de la rectificadora. Asuma que cada día de trabajo es de 8 horas. Simule este sistema por 40 días, indicando el momento en que se inicia y se termina la simulación.

Esquematización inicial del modelo

Antes de comenzar a definir el modelo en ProModel, es conveniente analizar el problema. El primer paso consiste en esquematizar el sistema, como se muestra en la figura 5.25.

Definición de localizaciones

Recordemos que el modelado en ProModel comienza por la definición de las localizaciones físicas de nuestros procesos, en este caso:

1. La fila de llegada para la rectificadora, con capacidad para 30 piezas.
2. La fila de llegada para la prensa, con capacidad para 30 piezas.
3. El proceso de rectificado, con capacidad para una pieza.
4. El proceso de prensado, con capacidad para una pieza.
5. El proceso de limpieza, con capacidad para limpiar dos piezas de manera independiente.
6. El proceso de empaque, en el que participan dos operadores independientes.

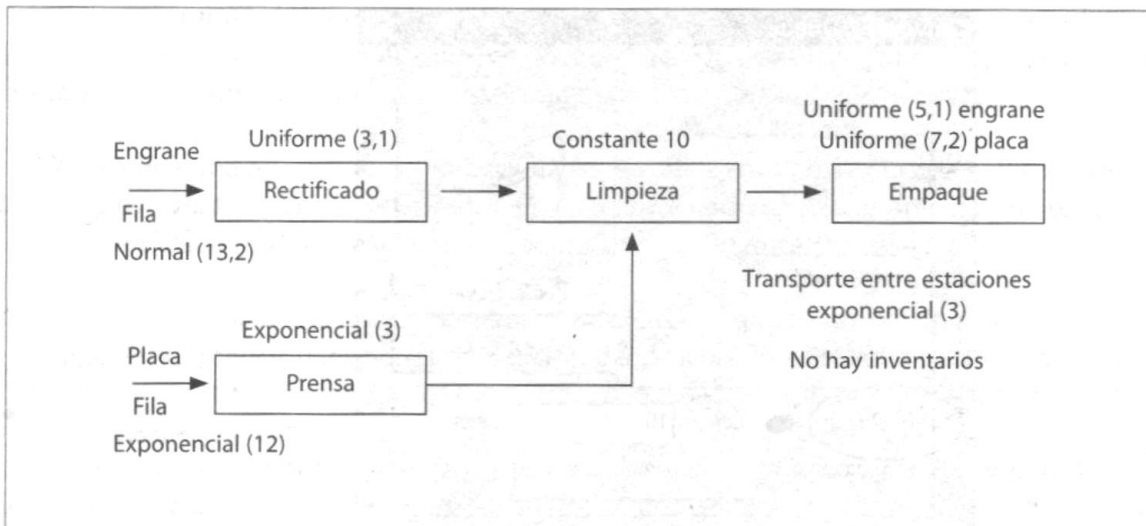



Figura 5.25 Esquema del sistema a modelar en el ejemplo 5.3

En este modelo aparece un nuevo tipo de localización, ya que debemos definir filas de entrada. En muchos sistemas se tienen bandas o transportadores que se encargan de desplazar las piezas de un proceso a otro; en otros casos, como el de las instituciones bancarias, hay solamente una fila, donde cada cliente espera a ser atendido. ProModel permite simular estos detalles.

Por ejemplo, para definir una fila:

- Abra el menú **Build** y elija **Locations**.
- Seleccione el icono que parece una escalera horizontal () en la ventana **Graphics**, y haga clic en la posición de la ventana **Layout** donde quiere que aparezca la fila de rectificado. Si mueve el cursor del ratón al realizar este procedimiento, una flecha indicará que está definiendo la fila; colóquese en el lugar donde quiere que termine la fila y haga doble clic. Es importante mencionar que si sólo hace un clic en la posición final, seguirá construyendo la misma fila; esta característica es muy útil para definir en una sola localización bandas o transportadores que pasen por toda la planta o por varios procesos.

