

# Sistema de programación tridimensional para simular el comportamiento de flujo de redes de tuberías monofásicas líquidas

*Aurely Leal<sup>1\*</sup>, Jenny Pantoja<sup>1</sup>, Jorge Velásquez<sup>2</sup>, Julene Perdomo<sup>1</sup> y Omer Vilchez<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Departamento de Computación. Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia. Apartado 526. Maracaibo, Venezuela.* <sup>2</sup>*Departamento de Petróleo. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Apartado 526. Maracaibo, Venezuela.*

Recibido: 19-07-06    Aceptado: 16-03-07

## Resumen

El objetivo principal de esta investigación fue desarrollar un simulador tridimensional para redes de tuberías monofásicas de fluidos líquidos, capaz de generar resultados con la mínima cantidad de errores y en un tiempo de ejecución imperceptible, además de brindar una interfaz tridimensional que acerque al usuario a la realidad de la configuración de una red de transporte de petróleo. Para esta investigación fue utilizada una metodología dividida en dos partes: Procesamiento de Datos y Simulación Gráfica. El resultado de mayor importancia fue obtener un software capaz de realizar el cálculo de presiones y ajuste en los caudales en cualquier diseño de redes que además brinda la posibilidad de ver los resultados arrojados por la aplicación de los métodos de Hardy Cross y Renovard de forma ordenada en una tabla de reporte. La generación de una vista tridimensional a partir del diseño bidimensional realizado por el usuario es otro de los logros de esta investigación que tiene gran relevancia, este entorno permite que el usuario tenga una percepción real de la red y cada uno de sus componentes. Después de haber culminado la investigación se puede afirmar con toda certeza que la simulación se ha convertido en una herramienta muy útil para cualquier área, especialmente para aquellos procesos que requieren realizarse en poco tiempo. Al emplearse la simulación se puede generar nuevos procesos para optimizar los existentes.

**Palabras clave:** Propiedades del flujo; redes de flujo; simulación tridimensional.

## Three dimensions programming system to simulate liquid monophasic flow network behavior

### Abstract

The main purpose of this investigation was the development of a 3D (three dimensions) simulator for single-phase tubing networks of liquid fluids, which is able to give results with the least mistakes and in an imperceptible processing time, besides offering a 3D interface that lets the user get close to the reality of setting a petroleum transportation network. The methodology used in this investigation was divided in two parts: Data Processing and Graphics Simulation. The most important result was to obtain a software that is capable of making pressure calculation an adjustment in the currents of any design of networks that in addition offers the possibi-

\* Autor para la correspondencia. E-mail: aureleal@cantv.net; auleal@luz.edu.ve

lity of seeing the results given by applying the methods of Hardy Cross and Renovard in an ordered way from a report table. The creation of a 3D view from the 2D design of this investigation has great importance, this environment allows the user to have a real perception of the network and each one of its components. After having finished this project, there is no doubt whatsoever that the simulation has become into a very useful tool for any area, specially for those processes that require to be done in short time. Using the simulation is possible to generate new processes to optimize the old ones.

**Key words:** Flow nets; properties of the flow; three-dimensional simulation.

### Introducción

Desde el principio de la explotación del petróleo se han utilizado redes para transportarlo a tanques para su posterior mezcla y/o refinación. Las operaciones de mezclado son muy comunes en las industrias petroquímicas, cementeras, o de refinación. La operación consiste en obtener una mezcla de dos o más componentes con diferentes propiedades a una especificación requerida como son: temperatura, densidad, flujo, entre otros. El control de estas operaciones se considera un punto muy importante dentro de este tipo de industrias, ya que su rentabilidad depende de estas operaciones (1).

Las redes de tuberías representan un sistema de transporte de fluidos líquidos muy común en la industria petrolera, están compuestas por distintos elementos interconectados como tanques, válvulas, accesorios, bombas y tuberías. Las redes de distribución de líquido son clasificadas en cerradas y abiertas, todos los accesorios que forman la red se encuentran conectados con los tanques (fuentes o receptores), estableciendo el tipo de red, si los componentes se encuentran en forma cíclica se habla de una red cerrada, en caso contrario la red se considera abierta (2).

A partir de una red de tuberías se obtienen un gran volumen de datos como lo son longitud y diámetro de las tuberías, capacidad de los tanques, la apertura de las válvulas, entre otros, además de manejarse parámetros vinculados a la naturaleza del fluido; en el caso del petróleo se consideran sus propiedades como la densidad, viscosidad,

grados API entre otras, a partir de estos datos se obtiene información que representa la realización de ajustes en la red. La manipulación de los datos antes mencionados requiere de cálculos de gran complejidad, que por la naturaleza de los procesos inherentes en las redes, deben ser realizados de forma rápida.

Es por esta razón que se planteó como objetivo la necesidad de simular los procesos de una red de tuberías para realizar todas las operaciones necesarias en corto tiempo y con grandes ventajas: como predecir el comportamiento de la red en futuro o tomar alguna decisión sobre el mantenimiento de redes (3).

