

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
Facultad de Matemática, Física y Computación



**Sistema para el diseño y chequeo de equipos y sistemas de
bombeo para el suministro de agua con bombas
centrífugas a Generadores de Vapor**

**Tesis presentada en opción al Título Académico de
Máster en Computación Aplicada**

Autor: *Ing. Miriel Martín Mesa.*

Tutor: *Dr. Ramiro Pérez Vázquez*

Dr. Félix Santos García.

*Santa Clara
2006*

"Año de la Revolución Energética en Cuba"

RESUMEN

El presente trabajo permite, a partir de los resultados obtenidos en el Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera (CETA), relacionados con el cálculo de sistemas de bombeo para la alimentación de agua a generadores de vapor, elaborar una aplicación novedosa y de alto valor científico. Partiendo de lo complejo que resultan los cálculos hidráulicos, que requieren numerosos análisis y una amplia búsqueda de información lo cual dificulta la rapidez en la obtención de los resultados y requiriendo numerosos análisis se crea SAGV (Sistema de alimentación a Generadores de Vapor)

La aplicación permite integrar toda una diversidad de criterios energéticos y de tipo operacional, siendo de gran importancia para nuestro centro y la industria cubana en general, pues contribuye a lograr una mayor eficiencia energética y disminuir los índices de contaminación ambiental.

ÍNDICE

RESUMEN	i
ÍNDICE.....	ii
NOMENCLATURA.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo 1. Conceptos y definiciones fundamentales.....	4
1.1. Introducción.....	4
1.2. Sistemas de alimentación.....	4
1.3. Softwares reportados para el diagnóstico operacional de sistemas de bombeo..	6
1.4. Análisis de la situación actual de los sistemas CAD	8
1.4.1 Introducción.....	8
1.4.2 Diseño asistido por computadoras	9
1.4.3 Características generales del Software para CAD	10
1.5. Herramientas utilizadas.....	11
1.5.1 Softwares	11
1.5.2 Estructuras de datos: Arreglos y Árboles.	13
Capítulo 2. Solución computacional.....	17
2.1. Análisis del algoritmo de cálculo.....	17
2.1.1 Introducción.....	17
2.1.2 Modelación matemática para el cálculo del punto de operación de equipos de bombeo.....	17
2.2. Implementación de las estructuras computacionales.....	22
2.2.1 Arreglos y árboles.....	22
2.2.2 Clases involucradas.....	24
2.3. Análisis del código.....	29

2.3.1. Módulos	30
2.4. Componentes del SAGV 1.0.....	34
Capítulo 3. Interface con el usuario	39
3.1. Análisis del sistema	39
3.1.1. Diagramas de Casos de Uso.....	39
3.1.2. Diagramas de Componentes	40
3.2. Características generales.....	40
3.3. Interface con el usuario.....	41
3.4. Requerimientos del sistema	44
3.4.1. Requerimientos de la aplicación.	44
3.4.2. Requerimientos de Hardware.....	44
CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES.....	46
BIBLIOGRAFÍA	47
Anexo 1	50

NOMENCLATURA

A no ser que se indique lo contrario, todos los símbolos que se utilizan en este documento se definen de la manera siguiente:

H	Altura o carga (m),
H_R	Carga del ramal analizado (m)
H_{MR}	Carga total del ramal analizado (m)
Q	Flujo (m^3/s),
a_H, b_H, c_H	Coefficientes,
H_D	Carga de diseño (m),
Q_D	Flujo de diseño (m^3/s),
N_s	Velocidad específica (m/s),
N	velocidad de rotación (rpm),
S	Tipo de succión de la bomba (1 simple succión, 2 doble succión),
I	número de etapas de la bomba,
Re	Número de Reynolds (adimensional)
D	Diámetro interior de la tubería (m)
γ	Peso específico (kgf/m^3)
K_L	Coefficiente total de las resistencias o pérdidas de carga por velocidad en los accesorios
$K_{L_{accesorios}}$	Coefficiente de resistencia o pérdida de carga por velocidad de cada accesorio (codo, Tee, válvula, etc.).
f	Factor de fricción de Darcy (adimensional)
K	Coefficiente total de resistencia o pérdida de carga en el ramal analizado por accesorios.
	si $Re < 2300$ K (s/m^2) si $Re \geq 2300$ K (s^2/m^5)

L_e	Longitud equivalente de resistencia al flujo en accesorios (m)
L	Longitud recta del conducto (m)
M	Coefficiente (1 si $Re < 2300$, 2 si $Re \geq 2300$)
Q_e	Flujo económico (m^3/s)
A_T	Área de la tubería (m^2)
V_e	Velocidad económica de la tubería (m/s)
ε	Rugosidad relativa (mm)
ν	Viscosidad cinemática (centistokes)
h_L	Pérdida de carga (m)
p_R	Presión del fluido en el ramal analizado
Z_R	Carga estática del ramal analizado (m)
V_x, V_y, V_z	Componentes de la velocidad del fluido en las direcciones X, Y y Z respectivamente (m/s)
dW_s	Trabajo efectuado por los equipos de bombeo por unidad de masa de líquido transportado (J/kg)
$\frac{dp}{\rho}$	Energía del fluido por unidad de masa (J/kg)
Vdv	Energía cinética por unidad de masa (J/kg)
Gdz	Energía potencial por unidad de masa (J/kg)
$d_{(pérdidas)}$	Pérdida energética por unidad de masa de líquido incurridas en su transportación (J/kg)

INTRODUCCIÓN

La problemática del uso racional de la energía en el contexto actual continúa ocupando un lugar prioritario en las investigaciones científicas a escala mundial. Los sistemas de transporte de fluidos son consumidores de una parte importante de la energía utilizada con fines productivos en cualquier industria de procesos.

El empleo de técnicas modernas de diagnóstico operacional en estos sistemas de transporte de fluidos por parte de especialistas pertenecientes a entidades de proyectos e industrias de procesos nacionales, con un basamento científico-técnico, ineludiblemente tiene una repercusión económica significativa, lo que está en correspondencia con la política científica establecida por el Ministerio de Ciencias, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA 2005) para los programas nacionales científico-técnicos.

La cantidad de máquinas de flujo de distintos tipos fabricadas por la industria de los países técnicamente desarrollados, se expresa en millones de unidades al año; la energía eléctrica utilizada para el accionamiento de las mismas constituye una parte esencial del balance energético de los países. Por esta razón, las investigaciones teóricas y experimentales, dirigidas al perfeccionamiento de los procesos de transporte y al aumento del rendimiento de las máquinas de este tipo, tienen una gran importancia (Cherkasski 1986).

Una encuesta de equipos de bombeo efectuada por Kapseu y colaboradores (Kapseu, Kombou et al. 1995) en una industria productora de azúcar de caña en Camerún, reportó que las más de 130 unidades de bombeo instaladas son consumidoras del 12 % de la potencia total empleada en esa fábrica de crudo y refino. Estudios similares efectuados por Turiño en el complejo agroindustrial "George Washington" de la provincia de Villa Clara, muestran consumos del 19 %, lo que evidencia que los sistemas de transporte de fluidos instalados en ambas industrias azucareras tienen una significativa influencia en sus balances energéticos.