Podría ocurrir que al definir nuestra fila el icono apareciera como una banda de rodillos más que como una fila; sin embargo, es importante que el modelo sepa que se ha definido una fila y no una banda, pues al momento de la simulación trata cada elemento de manera diferente. Le recomendamos que consulte la ayuda de ProModel para conocer todas las características que se pueden asignar a una fila y a una banda. Por lo pronto, una buena forma de asegurarse de que la localización es una fila (**queue**) y no una banda (**conveyor**), haga doble clic en ella desde la ventana **Layout**; enseguida se desplegará el cuadro de diálogo **Conveyor / Queue** (vea la figura 5.26), en donde además, podrá controlar varias características de la localización:

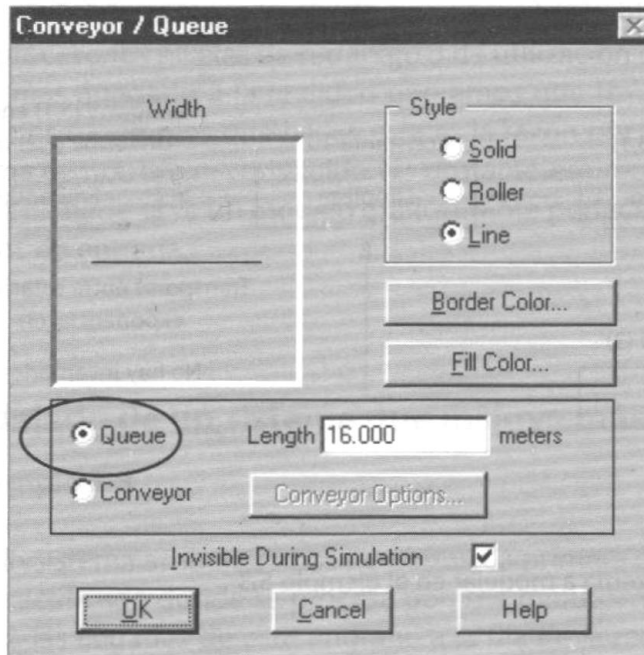


Figura 5.26

Definición de las características de una fila

- Asegúrese de que esté marcada la casilla de verificación de la opción **Queue**.
- Recuerde que el icono es sólo una representación visual, así que puede decidir, en la sección **Style**, si el icono aparecerá sólido (**Solid**), como banda de rodillos (**Roller**) o sólo como una línea (**Line**).
- Si desea que el icono no aparezca al momento de ejecutar la simulación, marque la casilla de verificación de la opción **Invisible During Simulation**.
- Además de estas características, el cuadro de diálogo permite definir otras, como el color de borde y de relleno del icono (mediante los botones **Border Color** y **Fill Color**) y su longitud (**Length**), en metros.
- Al terminar de definir las características de la fila de rectificado, haga clic en el botón **OK**.

Repita el procedimiento para determinar la localización de la prensa. (Recuerde que ambas filas tienen una capacidad de 30 piezas solamente.) Luego defina la prensa y la rectificadora de la misma manera que definimos otros procesos en los ejemplos anteriores.

A continuación definiremos la lavadora, seleccionando para ello el icono que deseemos que la represente. Para una mejor visualización, coloque 2 iconos de posicionamiento sobre el icono que representará a la lavadora (recuerde que ésta tiene capacidad de limpiar dos piezas a la vez y de manera independiente).

Por último, defina los operadores de ensamble. De acuerdo con la descripción, en el proceso participan dos operadores que realizan la misma operación, pero de manera independiente. Observe que, en el caso de la lavadora, un mismo equipo tiene capacidad para realizar 2 procesos de lavado, mientras que ahora tenemos dos operarios que realizan la misma operación de empaque.

Para definir esto en el modelo podemos proceder de dos maneras. La primera consiste en especificar a cada operador de empaque como una nueva localización; sin embargo, a

nivel de programación tendremos que determinar rutas de entrada y salida para cada uno de ellos. La segunda opción es más práctica: se trata de establecer que el proceso de ensamble tiene 2 unidades de capacidad, una por cada operador. Para lograrlo:

- Defina una operación de empaque y, al terminar, coloque un 2 en la columna **Units** de la ventana **Locations**. Después de aceptar este cambio aparecerá una segunda localización, idéntica a la que definimos originalmente.