El impacto de los resultados obtenidos, radica en simular el comportamiento de los distintos procesos en la red brindando una interfaz tridimensional, lo que proporciona al usuario percepción real de lo que sucede al manejar una red, obteniendo resultados de presiones, temperatura, caudal, características y propiedades del fluido en cualquier parte del diseño.

Es muy común que se originen problemas en las variaciones que tienen las presiones y los caudales distribuidos en las redes de tuberías de fluidos líquidos. Para resolver este tipo de inconveniente se hace necesaria la aplicación de numerosos cálculos matemáticos de gran complejidad, para los cuales se requiere invertir mucho tiempo.

Este problema se presenta en diferentes sistemas de redes (Abiertas y Cerradas) compuestas por muchas mallas como es el

caso de las redes cerradas que manejan un número determinado de tuberías, tanques, válvulas, bombas, codos, tes, cruces, uniones entre otros accesorios (4). Todos estos elementos son relacionados según la configuración inicial dada por un ingeniero.

Por esta razón se desarrolló un sistema tridimensional para resolver las redes cerradas utilizando los métodos de Hardy Cross y Renouard en el cálculo de las tasas en cada tramo y la ecuación general de flujo para el cálculo de presiones en los nodos, esta última es también utilizada en las redes abiertas.

El programa soluciona diferentes tipos de problemas de forma cuantitativa, mediante la resolución de modelos matemáticos que toman en cuenta los balances de materia (Ecuación de Continuidad) y energía (Ecuación de Bernoulli), las relaciones de equilibrio, expresiones cinéticas y correlaciones para la producción de líquidos tales como el petróleo y el agua en superficie. (5).

Es de gran importancia tener una percepción real de la configuración de la red y cada uno de sus componentes, además la posibilidad de realizar todos los cálculos en las presiones, caudales y demás propiedades en el transporte de líquidos dentro de las redes de tuberías, para que el usuario del programa pueda captar de una forma más fácil y rápida la información suministrada por el simulador. Por esta razón se brinda la posibilidad de generar una representación tridimensional basada en un diseño bidimensional de la red que proporciona una excelente apreciación de la configuración y posición relativa de todos los elementos que componen la red de tuberías (6).

## **Materiales y Métodos**

### **Metodología**

Este simulador, permite realizar cálculos correspondientes a las variaciones de: densidad, caudal, viscosidad, entre otras propiedades físicas del crudo, a partir de los datos iniciales dados por el usuario, al confi-

gurar las características de los equipos presentes en una red.

Con el software se pueden solucionar diferentes tipos de problemas en redes de transporte abiertas y cerradas de forma cuantitativa, mediante la resolución de modelos matemáticos que toman en cuenta los balances de materia (Ecuación de Continuidad) y energía (Ecuación de Bernoulli). Para las redes de tuberías cerradas el software brinda la posibilidad de elegir el método con el cual se quiere trabajar, el de Hardy Cross o Renouard. El programa permite al usuario diseñar la red en un entorno bidimensional para facilitar su creación y configuración.

Sin embargo para resolver todos los problemas de una red es necesario aplicar una cantidad considerable de formulas y métodos ya definidos que están estrictamente relacionados con el área petrolera, por esta razón todo lo concerniente con la resolución de los problemas dentro de una red se dividió en 2 partes. Una que contempla sólo las rutinas básicas de transformaciones de unidades, desarrollo de formulas y manejo de archivos, y otra que maneja toda la interfaz con el usuario y se encarga de administrar la configuración y representación bidimensional de una red. Todo esto se explica en la sesión de Procesamiento de Datos.

Así mismo en la sesión de Simulación Gráfica se explica como se genera la interfaz tridimensional, donde el usuario puede moverse en seis direcciones y tener una vista aérea.

### **Procesamiento de Datos**

Esta primera parte contempla la programación de procedimientos y funciones básicas para realizar los cálculos necesarios en la resolución de problemas en las redes de tuberías.

En la fase de análisis se obtuvo una visión clara y bien definida de todos los problemas que se pueden presentar en una red y las fórmulas y métodos necesarios para darles solución. Durante el diseño de esta fase

se decidió agrupar todas las fórmulas y métodos en diferentes archivos de acuerdo a sus funciones, quedando así 6 módulos a saber: Declaración de objetos principales, Manejo de objetos incorporados en la red, funciones comunes (transformaciones de unidades), manejo de archivos, manejo de gráficos bidimensionales, funciones específicas de las redes.

Después de dar la estructura anterior se procedió a programar todas las funciones básicas del simulador utilizando Borland Builder C++ en su versión 6 ya que ésta cuenta con numerosas herramientas que facilitan la tarea de crear una base de datos, posee un manejo de memoria eficiente y simplifica la recepción de datos específicos al programa.