Para el desarrollo del diagnóstico técnico-económico y la detección de sobreconsumo energético de los sistemas de transporte industrial de fluidos es básica la obtención del punto de funcionamiento del sistema, éste está dado por la intercepción entre las características de carga-capacidad de los equipos de bombeo y los de resistencia hidráulica-capacidad del sistema de tuberías; de donde puede obtenerse el flujo, la potencia y la eficiencia de operación de los equipos de bombeo, los flujos por cada ramificación del sistema, las pérdidas

hidráulicas en cada tubería y la energía del fluido en las secciones características (nodos y otras de interés).

Con tal propósito, tradicionalmente los especialistas encargados de estos diagnósticos desarrollan un método gráfico, con los consiguientes inconvenientes de poca precisión y elevado tiempo de ejecución de la tarea. Estos exigen por demás un cúmulo de conocimientos de Mecánica de los Fluidos y experiencias prácticas en su realización, así como limitaciones importantes en cuanto al análisis de diversas alternativas y condiciones de operación variable cuando el sistema presenta diferentes elevaciones y complicadas disposiciones geométricas en el espacio, lo cual se agudiza en aquellos sistemas donde resulta necesaria la regulación de la operación, ya que el caudal entregado por las unidades de bombeo es variable con la demanda del proceso.

En nuestro país el análisis de la operación de los sistemas de transporte de fluidos no ha tenido como basamento el empleo de técnicas de diagnóstico operacional científicamente fundamentadas ni ha utilizado toda la extensa información teórico-experimental acumulada en el sistema de conocimientos de la Mecánica de los Fluidos sobre el flujo de fluidos por tuberías, sino que dicho análisis se ha visto caracterizado por la utilización de métodos tradicionales de forma espontánea por parte de especialistas consagrados por vocación a esta importante y laboriosa tarea. Por otra parte, la literatura que ha sido consultada refiere procedimientos de diagnóstico operacional basado en la utilización de paquetes de programas computacionales de difícil adquisición, además de que aún no se reporta en el país el empleo de los mismos.

Debido al surgimiento de nuevas fuentes de ingresos financieros a partir de la comercialización de softwares por parte de poderosas firmas productoras, la publicación de los resultados de las investigaciones científico técnicas en la esfera del análisis de sistemas y máquinas de flujo se ha visto minimizada y, en general, estos softwares no enriquecen el sistema de conocimientos de la Mecánica de los Fluidos al no brindarse el Know-How por parte de estas firmas productoras.

Esta problemática justifica la elaboración de un software que logre integrar la gran diversidad de criterios de tipo energéticos y operacionales, basándose principalmente en la experiencia que ha acumulado el Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera y que cuente con una extensa base de datos. El mismo posibilitará la realización de cálculos y la evaluación de

alternativas de diseño, selección y simulación de la operación de sistemas de bombeo con alta precisión y rapidez, lo cual constituye en la actualidad un paso imprescindible para el desarrollo acelerado de este campo.

Tomando en cuenta la situación nacional existente en la operación y diseño de sistemas de transporte de fluidos incompresibles, así como la necesidad de fomentar el auge científico-técnico en esa dirección, de importancia vital para la economía del país, y atendiendo además a la tendencia que se está desarrollando internacionalmente en países industrializados, es que se fundamenta la necesidad de realizar un trabajo que responda a la problemática del diagnóstico operacional de sistemas de transporte de fluidos, su título es “Sistema para el diseño y chequeo de equipos y sistemas de bombeo para el suministro agua con bombas centrífugas a Generadores de Vapor”, y persigue los siguientes objetivos:

- Aplicación de un algoritmo de cálculo hidráulico que permita la vinculación dinámica de criterios energéticos y de tipo operacional, posibilitando así el análisis comparativo de variantes.
- Elaborar un sistema que muestre los resultados de forma gráfica para una mejor interpretación y que permita la interacción con el usuario en el perfeccionamiento de los resultados obtenidos.

Capítulo 1. Conceptos y definiciones fundamentales.

1.1. Introducción

En este capítulo se hará un análisis del estado actual de la temática abordada, comenzando por los sistemas de alimentación y sus principales características, así como los análisis que se realizan en el cálculo de los mismos. También se analiza la situación actual de los sistemas CAD, sus funciones y principales características.

En los epígrafes siguientes se describen las principales herramientas utilizadas en el desarrollo del presente trabajo, entre ellas se encuentran: Microsoft Visio; donde se describen sus principales características y facilidades, Microsoft Graph y finalmente se realiza un estudio de los árboles y arreglos; que constituyen las estructuras fundamentales empleadas en la confección del programa que será descrito en capítulos posteriores.

1.2. Sistemas de alimentación.

Los generadores de vapor, comúnmente conocidos como calderas, hoy día juegan un papel importante dentro de la industria, pues el vapor que generan es utilizado en la producción de energía eléctrica, en la alimentación a equipos de proceso, en la generación de energía mecánica, etc., es por ello que se dice que son el corazón de toda industria moderna.

Para su funcionamiento resulta de vital importancia la alimentación de agua utilizada en la generación del vapor, pues de su correcto suministro depende la estabilidad del equipo. Para ello se cuenta con un sistema hidráulico formado por el depósito, la bomba, tuberías, accesorios (válvulas, codos, Tee, etc.), etc. (figura .1), los cuales introducen pérdidas de energía en el sistema, siendo necesario el análisis de la operación de los mismos, pues un mal funcionamiento puede provocar una falla en el generador con consecuencias desastrosas.

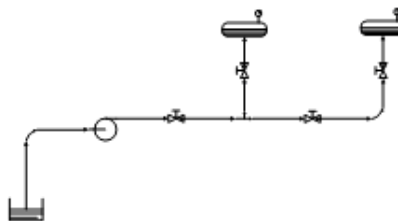


Figura 1.1. Esquema del sistema de alimentación a generadores de vapor

Durante la operación de un sistema de bombeo deben cumplirse simultáneamente las ecuaciones que se derivan de los principios de conservación de la masa (continuidad) y de la

energía. Para régimen permanente (Vennar K. and Streeter L. 1986), estas vienen dadas por (ec. 1.1 y 1.2):

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0 \quad 1.1$$

$$dW_s + \frac{dP}{\rho} + Vdv + gdz + d_{(pérdidas)} = 0 \quad 1.2$$

Para efectuar el análisis de la operación se deben componer estas ecuaciones siguiendo la dirección del flujo entre las secciones características del sistema formadas por: depósitos de succión y descarga, nodos donde se ramifica el flujo y otras donde se disponga de la mayor información energética posible. Del planteamiento de estas ecuaciones surge la posibilidad de efectuar el estudio de forma analítica y gráfica según se refiere en (Nekrasov 1968).

Para lograr una mayor simplicidad en el cálculo y mejor comprensión de la operación del sistema, los especialistas tradicionalmente han elegido la variante gráfica sobre la analítica, para lo cual construyen las características hidráulicas de las tuberías que conforman el sistema en un rango de flujos a analizar y realizan la suma gráfica de las mismas según la disposición de las tuberías (serie o paralelo). De esta forma se obtiene gráficamente la curva resultante del sistema de tuberías a la que se le intercepta la curva de carga-flujo del equipo de bombeo. Dicha intersección brinda el punto de operación o funcionamiento del sistema.

