



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**SISTEMA DE SIMULACIÓN DE REDES DE PRODUCCIÓN  
EN POZOS PETROLEROS**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN COMPUTACIÓN**

P R E S E N T A :

**RAMIREZ JIMENEZ JUAN CARLOS**

DIRECTOR DE TESIS:  
M. C. LUIS OCHOA TOLEDO

COORDIRECTOR DE TESIS:  
M. I. NICOLAS C. KEMPER VALVERDE



MEXICO, D. F.

MARZO 2004



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## **DEDICATORIA**

### **A Dios:**

Gracias a él es por quien ahora estoy aquí, y también porque a lo largo de mi vida él ha estado conmigo en mis alegrías, triunfos, sufrimientos, que hoy día tienen una recompensa. Ad Jesum per Mariam.

### **A mis padres:**

Gracias a ustedes por todo lo que me han dado en la vida, y que siempre me han apoyado en mis decisiones y han compartido y convivido los mejores y peores momentos de mi vida, también gracias porque me han educado con el ejemplo y que me han servido como modelo a seguir porque muchas veces se sacrificaron por mí y espero haber podido recompensar ese sacrificio con la culminación de una larga trayectoria de estudios, pero que aún quedan metas por cumplir y sueños por lograr y espero que siempre les pueda agradecer y estén conmigo en esos momentos.

### **A mi novia Maribel:**

Gracias por apoyarme a lo largo de la carrera, disfrutando cada momento de todas las cosas que convivimos y ayudarme a mi crecimiento profesional y como persona, siempre has sabido que decirme y cuando decírmelo en todo momento. También gracias por siempre darme tu amor y tu amistad en todo momento siendo una motivación muy importante en mi vida.

### **A mi hermano Alfonso:**

Gracias hermano por ser mi amigo al ayudarme con tus consejos y haber convivido muchas cosas juntos y aunque estés lejos sé que siempre podré contar contigo.

### **A mi hermana Lulú:**

Gracias por haber compartido contigo y estar en los momentos más importantes de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

### **A mi Alma Mater:**

Gracias por haberme acogido en cada uno de sus salones, y haberme brindado la oportunidad de haber recibido una gran educación profesional por medio de mis maestros que nos exigían a dar algo más.

### A mis asesores Nicolás y Luis:

Gracias por darme su apoyo en todo momento y permitirme la oportunidad de haber podido desarrollar este trabajo con ustedes, así como todas las enseñanzas que me han dejado y me gustaría seguir aprendiendo de ustedes.

### A mi mejor amigo Héctor:

Gracias por tus consejos y preocupación, también gracias por compartir conmigo grandes momentos en mi vida y ser un gran apoyo para mí, al poder tener siempre un amigo que trata de comprenderme y apoyarme aún cuando no hayamos podido culminar nuestros estudios en la misma universidad.

### A mis Amigos:

Gracias a Angel Vallejo, Luis Neuman y Erick Tinajero, quienes han sido amigos que me han aportado mucho de sus conocimientos y convivido muy gratas experiencias. Roberto, Carlos, Heidi, Paty, Saúl y Angélica, a ellos con quien su apoyo y a la convivencia aprendí de ellos cosas muy valiosas y que me motivaron a poder llegar esta culminación de un ciclo en la vida.

## INDICE TEMATICO

### Capítulo I "Introducción"

1. Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Justificación	3

### Capítulo II "Conceptos fundamentales"

2. Conceptos fundamentales	4
2.1 Características del fluido	4
2.2 Flujo en redes de tubería	5
2.2.1 Caídas de presión por fricción	7
2.2.2 Caídas de presión por elevación	8
2.2.3 Caídas de presión por aceleración	8
2.3 Propiedades PVT	9
2.3.1 Métodos para el cálculo PVT	10
2.3.1.1 Correlación de M. B. Standing	11
2.3.1.2 Correlación de Vázquez <sup>2</sup>	12
2.3.1.3 Correlación de Oistein	13
2.3.1.4 Correlación de Beggs & Brill	14
2.3.1.5 Correlación de Orkiszewski	15
2.3.1.6 Correlación de Poettmann & Carpenter	16
2.4 Modelo Matemático de la Red de Pozos	16
2.4.1 Sistemas Análogos	16
2.4.2 Sistema de producción	17
2.4.3 Ejemplos	19

### Capítulo III "Diseño"

3. Diseño	22
3.1 Diseño conceptual	22
3.2 Definición de requerimientos	25
3.3 Elementos del sistema	26
3.3.1 Seguridad	28
3.3.2 Menú del sistema	28
3.3.2.1 Elementos de control	28
3.3.2.2 Elementos de cálculo	29
3.3.2.3 Elementos de edición de proyecto	34
3.3.2.4 Elementos de seguridad	34
3.4 Diseño de la base de datos	35

### Capítulo IV "Desarrollo del Sistema"

4. Desarrollo del sistema	48
4.1 Descripción de las pantallas del sistema	51

## **Capítulo V “Pruebas de software e implantación del sistema”**

<b>5.1 Pruebas de software</b>	<b>61</b>
5.1.1 Pruebas operativas	63
5.1.2 Pruebas modulares	63
5.1.3 Pruebas de validación	63
5.1.4 Caso de estudio	63
5.1.4.1 Activo Burgos	64
5.2 Implementación del sistema	75

## **Capítulo VI “Conclusiones”**

<b>6. Conclusiones</b>	<b>76</b>
------------------------	-----------

## ***Lista de figuras***

2.1	Propiedades de las Correlaciones en el fluido.	Pág. 10
2.2	Sistema de producción	Pág. 17
2.3	Ejemplo de un sistema análogo	Pág. 20
2.4	Ejemplo de un sistema análogo	Pág. 21
3.1	Diagrama general de estados	Pág. 24
3.2	Requerimientos	Pág. 26
3.3	Diseño propuesto	Pág. 27
3.4	Interfaz gráfica de Análisis de Redes	Pág. 35
3.5	Relaciones de tablas	Pág. 47
A	Desarrollo integral de sistemas	Pág. 51
4.1	Pantalla inicio	Pág. 51
4.2	Ventana proyecto	Pág. 52
4.3	Datos del proyecto	Pág. 53
4.4	Graficador	Pág. 54
4.5	Menú de propiedades	Pág. 55
4.6	Propiedades de la Fuente	Pág. 56
4.7	Propiedades del Sumidero	Pág. 57
4.8	Datos del Nodo	Pág. 57
4.9	Propiedades de la Tubería	Pág. 58
4.10	Propiedades del Flujo	Pág. 59
4.11	Ejecución de simulación	Pág. 59
4.12	Resultados y gráfica	Pág. 60
5.1	Activo Burgos	Pág. 75

## ***Lista de Tablas***

2.1	Analogías eléctricas e hidráulicas	Pág. 17
2.2	Nomenclatura	Pág. 18
3.1	Proyecto	Pág. 36
3.2	Yacimiento	Pág. 37
3.3	Tubería	Pág. 38
3.4	Separador	Pág. 40
3.5	Flujo	Pág. 41
3.6	Usuarios	Pág. 42
3.7	Nodos	Pág. 43
3.8	Enlaces	Pág. 45
5.1	Funcionalidad	Pág. 66
5.2	Precisión	Pág. 66
5.3	Diseño	Pág. 67
5.4	Reporte de evaluación	Pág. 73



## ***Lista de ecuaciones***

1.1	Ecuación general de fluidos en tuberías	Pág. 5
1.2	Energía de expansión	Pág. 5
1.3	Energía potencial	Pág. 6
1.4	Energía cinética	Pág. 6
1.9	Ecuación general de gradientes de presión	Pág. 7
1.10	Caídas de presión por fricción	Pág. 8
1.12	Ecuación de Colebrook y White	Pág. 8
1.13	Caídas de presión por elevación	Pág. 8
1.14	Caídas de presión por aceleración	Pág. 8
1.15 – 1.18	Correlación de M. B. Standing	Pág. 11
1.19 – 1.21	Correlación de Vazquez	Pág. 12
1.22 – 1-25	Correlación de Oinstein	Pág. 13
1.26	Densidad del aceite saturado	Pág. 13
1.27-1.33	Correlación para determinar viscosidad del aceite saturado	Pág. 14
1.34	Correlación para calcular la tensión superficial del aceite saturado	Pág. 14

## 1. Introducción

La presente tesis expone el diseño y desarrollo de un sistema de simulación para redes de producción en pozos petroleros, llamado XOLOTL, el cuál, permitirá al usuario construir de uno a  $n$  pozos petroleros y editar las diferentes propiedades de los elementos que constituyen la red. Para iniciar habrá que definir el concepto general de los requerimientos que Petróleos Mexicanos requerirá para la simulación de sus pozos petroleros, así como los objetivos principales que se deberán cumplir con la respectiva justificación de la solución, esto se abarcará dentro del primer capítulo de la presente tesis.

Será necesario tomar en cuenta algunos conceptos fundamentales relacionados a las redes de producción, para poder así determinar las características de los elementos que constituyen la red, tales como, las propiedades del fluido que se van a tener dentro de las tuberías y propiedades generales de presión, volumen y temperatura, y así poder determinar modelos matemáticos que nos ayuden para poder resolver el problema de optimización.

Después se proseguirá al diseño, primeramente definiendo los requerimientos que se observaron dentro de la etapa de análisis, para poder determinar la mejor plataforma para el diseño. Una vez superada esta etapa se desarrollará el diseño conceptual para cada modulo que se va a integrar dentro del sistema y por último dentro del capítulo de diseño, se planificará la base de datos para los requerimientos del sistema.

Una vez diseñado el sistema se proseguirá al desarrollo e implantación del mismo, aplicando técnicas de programación como lo son la programación orientada a objetos y eventos. El sistema tendrá varias pantallas para poder diseñar la red, cambiar atributos del proyecto, anexar usuarios al sistema, resultados de optimización, etc.

Como verificación del sistema, se aplicarán pruebas operativas, las cuales demostrarán la estandarización de los menús del sistema, así como la compatibilidad en cuanto a diseño con respecto a otros softwares comerciales, pruebas modulares, esto permitirá observar las posibilidades de escalamiento e independencia de los módulos que componen el sistema, también constará de pruebas de validación, esto con el fin de no permitir que los

atributos del sistema que tenga valores numéricos se agreguen por letras, y por último se realizarán casos de estudio, para el cuál se tomarán datos de pozos que residen en el activo Burgos de la región marina sur, esto con el fin de simular una red de pozos de producción real.

Por último se plantearan las recomendaciones y conclusiones al sistema desarrollado, integrando posibles mejoras al sistema para futuras versiones.

### **1.1 Planteamiento del problema**

Hoy en día, la Industria Petrolera adquiere software comercial para efectos de realizar simulaciones que permitan el mejor aprovechamiento de sus activos. Este software, presenta varios inconvenientes tales como: las licencias de uso son muy caras, son muy rígidos en cuanto a su operación, etc. Un área de particular importancia para Petróleos Mexicanos, es el análisis de redes, dado que permite plantear situaciones como: la simulación de redes, usando capacidades composicionales de flujo multifásico, a través del cálculo correspondiente al equilibrio líquido-vapor, esto se logra mediante la implantación de algoritmos eficientes que resuelvan redes de activos complejos y grandes, que incluyan sistemas de bombeo, sistemas de distribución como de inyección de gas o agua y sistemas cíclicos. Como resultado de este módulo, el usuario espera simular sistemas de distribución en fase de agua o aceite o ambas, para obtener la presión y el gasto producido por la red bajo ciertas condiciones.

Para realizar el análisis de una red de producción petrolera se tomó la decisión de hacerlo utilizando una serie de técnicas que están muy bien estudiadas y probadas, aunque no aplicadas al campo petrolero. Estas técnicas son las que se utilizan para hacer el análisis de los circuitos eléctricos. Para poder hacer uso de estas técnicas en el problema de los campos petroleros, resulta necesario hacer una equivalencia entre los sistemas hidráulicos (ya que el flujo de petróleo o gas es un fluido circulando a través de un conjunto de tuberías) con los circuitos eléctricos. Estas analogías son estudiadas dentro del campo de la dinámica de sistemas físicos, por lo que el marco conceptual para hacer estas analogías ya está dado.

## 1.2 Objetivos

Se desarrollarán algoritmos para la manipulación gráfica, así como para la comunicación entre la base de datos y el modelo matemático, implementando filosofías de programación capaces de brindar al código y al diseño gráfico una estructura escalable. El sistema será modular, lo que permitirá una fácil adaptación a cambios.

## 1.3 Justificación

Para el desarrollo del sistema, se eligió la plataforma de desarrollo de Visual Basic, debido a la gran facilidad para desarrollar ambientes gráficos, conexiones con bases de datos ODBC, instaladores que proporcionan todas las dll's (Dynamically linked library) que se requieren para el funcionamiento del sistema. En la parte de los modelos numéricos se aprovecharán las ventajas que otorga el lenguaje de programación FORTRAN, obteniendo un programa que tenga una gran exactitud y una mejor aproximación numérica, en comparación con otros sistemas como pudiesen ser el lenguaje C o Pascal.

El análisis de redes debe recibir como entrada la información topológica de la red de producción, información que es recabada por otro módulo del sistema que corresponde a un editor gráfico donde el usuario dibujará la red de producción e introducirá los datos correspondientes a cada elemento. Esta parte corresponde a la interfaz gráfica con el usuario. El módulo de redes convierte esa información topológica en una descripción matemática de la red, para que pueda ser resuelta utilizando las técnicas mencionadas.

Para el diseño del sistema, se aplicarán del lado de la interfaz gráfica, técnicas de análisis y diseño de sistemas, así como de bases de datos y de diseño y ergonomía de interfaces. En el lado numérico, se aplicarán técnicas de programación, así como de métodos numéricos.

## 2. Conceptos fundamentales

Debido a la complejidad que surge en relación con la determinación de las propiedades de los fluidos, uno de los problemas principales es la carencia de análisis PVT (Presión - Volumen - Temperatura) apropiados de laboratorio. Ya que generalmente se analiza bajo las condiciones de la temperatura del yacimiento, sin embargo, al pasar el fluido a través de la tubería de producción y de la línea de descarga, su temperatura disminuye y el gas liberado no se separa totalmente del aceite. Para conocer, a diferentes presiones y temperaturas, las propiedades de los fluidos, éstas se determinan generalmente por medio de correlaciones. Al usar correlaciones se sobreentiende que se obtendrán valores aproximados de las propiedades ya antes mencionadas, lo que en sí acarrea un margen de error, por lo que es indispensable contar con una herramienta matemática que permita la mejor aproximación numérica.

### 2.1 Características del fluido [1]

El flujo del fluido se puede clasificar como turbulento, laminar; permanente y transitorio, uniforme y no uniforme; rotacional o irrotacional. En un régimen laminar, la estructura del flujo se caracteriza por el movimiento de láminas o capas. La estructura del flujo en un régimen turbulento por otro lado, se caracteriza por los movimientos tridimensionales, aleatorios, de las partículas de fluido, superpuestos al movimiento promedio.

El flujo a régimen permanente ocurre cuando las condiciones a cualquier punto del fluido no cambian con el tiempo, no hay cambio de densidad, presión o temperatura. Mientras que en el régimen transitorio las condiciones si cambian con el tiempo,.

El flujo uniforme ocurre cuando, en un punto, el vector de velocidad es el mismo en magnitud y dirección para cualquier instante dado. El flujo en el cual el vector de velocidad varía de lugar en cualquier instante es no uniforme.

La rotación de una partícula de fluido en torno a un eje dado, se define como la velocidad angular promedio de dos elementos de línea infinitesimal en la partícula que están en ángulo recto el uno con el otro y con el eje dado. Si las partículas de fluido dentro de una región tienen rotación en torno a cualquier eje, el flujo se llama flujo rotacional, o flujo

vórtice. Si el fluido dentro de una región no tiene rotación, el flujo se llama flujo irrotacional.

## 2.2 Flujo en Redes de tuberías [1], [2], [4], [7], [8]

Para poder determinar las características que se presentan dentro del flujo en las redes de tuberías de producción, se tendrá que hacer un análisis que describa el comportamiento del flujo, así como el cálculo para poder determinar las pérdidas de energía mientras que se conducen los fluidos de un punto a otro.

La ecuación general que gobierna el flujo de fluidos a través de una tubería, se obtiene a partir de un balance macroscópico de la energía asociada a la unidad de masa de un fluido, que pasa a través de un elemento aislado del sistema. De acuerdo a la ley de la conservación de la energía:

$$E_1 + \Delta W_f + \Delta W_s = E_2 \quad (1.1)$$

Donde:

$\Delta W_f$  Pérdidas de energía por fricción. Estas pérdidas corresponden a la fricción interna del fluido con las paredes rugosas de la tubería.

$\Delta W_s$  pérdidas de energía por trabajo externo.