Para la representación de los componentes presentes en la red de tuberías se crearon distintas clases para cada uno de los objetos, de la siguiente manera:

```
class "Objeto"
{atributos;

    Tubo: Tubo()
    {//inicialización}

};

Void set_variable(valor)
{variable=valor;}

Tipo get_variable()
{return(variable);}
```

Donde "Objeto" toma los valores de Tanque, Codo, Te, Cruz, Gnode, Válvula, Union, Bomba, Nodo. De esta forma se guarda toda la información necesaria para llevar a cabo los cálculos al aplicar a una red cualquiera de los métodos: Hardy Cross y Renouard. Los componentes de la red se agrupan con los siguientes objetos: Lista, Nodos, Redes. Cada uno de ellos conforma un arreglo de apuntadores para almacenar la información correspondiente a las adyacencias dentro de la red de tuberías.

El simulador resuelve redes de tuberías lo que implica conocer longitudes, diámetros y rugosidad en tuberías, además de propiedades del fluido como su viscosidad y densidad. Resolver estas redes es realizar los ajustes en caudales y presiones, para esto se programaron los métodos de Hardy Cross y Renouard. Se diseñaron ventanas acordes con los datos necesarios para configurar una red y una ventana especial en donde el usuario puede elegir el método que desee aplicar. Los dos métodos mencionados se basan en la técnica "ensayo y error", la primera acción a realizar es suponer algunas circunstancias especiales. Los métodos tienen varias formas de aplicación, el de Renouard: Para las redes se elige un punto de intersección de tuberías (una unión, una T, un codo o una cruz) para aplicar allí la ecuación de continuidad de manera que el flujo que entra en la intersección sea igual al flujo que sale de la misma.

Seguidamente es necesario calcular la rugosidad relativa y suponer un valor para el factor de fricción ( $F_s$ = Factor de fricción supuesto), se calcula una velocidad con este valor, posteriormente se calcula el Número de Reynolds y se vuelve a calcular el factor de fricción ( $F_c$ = Factor de Fricción calculado a partir del Número de Reynolds). El siguiente paso es comparar el valor de  $F_s$  con  $F_c$ , utilizando la fórmula del error relativo, si el resultado es menor a 1 se tiene un  $F_c$  correcto y el valor encontrado de la velocidad es el adecuado. Si no es así se repite el procedimiento desde el cálculo de la rugosidad relativa. Finalmente se multiplica la velocidad por el área del ducto para obtener el Flujo.

El método más antiguo para resolver problemas de flujo en redes de distribución de fluidos monofásicos en tuberías es el método de Hardy Cross, recomendado para resolver redes pequeñas, el fundamento matemático de este método de cálculo proviene de las leyes de Kirtchhoff aplicadas a circuitos eléctricos. En éste método se debe suponer un caudal inicial para todas las tuberías, y por cada malla (conjunto de nodos que forman un circuito)

se calcula un valor corregido (Vc), con el cual se actualiza el caudal de la tubería. Utilizando Vc de la malla anterior se realiza el proceso con la siguiente y se calcula un nuevo Vc y así sucesivamente con todas las mallas presentes en la red hasta encontrarse que las correcciones son menores a 1.

Luego se procedió al desarrollo de una interfaz bidimensional amigable y fácil de utilizar que brinda la posibilidad de crear, guardar y recuperar redes para aplicar los métodos establecidos en la fase anterior. Dicha interfaz se ajusta a las necesidades del problema planteado. Donde se obtuvo una navegación basada en una pantalla principal (para el diseño de la red) que tiene acceso a las pantallas secundarias, las cuales en su mayoría se utilizan para configurar los elementos de la red. Teniendo definido el tipo de navegación y las pantallas necesarias para la elaboración del software se procedió a crear todos los forms necesarios en Borland Builder y la programación de todos los eventos en los cuales se utilizan las funciones de la fase anterior.

Para describir el proceso de transformación de 2D a 3D es necesario comprender las estructuras de datos utilizadas en el diseñador de redes, las cuales se describen a continuación: Básicamente se tienen dos grupos de estructuras, la primera (Figura 1) está encargada de guardar la configuración inicial de los accesorios de una red (Tan-

ques, Codos, Uniones, Válvulas, entre otros) además de otras propiedades que son calculadas con la información inicial. Sobre este conjunto de datos se ejecutan los métodos matemáticos y se realizan los reportes. La segunda estructura de datos (Figura 2) es un grafo representado como un conjunto de vértices y aristas. Esta estructura es la base de la transformación 2D a 3D ya que ésta conserva información gráfica como la posición x,y de cada accesorio y las aristas se encargan de conservar las parejas de nodos que se encuentran adyacentes. Las estructuras utilizadas como aristas son los tubos, éstos también guardan información de importancia para el simulador.