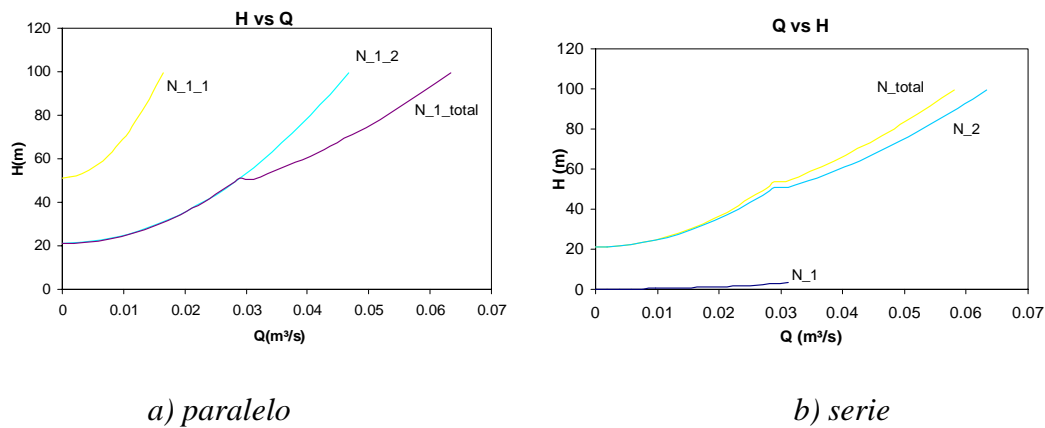


Figura 1.2. Suma gráfica de un sistema

El procedimiento metodológico de obtención gráfica del punto de operación presenta la limitante fundamental de ser un método no implementable computacionalmente, por lo que se vuelve engorrosa su utilización cuando el sistema analizado es complejo, así como ineficiente cuando se pretende obtener dicho punto para varias condiciones de operación en sistemas

regulados, donde el flujo de operación cambia, según las demandas del proceso donde este sistema de transporte presta su servicio.

Para sistemas complejos, formados por equipos de bombeo que trabajan contra sistemas de tuberías ramificadas, los cálculos hidráulicos se complican y generalmente los especialistas prefieren desarrollar para su solución una combinación grafo-analítica (Pedroso 1989). Ello simplifica la búsqueda de los parámetros hidráulicos deseados, lo que no tendría solución directa por medio únicamente de las ecuaciones de conservación de la masa y la energía, como se detallará más adelante.

Cano (Cano 1985) y Mathur (Mathur 1990) se han auxiliado de las líneas de nivel energético o líneas de alturas totales con vista a simplificar metodológicamente el análisis de sistemas de flujo complejos, el que continúa caracterizándose por suposiciones arbitrarias de flujos y niveles energéticos con los cuales comenzar los procedimientos iterativos de cálculo. Estos procedimientos son semejantes a los propuestos por los autores que se pueden considerar clásicos de la Mecánica de los Fluidos (Daugherty and Franzini 1970; Benedict 1980; Streeter and Wylie 1988).

1.3. Softwares reportados para el diagnóstico operacional de sistemas de bombeo

Con el creciente uso y proliferación de las microcomputadoras personales ha adquirido actualmente gran interés el diagnóstico operacional de sistemas de bombeo mediante el empleo de softwares o paquetes de programas computacionales. Chejne (Chejne 1994) refiere la importancia de la utilización de éstos en la simulación de procesos con vistas a reducir los consumos energéticos. Para tal efecto prestigiosas firmas productoras y comercializadoras de softwares, como QuickPen International, Professional Bentley Systems., y Engineered Software Inc., durante estos últimos años han centrado su atención en la elaboración de paquetes computacionales con este fin (Goldberg 2002).

Hodge (HPAC 1985) propone un sencillo programa elaborado en BASIC para el análisis y diseño de sistemas de tuberías en serie. Softwares como Fluidtools (Corp. 2003), también brinda la oportunidad de efectuar cálculos hidráulicos como caída de presión, diámetros y flujo de un fluido newtoniano que circula por un sistema de tuberías en serie. Pipe-PRO (Corp. 2003) realiza los cálculos anteriores a un sistema ramificado de tuberías. En estos

softwares no se toman en cuenta las características operacionales de los equipos de bombeo y los análisis no incluyen el transporte de fluidos no newtonianos.

Por su parte, softwares como Pump efectúan un análisis de la operación de una o varias bombas conectadas en serie y/o paralelo con cambios en la velocidad de giro y diámetro exterior del impelente. La General Electric Co., brinda el programa ESP (Gill 1997) para efectuar análisis entre distintos métodos de regulación del flujo de bombas centrífugas. Estos softwares no toman en consideración las características hidráulicas del sistema de tuberías con las cuales trabajará esta máquina de flujo; específicamente en el programa Pump se recomienda que el usuario efectúe las correcciones según lo normado por el Instituto de Hidráulica Norteamericano (Institute 1976) y, posteriormente se introduzcan en el programa estas características de funcionamiento ya corregidos únicamente para líquidos derivados del petróleo. Programas como HydroFlo (Corp. 2002) y PumpBase (PumpBase 2002) determinan los parámetros principales del equipo de bombeo en el punto de operación para sistemas simples y serie de tuberías.

La firma Engineered Software Inc. cuenta con los paquetes de programas Flo-Series (FLO-SERIES 2001) formados por los softwares Pipe-Flo, que en su conjunto determinan los parámetros principales del equipo de bombeo en el punto de operación de sistemas serie, paralelo, ramificado y redes de tuberías que transportan fluidos newtonianos, con la facilidad de utilizar las bases de datos sobre las características de las bombas y tallas normalizadas de tuberías que suministran las diversas firmas productoras y comercializadoras.

Los softwares hasta ahora analizados son los reportados por la literatura científico-técnica que ha sido consultada por el autor. Estos, en su conjunto, realizan análisis de sistemas en los que solo trabajan bombas centrífugas que representan no menos del 80 % de la producción total de bombas en el mundo, según lo refiere Karassik.

En el ámbito nacional las investigaciones efectuadas por Reyes (Reyes 1992) y Estupiñán dirigidas a la confección de estos softwares, y los estudios efectuados por González y colaboradores (González, González Suárez et al. 1987), se han visto limitados a la optimización de sistemas de tuberías simples de sección constante para el transporte de fluidos newtonianos, sin incluir las características de funcionamiento de los equipos de bombeo.

Por su parte Turiño (Turiño H. 1996) propone una serie de procedimientos metodológicos para el diagnóstico operacional de sistemas de bombeo, implementados en el ESBO, programa

desarrollado en el CETA que solo quedó en su primera versión, teniendo una serie de limitaciones dentro de las cuales podemos citar:

- Tiene un número máximo de nodos a emplear,
- No permite al usuario modelar su sistema, lo cual no facilita la interacción diseñador-sistema durante el análisis,
- Está basado en ecuaciones generales, que solo permiten calcular el punto de operación, sin conocer las características de los ramales del sistema.
- No ofrece de forma gráfica los resultados del cálculo.