$E_1$  Energía por unidad de masa.

$$\text{uno} \left( \frac{lb_f - pie}{lb_m} \right)$$

$E_2$  Energía por unidad de masa.

$$\text{dos} \left( \frac{lb_f - pie}{lb_m} \right)$$

### Energía de expansión ( $E_e$ )

La energía de expansión está dada por:

$$E_e \left( \frac{lb_f - pie}{lb_m} \right) = p \left( \frac{lb_f}{pie^2} \right) v \left( \frac{pie^3}{lb_m} \right) = pV \quad (1.2)$$

Donde:

$V$  Volumen específico  $\left( \frac{pie^3}{lb_m} \right)$

**Energía potencial ( $E_p$ )**

La energía potencial está dada por la expresión siguiente:

$$E_p \left( \frac{lb_f - pie}{lb_m} \right) = g \left( \frac{pie}{s^2} \right) \frac{1}{g_c} \left( \frac{lb_f - seg^2}{lb_m - pie} \right) h(pie) \quad (1.3)$$

**Energía cinética ( $E_c$ )**

La energía cinética se expresa como sigue:

$$E_c \left( \frac{lb_f - pie}{lb_m} \right) = \frac{v^2}{2} \left( \frac{pie^2}{s^2} \right) \frac{1}{g_c} \left( \frac{lb_f - s^2}{lb_m - pie} \right) = \frac{v^2}{2g_c} \quad (1.4)$$

Donde:

V      Velocidad  $\left( \frac{pie}{s} \right)$

Al sustituir las energías correspondientes a las posiciones 1 y 2 de la ecuación (1.1) se obtiene:

$$p_1 v_1 + \frac{g}{g_c} h_1 + \frac{v_1^2}{2g_c} + \Delta W_f + \Delta W_s = p_2 v_2 + \frac{g}{g_c} h_2 + \frac{v_2^2}{2g_c} \quad (1.5)$$

$$V \Delta p + \frac{g}{g_c} \Delta h + \frac{\Delta v^2}{2g_c} + \Delta W_f + \Delta W_s = 0 \quad (1.6)$$

Donde:

V      Volumen específico medio del fluido  $\left( v = \frac{1}{\rho} \right)$

Multiplicando la ecuación (1.6) por  $\rho/\Delta L$  y considerando despreciables las pérdidas de energía por trabajo externo, se tiene:

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} + \rho \frac{g \Delta h}{g_c \Delta L} + \rho \frac{\Delta v^2}{2g_c \Delta L} + \rho \frac{\Delta W_f}{\Delta L} = 0 \quad (1.7)$$

Considerando positiva la caída de presión en la dirección del flujo, se tiene:

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} = \rho \frac{g \Delta h}{g_c \Delta L} + \rho \frac{\Delta v^2}{2g_c \Delta L} + \rho \frac{\Delta W_f}{\Delta L} \quad (1.8)$$

A ésta ecuación se le acostumbra escribir en la forma siguiente:

$$\left( \frac{\Delta p}{\Delta L} \right)_T = \left( \frac{\Delta p}{\Delta L} \right)_e + \left( \frac{\Delta p}{\Delta L} \right)_{ac} + \left( \frac{\Delta p}{\Delta L} \right)_f \quad (1.9)$$

Donde:

$$\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)_T = \text{gradiente de presión total.}$$

$$\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)_\varepsilon = \text{gradiente de presión debido a la elevación.}$$

$$\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)_{ac} = \text{gradiente de presión debido a la aceleración.}$$

$$\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)_f = \text{gradiente de presión debido a la fricción.}$$

### 2.2.1 Caídas de presión por fricción [3], [4]

Las pérdidas por fricción, en conductos circulares de diámetro constante, han sido determinadas experimentalmente por varios investigadores, dentro de los cuales está la ecuación de Fanning:

$$\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)_f = \frac{2fv^2\rho}{g_c d} \quad (1.10)$$

El factor de fricción (f) es función de la rugosidad de la tubería ( $\varepsilon$ ) y del número Reynolds ( $N_{RE}$ ), esto es:

$$f = f(\varepsilon, N_{RE})$$

Donde:

$$\varepsilon = \frac{k}{d} \qquad N_{RE} = \frac{dv\rho}{\mu}$$

k = La longitud de las salientes en la pared de la tubería

d = Longitud de la tubería

Para calcular el valor de f, es necesario determinar el régimen de flujo. Osborne Reynolds estableció experimentalmente, un parámetro para determinar el régimen del fluido en tuberías. El flujo laminar se presenta cuando  $N_{RE} < 2300$  y el flujo turbulento cuando  $N_{RE} > 3100$ . Para el flujo laminar de una sola fase, el factor de fricción depende exclusivamente del número de Reynolds y está dado por:



$$f = \frac{64}{N_{RE}} \quad (1.11)$$

Para el flujo turbulento ( $N_{RE} > 3100$ ), el factor de fricción está dado por la ecuación de Colebrook y White:

$$f = \left[ -2 \log \left( \frac{\varepsilon}{3.1715d} + \frac{2.514}{\sqrt{f} N_{RE}} \right) \right]^{-2} \quad (1.12)$$

Se observa que para calcular  $f$ , en este caso se requiere un proceso iterativo.

### 2.2.2 Caídas de presión por elevación [3], [4]

Como su nombre lo indica, la caída de presión por elevación se ve afectada por el cambio de la elevación del ángulo de la tubería:

$$\left( \frac{\Delta p}{\Delta L} \right)_e = Gd * \text{seno}(\phi) / 144 \quad (1.13)$$

Donde:

Gd: Densidad del gas  $\left( \frac{lb}{pie^3} \right)$

$\phi$ : Ángulo de inclinación en radianes.

### 2.2.3 Caídas de presión por aceleración. [3], [4]

Es la caída de presión resultado de un cambio en la velocidad del fluido entre dos posiciones:

$$\left( \frac{\Delta p}{\Delta L} \right)_{ac} = Gd * \left( \text{abs}(v_{in} - v_{fin}) / 9266.1 \right) \quad (1.14)$$

Donde:

$V_{in}$  = velocidad inicial en el punto 1.

$V_{fin}$  = velocidad final en el punto 2.

### 2.3 Propiedades PVT [4] [1] [5]

Para determinar el comportamiento termodinámico, se debe realizar un estudio PVT sobre una muestra del fluido. En los yacimientos de gas y condensado resulta adecuado obtener esta muestra en superficie bajo ciertas condiciones recomendadas para garantizar la representatividad de la misma. Esto permite inferir que el estudio PVT también será representativo. Durante el estudio PVT se confirma la clasificación de este tipo de yacimiento por la observación del fenómeno de rocío por debajo de la presión de saturación. En la determinación de la presión de rocío a temperatura de reservorio pueden ocurrir tres situaciones:

- La presión estática del reservorio es mayor que la presión de rocío. En esta condición y habiéndose seguido un adecuado procedimiento de muestreo, se puede concluir que la muestra de fluido es representativa y que el fluido se encuentra en una sola fase a las condiciones de reservorio. Por lo tanto, se puede obtener una caracterización del comportamiento termodinámico del fluido de reservorio a través de la realización de un ensayo de Depletación a Volumen Constante (CVD) a temperatura de reservorio.
- A la inversa de la situación anterior, la presión de rocío es mayor que la presión estática del reservorio. Esto suele interpretarse como el resultado de la existencia de dos fases móviles en la vecindad del pozo que conducen al muestreo de un flujo bifásico. Estas muestras son consideradas como no representativas ya que la proporción en que fluyen al pozo cada una de las fases no es directamente proporcional con la saturación de cada fase sino que obedece a la movilidad relativa de las mismas.
- La última alternativa es que la presión de rocío resulte igual a la presión estática del reservorio. Esta condición resulta ser la más común en las muestras de gas y condensado de la región y la interpretación habitual es que la muestra es representativa, y en el yacimiento existe una única fase en condición de saturación. Pero ésta no es la única interpretación posible. Una alternativa, que probablemente coincida con la situación más habitual, es que el fluido en el reservorio se encuentre en dos fases (gas y líquido), pero que el líquido esté en

una proporción inferior a la mínima saturación móvil. Por lo tanto, no existe posibilidad alguna de obtener una muestra representativa del fluido pues al pozo sólo fluye una de las dos fases presentes en reservorio.

Esta interpretación toma mayor relevancia en los casos en que hay evidencia de la existencia de un halo de petróleo. Finalmente, en esta situación, el estudio PVT puede no describir adecuadamente el comportamiento futuro del reservorio, dependiendo de la situación en la que realmente se encuentre el reservorio.

### 2.3.1 Métodos para el cálculo PVT [4] [1]

Dado que existen varios tipos de correlaciones para determinar los cálculos de PVT dentro de la industria petrolera, el enfoque principal del sistema esta orientado para el análisis de las correlaciones en los gradientes de presión.

Propiedades de las Correlaciones en el Fluido			
Solution Gas-Oil Ratio 1. Lasater - Mid-Continent 2. Standing - California 3. Vasquez & Beggs - Universal 4. Glaso - North Sea 5. Glaso - Volatile Oil - North Sea 6. Petrosky & Farshad - Gulf of Mexico 7. Farshad & Garber - Colombia 8. Owolabi et al - Alaska 9. Al-Marhoun - Middle East	Bubble-Point Pressure 1. Lasater - Mid-Continent 2. Standing - California 3. Glaso - North Sea	Oil Viscosity 1. Beal, Chew, & Connally 2. Beggs, Robinson, & Vasquez 3. Lorenz, Bray, & Clark (compositional only) Gas-Oil Surface Tension 1. Baker & Swerdloff 2. Bushler 3. Katz, Monroe, & Tranter (compositional only)	Water Viscosity 1. van Wingen 2. Matthews & Russell Gas-Water Surface Tension 1. Hough & Pzasa
Oil Formation Volume Factor 1. Standing 2. Vasquez & Beggs 3. Glaso	Water Formation Volume Factor 1. Dodson & Standing	Solution Gas-Water Ratio 1. Cuberson & McKetta	
Gas Compressibility Factor 1. Dranchuk, Purvis, & Robinson 2. Dranchuk, & Abou-Kassem 3. Hall & Yarborough 4. Sutton	Compositional PVT Properties 1. Peng-Robinson Equation of State		

Figura 2.1

**Correlación de M.B. Standing. [6]**

Establece las relaciones empíricas observadas entre la presión de saturación y el factor de volumen de aceite, en función de la razón gas disuelto – aceite, las densidades del gas y del aceite producido, la presión y la temperatura. La correlación se estableció para aceites y gases producidos en California y para otros sistemas de crudo de bajo encogimiento, simulando una separación instantánea en dos etapas a 100 °F. La primera etapa se realizó a una presión de 250 a 450 lb/pg<sup>2</sup> abs, y la segunda etapa a presión atmosférica.

Debe de entenderse que la densidad del aceite producido en el tanque de almacenamiento dependerá de las condiciones de separación (etapas, presiones y temperaturas). Mientras más etapas de separación sean, el aceite será más ligero (mayor densidad API).

La presión del aceite saturado se correlacionó en la siguiente forma:

$$p = 18 \left[ \left( \frac{R_s}{\gamma_{gd}} \right)^{0.83} \frac{10^{0.00091(T)}}{10^{0.0125(\gamma_o)}} \right] \quad (1.15)$$

Por lo que despejando la relación gas disuelto – aceite ( $R_s$ ) de la ecuación se tiene:

$$R_s = \gamma_{gd} \left[ \frac{p}{18} \frac{10^{0.0125(\gamma_o)}}{10^{0.00091(T)}} \right]^{\frac{1}{0.83}} \quad (1.16)$$

El factor de volumen del aceite fue correlacionado con la relación gas disuelto-aceite, la temperatura, la densidad relativa del gas y la densidad del aceite. Se obtuvo la siguiente expresión:

$$B_o = 0.972 + 0.000147(F)^{1.175} \quad (1.17)$$

Donde:

$$F = R_s \left( \frac{\gamma_g}{\gamma_{ro}} \right)^{\frac{1}{2}} + 1.25T \quad (1.18)$$

### Correlación de Vázquez [6]

Para establecer estas correlaciones se usaron más de 6000 datos de  $R_s$ ,  $B_o$  y  $\mu_o$ , a varias presiones y temperaturas. Como el valor de la densidad relativa del gas es un parámetro de correlación importante, se decidió usar un valor de dicha densidad relativa normalizado a una presión de separación de 100 lb/pg<sup>2</sup> manométrica. Por lo tanto, el primer paso para usar estas correlaciones consiste en obtener el valor de la densidad relativa del gas a dicha presión. Para esto se propone la siguiente ecuación:

$$\gamma_{gs} = \gamma_{gp} \left( 1 + 5.912 \times 10^{-5} \gamma_o T_s \log \left( \frac{p_s}{114.7} \right) \right) \quad (1.19)$$

Donde:

$\gamma_{gs}$  – densidad relativa del gas resultante de una separación a 100 lb/pg<sup>2</sup> manométrica.

$\gamma_{gp}$  – densidad relativa del gas obtenida a las condiciones de separación de  $p_s$  y  $T_s$ .

$p_s$  – presión de separación real, en lb/pg<sup>2</sup> abs.

$T_s$  – temperatura de separación real, en °F.

La correlación para determinar  $R_s$  se afinó dividiendo los datos en dos grupos, de acuerdo con la densidad del aceite. Se obtuvo la siguiente ecuación:

$$R_s = C_1 \gamma_{gs} p^{C_2} \exp \left( C_3 \left( \frac{\gamma_o}{T + 460} \right) \right) \quad (1.20)$$

Los valores de los coeficientes son:

Coefficientes	$\gamma_o \leq 30^\circ API$	$\gamma_o > 30^\circ API$
$C_1$	0.0362	0.0178
$C_2$	1.0937	1.1870
$C_3$	25.724	23.931

La expresión que se obtuvo para determinar el factor de volumen es:

$$B_o = 1 + C_1 R_s + C_2 (T - 60) \left( \frac{\gamma_o}{\gamma_{gs}} \right) + C_3 R_s (T - 60) \left( \frac{\gamma_o}{\gamma_{gs}} \right) \quad (1.21)$$

Los valores de los coeficientes son:

Coeficientes	$\gamma_0 \leq 30^\circ API$	$\gamma_0 > 30^\circ API$
C <sub>1</sub>	$4.677 \times 10^{-4}$	$4.67 \times 10^{-4}$
C <sub>2</sub>	$1.751 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-5}$
C <sub>3</sub>	$-1.811 \times 10^{-8}$	$1.337 \times 10^{-9}$

### Correlación de Oinstein [6]

Esta correlación fue establecida utilizando muestras de aceite producido en el Mar del Norte, donde predominan los aceites de tipo volátil. Los valores de  $R_S$  y  $B_0$  se obtienen mediante los pasos siguientes:

1.- Calcule  $p^*$  con:

$$\log p^* = -2.57364 + 2.35772 \log p - 0.703988 (\log p)^2 + 0.098479 \quad (1.22)$$

2.- Calcule  $R_S$  con:

$$R_S = \gamma_k \left[ \frac{p^* \gamma_0^{0.989}}{T^{0.130}} \right]^{0.816} \quad (1.23)$$

3.- Calcule  $B_0^*$  con:

$$B_0^* = R_S \left( \frac{\gamma_{gd}}{\gamma_{ro}} \right)^{0.526} + 0.968T \quad (1.24)$$

4.- Determinar  $B_0$  con:

$$\log (B_0 - 1) = -6.58511 + 2.91329 \log B_0^* - 0.27683 (\log B_0^*)^2 \quad (1.25)$$

### Densidad del aceite saturado.

La densidad del aceite saturado, en  $\text{lb}_m/\text{pie}^3$ , es:

$$\rho_0 = \frac{62.4 \gamma_{ro} + 0.01362 R_S \gamma_{gd}}{B_0} \quad (1.26)$$

**Correlación para determinar la viscosidad del aceite saturado.**

La viscosidad del aceite saturado se puede calcular de la manera siguiente:

$$\mu_0 = a\mu_{om}^b \quad (1.27)$$

$$a = 10.715(R_S + 100)^{-0.515} \quad (1.28)$$

$$b = 5.44(R_S + 150)^{-0.338} \quad (1.29)$$

$$\mu_{om} = 10^x - 1 \quad (1.30)$$

$$x = yT^{-1.163} \quad (1.31)$$

$$y = 10^Z \quad (1.32)$$

$$Z = 3.0324 - 0.02023\gamma_0 \quad (1.33)$$

Donde:

$\mu_0$  : Viscosidad del aceite saturado

$\mu_{om}$  : Viscosidad del aceite muerto a T

**Correlación para calcular la tensión superficial del aceite saturado.**

La tensión superficial del aceite saturado, en dinas/cm, se puede determinar con la siguiente expresión:

$$\sigma = (42.4 - 0.047T - 0.267\gamma_0) \exp(-0.0007P) \quad (1.34)$$

**Correlación de Beggs & Brill [2]**

La correlación de Beggs y Brill se desarrolla para las secuencias de la tubería en pozos inclinados y las tuberías para el terreno montañoso. Esta correlación resultó de experimentos usando el aire y el agua como líquidos de la prueba sobre una amplia gama de parámetros. El funcionamiento de la correlación se da en relación a los siguientes aspectos.

- **Tamaño De la Tubería.** Para la gama en la cual la investigación experimental fue conducida (por ejemplo, los tamaños de la tubería entre 1 y 1.5 pulg.), las pérdidas de la presión se estiman exactamente. Cualquier aumento posterior de tamaño de

la tubería tiende para dar lugar a una predicción excesiva en la pérdida de la presión.

- **Gravedad Del Aceite.** Un funcionamiento razonablemente bueno se obtiene sobre un amplio espectro de las gravedades del aceite.
- **Cociente Gaseoso líquido (GLR).** En general, un excedente predijo que gota de presión está obtenida con el aumento de GLR. Los errores llegan a ser especialmente grandes para GLR sobre 5000.
- **Corte-agua.** La exactitud de las predicciones del perfil de la presión es generalmente buena hasta el cerca de 10% corte-agua.

#### **Correlación de Orkiszewski [2]**

Esta correlación se limita a las caídas de presión bifásicas en una pipa vertical y es una extensión del trabajo de Griffith y de Wallis. La correlación es válida para diversos regímenes del flujo tales como la burbuja, el lingote, la transición, y la niebla anular.

El funcionamiento de la correlación de Orkiszewski se contornea brevemente abajo para las variables del flujo consideradas.

- **Tamaño De la Tubería.** La correlación se realiza bien entre 1 y 2 pulgadas de tamaño de la tubería.. La pérdida de la presión es excedente predicho para los tamaños de la tubería mayor de 2 pulgadas.
- **Gravedad Del Aceite.** En las gravedades bajas del aceite (13-30 API), el excedente de la correlación predice el perfil de la presión. Sin embargo, las predicciones se ven para mejorar mientras que el aceite API aumenta.
- **Cociente Gaseoso líquido (GLR).** La exactitud del método de Orkiszewski es muy buena para GLR hasta 5000. Los errores llegan a ser grandes (el > 20%) para GLR sobre 5000.