Si desea cambiar de posición dicha localización, hágalo; esto no afectará el modelo. Es importante mencionar que si la definición del proceso implica más de un icono, es posible mover todos los iconos de esa localización a la vez si se toman de la línea punteada que aparece en su contorno.

Esta manera de definir localizaciones iguales facilita la programación y permite seguir las tratando de manera independiente, lo cual resulta muy útil cuando queremos simular, por ejemplo, un banco con 10 cajeros que realizan las mismas operaciones.

Al terminar estas definiciones, el modelo se verá como se muestra en la figura 5.27.

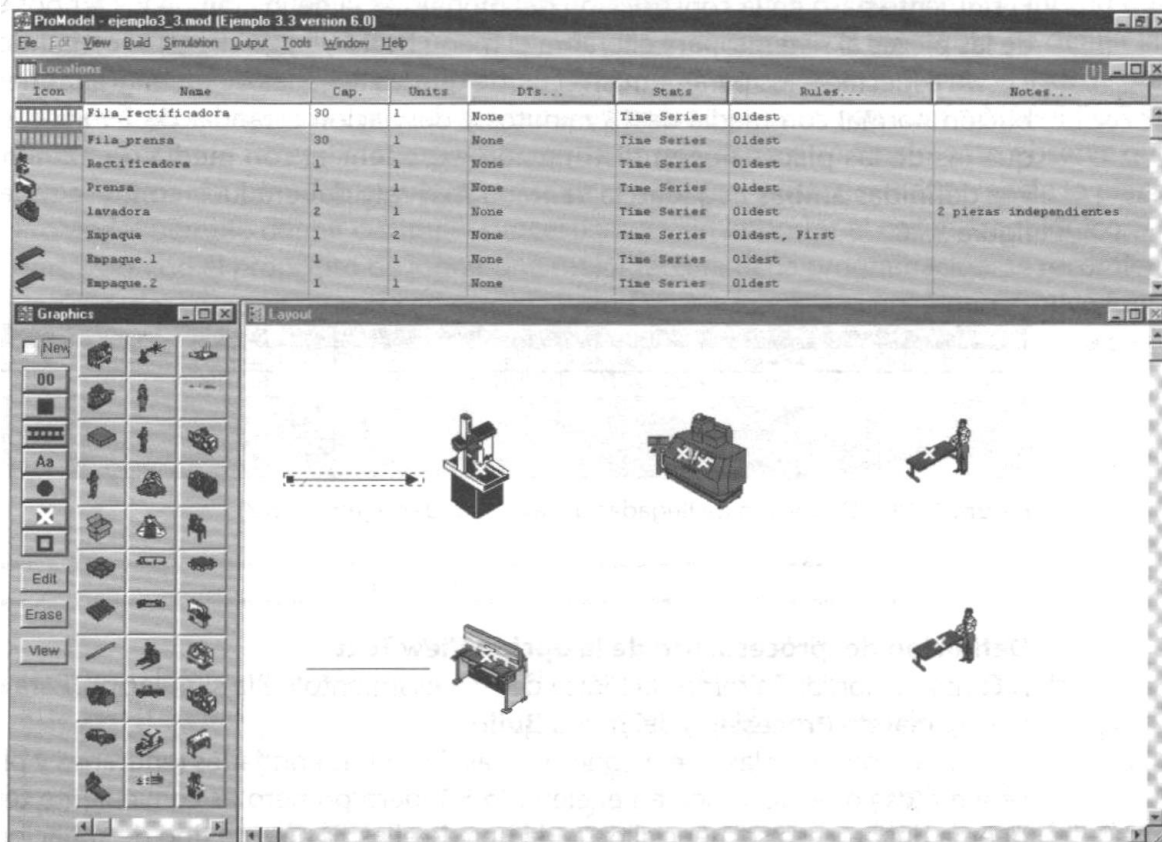


Figura 5.27 Definición de localizaciones para el ejemplo 5.3

Observe que, aunque las filas aparecen como líneas en el modelo, en la ventana **Locations** siempre lucirán como bandas de rodillos.