1.4. Análisis de la situación actual de los sistemas CAD

1.4.1 Introducción.

Una de las principales líneas de aplicación de la computación en las ciencias técnicas en nuestro país lo constituye el desarrollo de sistemas para la ayuda al diseño gráfico por computadoras ya que han demostrado ser un poderoso instrumento en el diseño y la fabricación.

CAD significa Diseño Asistido por Computador (del inglés Computer Aided Design). Tal como el nombre lo indica, CAD es todo sistema informático destinado a asistir al diseñador en su tarea específica. El CAD atiende prioritariamente aquellas tareas exclusivas del diseño, tales como el dibujo técnico y la documentación del mismo, pero normalmente permite realizar otras tareas complementarias relacionadas principalmente con la presentación y el análisis del diseño realizado. Si bien un sistema CAD puede adoptar infinitud de aspectos y puede funcionar de muchas formas distintas, hay algunas particularidades que todos comparten y que han sido adoptadas como normas. Con frecuencia el CAD va unido al CAM (Manufactura Asistida por Computadora) con lo que abarca así todas las actividades entre el diseño y la producción.

El CAD puede ser definido (Preday 1994; Simpsom 1998) como el uso de sistemas de computadoras para ayudar a la creación, modificación, análisis u optimización de un diseño.

Al igual que ocurre con el dibujo manual, con un programa CAD, se puede conseguir cualquier composición, por muy compleja que sea, creando cuantos objetos gráficos básicos sean precisos, enlazados entre sí, hasta formar las figuras adecuadas al proyecto, procediendo a su representación en papel cuando esté finalizado el trabajo en la pantalla. Un programa de

CAD es capaz de crear, modificar e imprimir figuras geométricas elementales (líneas, arcos, rectángulos, elipses, etc.) con propiedades individuales propias (color, tipo de línea, medidas, etc.)(Argote 2002).

El proceso general de trabajo se basa en dos fases: en primer lugar subdividir el dibujo en entidades gráficas básicas, y después, seleccionar la función que hay que ejecutar e introducir los datos que solicita el programa, repitiendo esta acción cuantas veces sea preciso.

Entre las razones fundamentales en las cuales se basa la implementación de un sistema de diseño asistido por computadoras encontramos:

Aumentar la productividad del diseñador: se lleva a cabo ayudando al diseñador a visualizar el producto y las componentes que la integran mediante la reducción del tiempo en la síntesis, análisis y documentación.

Mejorar la calidad del diseño: permite un mayor análisis de ingeniería y permite investigar un mayor número de diseños alternativos, reduciendo los errores de diseño.

Mejorar las facilidades de uso: provee mejores dibujos de ingeniería y mayor estandarización en los mismos, obteniéndose una mejor documentación en el diseño.

1.4.2 Diseño asistido por computadoras

Los sistemas CAD desarrollan tareas que se pueden agrupar en:

Modelación geométrica: está relacionada (Alberto 1998; Simpsom 1998) con la descripción matemática, compatible con la computadora, de la geometría de un objeto. La descripción matemática permite que la imagen del objeto sea mostrada y manipulada en una Terminal gráfica.

Análisis ingenieril: en la formulación de cualquier proceso es necesario realizar un conjunto de análisis que pueden incluir cálculos de fuerzas o presiones, transferencia de calor, comportamiento dinámico del sistema, etc. En un sistema CAD existen conjuntos de programas ya sean comerciales o especialmente elaborados para desarrollar este tipo de cálculos.

Revisión y evaluación: un sistema CAD generalmente se acompaña de un conjunto de facilidades que permiten realizar una revisión y evaluación del diseño

obtenido, entre estas facilidades pueden situarse las rutinas para chequeos de dimensionados y tolerancias, los comandos para ampliar imágenes, la comparación de dibujos en diferentes capas, etc.

Una de las características de evaluación más importante disponible en algunos sistemas es la cinemática, esta permite al diseñador visualizar el movimiento de algunos mecanismos y ayuda a asegurar la no-interferencia con otros componentes.

Dibujo automático: incluye la creación de copias del dibujo a partir de los ficheros que describen la imagen en la pantalla. Una de las características de los gráficos del sistema CAD es que se ayuda a sí mismo en el proceso de dibujo. Esta característica incluye dimensionado automático, generación de áreas sombreadas, dibujos a escala y habilidad para rotar una parte o realizar otras transformaciones de la imagen.

1.4.3 Características generales del Software para CAD

Una aplicación CAD debe tener en cuenta a que sector de usuarios va dirigida, pudiéndose distinguir programas de carácter básico, general o específico. En esta clasificación, un programa es de carácter básico cuando es sencillo de utilizar y ha sido concebido para introducirse en el mundo del CAD, para la enseñanza o para trabajar con dibujos de poca complejidad.

Cuando un programa puede trabajar con dibujos profesionales, pero no ha sido creado para ningún sector en especial, se dice que es de carácter general. Cuando ha sido creado para ser usado solo en un sector específico, encontrando aplicaciones para la industria Mecánica, Electrónica, sistemas de redes, ya sean estas eléctricas, telefónicas o de tuberías, etc.

Un sistema CAD incluye softwares para gráficos, más facilidades adicionales para realizar otras funciones relativas a los aspectos anteriormente señalados entre los cuales se incluyen programas para el análisis del diseño.

En lo adelante se tratará con lo que respecta al software para gráficos.

Cualquier sistema CAD debe satisfacer un conjunto de principios:

- 1) Simple.
- 2) Consistente.

- 3) Completo
- 4) Robusto
- 5) Eficiente
- 6) Económico.

Atendiendo a lo analizado, el Sistema de alimentación a Generadores de Vapor (SAGV) constituye una herramienta CAD de carácter específico por estar dirigida solo a especialistas encargados de operar sistemas de alimentación de agua a Generadores de Vapor y cuenta con facilidades en el diseño de los diagramas permitiendo realizar cálculos cuyos resultados son mostrados gráficamente. Brinda además la posibilidad de realizar modificaciones en el diseño del diagrama, redimensionado de los objetos visuales entre otras.

1.5. Herramientas utilizadas

En este epígrafe abordaremos las herramientas utilizadas en la creación de la aplicación: los softwares y las estructuras de datos. Entre los softwares tenemos: Microsoft Visio y Microsoft Graph y entre las estructuras de datos: los Árboles y Arreglos.

1.5.1 Softwares

Microsoft Visio

En el mercado existen diversos programas destinados a la simulación, análisis y diseño, como es el caso del MatLab, Cosmos en sus diferentes versiones, Gib, Fluent, AutoCad, etc., dentro de ellos como una herramienta relativamente nueva aparece el paquete Microsoft Visio.

Visio es una herramienta muy versátil que puede ser empleada por cualquier persona en negocios, confección de dibujos técnicos, diagramas, transmitiendo conceptos, procedimientos, información de productos y especificaciones (Eaton and Online 2001).

Para facilitar el trabajo, cuenta con una extensa biblioteca de símbolos pre-dibujados (SmartShapes) para tareas específicas y los bloques de construcción de cualquier diagrama Visio. A diferencia de clip Art estático, los símbolos SmartShapes se comportan inteligentemente, se adaptan sin distorsión, automáticamente recalculan la dirección y distancia cada vez que los cambia o modifica la forma y más. Si necesita una forma a la medida, puede fácilmente realizarla y agregarla a su biblioteca de patrones.