- **Cortar-agua.** La correlación predice que la caída de presión con la buena exactitud para una amplia gama de cortar-agua.

### **Correlación de Poettmann & Carpenter [2]**

Este tipo de correlación no puede ser usada para predecir el gradiente de presión del flujo multifásico en los pozos. Pueden rendir resultados satisfactorios solamente para los pozos de alto transporte de flujo para el cual el patrón del flujo sería flujo de la burbuja dispersa. Esta correlación ayuda a determinar el coeficiente de fricción en base a la densidad y velocidad del fluido.

### **2.4 Modelo Matemático de la Red de Pozos [9]**

El primer paso para realizar el análisis de una red de producción petrolera, de acuerdo con la metodología que se va aplicar, consistió en establecer las analogías entre los sistemas hidráulicos y los sistemas eléctricos, con el propósito de determinar el tratamiento que se debe dar a cada uno de los elementos que formarán parte de las redes de producción.

### ***Sistemas Análogos***

Los sistemas análogos son sistemas físicos que pueden representarse mediante el mismo modelo matemático pero que son diferentes físicamente. Así pues, los sistemas análogos se describen mediante las mismas ecuaciones que definen a los elementos físicos. Es muy útil en la práctica aplicar sistemas análogos por las siguientes razones.

1.- La solución de la ecuación que describe un sistema físico puede aplicarse directamente al sistema análogo en otro campo.

2.- Puesto que un tipo de sistema puede ser más fácil de manejar experimentalmente que otro, en lugar de construir y estudiar un sistema mecánico, hidráulico, neumático, etc., podemos construir y estudiar su análogo eléctrico, porque los sistemas eléctricos son en general, mucho más fáciles de tratar experimentalmente. En particular, las computadoras analógicas electrónicas son bastante útiles para simular sistemas mecánicos tanto como

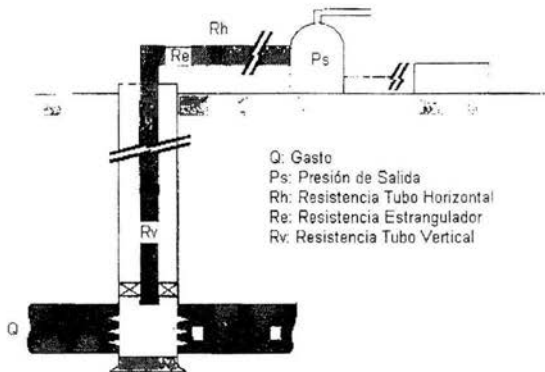
otros sistemas físicos. A continuación se muestra una tabla que representa la analogía que se tomarán para representar los elementos de un sistema de extracción de hidrocarburos.

**Tabla 2.1 Analogías Eléctricas e Hidráulicas**

<i>Eléctrico</i>		<i>Hidráulico</i>	
<i>Carga eléctrica</i>	$q$	<i>Cantidad de líquido</i>	$L$
<i>Corriente eléctrica</i>	$i$	<i>Gasto</i>	$G$
<i>Voltaje</i>	$E(t)$	<i>Presión del fluido</i>	$P$
<i>Inductancia</i>	$L$	<i>Inertancia</i>	$I$
<i>Resistencia</i>	$R$	<i>Caída de Presión en Tuberías y Estranguladores.</i>	$R$
<i>Recíproco de la capacitancia</i>	$1/C$	<i>El cambio de la cantidad de líquido entre la caída de presión.</i>	$\Delta L / \Delta P$

De esta forma, queda establecido como se relacionan las propiedades físicas que se dan en estos dos tipos de sistemas físicos. Ahora es necesario identificar y relacionar a cada uno de los elementos que intervienen en una red de producción y relacionarlo con su correspondiente dispositivo eléctrico e identificar sus propiedades. Para esto, consideremos los elementos que típicamente intervienen en una red de producción petrolera, los cuales están representados en la siguiente figura.

**Sistema de Producción**



**Figura (2.2)**

Para el sistema de producción los elementos que intervienen son:

**Tabla 2.2 Nomenclatura**

<b>Resistencia:</b>	R = Caída de presión entre gasto
<b>Gasto:</b>	G = Cambio en la cantidad líquido entre unidad de tiempo
<b>Presión:</b>	P = Resistencia por gasto
<b>Inertancia:</b>	I = Caída de presión entre caída en la razón del gasto por segundo
<b>Capacitivos:</b>	C = Cambio en la cantidad del líquido entre caída de presión

Algo muy importante de considerar, si bien es cierto que el efecto, por ejemplo, de una tubería o un estrangulador es el equivalente al efecto de una resistencia en su sistema análogo, estas "resistencias" tienen características muy peculiares, comenzando por el hecho de que su valor no es constante, son resistencias variables que dependen de una gran cantidad de factores externos, y que además son altamente no lineales, por lo que una parte importante para su representación dentro del módulo de análisis de redes es el adecuado modelado del comportamiento de cada uno de estos elementos. Inicialmente se realizó el modelado considerando que el fluido que transportan es gas.

Con las analogías establecidas entre los sistemas hidráulicos y los sistemas eléctricos, así como las representaciones de cada elemento con su respectivo modelado, ya es posible realizar el sistema de análisis de redes.

El método que se utilizará para resolver el circuito eléctrico análogo a la red de producción petrolera es el método de análisis de nodos para circuitos eléctricos. En este método se construye una matriz, denominada la matriz de conductancias, que representa al circuito eléctrico. Cada renglón (columna) de la matriz representa un nodo del circuito (un punto donde se conectan dos o más elementos) y los elementos dentro de la matriz representan

las conexiones entre los nodos. Al resolver el sistema de ecuaciones que tenemos es el voltaje (presión) en cada uno de los nodos.

El primer paso entonces, consiste en extraer de la información topológica los datos de conexión y propiedades de la red y con ellos formar la matriz de conductancias correspondiente. Debido a que las propiedades resistivas de cada elemento son variables, la matriz se forma considerando un valor inicial estimado, y estos valores se van ajustando iterativa mente hasta alcanzar la convergencia del sistema.

Los elementos que se consideraron en una primera aproximación fueron: Tuberías y Estranguladores como elementos pasivos, y Separadores y Yacimientos como elementos activos. Para las tuberías y estranguladores se requieren las diferentes características propias de cada elemento (longitud, diámetro, inclinación, etc.), mientras que para los separadores y yacimiento inicialmente se consideraron como fuentes constantes.

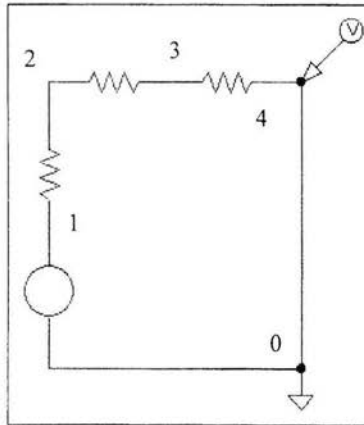
## **EJEMPLOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE REDES DE PRODUCCIÓN**

Con el programa de redes se realizaron diversas pruebas para verificar su funcionamiento y corroborar que los resultados fueran representativos desde el punto de vista de los sistemas petroleros.

### **Ejemplo 1.**

En este primer ejemplo se representa una línea de producción simple, compuesta por el yacimiento, un tramo de tubería vertical (tubería de extracción), un estrangulador, un tramo de tubería horizontal (tubería de distribución) y la salida a un separador. Las tuberías y el estrangulador se modelan como resistencias (se oponen al flujo), el separador proporciona una vía de salida a presión constante y el yacimiento es una fuente que proporciona un gasto constante (se analiza el estado estacionario del sistema). El sistema es capaz de determinar la presión existente en cada uno de los nodos del sistema

(el gasto es el mismo en todos los elementos y es dato de entrada). El circuito eléctrico análogo se muestra en la siguiente figura.



**Figura (2.3)**

Los resultados que arroja el sistema para la presión en cada nodo son los siguientes:

P01 = 629.309082 Psia  
 P02 = 486.909454 Psia  
 P03 = 438.295471 Psia  
 P04 = 437.000000 Psia

**Ejemplo 2.**

Ahora se ilustra la situación en la que se tiene una red más compleja, formada por cuatro yacimientos, donde se unen en el camino las líneas de dos de los pozos para llegar por tres rutas al punto de salida en el separador. El circuito eléctrico análogo se muestra en la siguiente figura.

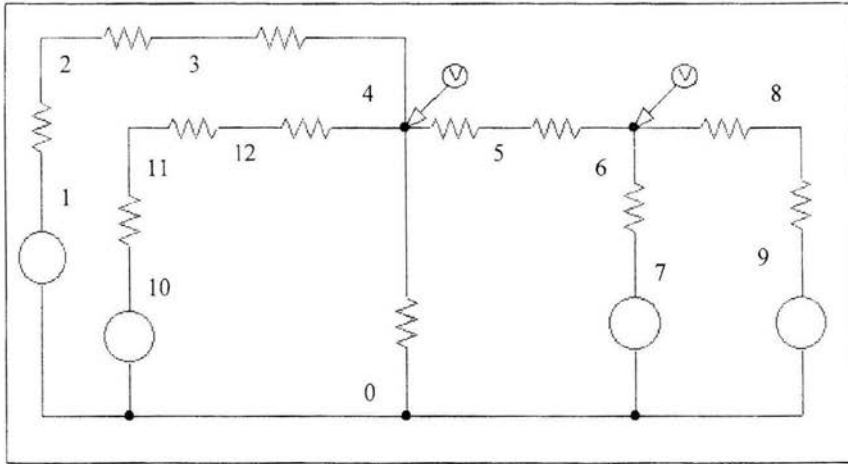


Figura (2.4)

Los resultados que arroja el sistema para la presión en cada nodo son los siguientes:

P01 =	635.000000 Psia
P02 =	491.829590 Psia
P03 =	477.718048 Psia
P04 =	477.290863 Psia
P05 =	477.517517 Psia
P06 =	484.473419 Psia
P07 =	625.000000 Psia
P08 =	484.522247 Psia
P09 =	625.000000 Psia
P10 =	650.000000 Psia
P11 =	503.049744 Psia
P12 =	478.003754 Psia

### 3. Diseño

Podríamos definir que el concepto de diseño de software es el proceso de aplicar diferentes técnicas y principios con el propósito de definir un producto con los suficientes detalles como para permitir su elaboración física. El propósito del diseño es construir un sistema que:

- a) Satisfaga determinada especificación del sistema.
- b) Se ajuste a las limitaciones impuestas por el medio de destino.
- c) Respete requisitos sobre forma, utilización de recursos, costo...

#### 3.1 Diseño Conceptual

Un diseño conceptual está íntimamente relacionado a la descripción del diseño en cuanto a la funcionalidad del sistema, esto es, se debe describir la secuencia del sistema en su operación así como en la programación de formas, módulos, eventos, clases, etc., En el diseño de una interfaz de usuario intervienen tres modelos: el modelo del diseñador, el modelo del usuario y el modelo que muestra la interfaz. Según explica el mismo Norman, cuando las personas observan objetos [10] (y las interfaces gráficas de usuario), se forman modelos conceptuales o representaciones simbólicas de su funcionamiento e, inmediatamente, intentan simular mentalmente su funcionamiento. Si el modelo conceptual de la interfaz no está claro, será muy difícil saber usarla; el modelo del diseñador debería ser lo más similar posible al modelo del usuario, y justamente, la comunicación entre estos dos modelos se produce a través de la interfaz.

La metodología de diseño conceptual que se presenta a continuación es una agrupación práctica de los conceptos de Norman en su libro "La psicología de los objetos cotidianos" [10]. Su intención es fomentar la reflexión en temas de uso y necesidades de usuario antes de diseñar cualquier interfaz; se correspondería con el primer diseño, el diseño conceptual o prototipo abstracto de la aplicación.

Etapa	Objetivo + actividades	Resultados
Búsqueda y estudio de usuarios	Es esencial conocer todo lo posible acerca de los usuarios de la aplicación.	Documentación acerca de perfiles de usuarios e informes con los resultados de los cuestionarios.
Múltiples modelos conceptuales	Es difícil que el primer modelo que se conciba sea la mejor solución, hay que esquematizar ideas y plantear diferentes alternativas.	Un conjunto de posibles soluciones que necesitan ser evaluadas.
Elección ponderada de los modelos conceptuales	Según las necesidades del proyecto y de la interfaz, se asignan números a criterios y se escogen los mejores modelos.	Selección de modelos conceptuales, criterios utilizados y resultados.
Prototipo de bajo nivel o prototipos abstractos	Creación de prototipos con materiales cotidianos que se construyan rápidamente.	Representación de baja fidelidad de los modelos, listas para ser evaluadas.
Evaluación	Aplicar métodos de inspección en los casos de uso.	Propuesta de modelo conceptual listo para ser implementado.

Usando la metodología del diseño conceptual para el diseño de un sistema de simulación para redes de producción en pozos petroleros, en la tabla siguiente se detalla las etapas y los resultados obtenidos para poder llegar a un buen diseño funcional.

Etapa	Actividades realizadas y resultados
Búsqueda y estudio de usuarios	Utilizando cuestionarios, se les aplicó a usuarios que tuvieran conocimientos sobre el análisis de redes de producción.
Múltiples modelos conceptuales	En base a la etapa anterior, se propusieron dos prototipos, en el primero se definió todo el modelo de construcción en dos niveles de diseño, para poder manejar visualmente mejor las subredes. El segundo prototipo se define en una sola capa.
Elección ponderada de los modelos conceptuales	Basado en una revisión sistemática de la aplicación de las necesidades y requerimientos del usuario, en cuanto a rapidez, manejo de la información visual y escalabilidad del diseño.
Prototipo de bajo nivel	Diseño de los prototipos en lenguaje UML tomando en cuenta la etapa anterior.
Evaluación	Se optó por el prototipo que ofrecía todo el diseño en una sola capa, dado que era el más adaptable a las necesidades establecidas y con los mejores resultados para el cliente.



A continuación se muestra el diagrama de estado que se dio como resultado de la evaluación del modelo conceptual, y que por consiguiente se implantará físicamente, teniendo completamente diseñado las partes que compondrán nuestro sistema así como sus formas, módulos y clases.

Diagrama General de Estados

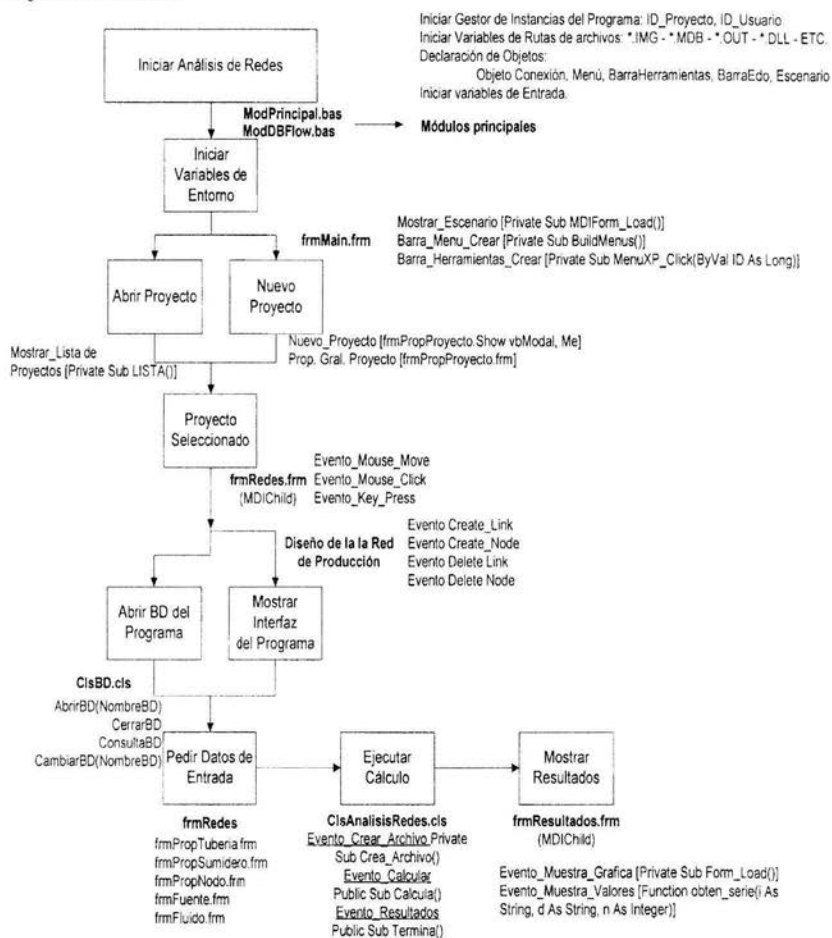


Figura (3.1)

### 3.2 Definición de Requerimientos

El sistema de simulación para redes de producción en pozos petroleros, contempla una pantalla de trabajo donde el usuario, pueda elaborar gráficamente los elementos que intervienen dentro de las redes de producción, así como establecer los valores de las variables que intervienen en cada elemento, también se crean gráficas para mostrar los resultados obtenidos de los gastos originados en las tuberías. El sistema debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Integridad: La información que se maneje dentro de la base de datos, no debe ser corrompida ni alterada por usuarios que no estén autorizados al manejo de esa información.
- b) Confidencialidad: Los datos de cada proyecto solamente pueden ser administrados por el mismo usuario que creó dicha red o bien por un administrador que puede acceder a todos los diseños de redes que se han hecho desde su instalación.
- c) Seguridad: Al inicio del sistema, cada usuario se debe registrar proporcionando un nombre de usuario y contraseña, con esto se tiene un control de quienes puedan operar el sistema, y únicamente el administrador puede modificar, eliminar o crear usuarios.
- d) Disponibilidad: El sistema puede ser equipado en cualquier máquina que cumpla los requisitos preestablecidos.
- e) Escalabilidad: El sistema debe cumplir con un estándar de modularización, que permita la actualización del sistema a las demandas que el usuario requiera, para este caso PEMEX.
- f) Instalación: Se debe contar con un instalador que contenga todos los archivos necesarios para que el sistema sea portable.