El proceso de transformación 2D a 3D se divide en dos programas. El primero se encarga de generar un archivo de texto que representa el diseño bidimensional y el segundo se encarga de interpretar ese archivo para mostrar la representación tridimensional. El archivo comienza con la cantidad de objetos presentes en la red (nodos o vértices) seguido de una lista que permite identificar el tipo de objeto y su posición en el plano x,z. Finalmente se tiene una matriz de adyacencias donde la primera fila representa los adyacentes al primer objeto en la lista del archivo, la segunda fila muestra los adyacentes al segundo objeto en la lista y así sucesivamente. Puede notarse entonces que se trata de una

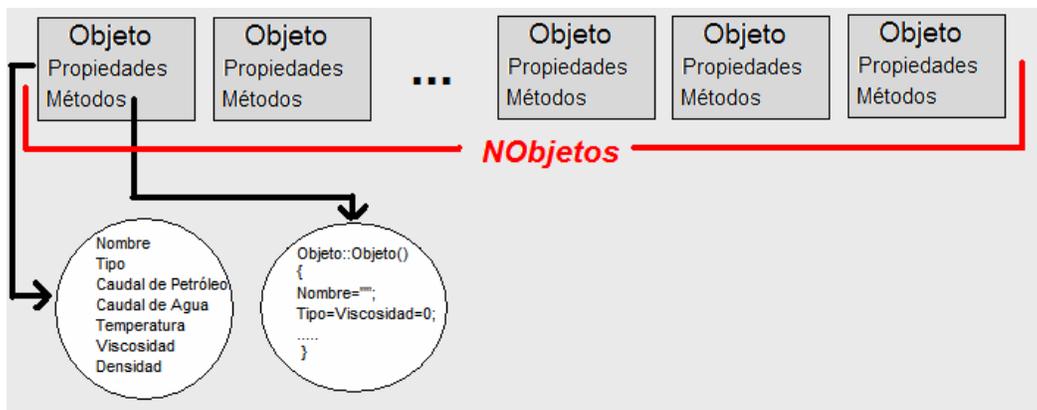


Figura 1. Estructura para almacenar propiedades de objetos del simulador

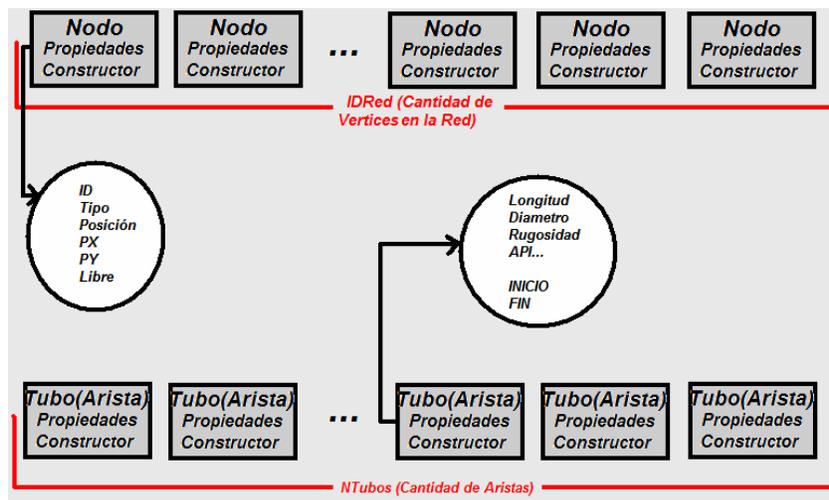


Figura 2. Conjunto de Vértices y Aristas.

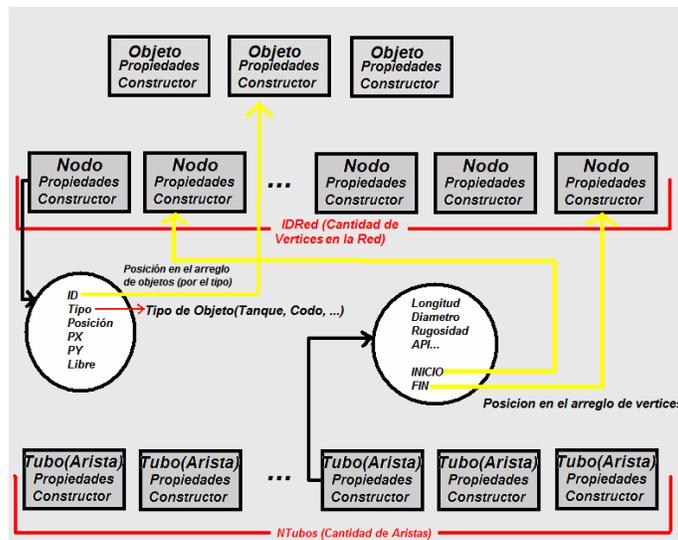


Figura 3. Estructuras de Datos Completas.

matriz simétrica con la diagonal en (0), ya que no existen tubos de un nodo a él mismo.