La familia Microsoft Visio tiene dos versiones:

Standard.

Professional.

Las dos difieren en el uso, que se refleja en el número de plantillas y formas que incluyen. El primero está dirigido principalmente a personas dedicadas a los negocios que necesiten comunicarse visualmente utilizando diagramas de bloques, organigramas, diagramas de flujo, etc.

La versión profesional está dirigida a profesionales de la rama técnica, cuenta con las plantillas de la Estándar e incluye soluciones de planta para profesionales de la construcción, bases de datos, ingeniería Eléctrica, Mecánica, de procesos, Redes, software, etc.

Ambas versiones cuentan con la posibilidad de crear puntos de unión en las formas que permiten interconectarlas a otras utilizando un objeto llamado conector que facilita mover o rotar las formas sin que la unión con las demás se rompa, y si es necesario, este objeto es capaz de redirigirse alrededor de otras formas dentro de la hoja de diseño.

Visio ofrece soluciones personalizadas formadas por una combinación de formas y programas que imitan al mundo real y solucionan problemas de dibujo. Las soluciones de Visio suelen incluir formas que el usuario puede arrastrar y colocar en la página de trabajo para crear rápidamente un diseño, plantillas para nuevos dibujos que predefinan el tamaño y la escala, y programas que faciliten la creación de, su análisis o la transferencia de información entre éste y los orígenes de datos externos.

El entorno de desarrollo de Microsoft Visio incluye los siguientes elementos que ayudan a crear soluciones:

Hoja de propiedades ShapeSheet, que permite crear fórmulas para especificar la apariencia y el comportamiento de las formas. Para ello se utilizan fórmulas de diseño que representan los atributos de las formas, como el ancho y el alto, y su comportamiento, como lo que sucede cuando el usuario hace clic con el botón secundario del *mouse* (ratón) en ellas.

Microsoft Visual Basic para Aplicaciones (VBA), que permite crear macros y utilizar la Automatización para controlar Visio. En algunas soluciones es necesario utilizar otros elementos distintos de formas y plantillas. Por ejemplo, dibujos basados en información que cambia diariamente, como un organigrama generado a partir de una lista de nombres y cargos disponible en una base de datos.

La biblioteca de tipos, que describe los objetos, propiedades, métodos, eventos y constantes que expone Visio a los clientes de Automatización.

Microsoft Graph 8.0

Es un programa que permite insertar gráficos dentro de Visio de una forma sencilla y rápida ahorrando gran cantidad de tiempo (Lycos 2000).

Inicialmente aparece por defecto un gráfico de barras junto a una hoja de cálculo. El tipo de gráfico y la forma de entrar los datos a la hoja de cálculo pueden ser modificados por el usuario.

MS Graph puede ser insertado de varias formas en la hoja de trabajo; la más eficiente es ocultando el gráfico y la hoja de datos hasta que se hayan colocados todos los datos.

1.5.2 Estructuras de datos: Arreglos y Árboles.

Las estructuras de datos constituyen un conjunto de variables de un determinado tipo agrupadas y organizadas para representar un comportamiento. Lo que pretendemos con estas estructuras es facilitar un esquema lógico para manipular los datos en función del problema que vamos a tratar y el algoritmo para resolverlo.

1.5.2.1 Arreglos.

Un arreglo no es más que un conjunto finito y ordenado de elementos homogéneos (J. Lage, T. P. et al.).

Ordenado: cada elemento del arreglo puede ser identificado.

Homogéneo: son del mismo tipo de dato

En los arreglos hay dos operaciones básicas: recuperar y almacenar información (Marzal 2000), las operaciones que se pudiesen realizar individualmente sobre cada uno de los elementos de la estructura carecen de sentido globalmente.

Cuando es posible la representación consecutiva en memoria del arreglo, entonces las operaciones de recuperación y almacenamiento de información se pueden realizar en un tiempo constante, es decir, el tiempo de acceso es igual para todos los componentes.

En el caso de los arreglos unidimensionales, solo tienen un índice para acceder a un valor, todos los elementos están almacenados consecutivamente en memoria y cada uno de ellos

ocupa un cierto número de bytes, siendo suficiente conocer la dirección donde comienza a almacenarse la estructura.

Cuando para acceder a cada componente es necesario especificar más de un índice (arreglos multidimensionales), es necesario tener en cuenta que la estructura se tiene que representar sobre la memoria, que es una estructura unidimensional. Por tanto, la solución consiste en transformar un mecanismo de acceso por varios índices en otro en el que el acceso se realice mediante un único índice.

En un arreglo, la definición de índices determina el número de elementos contenidos en la estructura a la cual se le puede prefijar el tamaño en su declaración o puede ser manipulado en tiempo de ejecución permitiendo crear estructuras estáticas o dinámicas según sea necesario.

En Visual Basic se pueden crear arreglos estáticos o dinámicos, permitiendo optimizar el uso de la memoria, pero en el caso de los dinámicos solo puede ser redimensionada la última dimensión del arreglo cuando se utiliza la preservación de los datos.

El proceso de almacenamiento se realiza mediante la asignación de un valor a un determinado índice, esta operación se traduce en una sentencia de asignación, por ejemplo, sea un arreglo $A[1, n]$ de enteros, x un valor entero e i un valor entero entre 1 y n . Entonces, es posible almacenar la información representada por x en el arreglo A , asociándola al índice mediante la sentencia $A(i) = x$.

Es posible que en el proceso de almacenamiento sea necesario insertar un dato en una determinada posición. Esta posibilidad implicará tener que desplazar elementos ya almacenados para poder hacer ‘hueco’ en la estructura al nuevo dato.

Asociado al proceso de almacenamiento de información se podría considerar la eliminación de información, es decir, borrar elementos de la estructura. Cuando el elemento a borrar es el último se trataría simplemente de reducir el espacio ocupado en una unidad, es decir hacer $n = n - 1$.

Si se trata de borrar un elemento sería necesario desplazar todos los elementos situados a la derecha de la posición que se desea borrar una posición hacia la izquierda.

Estas dificultades son salvadas por otras estructuras de datos como las listas enlazadas que no están disponibles en Visual Basic para Aplicaciones.

1.5.2.2 Árboles

Los árboles son una colección de elementos llamados nodos, el primero de ellos se llama raíz (V. Aho, E. Hopcroft et al. 1983), por tanto para estructurar un conjunto de elementos e_i en árbol, debemos escoger uno de ellos (e_i) al que llamaremos raíz del árbol. Del resto de los elementos se selecciona un subconjunto e_2, \dots, e_k estableciendo una relación padre-hijo entre la raíz y cada uno de dichos elementos, de manera que e_1 es llamado padre de e_2, e_3, \dots, e_k y cada uno de ellos es llamado un hijo de e_1 . el único elemento que no tiene padre es e_1 , la raíz del árbol.

Existe un conjunto de elementos que no tiene hijos aunque si padre, que son llamados hojas.

Desde el punto de vista matemático, un árbol es un caso particular de grafo. En la teoría de grafos se denota de forma similar como árbol dirigido

En este tipo de estructura de forma general se pueden realizar varias operaciones:

- Insertar.
- Eliminar.
- Búsqueda.
- Recorridos.