Dentro de los requerimientos del equipo, tenemos que tomar en cuenta el siguiente diagrama, como sistema para poder descargar el programa que se encuentra en una página de Internet.

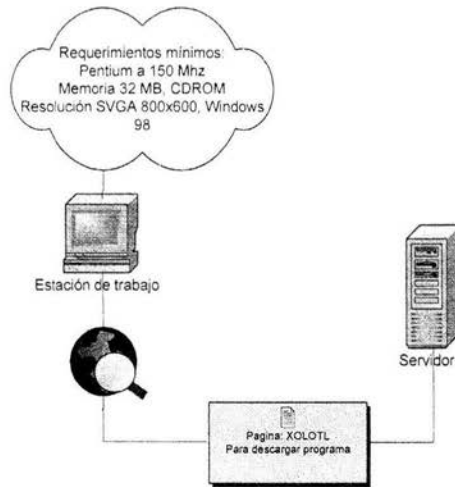


Figura (3.2)

### 3.3 Elementos del Sistema

Dentro de los elementos que constituirán la integración de los módulos del sistema, el más importante será el desarrollar un graficador que permita al usuario incorporar elementos visuales a la hoja de trabajo, y establecer enlaces de conexión entre los diferentes elementos como lo son fuentes, nodos y sumideros, así también deben cumplirse condiciones dentro de las conexiones de nuestra red como lo son las siguientes:

- Conexión saliente de la fuente hacia el nodo.
- Conexión saliente del nodo hacia el sumidero.
- Conexión saliente del nodo hacia otro nodo.

Los enlaces, así como los elementos que estén representados en la hoja de trabajo, son guardados en una base de datos relacional, que pueda identificar el número de enlace, el tipo de elemento que se ha insertado. Será necesario manejar la red como un grafo, donde se tiene el punto entrante y el saliente, esto con el fin de poder manipular la interconexión de los elementos y poder ser interpretada por el módulo de cálculo para la optimización. El graficador estará diseñado como un control Active X, que nos proporcione

dentro de la programación las herramientas necesarias para manipular su conexión a la base de datos, así como una búsqueda dentro de un árbol, para poder insertar o eliminar los elementos que conformen el diseño de la red de producción.

A continuación se mostrará el diseño que se propuso para poder después desarrollar e implementar el sistema de análisis de redes, así como también los elementos restantes que conformarán el diseño.

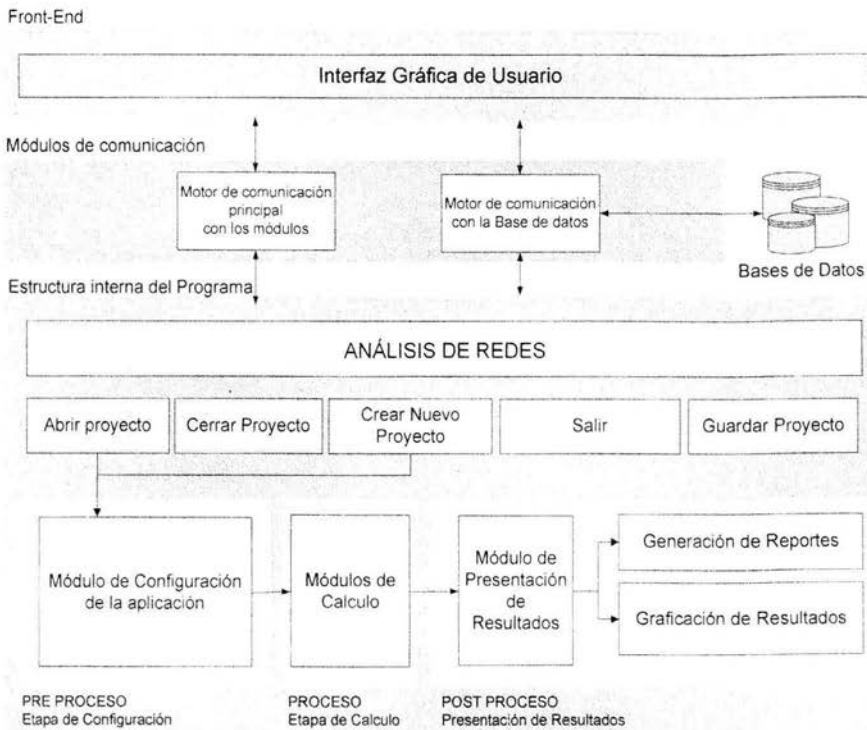


Figura (3.3)

### 3.3.1 Seguridad

El sistema XOLOTL contará con un control de acceso, para que únicamente usuarios autorizados puedan acceder al programa, el sistema contará con dos tipos de usuarios:

- Administradores: Este tipo de usuarios tendrán la posibilidad de poder crear nuevas cuentas de usuarios, así como eliminar y cambiar contraseñas, además de contar con los recursos operativos que ofrece el sistema.
- Usuarios regulares: Únicamente tendrán la restricción de no poder crear o modificar cuentas de otros usuarios, pero tendrán el mismo tipo de acceso a todos los recursos del sistema.

### 3.3.2 Menú del sistema

El diseño de los botones y barras de menú que se crearán, estarán basados en los estándares que utilizan la mayoría del software comercial, los elementos que constituirán el menú se pueden clasificar como:

- Elementos de control: Propiedades del proyecto, propiedades del fluido, Fuente, Nodo, Sumidero y Tuberías.
- Elemento de cálculo: Optimización.
- Elementos de edición de proyecto: Nuevo, Abrir, Guardar, Imprimir, Ayuda y Salir.
- Elementos de seguridad: Nuevo usuario, Modificar usuario y Eliminar usuario.

#### 3.3.2.1 Elementos de control

Para poder definir un diseño funcional, que cumpla con los requerimientos que el cliente establezca, es necesario contar con las descripciones necesarias para llevar a cabo un desarrollo de análisis de redes, para tal motivo es necesario describir cada uno de los elementos que constituyen el módulo de control.

- a) Propiedades generales del proyecto: En esta pantalla se debe de contar con los datos de producción y los datos de tolerancia e iteraciones que se necesitan especificar dentro del modelo matemático en las tuberías y estranguladores.

- b) Propiedades del fluido: Teniendo en cuenta la teoría que desprendimos del capítulo 2, el sistema permitirá seleccionar el tipo de fluido, ya sea, gas y multifásico, así como el tipo de correlación a usar para el cálculo, el tipo de composición del fluido, y los datos para el método de aproximaciones sucesivas.
- c) Fuente: Existen dos tipos de fuentes, las fuentes que son constantes y las que son variables, en la primera, se tienen que definir varias variables para poder plasmar la caracterización del yacimiento, y en la segunda, basta con determinar el gasto o la presión de la fuente, para poder determinar correctamente los cálculos.
- d) Nodo: Es un elemento representativo dentro de la simulación, que permite al usuario identificar las uniones de tuberías de producción entre ellas mismas o entre una fuente y un sumidero.
- e) Sumidero: Es el último elemento dentro de la red, que representa un contenedor y lo relevante va a ser su presión.
- f) Tuberías de producción: Se debe dar la opción al usuario para poder determinar el tipo de cálculo matemático que desee emplear para cada una de las tuberías que constituyan la red, así como determinar los parámetros de longitud, ángulo de inclinación, gasto de entrada, gasto de salida, temperatura, nodos y diámetro.

### 3.3.2.2 Elemento de cálculo

Para el diseño de este elemento será necesario diseñar una base de datos relacional que almacene cada uno de los parámetros de los elementos de control, para poder crear un archivo que pueda ingresar los datos de tal forma que cumpla con los requerimientos en cuanto a presentación de información para poder ser procesada por este mismo elemento, y regresar los resultados a la interfaz gráfica para poder desarrollar las gráficas de longitud en las tuberías de producción contra gasto.

Es indispensable que también dentro del diseño, se especifique como va a ser la construcción de dichos archivos de texto, que por medio de los cuales podamos tener una interacción del proceso matemático de la dll con la interfaz gráfica, para ello a continuación se hace la descripción del contenido de los archivos que van a ser los datos de entrada del módulo de cálculo, y el archivo de salida, que proporcionará los resultados finales del análisis de redes.

**a) Archivo de entrada.**

El archivo de datos de entrada para el programa de análisis nodal se compone de dos secciones.

La primera establece los parámetros de operación del programa de redes y de las funciones que utiliza, así como de las características del fluido que son constantes durante el análisis de la red. Esta primera sección está formada por seis líneas con datos, las cuales se describen a continuación.

**Línea 1. Parámetros de la Red.**

<u>Descripción</u>	<u>Tipo de Dato</u>	<u>Formato de lectura</u> ( <u>FORTRAN</u> )
Número máximo de iteraciones de la red	Entero	I6
Tolerancia de la red	Real	E15.6

**Línea 2. Parámetros de las Tuberías.**

Tolerancia para las tuberías	Real	E15.6
Presión estándar	Real	E15.6
Temperatura estándar	Real	E15.6

**Línea 3. Parámetros de los Estranguladores.**

Número máximo de iteraciones	Entero	I6
Tolerancia para los estranguladores	Real	E15.6

**Línea 4. Parámetros de la Composición del Fluido.**

Densidad relativa del gas	Real	E15.6
---------------------------	------	-------

**Línea 5. Parámetros del Método de la Secante.**

Número máximo de iteraciones	Entero	I6
Tolerancia del método	Real	E15.6
Valor máximo del intervalo	Real	E15.6
Valor estimado de la raíz	Real	E15.6
Intervalo estimado	Real	E15.6

A continuación de la sección anterior comienza la descripción de la topología de la red. El tamaño de ésta sección es variable, está en función del número de elementos que conformen la red. La primera línea de esta sección describe el tamaño de la red, y a continuación viene la descripción de cada elemento, utilizando una línea para cada uno.

**Línea 6.** Descripción de la Red.

Número de elementos en la red	Entero	I5
Número de nodos en la red	Entero	I5

**Línea 7 en adelante.** Descripción de los elementos de la red.

Debe existir una línea por cada elemento de la red, lo cual debe de coincidir con el primer número del renglón 6. El formato de esta línea es el mismo, independientemente del tipo de elemento que se trate; la diferencia se encuentra en lo que representa cada valor dependiendo del tipo de elemento de que se trate. El formato de la línea es el siguiente.

<u>Descripción</u>	<u>Tipo de Dato</u>	<u>Formato de lectura</u> (FORTRAN)
Tipo de elemento	Caracter	A1
Número de nodo 1 (positivo)	Entero	I5
Número de nodo 2 (negativo)	Entero	I5
Valor 1	Real	E15.6
Valor 2	Real	E15.6
Valor 3	Real	E15.6
Valor 4	Real	E15.6
Valor 5	Real	E15.6
Valor 6	Real	E15.6
Valor 7	Real	E15.6
Valor 8	Real	E15.6
Valor 9	Real	E15.6
Función del elemento	Entero	I2



Los tipos de elementos que se contemplan actualmente son los siguientes.

#### TUBERÍA

Tipo de elemento = "T"

Valor 1 – No utilizado. (uso interno del programa de red)

Valor 2 – Caída de presión estimada.

Valor 3 – Presión de entrada (nodo 1) estimada.

Valor 4 – Temperatura a la entrada.

Valor 5 – Gasto estimado.

Valor 6 – Diámetro de la tubería.

Valor 7 – Ángulo con respecto a la horizontal.

Valor 8 – Longitud de la tubería.

Valor 9 – Número de segmentos para el cálculo.

Valor 10 – Número del método del cálculo.

#### FUENTE DE GASTO VARIABLE TIPO "IPR"

Tipo de elemento = "G"

Valor 1 – PWF estimada.

Valor 2 – Permeabilidad (k).

Valor 3 – Presión promedio en el centro del yacimiento.

Valor 4 – Temperatura promedio en el centro del yacimiento.

Valor 5 – Daño (s).

Valor 6 – Radio del pozo ( $R_w$ ).

Valor 7 – Radio de drene ( $R_e$ ).

Valor 8 – Espesor promedio (H).

Valor 9 – No utilizado.

#### FUENTE DE GASTO CONSTANTE

Tipo de elemento = "G"

Valor 1 – Presión de la fuente.

Valor 2 al Valor 9 – No utilizados.



### 3.3.2.3 Elementos de edición de proyecto

Es muy importante manejar un estándar en el diseño de un sistema en relación con el software comercial que exista, con la intención de que al usuario del sistema no le sea diferente el modo de controlar las opciones de edición y se desista de usar el nuevo sistema, para esto, es necesario adaptar el modo de representar la información en cuanto al manejo de los proyectos que se vayan generando a una interfaz sencilla donde los botones y menús sean intuitivos, los elementos que van a conformar parte de este módulo son:

- a) Nuevo proyecto: Se presentará una pantalla donde el usuario proporcionará un nuevo nombre al proyecto, y dentro de esta misma pantalla se presentará el elemento de control de propiedades generales del proyecto.
- b) Abrir: Se mostrará una lista de los proyectos que se han generado.
- c) Guardar: Con esta opción el usuario guarda los cambios efectuados a un proyecto, también se guardará el nombre de usuario que desarrollo ese proyecto en la base de datos.
- d) Imprimir: Como su nombre lo indica la tarea será imprimir el diseño gráfico que se haya generado en la plantilla de trabajo.
- e) Ayuda: Mostrará un about, en relación acerca de la versión del sistema, nombre del sistema, sistemas operativos compatibles y una información del sistema de la máquina cliente.

### 3.3.2.4 Elementos de seguridad

Hoy en día es muy importante manejar un sistema con el que contemos con una seguridad, en cuanto a manejo de información y acceso restringido a usuarios no autorizados, es por esto que es necesario tener un manejo de cuentas para los usuario que vayan hacer uso del sistema y contamos con los siguientes elementos:

- a) Nuevo usuario: Se debe proporcionar el nombre completo del usuario, también un login y un password, y puede tener categoría de administrador o usuario regular, también se podrá contar con una descripción adicional que el administrador necesite añadir.

- b) Modificar usuario: Debe tener la opción de poder actualizar datos del usuario, así como cambio de password y login.
- c) Eliminar usuario: Una vez que el usuario ya no cuente con la autorización de acceder al sistema, se podrá restringir su acceso.

Interfaz Gráfica de Análisis de Redes

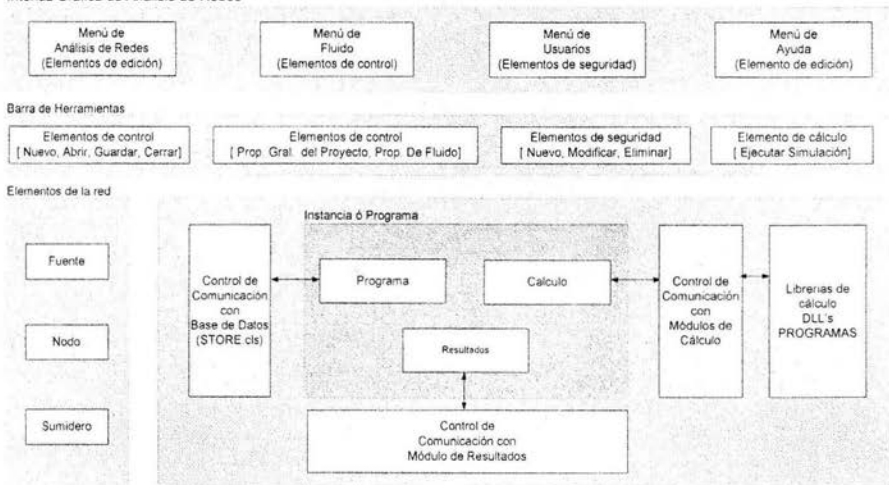


Figura (3.4)

### 3.4 Diseño de la Base de Datos

Para el diseño de una base de datos, es muy importante tomar en cuenta los diseños de las figuras en este capítulo, para poder determinar la llave primaria que va a regir nuestra base de datos, las tablas que se crearán de acuerdo a los tipos de elementos de control, así como las relaciones que existan con otras llaves de otros campos. Se definirán una tabla por cada elemento del sistema la cual es:

### ↓ Tabla Proyecto

[PROYECTO : Tabla]	
Nombre del campo	Tipo de datos
ID_PROYECTO	Texto
TIPO_PROYECTO	Texto
ID_USUARIO	Texto
NOMBRE_PROYECTO	Texto
ITERACIONES_RED	Número
TOLERANCIA_RED	Número
ITERACIONES_TUBERIA	Número
TOLERANCIA_TUBERIA	Número
ITERACIONES_ESTRANGULA	Número
TOLERANCIA_ESTRANGULAC	Número
API	Número
GAMAP	Número
RP	Número
PRESION_SEPARADOR	Número
TEMPERATURA_SEPARADOR	Número
PRESION_ESTANDAR	Número
TEMPERATURA_ESTANDAR	Número
WOR	Número

Tabla (3.1)

#### Diccionario de datos

- ID\_Proyecto (Llave primaria), será generada empezando con el formato [P000000001], con una longitud del campo de 10.
- Tipo\_Proyecto, será denominado con la letra AR que significa Análisis de Redes, con la intención de en un futuro pueda ser integrado otros modelos de análisis de la industria petrolera, teniendo el tamaño de campo de 2.
- ID\_Usuario, será generado empezando con el formato [U000000001], con una longitud del campo de 10.
- Nombre\_proyecto, será asignado por el usuario con un máximo de 50 caracteres.
- Iteraciones\_red, será asignado por el usuario, definiendo su tipo de dato como un entero largo.
- Tolerancia\_red, será asignado por el usuario, definiendo su tipo de dato como simple.
- A partir de Iteraciones\_tubería hasta WOR serán variables definidas por el usuario como un tipo de datos doble.