Definición de entidades

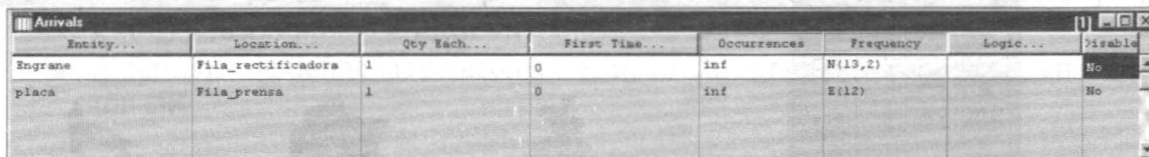
El siguiente paso en la construcción de nuestro modelo será la definición de las entidades. Para ello es necesario desplegar la ventana apropiada mediante el comando **Entities** del menú **Build**. En este problema será necesario definir dos entidades: una que represente el engrane y otra que represente la placa.

Comenzaremos por definir el engrane seleccionando el gráfico para dicho propósito. Como se mencionó en el ejemplo 5.1, para mejorar el aspecto visual podemos agregar una segunda gráfica. Después repetimos el mismo proceso para la placa. Observe que en la parte inferior de la ventana **Graphics** aparecen unas dimensiones bajo el concepto **Conveyor Only**: estas dimensiones son las que tomaría la pieza si entrara a alguna localización definida como banda y no como fila. Uno de los problemas que podrían presentarse al momento de simular el modelo, es que estas dimensiones sean demasiado grandes, lo que ocasionaría que las piezas no pudieran ser contenidas en la banda. Al momento de definir el modelo es importante considerar que el simulador tomará en cuenta las dimensiones físicas de las piezas definidas en la opción **Conveyor Only** en caso de entrar a una banda; sin embargo, las ignorará cuando entren a una fila.

Definición de llegadas

El siguiente paso en la construcción del modelo es la definición de los arribos o llegadas de las piezas al sistema; para ello, abra el menú **Build** y haga clic en el comando **Arrivals**.

Al especificar los parámetros, recuerde que las llegadas de los engranes tienen distribución normal con media de 13 minutos y desviación estándar de 2 minutos, mientras que las de las placas tienen distribución exponencial con media de 12 minutos. Una vez definidas ambas llegadas, la ventana **Arrivals** deberá lucir como se muestra en la figura 5.28.



| Entity... | Location... | Qty Each... | First Time... | Occurrences | Frequency | Logic... | Visible |
|-----------|--------------------|-------------|---------------|-------------|-----------|----------|---------|
| Engrane | Fila_rectificadora | 1 | 0 | inf | N(13,2) | | No |
| placa | Fila_prensa | 1 | 0 | inf | E(12) | | No |

Figura 5.28 Definición de llegadas de las entidades (ejemplo 5.3)

Definición del proceso: uso de la opción View Text

A continuación definiremos la lógica de procesamiento de la simulación. Para ello ejecute el comando **Processing** del menú **Build**.

Para programar las operaciones y rutas de ambas entidades (engranes y placas), procederemos como se indicó en el ejemplo 5.1, pero primero es conveniente tener un esquema del proceso secuencial de cada una de ellas. Es en este tipo de situaciones donde herramientas como los diagramas de operación resultan útiles para realizar una programación más eficiente.

Recuerde que el tiempo de transporte entre procesos es de 3 minutos, con distribución exponencial. Por lo tanto, en cada ruta que implique movimiento de un proceso a

otro será necesario programar la instrucción **move for E(3)** en la columna **Move Logic** de la ventana **Routing**. La sintaxis general de esta instrucción es:

MOVE FOR <tiempo>,

donde el tiempo puede ser una constante, una distribución de probabilidad, una variable o un atributo numérico.