Los tres recorridos más importantes se denominan preorden, inorden y postorden aunque hay otros recorridos como es el recorrido por niveles.

Si consideramos el esquema general de un árbol tal como muestra la figura 1.3, los recorridos se definen como sigue:

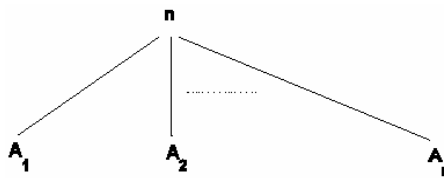


Figura 1.3. Estructura de un árbol

- Listado en preorden: si el árbol tiene un único elemento, dicho elemento es el listado en preorden. Si el árbol tiene más de un elemento, es decir, una estructura como muestra la figura 1.3, el listado en preorden es listar el nodo raíz seguido del listado en preorden de cada uno de los subárboles hijos de izquierda a derecha: $n, \text{Pre}(A_1), \text{Pre}(A_2), \dots, \text{Pre}(A_n)$.

- Listado en inorden: si el árbol tiene un único elemento, dicho elemento es el listado en inorden. Si el árbol tiene una estructura como muestra la figura 1.3, el listado en inorden es listar el subárbol A_1 en inorden, y listar el nodo raíz seguido del listado en inorden de cada uno de los subárboles hijos de izquierda a derecha restantes: $\text{In}(A_1), n, \text{In}(A_2), \dots, \text{In}(A_n)$.
- Listado en postorden: si el árbol tiene un único elemento, dicho elemento es el listado en postorden. Si el árbol tiene una estructura como muestra la figura 1.3, el listado en postorden es listar en postorden cada uno de los subárboles hijos de izquierda a derecha seguidos por el nodo raíz: $\text{Post}(A_1), \text{Post}(A_2), \dots, \text{Post}(A_n)$.
- Listado por niveles: desde $i = 0$ hasta la altura h del árbol, se listan de izquierda a derecha los elementos de profundidad i .

Capítulo 2. Solución computacional.

2.1. *Análisis del algoritmo de cálculo.*

2.1.1 *Introducción*

En el capítulo anterior quedó demostrado que la tendencia actual en el perfeccionamiento de los cálculos hidráulicos de los sistemas de bombeo se encuentra enmarcado en el empleo de modelos matemáticos que reflejen adecuadamente estos procesos de transporte. Según González (González 1994), la modelación de sistemas de procesos es una tarea que por su complejidad y sus requerimientos hace que las exigencias en el modelo y su planteamiento sean realmente elevados. Este autor refiere, además, que la confección de un modelo para los balances de masa y energía en un proceso promedio puede llevar al investigador a un consumo de tiempo de 10 000 horas y tales modelos en una computadora requieren tiempos de ejecución de segundos. Estos datos dan una idea de la importancia que tienen la confección y el procesamiento para la disminución del consumo de tiempo, ya que esto significa ahorro de recursos y una más rápida utilización del modelo.

El presente trabajo analiza la operación de aquellos sistemas de bombeo empleados en la alimentación de agua a generadores de vapor en la industria y no tiene en cuenta la existencia de recirculaciones de flujo.

Los modelos matemáticos que serán objeto de estudio en este capítulo parten de los métodos tradicionales empleados en el análisis operacional de sistemas de bombeo, en ellos se utilizará la fuente de información teórico-experimental existente hasta el presente sobre el flujo de fluidos por conductos cerrados a través de bombas centrífugas. Teniendo en cuenta:

- El flujo es permanente.
- El flujo es isotérmico.
- El fluido es incompresible.

2.1.2 *Modelación matemática para el cálculo del punto de operación de equipos de bombeo*

Dentro del análisis encontramos varios casos:

- Tuberías en paralelo.
- Tuberías en paralelo, dada una altura estática.
- Tuberías en serie, dada una altura estática.

- Tuberías en paralelo, con diferentes alturas estáticas
- Tuberías serie-paralelo.

En la determinación del punto de operación del sistema es necesario interceptar la curva característica de la bomba con la curva de la resistencia friccional del sistema de tuberías (figura 2.1) según lo referencia Nekrasov (Nekrasov 1968).

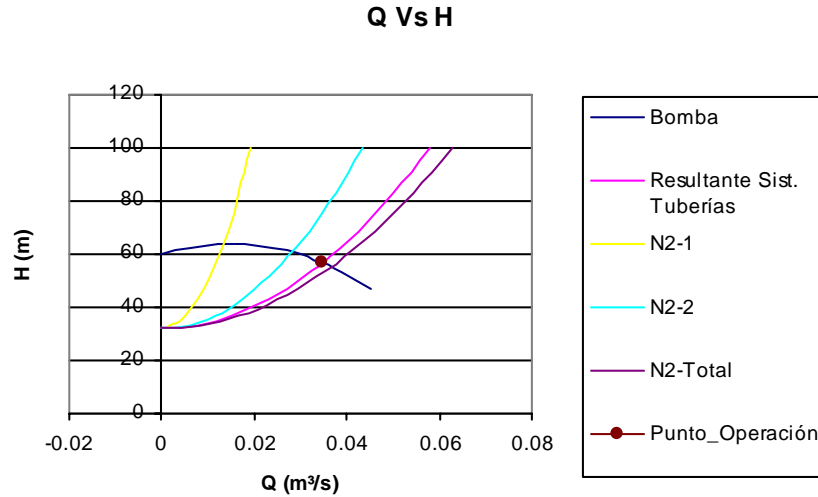


Figura 2.1 Representación gráfica del punto de operación de un sistema de bombeo ramificado

Para determinar la forma de la característica carga-flujo de la bomba se propone (ec. 2.1) , cuyos coeficientes son propuestos por el autor (Martín Mesa and Santos García 1999), en (ec. 2.2, 2.3 y 2.4).

$$H = a_H + b_H Q - c_H Q^2 \quad 2.1$$

$$a_H = 0.875 H_D + 0.002396 H_D N_s \quad 2.2$$

$$b_H = 0.416 \frac{H_D}{Q_D} - 0.00245 \frac{H_D}{Q_D} N_s \quad 2.3$$

$$c_H = 0.2878 \frac{H_D}{Q_D^2} \quad 2.4$$

$$N_s = 3.65 n \frac{\sqrt{\frac{Q_D}{s}}}{\left(\frac{H_D}{i}\right)^{3/4}} \quad 2.5$$

En la obtención de la característica del sistema de tuberías es necesario seguir una serie de pasos importantes para calcular las pérdidas hidráulicas, partiendo de que se conoce el flujo requerido. En primer lugar se calcula el flujo máximo que es soportado por el sistema de tuberías (ec. 2.6) tomando como base la velocidad económica de las mismas (Rubio González 1987), este valor para la succión de la bomba oscila entre 2 y 3 m/s y en la descarga de 3 a 5 m/s.

$$Q_e = A_T V_{ec} = \frac{\pi d^2}{4} V_{ec} \quad 2.6$$

El valor del flujo económico debe ser mayor que el demandado por los generadores de vapor. Una vez comprobado esto se calcula el número de Reynolds (ec. 2.7) para determinar el tipo de régimen de circulación del fluido ($Re < 2300$ laminar y $Re \geq 2300$ turbulento).