El Primer Programa se encarga de “recorrer” el grafo y tomar de éste la información necesaria para generar el archivo antes mencionado. Cuando se habla de recorrer el grafo debe entenderse que no es un recorrido en ancho o profundidad, es simplemente un recorrido lineal por el grupo de vértices y otro por el conjunto de tubos (aristas). De la

Figura 3 se puede entender que el conjunto de tubos tiene dos propiedades muy importantes INICIO y FIN las cuales representan la posición dentro del arreglo de vértices de los objetos que se encuentran unidos a través de una arista. A su vez los nodos tienen una variable Tipo utilizada para identificar a qué tipo de objeto se está haciendo referencia, además se tiene una variable que sirve para direccionar la posición de este objeto dentro de su arreglo (ID).

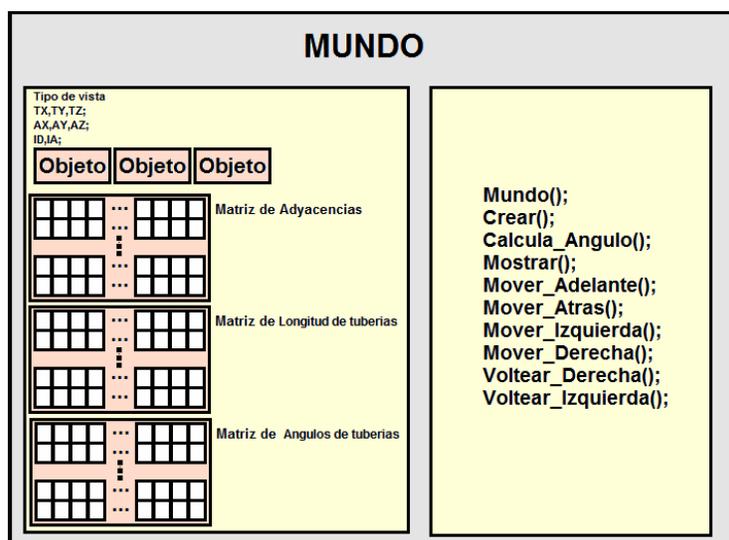


Figura 4. Clase Mundo.

El Segundo Programa cuenta con 2 estructuras de datos que se emplean para la correcta interpretación del archivo descrito anteriormente, las cuales son:

1. Clase Objeto que cuenta con atributos para ubicarlo en el plano x, z, para identificarlo (tipo de objeto) y para establecer su ángulo específico. El ángulo específico se hace necesario ya que las redes de tuberías tienen accesorios que pueden tener diferentes posiciones, por ejemplo una T puede estar apuntando a cualquiera de las cuatro coordenadas. El método más importante que posee esta clase es "Mostrar", ya que se encarga de dibujar un determinado objeto en el espacio tridimensional como un conjunto de figuras básicas utilizando las funciones de la librería Glaux.h. Por ejemplo un tanque es una figura que se forma con un paralelepípedo (base), un cilindro (cuerpo) y un cono (tapa superior).

2. Clase mundo (Figura 4) esta conformada principalmente por un arreglo de datos del tipo Objeto, la matriz que se carga a partir del archivo con las adyacencias, y dos matrices más: ángulos y longitudes de las tuberías, estas son calculadas a partir de la primera matriz en el método "Calcula\_Angulo". El método "Crear" es el encargado de

interpretar el archivo, es aquí en donde se llama al método mostrar de cada objeto en la colección y se calcula su ángulo específico. En esta clase también se tienen variables especiales para controlar los movimientos en el espacio tridimensional y el tipo de vista que se desea.

El área de diseño de las redes de tuberías se realizó para permitir al usuario crear una representación bidimensional, está conformada por una barra de herramientas que tiene a disposición todos los accesorios (incluyendo las tuberías) que pueden estar presentes en una red y el área de trabajo. Cuando se realiza una representación bidimensional todos los objetos deben estar unidos por una tubería, es decir, no es posible tener dos accesorios seguidos, también se controla la cantidad de tuberías que puede tener un objeto, por ejemplo, una cruz lógicamente solo puede estar unida a cuatro tuberías. Cuando no se cumple con las restricciones antes mencionadas el programa muestra un error indicando lo ocurrido.

Para realizar el área de diseño de las redes fue necesario trabajar con 2 instancias del componente gráfico "TImage". La primera se utiliza para crear el área de trabajo, y es donde se dibujan las tuberías; y la segunda es un

arreglo de controles que se almacena en la propiedad "Components" de una instancia de TImage. Esto es posible únicamente porque TImage es descendiente de "TComponet" con los cuales es posible tener conjuntos de controles dentro de una instancia. El programa cuenta un módulo exclusivo para las rutinas que se desarrollaron específicamente para controlar las diferentes tareas en el diseño bidimensional, algunas de las cuales se mencionan en la Tabla 1.

Las propiedades que tienen cada uno de los objetos en una red de tuberías conforman un gran volumen de información. Ésta se almacena en las estructuras de datos que fueron explicadas con anterioridad. Además se cuenta con una pequeña base de datos (Figura 5) para almacenar constantes necesarias en el cálculo de propiedades, por ejemplo la resistencia de una válvula de paso dependiendo de su tipo, el diámetro de las tuberías según su identificación entre otras.