↓ **Tabla Yacimiento (Fuente)**

[YACIMIENTO : Tabla]		
Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
ID_YACIMIENTO	Texto	
ID_PROYECTO	Texto	
NOMBRE_YACIMIENTO	Texto	
PRESION_ENTRADA	Número	CONSTANTE
GASTO_ENTRADA	Número	CONSTANTE
PWF	Número	VOGEL - IPR
GASTO_MAXIMO	Número	VOGEL
PRESION_PROMEDIO	Número	VOGEL - IPR
PERMEABILIDAD	Número	IPR
TEMPERATURA_PROMEDIO	Número	IPR
DANO	Número	IPR
RADIO_POZO	Número	IPR
RADIO_DRENE	Número	IPR
ESPESOR_PROMEDIO	Número	IPR
TIPO	Número	"0" -> CONSTANTE "1" -> VARIABLE
TIPO_CONSTANTE	Número	"0" -> Constante Gasto "1" -> Constante Presion
TIPO_VARIABLE	Número	"0" -> IPR "1" -> VOGEL

**Tabla (3.2)**

**Diccionario de datos**

- ID\_Yacimiento (Llave primaria), será generada empezando con el formato [Y000000001], con una longitud del campo de 10.
- ID\_Proyecto, será generada cuando se inserte un yacimiento en el proyecto que se esté generando.
- Nombre\_Yacimiento, será una cadena fija (fuente) y con el número del siguiente yacimiento a insertar.
- Presión\_entrada, será asignada por el usuario dependiendo del tipo de característica de fuente (constante).
- Gasto\_entrada, será asignada por el usuario si el tipo de fuente es constante.
- PWF, será tomada en cuenta cuando el tipo de fuente sea variable.
- Gasto\_máximo, será asignada por el usuario cuando sea una fuente de tipo variable y un tipo de variable Vogel.
- Presión\_promedio, será tomada en cuenta cuando el tipo de fuente sea variable.
- Permeabilidad, Temperatura\_promedio, Daño, Radio\_del\_pozo, Radio\_drene y Espesor\_promedio, serán variables habilitadas cuando sea un yacimiento variable y con un tipo de variable IPR.
- Tipo, ésta variable indicará el valor "0" si es un yacimiento constante y "1" si es variable.
- Tipo\_constante, ésta variable indicará el valor "0" si es gasto constante y "1" si es presión constante.

- o Tipo\_variable, describirá con el valor de "0" si es un yacimiento variable tipo IPR y "1" si es un yacimiento variable tipo Vogel.

↓ **Tabla Tubería**

[TUBERIA : Tabla]		
Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
ID_TUBERIA	Texto	
ID_PROYECTO	Texto	
ID_ENLACE	Número	
NOMBRE_TUBERIA	Texto	
COMENTARIO	Memo	
PRESION_ENTRADA	Número	
PRESION_SALIDA	Número	
PRESION_ENTRADA_S	Número	
PRESION_SALIDA_S	Número	
TEMPERATURA_ENTRADA	Número	
GASTO_ENTRADA	Número	
ANGULO	Número	
DIAMETRO	Número	
LONGTUD	Número	
PRESION_CAIDA_ESTIMADA	Número	
N_NODOS	Número	
PRESION_CAIDA_CALCULO	Número	
TEMPERATURA_CAIDA_CALCULO	Número	
GASTO_CALCULO	Número	
VALOR_DE_ELEMENTO	Número	
METODO	Número	1: BEGGS y BRILL 2: DUKLER 3: MUKHERJEEC 4: ORKISZEWSKI 5: POETTMAN y CARPENTER

**Tabla (3.3)**

**Diccionario de datos**

- o ID\_Tubería (Llave primaria), será generada empezando con el formato [T000000001], con una longitud del campo de 10.
  - o ID\_Proyecto, será generada cuando se inserte una tubería de producción en el proyecto que se esté generando.
  - o ID\_Enlace, será un número entero generado por el número de enlace en el cuál se encuentra la tubería insertada.
  - o Nombre\_Tubería, será una cadena fija (Tubería de Producción) y con el número de la siguiente tubería a insertar.
  - o Comentario, será un campo asignado para que el usuario pueda anexar anotaciones o reportes de la tubería.
  - o Presión\_entrada, será un número simple que indique la presión del fluido de entrada a la tubería, que ser asignado por el usuario.
  - o Presión\_salida
  - o Presión\_entrada\_s
  - o Presión\_salida\_s
  - o Presión\_salida\_s
- } Serán campos válidos para redes con estranguladores con el tipo de dato de número simple.

- Temperatura\_entrada, será un tipo de dato numérico simple asignado por el usuario, para determinar la temperatura de entrada a la tubería.
- Gasto\_entrada, será un dato numérico simple asignado por el usuario.
- Angulo, tipo de dato numérico que determina la inclinación de la tubería pudiendo ser de 0 a 90 grados, determinado por el usuario.
- Diámetro, será un tipo de dato numérico asignado por el usuario que indique el diámetro interno de la tubería.
- Longitud, tipo de dato numérico que indique la longitud de la tubería de producción asignada por el usuario.
- Presión\_caída\_estimada, será un tipo de dato numérico determinado que establezca la proporción de caída de presión en esa tubería de producción, este valor dependerá de la inclinación de la tubería.
- N\_nodos, representa el número de nodos que posee la tubería, será un tipo de dato numérico proporcionado por el usuario.
- Presión\_caída\_cálculo, será generada por el módulo de cálculo al terminar la simulación, será un tipo de dato numérico.
- Temperatura\_caída\_cálculo, será generada por el módulo de cálculo al terminar la simulación, será un tipo de dato numérico.
- Gasto\_cálculo, será generada por el módulo de cálculo al terminar la simulación, será un tipo de dato numérico.
- Valor\_de\_elemento, será un tipo de dato numérico determinado que establezca la proporción de caída de presión en esa tubería de producción, este valor dependerá de la inclinación de la tubería.
- Método, será asignado con un número del 1 al 5 dependiendo del método a emplear como lo son: 1: BEGGS y BRILL 2: DUKLER 3: MUKHERJEC 4: ORKISZEWSKI 5: POETTMAN y CARPENTER.



### ↓ Tabla Separador (Sumidero)

[SEPARADOR : Tabla]	
Nombre del campo	Tipo de datos
ID_SEPARADOR	Texto
ID_PROYECTO	Texto
NOMBRE_SEPARADOR	Memo
COMENTARIO	Memo
PRESION_ESTANDAR	Número
PRESION_ESTANDAR_5	Número
TEMPERATURA_ESTANDAR	Número
GASTO_TOTAL	Número
PRESION_CAIDA_CALCULO	Número
DENSIDAD_RELATIVA_GAS	Número
TOLERANCIA	Número
ITERACIONES	Número
FLUJO_TOTAL	Número

**Tabla (3.4)**

#### Diccionario de datos

- ID\_Separador (Llave primaria), será generada empezando con el formato [S000000001], con una longitud del campo de 10.
  - ID\_Proyecto, será generada cuando se inserte un separador en el proyecto que se esté generando.
  - Nombre\_separador, será una cadena fija (Sumidero) y con el número de la siguiente tubería a insertar.
  - Comentario, será un campo asignado para que el usuario pueda anexar anotaciones o reportes del separador.
  - Presion\_estandar
  - Presion\_estandar\_s
  - Temperatura\_estandar
  - Densidad\_relativa\_gas
  - Tolerancia
  - Iteraciones
  - Flujo\_total
- } Serán campos válidos para redes con estranguladores con el tipo de dato de número simple.
- Gasto\_total, será un tipo de dato numérico proporcionado por el usuario.
  - Presión\_caída\_cálculo, será generada por el modulo de cálculo, que representa la caída de presión total que ocurre dentro de la red, es un tipo de dato numérico.

↓ **Tabla Flujo**

[FLUJO : Tabla]		
Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
Id	Autonumérico	
ID_PROYECTO	Texto	
GAS	Número	G - 1: SI HAY 0:NO HAY
MULTIFASICO	Número	M - 1: SI HAY 0:NO HAY
CONTAMINANTES	Número	G - 1: SI HAY 0:NO HAY
YN2	Número	G
YH2S	Número	G
YCO2	Número	G
SALINIDAD	Número	M
RS	Número	M - 1: SI HAY 0:NO HAY
BO	Número	M - 1: SI HAY 0:NO HAY
PB	Número	M - 1: SI HAY 0:NO HAY
ITERACIONES_SECANTE	Número	G
TOLERANCIA_SECANTE	Número	G
INTERVALO_MINIMO	Número	G
INTERVALO_MAXIMO	Número	G
DIFERENCIA	Número	M
SEMILLA	Número	M

**Tabla (3.5)**

**Diccionario de datos**

- ID (Llave primaria), es un valor autonumérico.
- ID\_Proyecto, será generada cuando se consulte las propiedades de fluido del proyecto que se esté generando.
- Gas, es un tipo de dato numérico, que será con valor 1 cuando se seleccione esa opción y 0 cuando esté deshabilitada.
- Multifásico, es un tipo de dato numérico, que será con valor 1 cuando se seleccione esa opción y 0 cuando esté deshabilitada.
- Contaminantes, es un tipo de dato numérico, que será con valor 1 cuando se seleccione esa opción y 0 cuando esté deshabilitada, solo podrá ser seleccionada si el tipo de flujo es gas.
- YN2
- YH2S
- YCO2
- Salinidad
- RS
- BO
- PB
- Iteraciones\_secante
- Tolerancia\_secante
- Intervalo\_mínimo
- Intervalo\_máximo

- Diferencia
- Semilla

↓ **Tabla Usuario**

[USUARIO : Tabla]	
Nombre del campo	Tipo de datos
ID_USUARIO	Texto
NOMBRE_USUARIO	Texto
RECORD	Número
LOGIN	Texto
PASSWORD	Texto
COMENTARIO	Memo
TIPO_USUARIO	Texto

**Tabla (3.6)**

**Diccionario de datos**

- ID\_Usuario (Llave primaria), será generada empezando con el formato [U000000001], con una longitud del campo de 10.
- Nombre\_usuario, será asignado por el administrador del sistema, siendo un tipo de dato texto.
- Record, será asignado automáticamente cuando cada usuario cree un proyecto, con un tipo de dato numérico.
- Login, será asignado por el administrador del sistema, siendo un tipo de dato texto.
- Password, será asignado por el administrador del sistema, siendo un tipo de dato texto.
- Comentario, será asignado por el administrador del sistema, siendo un tipo de dato texto, para anotar referencias del usuario.
- Tipo\_usuario, se denotará con el número 1 al usuario que se haya registrado como administrador, y con el número 0 al usuario regular, es un tipo de dato numérico.

### ↓ Tabla Nodos

[NODOS_S : Tabla]	
Nombre del campo	Tipo de datos
ID_NODO	Autonumérico
ID_PROYECTO	Texto
Left	Número
Top	Número
Width	Número
Height	Número
Hidden	Si/No
Transparent	Si/No
Shape	Número
ShapeOrientation	Número
PicturePosition	Número
AutoSize	Número
Alignment	Número
DrawStyle	Número
DrawWidth	Número
FillColor	Número
DrawColor	Número
ForeColor	Número
xScrollable	Si/No
yScrollable	Si/No
Sizeable	Si/No
Moveable	Si/No
Marked	Si/No
Logical	Si/No
Selectable	Si/No
UserData	Número
Text	Memo
Tag	Memo
Key	Texto
ToolTip	Texto
FontName	Texto
FontSize	Número
FontBold	Si/No
FontItalic	Si/No
FontUnderline	Si/No
FontStrikethrough	Si/No
Picture	Objeto OLE

Tabla (3.7)

#### Diccionario de datos

- ID\_Nodo (Llave primaria), es un valor autonumérico.
  - ID\_Proyecto, será generada cuando se inserte un elemento en el proyecto que se esté generando.
  - Left
  - Top
  - Width
  - Height
  - Hidden
  - Transparent
- Son campos definiendo posición respecto, tamaño y peso, son tipos de datos numéricos, serán definidos por la posición que ocupen y el tamaño dentro de la interfaz gráfica.
- Son campos definiendo si están ocultos o transparentes, son tipos de datos booleanos, definidos siempre por default como falsos.

- Shape
  - ShapeOrientation
  - PicturePosition
  - Autosize
  - Alignment
  - DrawStyle
  - DrawWidth
  - FillColor
  - DrawColor
  - ForeColor
- } Son campos asociados a efectuar figuras básicas de diseño dentro de la interfaz (están deshabilitadas ya que el objeto es una imagen insertado en la OLE), son tipos de datos numéricos
- xScrollable, será un tipo de dato booleano, asignado por default como verdadero, ya que esto permite que se pueda generar la opción del scroll bar horizontal.
  - yScrollable, será un tipo de dato booleano, asignado por default como verdadero, ya que esto permite que se pueda generar la opción del scroll bar vertical.
  - Sizeable, será una propiedad asignada por default como cierta, siendo un tipo de dato booleano, permitiendo de esta forma que el elemento insertado pueda aumentar de tamaño dentro de la interfaz.
  - Moveable, será una propiedad asignada por default como cierta, siendo un tipo de dato booleano, permitiendo de esta forma que el elemento insertado pueda moverse dentro de la interfaz.
  - Marked, será un tipo de dato booleano, con el valor de verdadero por default cada vez que se seleccione en la interfaz.
  - Logical, será un tipo de dato booleano, con el valor de verdadero.
  - Selectable, será un tipo de dato booleano, con el valor de verdadero por default, para poder permitir ser seleccionado por el usuario una vez que haya sido insertado en la interfaz.
  - UserData, será un tipo de dato numérico, asignado automáticamente por el sistema dependiendo del elemento que se este insertando, para la fuente corresponde el número 1, para el nodo corresponde el número 2 y para el sumidero el número 3.
  - Text, será un tipo de dato de texto, asignado para el nombre del elemento insertado en la interfaz.
  - Tag,
  - Key,
  - ToolTip
- } Son tipos de datos de texto y no estarán habilitados.

- FontName
  - FontSize
  - FontBold
  - FontItalic
  - FontUnderline
  - FontStrikethrough
- Serán los dos primeros tipos de datos de texto y numérico respectivamente, los siguientes cuatro serán tipos de datos booleanos, estos campos están asociados a las opciones de letra para las etiquetas de los elementos.
- Picture, será un tipo de dato de objeto OLE, tomará la imagen del elemento a insertar dentro de la interfaz.

↓ **Tabla Enlaces (Fuente)**

[ENLACES_5 : Tabla]	
Nombre del campo	Tipo de datos
ID	Autonumérico
ID_ENLACE	Número
ID_PROYECTO	Texto
Org	Número
Dst	Número
Hidden	Texto
Rigid	Texto
AdjustOrg	Texto
AdjustDst	Texto
LinkStyle	Texto
ArrowDst	Texto
ArrowOrg	Texto
ArrowMid	Texto
DrawStyle	Texto
DrawWidth	Texto
DrawColor	Texto
ForeColor	Texto
Marked	Texto
Logical	Texto
Selectable	Texto
UserData	Texto
Text	Número
Tag	Memo
Key	Texto
ToolTip	Texto
ExtraPoints	Memo
FontName	Texto
FontSize	Número
FontBold	Si/No
FontItalic	Si/No
FontUnderline	Si/No
FontStrikethrough	Si/No

**Tabla (3.8)**

**Diccionario de datos**

- ID (Llave primaria), es un valor autonumérico.
- ID\_Enlace, será un tipo de dato numérico, asignado al número de enlace insertado.

- ID\_Proyecto, será generada cuando se inserte un enlace en el proyecto que se esté generando.
  - Org, será un tipo de dato numérico, que escribirá el número del elemento de origen de donde parte el enlace con la orientación hacia la flecha.
  - Dst, será un tipo de dato numérico, que asignará el número del elemento de destino, hacia donde apunta el enlace creado.
  - Hidden,
  - Rigid
  - AdjustOrg
  - AdjustDst
- } Son tipos de datos booleanos, predefinidos con el valor de falso que sirven para ocultar, poner rígido en enlace (que no pueda ser modificado).
- LinkStyle, será un tipo de dato numérico, en el cuál tiene por defecto un estilo de polyline que se distingue con el valor de 0.
  - ArrowDst, será un tipo de dato numérico, en el cuál tiene por defecto un estilo de flecha rellena, que tiene el valor numérico de 3.
  - ArrowOrg, será un tipo de dato numérico, en el cuál tiene por defecto un estilo de ausencia de flecha, que tiene el valor numérico de 0.
  - ArrowMid, será un tipo de dato numérico, en el cuál tiene por defecto un estilo de un círculo vacío para representar la tubería de producción, que tiene el valor numérico de 2.
  - DrawStyle, será un tipo de dato numérico, el cuál tiene por defecto un estilo sólido representado por el número 0.
  - DrawWidth, será un tipo de dato numérico, el cuál tiene por defecto un estilo muy delgado del enlace, y esté representado por el número 0.
  - DrawColor, será un tipo de dato numérico, en el cuál tiene por defecto un color rojo, y en el formato RGB tiene el valor de 255.
  - ForeColor, es un tipo de dato numérico no habilitado, ya que el color elegido pertenece a un valor estándar dentro del código RGB.
  - Marked
  - Logical
  - Selectable
- } Serán tipos de datos booleanos, que tendrán las opciones de falso, verdadero y verdadero respectivamente.
- UserData, será un tipo de dato numérico, que indique el dato de uso que se le asignó para poder distinguirlo en un futuro de un enlace que represente una tubería y un enlace que represente una bomba u otro objeto.
  - Text, será un tipo de dato de texto, indicará el número del enlace insertado.