$$Re = \frac{4Q}{\pi d \gamma} \quad 2.7$$

Una vez definido el tipo de circulación del fluido a través de la tubería se calcula el coeficiente de fricción de Darcy que para flujo laminar depende exclusivamente del número de Reynolds (ec. 2.8) y para régimen turbulento es función del Reynolds y la rugosidad relativa, que depende del tipo de material con que esté construida la tubería. Para el cálculo de este coeficiente se han propuesto varias ecuaciones, de ellas la que mejores resultados ha dado al autor es la propuesta por Chen (ec. 2.9) (Rivas Nieto 2000)

$$f = \frac{64}{Re} \quad 2.8$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left\{ \frac{1}{3.7065} \left(\frac{\varepsilon}{d} \right) - \frac{5.0452}{Re} \log \left[\frac{1}{2.8257} \left(\frac{\varepsilon}{d} \right)^{1.1098} + \frac{5.8506}{Re^{0.8981}} \right] \right\} \quad 2.9$$

En el caso de la rugosidad relativa, esta depende del tipo de material de la tubería. Existen valores o rangos de valores predefinidos para los diferentes tipos de materiales, como se muestra en la tabla 2.1 (Diagrama de Moody).

Tabla 2. 1. Materiales y rango de valores de la rugosidad relativa

Material	Rango de valores (mm)
----------	-----------------------

Acero remachado	0.9 – 9
Hormigón	0.3 – 3
Madera	0.18 – 0.9
Hierro fundido	0.25
Hierro galvanizado	0.15
Hierro fundido asfaltado	0.12
Acero comercial	0.046
Tubo estirado	0.0015

Obtenido el coeficiente de fricción es necesario calcular las pérdidas de carga (ec. 2.10) que se expresan en términos del régimen de flujo a través de la ecuación de Darcy (Vennar K. and Streeter L. 1986).

$$h_L = KQ^m \quad 2.10$$

En esta ecuación el coeficiente total de resistencia o pérdida de carga en el ramal analizado por los accesorios (K) dependen fundamentalmente del tipo de flujo (ec. 2.11 y 2.12), de las longitudes de las tuberías en tramos rectos y de las longitudes que representan los accesorios empleados en un tramo donde permanezca constante el diámetro. Si éste varía es necesario calcular este coeficiente para cada tramo de instalación donde sea constante el diámetro.

Flujo laminar:

$$K = (L + L_e) \frac{128\nu}{\pi g d^4 \gamma} \quad 2.11$$

$$L_e = \frac{d}{f} \sum K_L$$

Flujo turbulento:

$$K = \left(\sum K_L + f \frac{L}{d} \right) \frac{8}{\pi^2 g d^4} \quad 2.12$$

Para los ramales, en cada punto de bifurcación del flujo es necesario calcular la pérdida (ec. 2.13) para luego obtener los valores totales para ese punto.

$$H_{MR} = H_R + h_L \quad 2.13$$

$$H_R = \frac{P_R}{\gamma} + Z_R$$

Luego de obtenidos los valores de la Energía en cada ramal del nodo analizado (figura 2.2), se hace necesario realizar la suma de estas curvas para obtener la curva resultante, para ello se suman los valores del flujo (Q) a valores constantes de las pérdidas (figura 1.2 a).

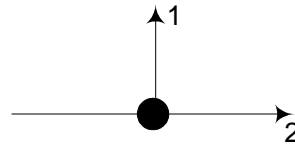


Figura 2.2. Representación gráfica de un nodo con dos ramales.

En el caso de que el sistema tenga más de un nodo (figura 2.3), es necesario sumar la curva resultante con la curva que se obtiene en el ramal que se analiza (2), para hacerlo se suman los valores de la Energía (H) manteniendo los valores del flujo (Q) constante (figura 1.2 b). Esta curva resultante será sumada con la curva del otro ramal como se describió anteriormente.

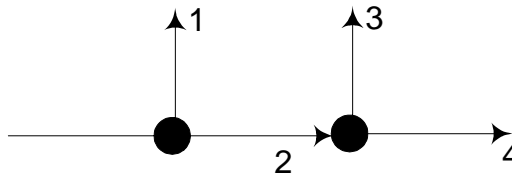


Figura 2.3. Representación gráfica de un nodo conectado a otro en serie.

De esta forma en la medida que nos acercamos a la bomba y realizando sumas serie-paralelo según sea el caso se obtiene una curva resultante de Carga vs. Flujo, la cual podemos interceptar con la curva característica de la bomba y obtener así el punto de operación mediante (ec. 2.14).

$$Q = \frac{b_h + \sqrt{b_h^2 - 4(a - a_h)(b + c_h)}}{(b + c_h)} \quad 2.14$$

El Resultado final de este análisis puede ser representado en el siguiente diagrama de bloques (figura 2.4):