Cuando se está realizando el diseño de la red y se desea incluir algún accesorio, de forma inmediata aparece una ventana asociada al mismo que permite ingresar los va-

lores iniciales para alguna propiedad específica, y a partir de estos datos se calculan otras. Los datos iniciales y la información calculada se almacenan en una variable temporal (instancia del objeto creado) para posteriormente ser almacenada en el arreglo de datos correspondiente. Las funciones y procedimientos encargados de realizar el cálculo de propiedades, se encuentran distribuidas en generales y específicos. Las generales son funciones de tipo cambio de unidades para una magnitud física (unidades de longitud, temperatura, presión entre otras) las cuales se encuentran en archivos "unitx.cpp" y las específicas se tienen por cada accesorio y se encuentran en el unit de cada ventana en procedimientos o en fastcall.

### Simulación Gráfica

Para lograr una correcta representación tridimensional se estableció un formato de archivo especial que contiene todos los elementos de la red creada en el entorno bidimensional con sus respectivas coordenadas en el plano X, Z, además se empleo una matriz de adyacencias (Teoría de grafos) uti-

Tabla 1  
Funciones Básicas para el diseñador 2D.

Firma de Función	Comentario
int EnTubo(int X, int Y);	Verifica si un click se realizó dentro de una tubería
int DentroCirc(int X, int Y);	Verifica si un click se realizó al final de una tubería
int DentroImage(int Objeto, int X, int Y);	Verifica si un click se realizó dentro de una imagen
int BuscarTuboFin(int Nodo,int n);	Busca el final de una tubería
int BuscarTuboInic(int Nodo, int n);	Busca el inicio de una tubería
void PosicionarCodo(int Index, int X, int Y, AnsiString Imagen);	Posiciona un codo en forma adecuada
void PosicionarUnion(int Index, int X, int Y);	Posiciona una unión en forma adecuada
void PosicionarObj(int Index,int X,int Y);	Posiciona el resto de los accesorios en forma adecuada

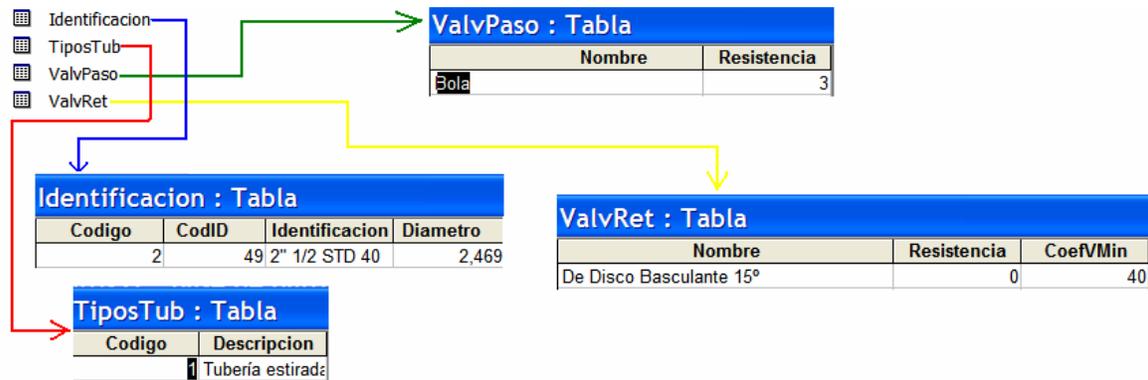


Figura 5. Base de Datos del simulador.

lizada para calcular los ángulos entre los objetos y definir su posición con relación a los demás componentes.

Se utilizó la librería gráfica OpenGL por ser un estándar gratuito, de código abierto, multiplataforma y un excelente motor 3D cuyas rutinas están integradas en las tarjetas graficas. OpenGL posee todas las características necesarias para la representación mediante computadoras de escenas 3D modeladas con polígonos, desde el pintado más básico con triángulos hasta el mapeado de texturas.

En este diseño se decidió utilizar el lenguaje orientado a objetos C++. Se realizaron dos clases principales a mencionar: clase objeto y el objeto mundo. Además de una clase material, que se encarga de manejar los tipos de materiales con los cuales se observaran los componentes de la red.

En la fase de programación se llevo a cabo lo establecido en el diseño de la siguiente forma: la clase objeto define el tipo de accesorio que se va a representar, sus coordenadas y ángulo. Tiene dos métodos, el primero se encarga de crear un objeto y otro que lo muestra utilizando funciones de las librerías `glaux.h` y `gl.h`

La clase mundo posee como principales atributos los siguientes:

- `int **adyacencias`; matriz empleada para determinar las adyacencias de los

objetos. Esta matriz se carga del archivo generado por el simulador.