- Tag,
  - Key
  - ToolTip
  - ExtraPoints
  - FontName
  - FontSize
  - FontBold
  - FontItalic
  - FontUnderline
  - FontStrikethrough
- Son tipos de datos de texto y no estarán habilitados.
- Serán los dos primeros tipos de datos de texto y numérico respectivamente, los siguientes cuatro serán tipos de datos booleanos, estos campos están asociados a las opciones de letra para las etiquetas de los elementos.

↓ **Relaciones de las Tablas**

Una vez ya terminado el diseño de las tablas es necesario crear las relaciones que existirán dentro de la base de datos, para que cuando se haga un query, una inserción de datos, eliminación, etc., pueda hacerse de forma automática la eliminación de los elementos relacionados a un proyecto o elemento.

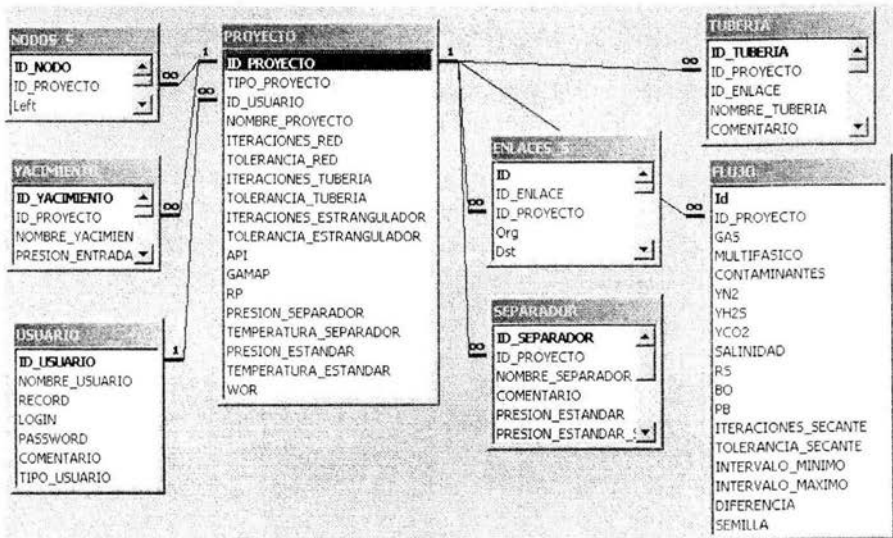


Figura (3.5)



#### **4. Desarrollo del sistema**

El proceso de desarrollo de software "es aquel en que las necesidades del usuario son traducidas en requerimientos de software, estos requerimientos transformados en diseño y el diseño implementado en código, el código es probado, documentado y certificado para su uso operativo". Concretamente "define quién está haciendo qué, cuándo hacerlo y cómo alcanzar un cierto objetivo".

El proceso de desarrollo de software requiere por un lado un conjunto de conceptos, una metodología y un lenguaje propio. A este proceso también se le llama el ciclo de vida del software que comprende cuatro grandes fases: concepción, elaboración, construcción y transición. La concepción define el alcance del proyecto y desarrolla un caso de negocio. La elaboración define un plan del proyecto, especifica las características y fundamenta la arquitectura. La construcción crea el producto y la transición transfiere el producto a los usuarios.

Actualmente se encuentra en una etapa de madurez el enfoque Orientado a Objetos (OO) como paradigma del desarrollo de sistemas de información. El Object Management Group (OMG) es un consorcio a nivel internacional que integra a los principales representantes de la industria de la tecnología de información OO. El OMG tiene como objetivo central la promoción, fortalecimiento e impulso de la industria OO. El OMG propone y adopta por consenso especificaciones entorno a la tecnología OO. Una de las especificaciones más importantes es la adopción en 1998 del Lenguaje de Modelado Unificado o UML (del inglés Unified Modeling Language) como un estándar, que junto con el Proceso Unificado están consolidando la tecnología OO.

#### **Fundamentos de lo Orientado a Objetos**

El paradigma OO se basa en el concepto de objeto. Un objeto es aquello que tiene estado (propiedades más valores), comportamiento (acciones y reacciones a mensajes) e identidad (propiedad que lo distingue de los demás objetos). La estructura y comportamiento de objetos similares están definidos en su clase común; los términos

instancia y objeto son intercambiables. Una clase es un conjunto de objetos que comparten una estructura y comportamiento común.

La diferencia entre un objeto y una clase es que un objeto es una entidad concreta que existe en tiempo y espacio, mientras que una clase representa una abstracción, la "esencia" de un objeto, tal como son. De aquí que un objeto no es una clase, sin embargo, una clase puede ser un objeto.

En el enfoque OOP las propiedades del objeto son claves. Los principios del modelo OOP son: abstracción, encapsulación, modularidad y jerarquía, fundamentalmente, y en menor grado tipificación (typing), concurrencia, persistencia. [11] dice que si un modelo que se dice OOP no contiene alguno de los primeros cuatro elementos, entonces no es OOP.

- **Abstracción.** Es una descripción simplificada o especificación de un sistema que enfatiza algunos de los detalles o propiedades del sistema, mientras suprime otros.
- **Encapsulación.** En el proceso de ocultar todos los detalles de un objeto que contribuyen a sus características esenciales.
- **Modularidad.** Es la propiedad de un sistema que ha sido descompuesto en un conjunto de módulos coherentes e independientes.
- **Jerarquía o herencia.** Es el orden de las abstracciones organizado por niveles.
- **Tipificación.** Es la definición precisa de un objeto de tal forma que objetos de diferentes tipos no puedan ser intercambiados o, cuando mucho, puedan intercambiarse de manera muy restringida.
- **Concurrencia.** Es la propiedad que distingue un objeto que está activo de uno que no lo está.
- **Persistencia.** Es la propiedad de un objeto a través de la cual su existencia trasciende el tiempo (es decir, el objeto continúa existiendo después de que su creador ha dejado de existir) y/o el espacio (es decir, la localización del objeto se mueve del espacio de dirección en que fue creado).

Según Booch [11], los beneficios del enfoque OOP son:

Primero, el uso del modelo OOP nos ayuda a explotar el poder expresivo de todos los lenguajes de programación basados en objetos y los orientados a objetos, como Object Pascal, C++, Visual C++, Java, Visual Basic, etc.

Segundo, el uso del modelo OOP alienta el re-uso no solo del software, sino de diseños completos.

Tercero, produce sistemas que están contruidos en formas intermedias estables y por ello son más resistentes al cambio en especificaciones y tecnología.

El mismo autor considera que el principal beneficio del OOP es que da un mecanismo para formalizar el modelo de la realidad. Es por eso que dentro del desarrollo de nuestro código es necesario e indispensable la utilización de programación orientada a objetos, que nos permiten darle un mayor margen de vida al software y como la esencia de nuestro sistema poder tener la capacidad de escalarlo a medida de los aditamentos correspondiente para la cual fue concebido. (Exploración y producción de hidrocarburos).

Las relaciones entre objetos definen el comportamiento del sistema. Se dice que un objeto es un actor, si su única función es operar sobre otros objetos. El objeto es un servidor si solo es manejado por otros objetos y es un agente si tiene ambas propiedades. Se dice que los objetos actúan entre sí mediante mensajes, es decir, acciones que pide el objeto transmisor que ejecute el objeto receptor. Dependiendo del comportamiento definido para un objeto, éste tomará las acciones para ejecutar o no el mensaje, de manera apropiada.

Dentro del código tenemos claramente bien definidos los siguientes objetos:

- Conexión con la base de datos.
- Menú.
- Barra de herramientas
- Escenario (Graficador).

Lo cual beneficia a la optimización del código y que los procesos internos que se llevan a cabo dentro de nuestras clases sean transparentes, debido a que una de las necesidades

---

del sistema es tener una conexión permanente con su base de datos, ya que como posteriormente se verá, el graficador está íntimamente ligado con los atributos de la base de datos.

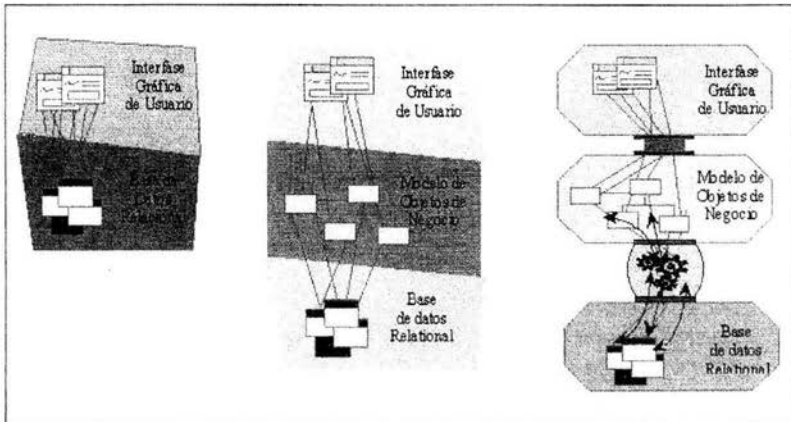


Figura A “Desarrollo integral del Sistema”

#### 4.1 Descripción de las pantallas del sistema

Al inicializar el programa se presentará una pantalla como se muestra en la figura 4.1, donde el usuario debe registrarse con su nombre de usuario y contraseña que el administrador del sistema le haya proporcionado (en esta liberación de la versión 1 el usuario es pemex y la contraseña pemex).

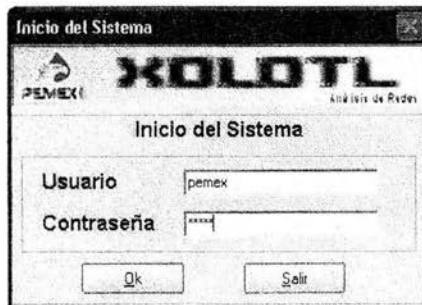


Figura (4.1)

Después de que el usuario haya introducido su nombre de usuario y contraseña, aparecerá una ventana de proyecto como se muestra en la figura 4.2.

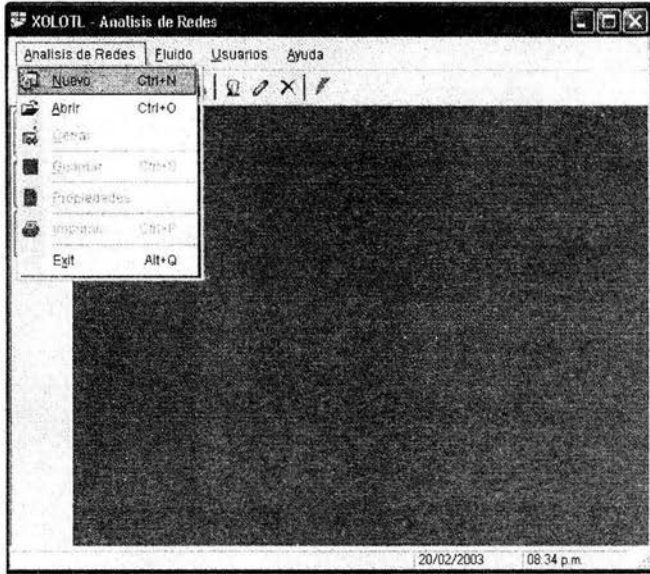


Figura (4.2)

Dentro de esta ventana tenemos una barra de menú que contiene los siguientes elementos:

↓ **Análisis de Redes.**

- Nuevo.
- Abrir.
- Cerrar.
- Guardar.
- Propiedades. (Muestra las propiedades generales del proyecto)
- Imprimir.
- Exit.



- ↓ Fluido.
  - Propiedades (Muestra las propiedades de Fluido)
 

Fluido
 

Propiedades
  
- ↓ Usuarios.
  - Añadir.
 

Usuarios
 

Añadir
   
 Editar
   
 Eliminar
  - Editar.
  - Eliminar.
  
- ↓ Ayuda.
  - Acerca de XOLOTL.

Menú Análisis de Redes:

Al dar clic en la opción de Nuevo (CTRL + N) se abre una nueva ventana que muestra la propiedades generales del proyecto como se muestra en la figura 4.3.

Figura (4.3)

Ya una vez establecidas las propiedades del proyecto, éstas se guardan en la base de datos para que tiempo después puedan ser utilizadas ya sea para realizar la simulación

de la red y ser vistas por otros usuarios (Figura 4). El siguiente paso será diseñar la red con los elementos que se cuentan, como lo son: fuentes, nodos, sumideros y tuberías (estas opciones están habilitadas actualmente para este módulo pero, posteriormente en otra versión se pudieran implementar bombas, estranguladores y compresores, dichas opciones están deshabilitadas en la opción de propiedades de los enlaces, como se muestra en la figura 4.8).

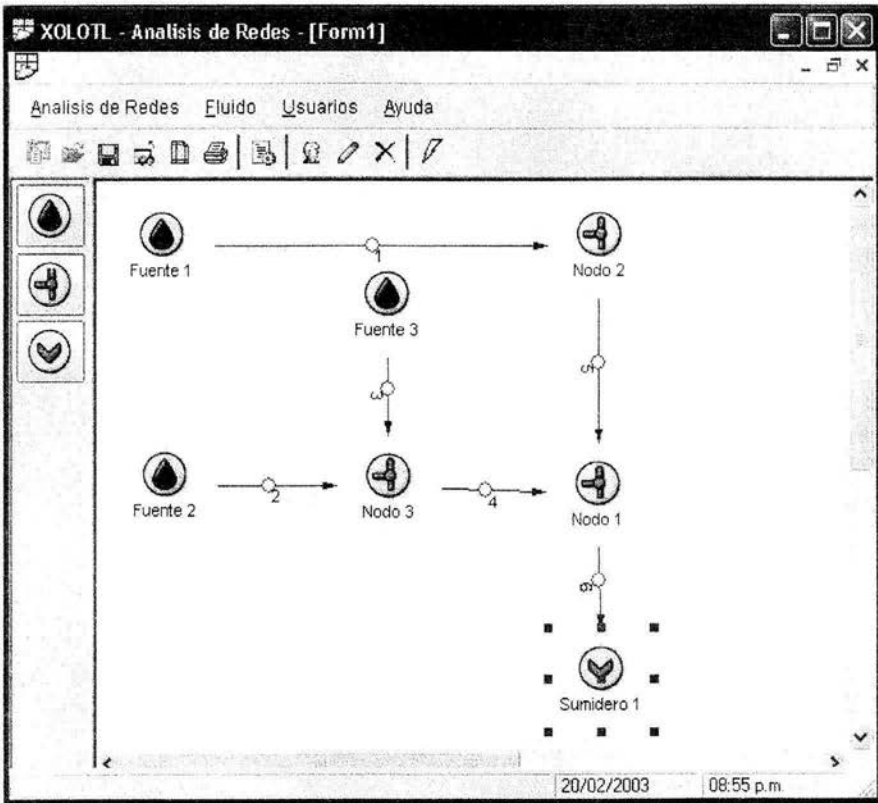


Figura (4.4)

Para poder insertar los elementos dentro del área de trabajo, es necesario dar un clic con el botón izquierdo del mouse en el elemento de la barra de menú, que se ubica en el lado izquierdo del área de trabajo. Ya después se hace un clic con el botón izquierdo del mouse y se arrastra sobre un área que desee el usuario dentro del área de trabajo y se

creará el elemento que se haya seleccionado, para poder establecer los enlaces entre los elementos que contendrán las tuberías, será necesario seleccionar el elemento origen y después dar un clic con el botón izquierdo del mouse sobre el centro del mismo elemento origen y sin soltar el botón arrastrandolo hacia el elemento destino, en caso de realizar una conexión invalida se mostrará un mensaje de advertencia que no le permitirá establecer dicho enlace. Los elementos se pueden mover y eliminar, para moverlos solo basta con dar un clic con el botón izquierdo del mouse sobre el elemento que se desee mover y arrastrar el elemento. Pero para eliminar será necesario que no exista "ningún" enlace que conecte con otro elemento, si ya existe un enlace será necesario eliminarlo de la misma forma con que se elimina un elemento como fuente, nodo o sumidero, basta con seleccionarlo y oprimir el botón SUPR del teclado. Para poder establecer las propiedades de cada uno de los elementos es necesario dar clic con el botón derecho del mouse sobre el elemento al cual desee establecer las propiedades del elemento, y con esto aparecerá un menú que muestra opciones de zoom que va de 25% a 200% y la opción de propiedades. (Figura 4.5)

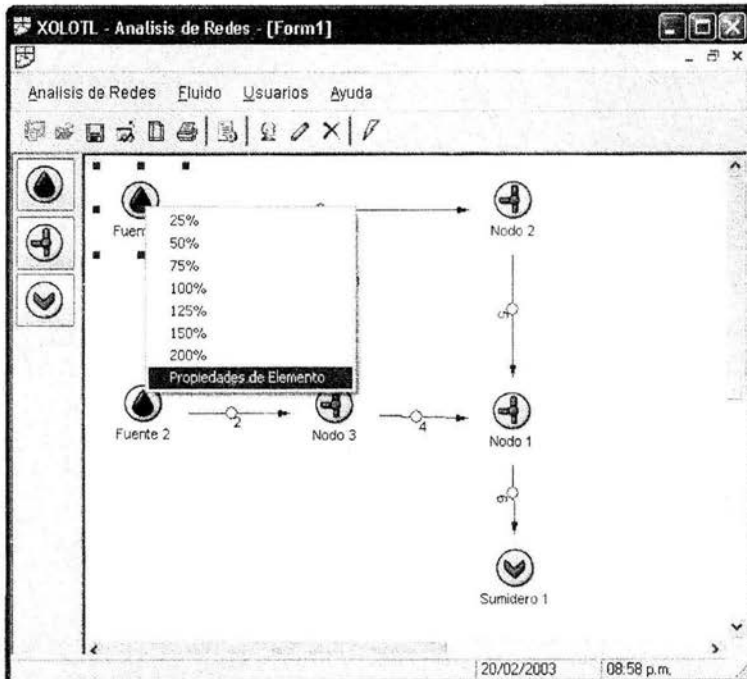


Figura (4.5)



Propiedades de la fuente.