Para ilustrar la programación de ambas piezas en este modelo, emplearemos una opción de ProModel que permite visualizar la mayor parte de la información. Siga estos pasos:

- Abra el menú **File** y haga clic en el comando **View Text**. Enseguida se desplegará en la pantalla toda la información que hemos incluido hasta el momento en el modelo. Esto es muy útil, sobre todo en problemas en los que se requiere mucha programación. En la figura 5.29 se muestra la parte correspondiente al procesamiento que desplegará el comando **View Text**. Tome esta información como referencia para verificar si ha programado la secuencia de los procesos y las rutas de manera adecuada.

Observe que en este ejemplo hemos utilizado el comando **GRAPHIC #**, mismo que permite cambiar la gráfica de la entidad por otra determinada al momento de definir las entidades. El símbolo # representa la posición que tiene la gráfica dentro de la lista de gráficos definidos para esta entidad. Vea también cómo se usa la instrucción **MOVE FOR** en cada caso donde se requiere un transporte de un proceso a otro. Finalmente, observe que se programaron primero las trayectorias del engrane y posteriormente las de la placa. ProModel permite definir cualquier proceso y ruta sin importar el orden cronológico. Sin embargo, con el propósito de lograr una mejor lectura de la programación, se recomienda proceder como se muestra en este ejemplo. De esta manera, si por algún motivo fuera necesario modificar la programación, será más sencillo insertar y eliminar líneas para darle un orden secuencial a la sintaxis de nuestro modelo.

| ***** Processing ***** | | | | | | | |
|------------------------|--------------------|-------------|-----|---------|---------------|---------|---------------|
| ***** | | | | | | | |
| Process | | | | Routing | | | |
| Entity | Location | Operation | Blk | Output | Destination | Rule | Move Logic |
| Engrane | Fila_rectificadora | | 1 | Engrane | Rectificadora | FIRST 1 | |
| Engrane | Rectificadora | wait u(3,1) | 1 | Engrane | lavadora | FIRST 1 | move for E<3> |
| Engrane | lavadora | wait 10 | | | | | |
| | | Graphic 2 | 1 | Engrane | Empaque | FIRST 1 | move for E<3> |
| Engrane | Empaque | wait u(5,1) | 1 | Engrane | EXIT | FIRST 1 | |
| placa | Fila_prensa | | 1 | placa | Prensa | FIRST 1 | |
| placa | Prensa | wait E<3> | 1 | placa | lavadora | FIRST 1 | move for E<3> |
| placa | lavadora | wait 15 | | | | | |
| | | Graphic 2 | 1 | placa | Empaque | FIRST 1 | move for E<3> |
| placa | Empaque | wait u(7,2) | | | | | |
| | | | 1 | placa | EXIT | FIRST 1 | |

Figura 5.29 Instrucciones de procesamiento del ejemplo 5.3

Uso de la instrucción **DISPLAY**

A partir de los pasos que hemos seguido hasta este momento, el modelo deberá poder ejecutarse sin problemas. Sin embargo, aún no hemos incluido el mensaje de inicio y de fin de la simulación que se nos pidió. Para hacerlo:

- Abra el menú **Build** y haga clic en el comando **General Information** para desplegar el cuadro de diálogo correspondiente (vea la figura 5.22).
- Haga clic en el botón **Initialization Logic** y, en la ventana que aparece, escriba la instrucción **DISPLAY "Inicio de la Simulación"**. Esta instrucción desplegará una ventana de mensaje que detendrá la simulación hasta que hagamos clic en uno de los botones incluidos en ella: si hacemos clic en **Cancel**, la simulación no se ejecutará; si hacemos clic en **OK** la simulación comenzará.

Una vez que haya programado el mensaje de inicio, deberá hacer lo propio con el mensaje de finalización de la simulación.

- Vuelva a desplegar el cuadro de diálogo **General Information**, y ahora haga clic en el botón **Termination Logic**.
- Cuando se abra la ventana **Termination Logic**, coloque nuevamente el comando **DISPLAY**, pero esta vez con un mensaje de finalización de la simulación. (Recuerde colocar el texto entre comillas dobles.)