- `int **angulos`; guarda todos los ángulos entre los objetos de la red. Esta matriz es calculada utilizando conceptos de trigonometría básica.
- `int **longitudes`; Esta matriz se encarga de guardar las longitudes de las diferentes tuberías, ya que éstas son utilizadas como "aristas". Al igual que la matriz de ángulos también son valores calculados.
- `objeto *coleccion`; describe todos los objetos presentes en la red.
- `textura *texturas`; es un pequeño arreglo de 2 posiciones con el cual se trabaja cada una de las texturas utilizadas en la representación del mundo, éstas son la textura del suelo y del cielo.

Esta es la encargada del manejo de archivo y de administrar los seis tipos de movimientos que se tienen dentro de la representación tridimensional. Estos son: avanzar hacia delante, avanzar hacia atrás, girar hacia la derecha, girar hacia la izquierda, avanzar hacia la derecha, avanzar hacia la izquierda.

## Resultados y Discusión

Una representación bidimensional de una red de tuberías no ofrece una visión real de la configuración espacial de la misma, en muchos casos es necesario combinar varios

tipos de vista en un solo plano para poder identificar cada uno de sus componentes, por ejemplo, se tiene una vista aérea de las T y una lateral de los tanques y las válvulas.

Los métodos modifican directamente las estructuras de datos utilizadas para guardar la información de la red, por lo tanto los resultados obtenidos se pueden observar a través de un reporte o las pantallas de resumen de datos. En ambos casos sólo se muestra la información contenida en las estructuras de datos de una forma tabular, es decir, no se realizan otros cálculos adicionales o procedimientos matemáticos. Para comprobar la veracidad de los resultados se utilizaron redes a las cuales se les había aplicado los métodos y los mismos fueron comparados con los arrojados por el simulador, siendo los resultados satisfactorios. Finalmente se realizaron dos tipos de pruebas. Las pruebas alfa consistieron en el diseño de redes bidimensionales para generar el entorno tridimensional, lo cual fue realizado exitosamente. En las pruebas beta se realizaron reportes con una red abierta y otra cerrada y se compararon con los valores esperados, arrojando resultados satisfactorios.

El simulador tiene como función, proporcionar al usuario las herramientas de di-

seño de redes de tuberías cerradas y abiertas en su fase líquida, para su posterior análisis, contando con una tabla de reporte donde se agrupan todos los parámetros existentes en el programa que son importantes determinar bajo datos reales obteniendo resultados óptimos, con un margen de error mínimo en menor cantidad de tiempo empleado para su ejecución, que permite al usuario tener de manera eficiente, rápida y sencilla respuestas lógicas y precisas brindándole un mejor acercamiento a la realidad gracias a su entorno tridimensional.

El simulador incluye ventanas de ingreso de datos que tienen como función facilitar la configuración inicial de todos los objetos y accesorios presentes en una red (Figura 6 muestra la ventana correspondiente a la entrada de datos de una válvula); así como de la elección del método de cálculo a utilizar.

Los resultados son presentados en tablas de reportes y tablas de resumen de datos, siendo agrupados para una mejor visibilidad de la información, análisis de resultados de parámetros importantes y para imprimir la información necesaria, mostrando el número de iteraciones y el caudal de corrección (Figuras 7 y 8). La representación tridimensional de la red de tuberías es representada tal como lo muestra la Figura 9.



Figura 6. Pantalla de Propiedades de Válvula.

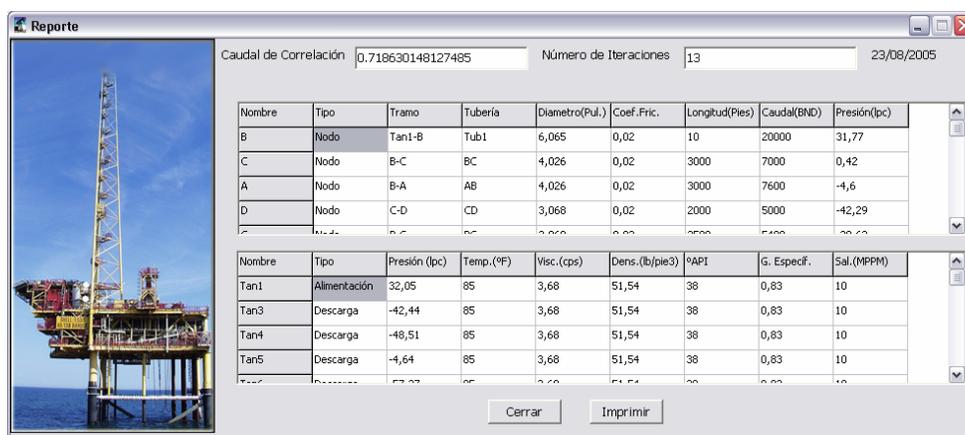


Figura 7. Pantalla de Reporte.