Las propiedades que presenta la fuente se muestran en la figura 4.6, primero el usuario debe establecer el tipo de fuente con la que quiere trabajar; fuente constante o variable, esto se indica en los círculos de opción, y ya posteriormente se puede establecer cualquier valor numérico que el usuario desee implementar, y para finalizar y grabar las propiedades del elemento se tiene que dar clic con el botón izquierdo del mouse.

**FUENTE**

**XOLOTL**  
Analisis de Pozos

**Datos de la FUENTE**

**CONSTANTE**

Gasto 570 [Scfd]  
 Presión [Psi]

**VARIABLE**

IPR  **VOGEL**

PWF []  
Gasto Maximo [Scfd]  
Presion Promedio [Psi]  
Permeabilidad []  
Temp Promedio [F]  
Daño []  
Radio del Pozo []  
Radio del Drene []  
Espesor Promedio []

Aceptar Cancelar

Figura (4.6)

Propiedades del sumidero:

La ventana de las propiedades que presenta el sumidero es como la que se muestra en la figura 4.7 y así también para grabar las propiedades del elemento se tiene que dar clic en la opción de aceptar.



Figura (4.7)

Insertar tuberías:

La ventana que se presenta al dar clic en la opción de propiedades estando seleccionado el enlace entre elementos aparecerá una ventana que cuenta con las opciones de editar, cerrar y eliminar el elemento que se tenga insertado, esto se muestra en la figura 4.8. (Aquí como ya se había mencionado anteriormente se tienen la posibilidad de escalar este software para futuras versiones) Ahora dando clic en el botón de tubería aparecerá una nueva ventana como se muestra en la figura 4.9

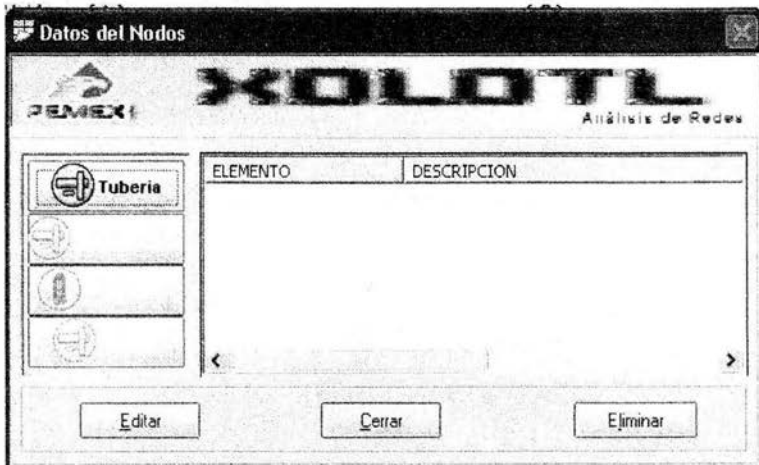


Figura (4.8)

The screenshot shows a software window titled "XOLOTL - TUBERIA" with a logo for "XOLOTL Análisis de Redes". The main heading is "Datos de la TUBERIA". Below this, there is a text field for "NOMBRE:" containing "Tubería de Producción 2". A series of input fields follow: "Presion de entrada" (400 [Psi]), "Temperatura de entrada" (200 [°F]), "Gasto de entrada" (500 [MSCF/d]), "Nodos" (25), "Longitud" (10500 [Ft]), "Angulo" (90° [°]), and "Diametro" (3.5 [In]). A section titled "Metodo para el Calculo" contains five radio button options: "Beggs y Brill" (selected), "Poettmaan y Carpenter", "Mukherjee", "Orkiszewski", and "Mukherjee" (repeated). At the bottom are "Aceptar" and "Cancelar" buttons.

Figura (4.9)

Propiedades de Flujo:

Para finalizar con la construcción de la red que el usuario, se tiene que establecer las propiedades de flujo, esto se hace logrando dar clic en la barra de menú que anteriormente se mostró al inicio del documento, al dar clic se abrirá una venta como se muestra en la figura 4.10.

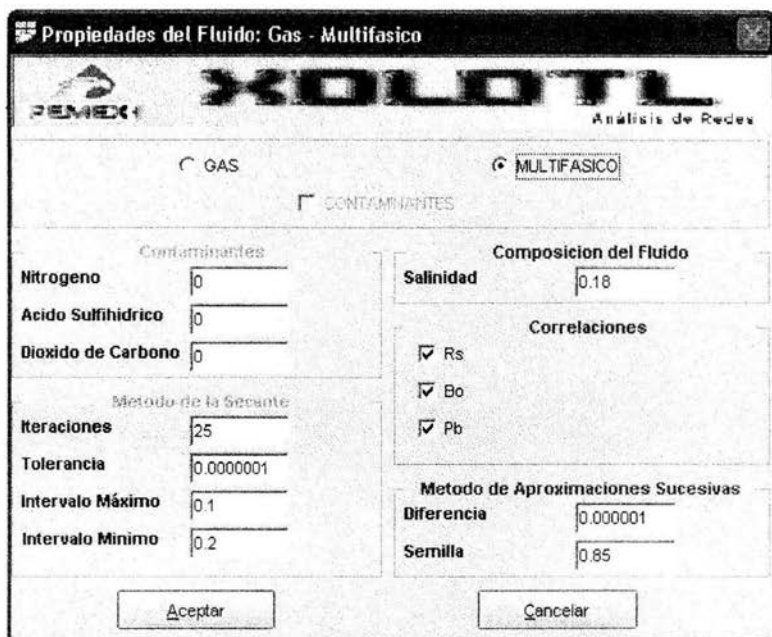


Figura (4.10)

Ejecución de la simulación.

Al dar clic en la barra de menú que tiene la forma de un rayo, es la opción para inicializar la ejecución de la simulación de la red (Figura 4.11).

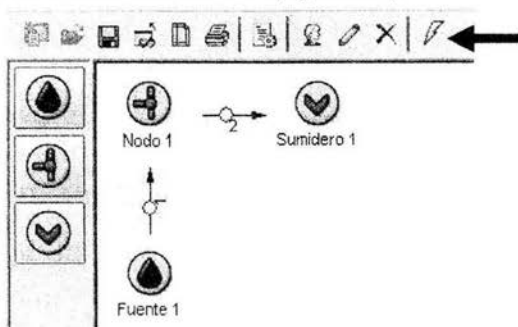


Figura (4.11)

Al terminar el cálculo matemático se mostrará una ventana (Figura 4.12) que tendrá la grafica y los valores de presión a lo largo de las tuberías.

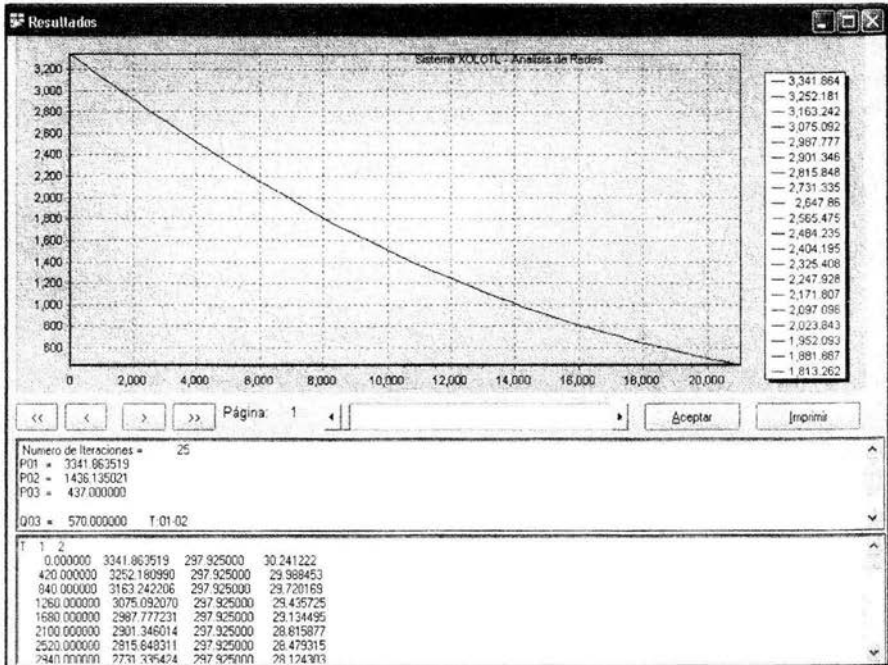


Figura (4.12)

## 5. Pruebas de Software e Implantación del Sistema

### 5.1 Pruebas de software [12], [13]

Con el propósito de que el usuario obtenga un producto que cumpla con los requisitos y objetivos planteados desde la etapa de diseño, y que cuente con una alta fiabilidad y funcionalidad del sistema se deben realizar pruebas para garantizar el producto.

Para realizar un buen trabajo, la interfaz con el ordenador debe ser, entre otras cosas, lo más fácil, amigable y agradable posible, y se debe usar un diálogo que se acerque al lenguaje natural en vez de la jerga informática. Entre las consideraciones a tener cuenta a la hora de diseñar pantallas se encuentran las siguientes:

- Características deseadas: simplicidad, claridad y fácil de comprender. Será necesario tener claridad visual, de forma que los elementos estén agrupados de forma comprensible y con significado en vez de al azar y de forma confusa.
- Saber dónde situar la información en la pantalla. Será necesario indicar un punto de partida obvio en la esquina superior izquierda de la pantalla, reservar áreas específicas de pantalla para diferentes tipos de información (como, por ejemplo, mandatos, mensajes de error, títulos y campos de datos, de forma que esta consistencia se mantenga en todas las pantallas) y proporcionar una composición que guste visualmente (es decir, que esté balanceada, sea simétrica, sea predecible, secuencial, simple, con agrupamientos, etc.).
- Saber qué información situar en la pantalla. Para ello, hay que poner sólo la información que es esencial para la toma de una decisión o para la ejecución de una acción (¡No inundar al usuario con información!) y poner todos los datos relacionados con una tarea en una única pantalla (así el usuario no tiene que recordar datos de una pantalla a otra).
- Saber cómo situar la información en la pantalla. Así, en cuanto a las fuentes de letras, se recomienda utilizar minúsculas para el texto con la letra inicial de la frase

en mayúsculas; para las etiquetas, encabezamientos o subtítulos utilizar mayúsculas. En cuanto a las palabras, se recomienda no usar jerga, sino utilizar palabras cortas, familiares, etc. También es necesario saber como alinear y/o resaltar el texto y las palabras, dónde situar las ilustraciones, los campos de datos, etc.

- La interfaz de entrada debe recoger todos los datos necesarios, sin introducir errores, para el sistema. De esta forma, la interfaz contiene una protección contra errores de entrada. Así mismo, también debe recoger los datos minimizando el número de teclas pulsadas por el usuario. Las entradas deben estar bien estructuradas y ser fáciles de comprender y utilizar. Se deben usar nombres precisos y permitir abreviaturas cuando se necesiten introducciones rápidas de datos. Se deben evitar las entradas repetitivas. Igualmente, el diseño de la salida asegura que se extraen todos los datos suministrados por el sistema y que esas salidas están estructuradas de forma que sean fáciles de leer.
- El color añade una nueva dimensión a la facilidad de uso de la pantalla, ya que atrae la atención del usuario. Si se utiliza de forma adecuada, puede resaltar la organización lógica de una pantalla, facilitar la separación de componentes y acentuar las diferencias. Por el contrario, si se usa inadecuadamente, puede distraer y fatigar la visión debilitando la facilidad de uso del sistema. Por ejemplo, en las pantallas gráficas se recomienda no utilizar más de seis colores a la vez, evitar colores extremos (rojo y azul, amarillo y púrpura), evitar colores que no tengan contraste (blanco y amarillo, rojos, azules).

Para finalizar, diremos que el diseño de pantallas es un proceso ordenado que empieza en los requisitos y finaliza con la implementación.

### **5.1.1 Pruebas operativas**

Las pruebas operativas consisten en evitar redundancias cíclicas que lleven a un incorrecto funcionamiento del sistema, como puede ser la lentitud en los procesos. Este tipo de pruebas operativas, tienen como finalidad, evaluar el desempeño del sistema (velocidad, rendimiento, presentación de la información, etc.) dentro de los requisitos exigidos para su operación y aceptación del usuario final.

### **5.1.2 Pruebas modulares**

Las pruebas modulares son una parte esencial dentro de la etapa del desarrollo, ya que permite evaluar y rectificar desde el inicio del desarrollo de programación, lo que miden estas pruebas es el correcto funcionamiento por partes del sistema, y una vez concluida la verificación que los módulos estén trabajando correctamente bajo los estándares preestablecidos de la etapa de diseño, se procede a evaluar la correcta interacción que tengan los módulos entre sí. Los módulos de un sistema tienen por finalidad darle portabilidad a un sistema.

### **5.1.3 Pruebas de validación**

La validación es el proceso de evaluación de un sistema o de uno de sus componentes durante o al final del proceso de desarrollo para determinar si satisface los requisitos especificados. Así, validar una aplicación implica comprobar si satisface los requisitos marcados por el usuario.

### **5.1.4 Caso de Estudio**

Es un conjunto de entradas, condiciones de ejecución y resultados esperados desarrollados para un objetivo particular como, por ejemplo, ejercitar un camino concreto de un programa o verificar el cumplimiento de un determinado requisito". También se puede referir a la documentación en la que se describen las entradas, condiciones y salidas de un caso de prueba.



#### 5.1.4.1 Activo Burgos

El activo Burgos esta ubicado en el estado de Tabasco, donde se extrajeron los datos de una red de producción de 29 pozos petroleros, con esos datos se evaluó la eficiencia del sistema, así como su precisión en las aproximaciones de los resultados comparándolos con los resultados que el activo Burgos tuviese.

### 5.2 Criterios Generales para la Evaluación del Sistema.

#### Diseño.

Este criterio permitirá evaluar dos aspectos fundamentales:

- *Estética de la aplicación.* En este punto se consideran elementos como los colores utilizados en ventanas, la ubicación de elementos dentro de la pantalla, el tipo de letra, la forma de los enlaces, los gráficos utilizados para representar cada uno de los elementos dentro de una red.
- *Utilidad de los elementos de la interfaz.* Este aspecto involucra la claridad que deberá existir en los elementos que servirán al usuario para realizar su tarea. Entre los elementos podemos mencionar: la claridad en los menús, mensajes del sistema y textos usados para describir actividades o valores a utilizar por el sistema, la representación adecuada de la tarea que realiza cada icono, las barras de herramientas, entre otros.

#### Funcionalidad.

Además de la estética, la importancia principal de una aplicación radica en que realice las cosas que dice hacer y cómo dice hacerlas, sin olvidar la complejidad al utilizarla. Por ello para esta evaluación se considerarán los siguientes aspectos:

- *Facilidad para construcción de diagramas.* Se considerarán aspectos como:
  - Facilidad para dibujar elementos y enlaces.
  - Capacidad para hacer y deshacer cambios.
  - Manipulación de los elementos dentro del gráfico
  - Herramientas para visualizar un gráfico.

### **Precisión.**

Para evaluar este criterio se considerarán aspectos como:

- *Optimización.* Se considerarán todos los aspectos referentes al cálculo de los valores óptimos para los elementos de una red, como son:
  - Precisión de los cálculos.
  - Tiempo utilizado para realización de los cálculos.
  - Facilidad para precisar los valores que se utilizarán para cada elemento.
  - Claridad en la presentación de los resultados.
- *Otros.* En este punto se considerarán los siguientes aspectos:
  - Seguridad de la aplicación
  - Propuestas realizadas por los usuarios.

### **5.3 Metodología para evaluar la Interfaz.**

En estas tablas se establecen los criterios y preguntas que se utilizarán para evaluar la interfaz:

No.	Criterio Evaluado	Pregunta	Calificación	Porcentaje
1	FUNCIONALIDAD	Expectativas esperadas		
2	FUNCIONALIDAD	Facilidad de construcción de Red		
3	FUNCIONALIDAD	Hacer y deshacer cambios		
4	FUNCIONALIDAD	Manipulación de elementos y enlaces		
5	FUNCIONALIDAD	Movimiento de elementos		

**Tabla 5.1 FUNCIONALIDAD**

No.	Criterio Evaluado	Pregunta	Calificación	Porcentaje
1	PRECISION	Tiempo en evaluación	0.5 1	
2	PRECISION	Valores por <i>Default</i>	0.5 1	
3	PRECISION	Acceso por Contraseñas	0.5 1	
4	PRECISION	Presentación de la Información	0.5 1	
5	PRECISION	Presentación resultados simulación	0 1	

**Tabla 5.2 PRECISIÓN**

No.	Criterio Evaluado	Pregunta	Calificación	Porcentaje
1	DISEÑO	Diseño en general	0 2.5 .5 1	
2	DISEÑO	Iconos	.5 1	
3	DISEÑO	Textos para introducir valores	.5 1	
4	DISEÑO	Identificación de Opciones	.5 1	
5	DISEÑO	Implementación del ZOOM	.5 1	

**Tabla 3. DISEÑO**

#### 5.4 Ponderación de los Criterios de Evaluación.

La evaluación se ponderara de la siguiente manera:

El cuestionario estará dividido en tres partes: FUNCIONALIDAD, PRECISION Y DISEÑO. Cada una de las preguntas podrá valorarse de la siguiente forma:

- Para las preguntas que cuentan con cuatro opciones, se considerará la siguiente escala de valores:

VALOR	RESPUESTA
0	MALA
0.25	REGULAR
0.5	BUENA ó BIEN
1	MUY BUENO ó EXCELENTE

- Para las preguntas que cuentan con tres respuestas se considerará la siguiente escala de valores:

VALOR	RESPUESTA
0	MUY DIFÍCIL ó MALA
0.5	DIFÍCIL ó REGULAR
1	FÁCIL ó BUENA

- Para las preguntas que cuentan con dos respuestas se considerará la siguiente escala de valores:

VALOR	RESPUESTA
0	NO
1	SI

Con base en esta ponderación cada pregunta correspondiente a cada una de las partes del Cuestionario tiene un valor de 20% lo cual al final nos da un 100% que es el ideal esperado.