La instrucción **DISPLAY** es muy útil para programar mensajes de alerta dentro de la simulación, o para realizar interacción con el usuario del modelo. Sin embargo, tiene el inconveniente de que detiene la simulación, por lo que es importante utilizarla únicamente cuando el mensaje sea relevante. Por otro lado, si el programador desea colocar comentarios dentro de la programación, puede hacerlo en los espacios reservados para las notas del modelo. Además, si se considera necesario, es posible usar comentarios en la programación de las operaciones y rutas de las entidades, usando cualquiera de las siguientes opciones al comienzo del renglón:

// texto de un solo renglón

texto de un solo renglón

/* texto en varios renglones */. En este caso es necesario definir el inicio del comentario y la finalización del mismo; es por ello que se utilizan dos símbolos

La sintaxis general de la instrucción **DISPLAY** es:

DISPLAY "mensaje">{,<expresión>},

Nuestro modelo se encuentra casi terminado. Sólo nos falta incluir el tiempo que deseamos simular el sistema.

Definición del tiempo de simulación

En el planteamiento del problema se estableció que cada día tiene 8 horas hábiles de trabajo. También se estipuló que el modelo del sistema abarcaría 40 días, por lo que el

tiempo total de simulación será de 320 horas. Dé los pasos pertinentes para determinar estos parámetros como sigue:

- Abra el menú **Simulation** y haga clic en el comando **Options**. En el cuadro de diálogo que se despliega, especifique **320 Hr.** en el campo **Run Hours**. Tenga cuidado de no determinar **40 day**, porque si lo hace el modelo simulará el sistema por 40 días de 24 horas cada uno.

Estamos listos para guardar y ejecutar el modelo. Abra el menú **Simulation** y haga clic en el comando **Save & Run**. Verifique que el modelo se ejecute sin problemas.

Entidades que no pudieron entrar al sistema

Una de las problemáticas que pueden presentarse al momento de modelar un sistema, radica en que la capacidad de las localizaciones de llegada resulte insuficiente para recibir todas las piezas que llegan al sistema. Cuando esto ocurre, ProModel genera, al final de la simulación, un mensaje de advertencia como el que se ilustra en la figura 5.30 (en español, el mensaje dice: "¿Quiere ver los resultados? [NOTA: Se presentaron fallas en la llegada de entidades debido a capacidad insuficiente])."

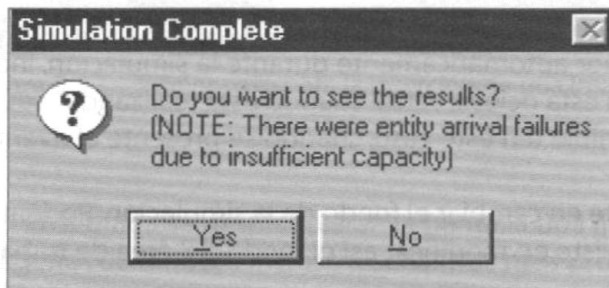


Figura 5.30
Aviso de llegadas fallidas

En este ejemplo se espera que se presente esta situación. Es posible, sin embargo, que no sea así. Todo depende de la computadora que se esté manejando, y también del número de veces que se ejecute la simulación, dado que al ejecutarse en repetidas ocasiones, los números aleatorios que se utilizan para el modelo cambian, modificando a su vez los resultados finales.

Observe que el mensaje de la figura anterior no estipula cuántas entidades no pudieron ser simuladas. Para conocer el dato preciso, consulte la información de la ficha **Failed Arrivals** en el reporte de resultados, donde se mostrará el número de piezas que no pudieron entrar al sistema.

En cualquier caso, a fin de evitar la ocurrencia de este tipo de problema se sugiere al lector que cambie la capacidad de las filas de entrada. Dicho incremento no disminuye de manera lineal el número de piezas que no pudieron ser simuladas. Incluso si se incrementa 300% la capacidad actual de las filas, el modelo seguirá presentando entidades que no pudieron ser simuladas. El analista debe evaluar si es mejor tener filas más grandes —que ocupan más espacio— o modificar algunos de los procesos, de manera que las piezas puedan fluir mejor por el sistema.