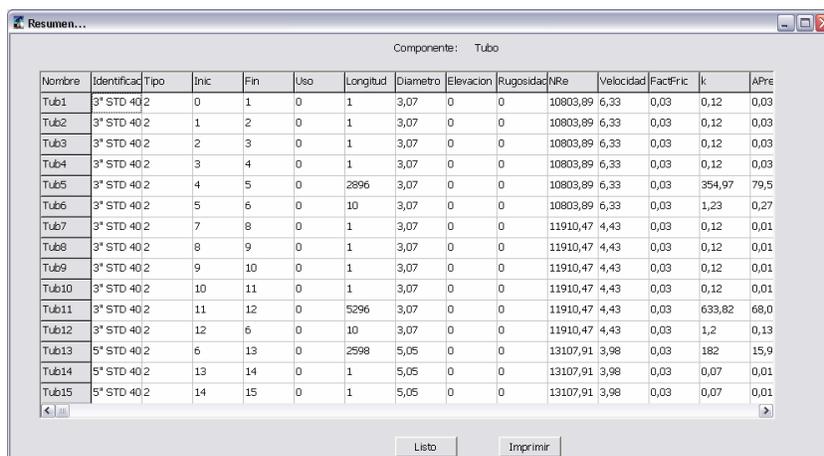


Figura 8. Pantalla de Resumen.

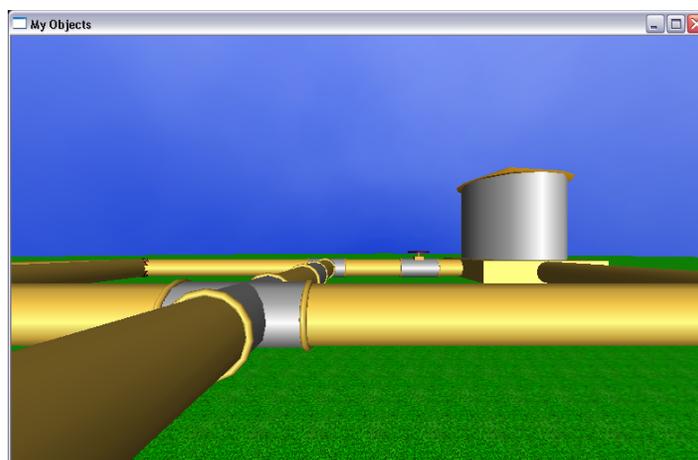


Figura 9. Pantalla de vista 3D.

## Conclusiones

Se desarrolló exitosamente el simulador tridimensional de Redes de Tuberías Líquidas. El software presenta una interfaz amigable y de fácil utilización. El programa tiene una navegación sencilla, permite el ingreso de datos de forma inequívoca y realiza algunos cálculos de datos en forma automática.

El funcionamiento del programa pudo ser comprobado ejecutando pruebas con redes abiertas y cerradas al aplicarle los métodos necesarios para realizar los cálculos matemáticos, ya que el mismo respondió satisfactoriamente. En las pruebas finales hechas para la generación de la vista tridimensional no se presentaron ningún tipo de inconvenientes ya que el programa generó el entorno 3D acorde al diseño bidimensional.

El software permite el cálculo de presiones y el ajuste de caudal sobre redes abiertas y cerradas aplicando los métodos de Hardy Cross y Renovard, obteniendo resultados con un margen de error mínimo y efectuándose todos los cálculos en un tiempo óptimo. Además permite la visualización de los resultados en una forma ordenada y de fácil entendimiento porque se muestran en una tabla de reporte.

Con una representación tridimensional es posible mantener una sola vista, lo que da consistencia a la representación del diseño, también es importante resaltar el hecho que el usuario puede moverse a través del diseño tridimensional para verificar las posiciones de cada componente permitiendo de esta forma que el ingeniero pueda

sumergirse de una forma agradable en su trabajo y lo más importante, teniendo una percepción real del diseño. Para finalizar, realizar ésta representación tridimensional abre las puertas a futuras investigaciones para que profundicen en ésta área y puedan agregar animaciones en la simulación como el movimiento del petróleo a través de las tuberías o permitir cerrar una válvula entre otros.

## Referencias Bibliográficas

1. RUBIO JOSÉ DE JESÚS (Consultado el 25 de enero de 2005). Modelación y Optimización del mezclado del petróleo crudo con redes neuronales. [Documento PDF]. Dirección URL: <http://www.ctrl.cinvestav.mx/~yuw/pdf/MaTesJJ.pdf>. 2004.
2. FOX R., MCDONALD A. Introducción a la mecánica de fluidos. México. Segunda edición. Mc Graw Hill. p. 284, 1993.
3. Comunidad Interactiva de Programadores (Página consultada el 25 de enero de 2005). Interactive Programmers Community, [On-Line]. Dirección URL: <http://www.lawebdelprogramador.com>
4. VÍLCHEZ O., HERRERA Y. Programa Computarizado Para Resolver Redes de Tuberías Monofásicas Líquidas (Trabajo Especial de Grado) Universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela), p. 168, 2004.
5. VERAN. Facilidades de Superficie. Maracaibo. Guía por publicar en la editorial de la Universidad del Zulia, p. 32, 1999.
6. HEARN D., BAKER P. Gráficas por computadoras. Segunda Edición, Prentice Hall (México). p. 686, 1994.