### 5.5Apreciación General del Uso

La interfaz del sistema se creo pensando en la facilidad de su utilización así como la agilidad de los procedimientos a realizar, dando los resultados con la precisión esperada y con la sencillez requerida para el mayor aprovechamiento de la aplicación, poniendo así la atención en lo que se esta realizando y no en la herramienta que se esta utilizando, lo cual se puede medir de acuerdo al tiempo que tardan en aprender a utilizar el sistema y una vez que lo usan que tan fácil es recordar las opciones y herramientas con que cuenta el sistema .

- En cuanto al tiempo de respuesta es aceptable de acuerdo a las operaciones que se realizan.

- El uso general del sistema es de fácil aprendizaje e intuitivo ya que se puede utilizar sin ser usuarios avanzados o expertos.
- La integración de medios fue la adecuada ya que permite tener un mejor control del sistema.
- La estética tiene una buena representación ya que nos da una idea de lo que se esta construyendo físicamente y como puede quedar una red mas óptima.

### **Apreciación por Características Elementales.**

Para llevar a cabo la evaluación del Sistema de Simulación Vía Internet, el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico consideró la utilización de tres criterios generales: *diseño*, *funcionalidad* y *resultados*. Con base en esos criterios, se elaboró un cuestionario que se aplicó a los usuarios encargados de realizar las pruebas al sistema. La siguiente exposición es el reporte que se obtuvo después de la contestación de dichos cuestionarios.

Este reporte se encuentra dividido en los tres criterios tomadas en cuenta para la evaluación del sistema, los cuales fueron mencionados anteriormente.

#### **Diseño.**

En relación a la parte del diseño de la interfaz, se obtuvieron los siguientes resultados:

- La interfaz es vista como una buena interfaz, es importante mencionar que se consideraron dos aspecto principales para determinar si la interfaz resultaba útil, y por consiguiente, buena para el usuario:
  - *Efectividad*. La interfaz fue considerada como efectiva ya que la mayoría de los elementos que la componen realizaron o mostraron la tarea que se

pretendía hicieran. Esto quiere decir que los íconos y menús son lo suficientemente claros para expresar al usuario la tarea a realizar.

- *Satisfacción.* La interfaz con la que cuenta el sistema es sencilla, contiene los elementos esenciales y no se encuentra saturado de cosas que puedan distraer la actividad principal del usuario. Respecto a este punto, se considerará también hacer algunas modificaciones en relación a algunos detalles como son: los colores, la apariencia de las ventanas, todo con el fin de que el usuario se siente lo más cómodo posible al utilizar el sistema.

Un punto que se consideró importante fue la capacidad utilizada para garantizar la seguridad del sistema a través de la utilización de nombres de usuario y contraseñas, lo que permitirá restringir el acceso al sistema sólo a las personas adecuadas para utilizarlo.

### **Funcionalidad.**

La funcionalidad es la capacidad que tiene una herramienta para ayudar a cumplir tareas específicas. Las actividades que fueron evaluadas durante la realización de estas pruebas son:

- La capacidad para diseñar una red de pozos petroleros

Los resultados de las encuestas nos permiten determinar que para los usuarios resulto sencilla y comprensible la utilización de las herramientas con que cuenta el sistema para la diagramación de los pozos petroleros.

Sin embargo también pudimos darnos cuenta que existen dos aspectos en los cuales habrá que trabajar más para que la interfaz facilite aún más el trabajo, estos son:

- *La facilidad para hacer y deshacer cambios a un diagrama.* En relación a este punto, los usuarios consideraron que la forma en que hasta el momento se encuentra implementada esta capacidad no es muy práctica, ya que sólo en algunos casos

existen mensajes que avisen claramente sobre la acción que se va a realizar. Además la realización de esta actividad incrementa el tiempo en que se realiza un diagrama.

- *La inexistencia de una ayuda para la realización de las redes de pozos petroleros.* La falta de esta capacidad retrasa el tiempo de aprendizaje que un usuario debería utilizar para aprender las capacidades básicas del sistema. Además sería un guía importante para aclarar dudas en aspectos como: la diagramación de los elementos de la red, la diagramación de los enlaces que unen los elementos, entre otras.

### **Resultados.**

Este punto se refiere al desarrollo del proceso de Optimización, aquí se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- *Tiempo utilizado para realizar la optimización.*

El tiempo promedio que ocupa la aplicación para realizar el proceso de optimización es de 1.5 minutos. Este tiempo fue considerado como bueno o aceptable para los usuarios que realizaron las pruebas del sistema. Además considerando el volumen de operaciones y cálculos que se tiene que hacer para realizar este proceso también resultó en algo adecuado.

- *Facilidad para insertar valores a los elementos del diagrama.*

En este punto se analizaron, los aspectos referentes a la inserción de valores para los elementos del diagrama. La evaluación resultó ser favorable, lo que representa que existe una claridad en el uso de etiquetas y elementos que permitan describir y capturar los diferentes valores asociados a los elementos de una red.

- *Presentación de los resultados del proceso de optimización.*



Un aspecto importante es la presentación de los resultados, ya que aunque una operación sea realizada correctamente, si los resultados de la misma, no son presentados de forma clara y detallada entonces se pierde la utilidad que brindaría dicha operación.

Considerando las evaluaciones realizadas por los usuarios de prueba del sistema, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La presentación de los resultados en general es buena, los datos que se presentan son concisos y lo suficientemente detallados para que exista una buena comprensión por parte del usuario final.
- También se concluyó la necesidad de hacer algunas modificaciones como serían la utilización de unidades de medida en la presentación de resultados, lo que daría mayor claridad a los resultados. Se considera también en realizar modificaciones para hacer notar al usuario la diferencia entre los elementos de captura y los elementos de lectura, que se utilizan para presentar resultados que no pueden ser modificados.

### **Apreciación según la Encuesta.**

En este punto se exponen los resultados obtenidos de la aplicación de los cuestionarios de evaluación a los usuarios que realizaron las pruebas al sistema, y que sirvieron como base para la evaluación de los puntos anteriores. Los resultados son los siguientes:

REPORTE PARA LA EVALUACIÓN DE LA INTERFAZ DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN VIA INTERNET

PREGUNTA	RESPUESTA					PUNTAJE	%	
	U1	U2	U3	U4	U5			
	DISEÑO							
1. ¿En general el diseño de la aplicación, le parece?	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	2.5	10	
2. ¿Los iconos con que cuenta la aplicación representan de forma clara la tarea que realizan al pulsarlos?	SI	NO	SI	SI	SI	4	16	
3. ¿Los textos que se utilizan para indicar los valores que deberán ser introducidos por el usuario son los adecuados?	SI	SI	SI	SI	SI	5	20	
4. ¿Identifica fácilmente las opciones que cuenta el sistema?	SI	SI	SI	SI	SI	5	20	
5. ¿Considera que el ZOOM implementado en el diseño de la red le facilita las cosas para construir redes muy grandes?	SI	SI	SI	SI	SI	5	20	
TOTAL DISEÑO							21.5	
FUNCIONALIDAD								
6. ¿La aplicación cumple con las expectativas para la cual fue diseñada?	EXCELENTE	BIEN	BIEN	EXCELENTE	BIEN	3.5	14	
7. ¿La forma en que la aplicación permite construir una red de pozos le pareció?	FACIL	FACIL	FACIL	FACIL	FACIL	5	20	
8. ¿Los mecanismos para hacer y deshacer un cambio en el diseño de la red, le pareció?	DIFICIL	DIFICIL	DIFICIL	FACIL	FACIL	3	12	
9. ¿Durante la ejecución, la manipulación de los elementos o enlaces le resulta?	FACIL	FACIL	FACIL	FACIL	FACIL	5	20	
10. ¿Considera que el ZOOM implementado en el diseño de la red le facilita las cosas para construir redes muy grandes?	FACIL	FACIL	FACIL	FACIL	FACIL	5	20	
TOTAL FUNCIONALIDAD							21.5	
RESULTADOS								
1. ¿El tiempo que emplea la aplicación en realizar la simulación le parece?	BUENO	REGULAR	BUENO	BUENO	BUENO	4.5	18	
2. ¿El hecho de que cada elemento que se inserte en la	REGULAR	BUENO	BUENO	REGULAR	BUENO	4	16	



## 5.6 Implementación del Sistema

La última fase de cualquier proyecto informático es su implantación, es decir, su puesta en funcionamiento en el lugar donde desempeñará su labor. Para ello deben afrontarse tareas tan variadas como la formación de los usuarios o la carga inicial de los datos con los que trabajará el sistema. Pero para los fines propuestos de este sistema, basta con cumplir con los requisitos del sistema e instalar dentro de la base de datos los valores obtenidos del activo Burgos.

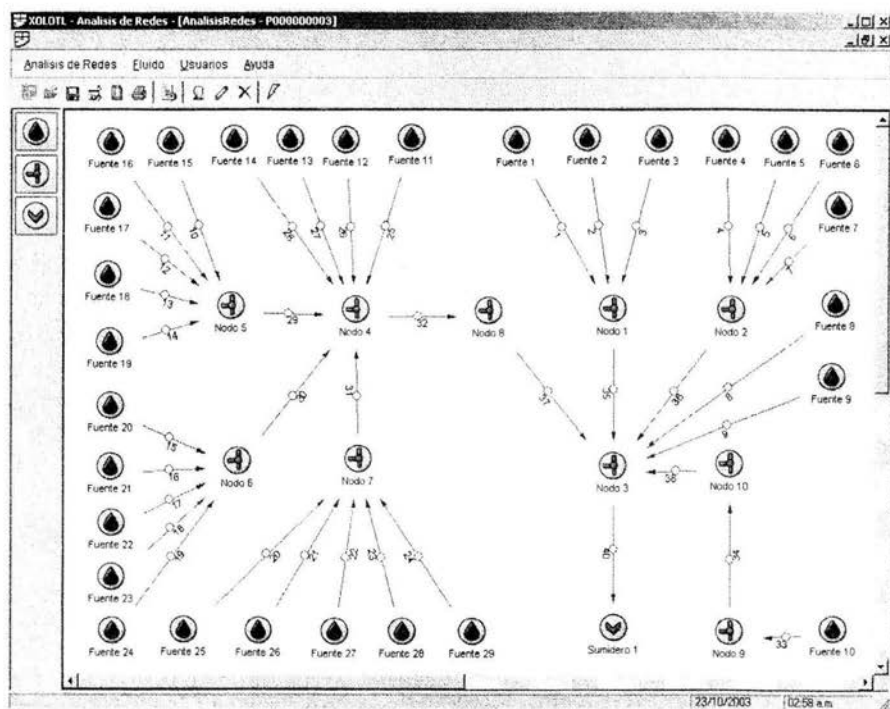


Figura (5.1) Activo Burgos

## 6. Conclusiones

Dentro de los algoritmos de manipulación de los gráficos, cabe mencionar la importancia del empleo de los grafos, donde el dato más importante para el elemento es un índice único que caracterice al elemento, y para los enlaces tener los índices del elemento de origen y de destino, esto se consigue de una forma sencilla mediante una base de datos relacional en la cual por medio de ese índice y mediante una consulta se puede hacer una búsqueda dentro del gráfico, y poder eliminar, o modificar las propiedades del elemento que esté asociado.

Es muy importante el manejo de bases de datos relacionales dentro de sistemas, debido a la gran facilidad de poder establecer búsquedas eficientes de datos almacenados, así como la eliminación de elementos o proyectos enteros y no existan información que ya no se necesite y esta ya no permanezca dentro de nuestra base de datos.

Como resultado de la programación Orientado a Objetos, se puede afirmar que contribuye a una mejora continua en cuanto al diseño y programación, esto gracias a las mejoras que ha venido teniendo el sistema XOLOTL desde su primera versión. Dado que las mejoras como son la inserción de nuevos módulos y clases, han sido fácilmente logradas gracias a las características como modularidad, encapsulación, jerarquía, concurrencia y persistencia.

Vale la pena detenerse a pensar antes de empezar a desarrollar el código, si lo que realmente vale la pena es ponerse a teclear puro código o darle un tiempo a un buen análisis de las necesidades y requerimientos del sistema, esto seguramente nos llevará a tener una mejor conceptualización del diseño y si existiese algún error, identificarlo en que parte es, si en el diseño, análisis o desarrollo. Lo que nos llevara a generar software de calidad y por consiguiente mejorar el ciclo de vida de los sistemas.

Al utilizar un componente Active X, resulta fácil su manipulación dentro de la programación, ya que al haber sido programada con las opciones de hacer consultas dentro de la base de datos, esto nos da una simplicidad bastante relevante para evitar mayor complejidad y rehusar el modulo llamándolo tantas veces sea necesario. El resultado de la aplicación de las técnicas ya anteriormente mencionadas durante la

---

presente tesis, resulto una optimización bastante considerable en cuanto al tiempo de diseño de una red de pozos dentro del sistema, y al tiempo de ejecución de la simulación, este último se dio gracias al modelado matemático que se usó haciendo la analogía de un sistema de producción con el modelo de un sistema eléctrico. El sistema en sí, resulta ser bastante escalable y adaptable a cambios dado su programación estructurada en módulos bien definidos desde la etapa de diseño. De hecho hasta el día de hoy se siguen realizando modificaciones y mejoras al desempeño de la aplicación desarrollada, fundamentalmente a la presentación de la información, ya que los usuarios que van a ser uso del sistema, deben tener toda la facilidad de poderse adaptar a este sistema y no sean renuentes al uso del mismo.

## ***Lista de acrónimos***

**PEMEX:** Petroleos Mexicanos, empresa la cual se desarrollo este sistema de simulación.

**XOLOTL:** Nombre que recibe este sistema dado por la Gerencia de Exploración y Producción

**DLL:** Biblioteca dinámicamente ligada, por sus siglas en ingles, "Dynamically linked library" es una biblioteca que se liga a los programas de uso cuando ella se carga o funcionamiento más bien que como la fase final de la compilación. Esto significa que el mismo bloque del código de la biblioteca se puede compartir entre varias tareas más bien que cada tarea que contienen las copias de las rutinas él las aplicaciones. El ejecutable se compila con una biblioteca de los "trozos" que permiten que los errores del acoplamiento sean detectados en de tiempo de compilación. Entonces, en el tiempo de ejecución, el cargador del sistema o el código de la entrada de la tarea debe arreglar para que las llamadas de la biblioteca sean parchadas con las direcciones de las rutinas verdaderas de la librería compartida, posiblemente vía una tabla del salto.

**FORTRAN:** Es un lenguaje de programación de alto nivel para los propósitos matemáticos y científicos; está preparado para un lenguaje algebraico de la traducción de fórmulas.

**C:** Lenguaje de programación de alto nivel para propositos matemáticos y desarrollo de aplicaciones y sistemas operativos de hoy en día.

**Pascal:** Lenguaje de programación antecesor del lenguaje C, con el mismo poder para operaciones matemáticas.

**ODBC:** Es la abreviación de Conectividad Abierta de la Base de Datos, un método de acceso estándar de base de datos desarrollado por Microsoft. La meta de ODBC es permitir tener acceso a cualquier dato de cualquier aplicación, sin importar el cual el sistema de gerencia de la base de datos (DBMS) esté manejando los datos. ODBC maneja esto insertando una capa media, llamadado controlador de base de datos, entre una aplicación y el DBMS. El propósito de esta capa es traducir las preguntas de los datos del uso a los comandos que el DBMS entiende. Para que esto trabaje, el uso y el DBMS deben ser ODBC-compliant -- es decir, el uso debe ser capaz de publicar comandos de ODBC y el DBMS debe ser capaz de responder a ellos.

**OPP:** Programación Orientada a Objetos, es una forma de programación que consiste en la formación de clases y objetos que tienen una identidad propia.

## ***Bibliografía***

- [1] Transporte de Hidrocarburos por ductos, Ingeniero Francisco Garaicochea Petrirena, Libro de apuntes, 1991
- [2] Multiphase Flow in Wells, James P. Brill, Sociedad de Ingenieros Petroleros, 1999
- [3] Hidraulica basica, Simon, Andrew L., Mexico, Limusa, 1983
- [4] Applied hydrocarbon thermodynamics, Edmister Lee, Gulf Professional Publishing, 1984
- [5] Yacimientos de gas y condensados saturados, Sergio Bosco, Rafael Cobeñas, Marcelo Crotti, INLAB S.A.
- [6] Petroleum Production System, Michael J, Economides, A. Daniel Hill, Christine Ehlig, PH
- [7] The properties of gas an liquids, Reid, Prausnitz, Sherwood
- [8] The properties of petroleum fluids, William D. McCain Jr.
- [9] Reporte Técnico "RTCOA - 0105", Departamento de Desarrollo Tecnológico e Ingeniería, Laboratorio de Sistemas Inteligentes y Laboratorio de Computación Adaptativa, Rafael Prieto M., Alberto A. Herrera B., Alejandro Padrón G., Nicolás Kemper V., Luis Ochoa Toledo
- [10] La psicología de los objetos cotidianos, Norman Donal A. 1998
- [11] Object Oriented Development. Trans. of Soft. Eng., Booch, G, Vol. SE-12. Num. 2. Feb. 1986
- [12] Desingning Visual Interfaces - Communication Oriented Techniques, Kevin Mullet, Darrel Sano, 1995
- [13] Ingeniería de Software". Soluciones Avanzadas, Cota A., 1994

### Tesis

Diseño y análisis de redes para proyectos de recuperación, Blanca Margarita Arroyo Ventura, 2003

Sistema para el análisis y diseño de redes hidráulicas, Acosta Castillo Hylda y Cancino Martínez Lissete, 2002