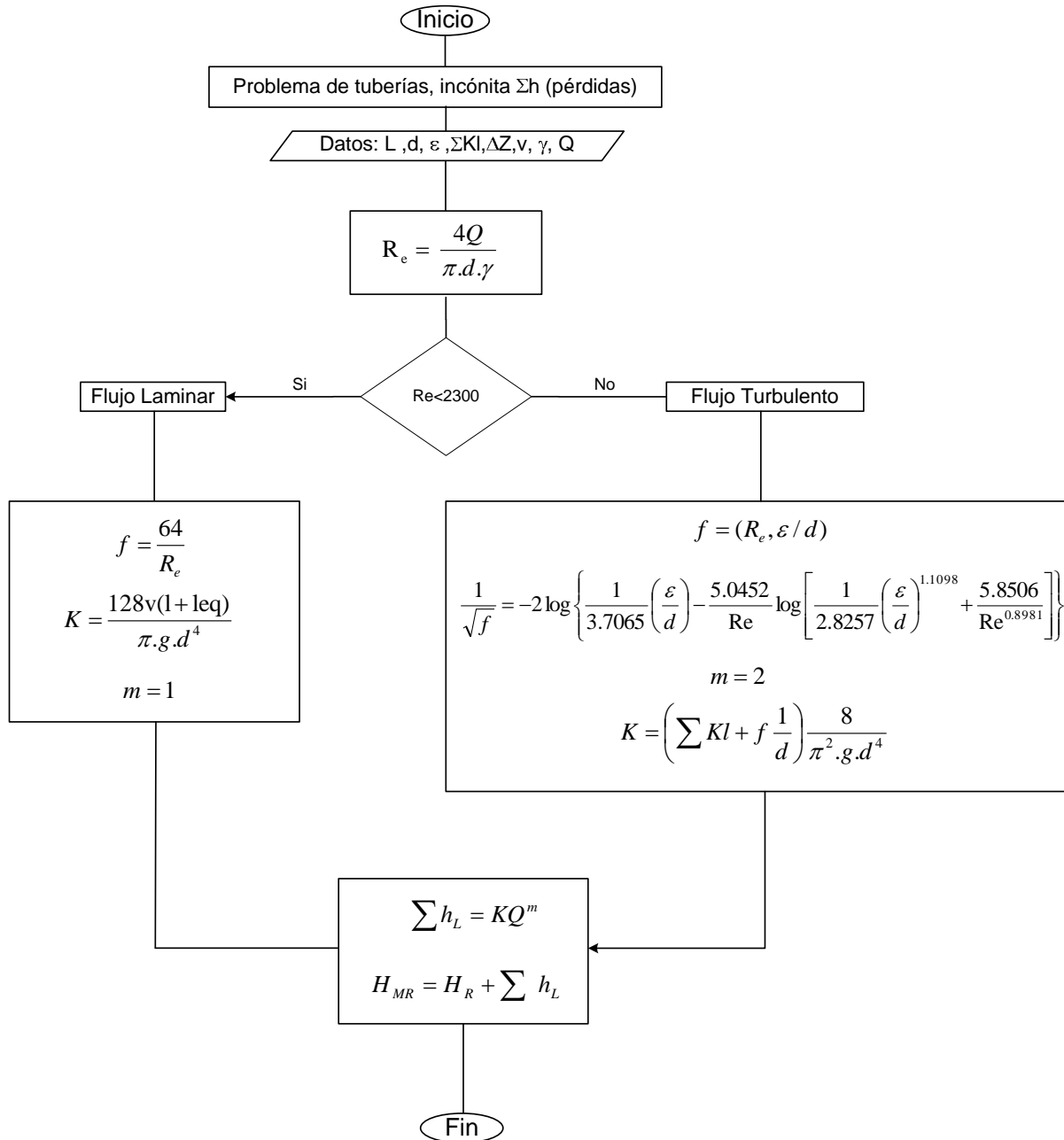


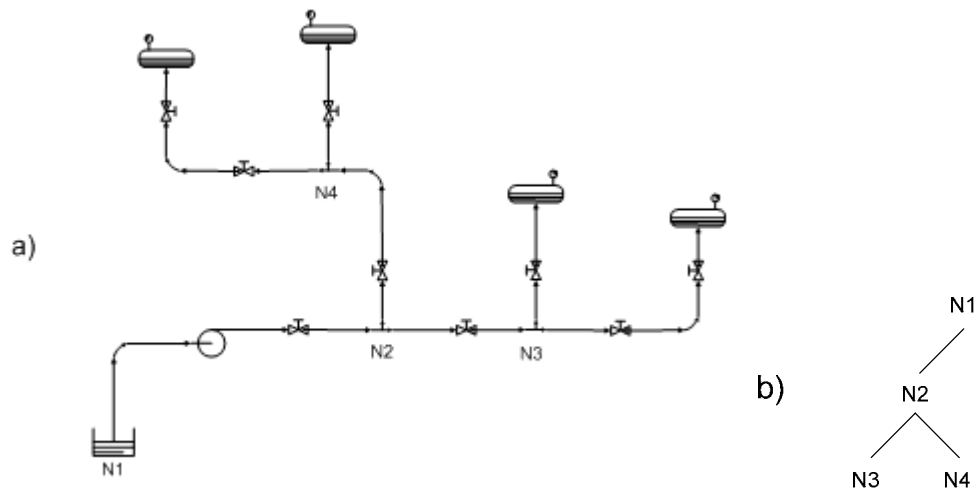
Figura 2.4. Diagrama general de Bloques para el cálculo de sistemas de tuberías.

2.2. Implementación de las estructuras computacionales.

2.2.1 Arreglos y árboles.

Para la implementación del Sistema de Alimentación a Generadores de Vapor (SAGV) es necesario convertir el diagrama hidráulico (figura 2.5 a) en una estructura entendible por la

computadora que en nuestro caso son los Árboles (figura 2.5 b). En el diagrama consideramos como nodos el depósito donde se toma el fluido y cada accesorio TEE



N- Nodo

Figura 2.5. Diagrama de la instalación (a) y Árbol que la representa (b)

Los Árboles se implementan generalmente utilizando punteros, pero Microsoft Visual Basic es un lenguaje de programación que no los soporta y por tanto la implementación de una estructura de datos compleja como son los árboles es necesario realizarla utilizando arreglos.

Para ello se utiliza una representación de árboles “apuntando al padre” como se muestra en la figura 2.5

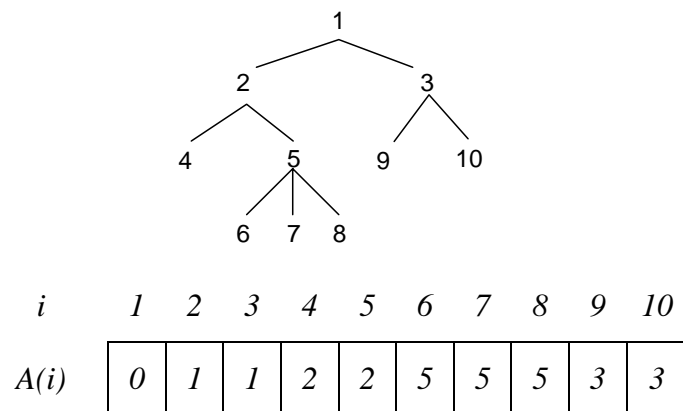


Figura 2.5. Representación de un árbol y su estructura computacional

Esta estructura de datos presenta algunas limitantes (V. Aho, E. Hopcroft et al. 1983) que no afectan el funcionamiento del programa, pues no se realizan operaciones como inserción, eliminación, pero que son necesarias tenerlas en cuenta:

- Esta representación no facilita las operaciones que requieren información de los hijos,

- Tomando un nodo n , resulta ineficiente determinar los hijos o su profundidad,
- No especifica el orden de los hijos,

Para dar solución a este problema se plantea imponer un orden artificial (V. Aho, E. Hopcroft et al. 1983), por ejemplo, numerando a los hijos de cada nodo después de numerar al padre, y numerando a los hijos en orden creciente de izquierda a derecha. Con esta suposición, se puede escribir una función en Visual Basic como sigue:

```

Function Hermano_derecho(n as integer, T as Tree) as integerr
    Dim padre, i as integer
    Padre = T(n)
    For i= n+1 to Ubound(T)
        If T(i) = padre then Hermano_derecho= i
    End Function

```

Una vez analizadas las limitantes de este tipo de representación, la estructura queda escrita en Visual Basic como:

```

Type Nodo
    ID_Nodo as Integer 'Almacena el ID del nodo que se analiza
    ID_Padre as Byte 'Almacena el ID del padre
    Lobjetos ( ) as Integer 'Arreglo dinámico que almacena los ID de los
    objetos de un nodo por cada salida
    LobjetosCount ( ) as Byte 'Arreglo dinámico que almacena la cantidad de
    objetos por cada salida del nodo
    C_Hijos as Byte 'Cantidad de hijos que tiene el nodo
End type

Global Tree ( ) as Nodo: arreglo dinámico de tipo nodo

```

2.2.2 Clases involucradas.

Clases involucradas en el análisis ingenieril.

Un sistema de alimentación a Generadores de Vapor está compuesto por todos aquellos elementos que intervienen en la transmisión y distribución del fluido. Entre los elementos más comunes tenemos:

- Tuberías,
- Depósitos,
- Abiertos,
- Cerrados.
- Accesorios,
- Codos,
- Válvulas,
- Tee.
- Bombas.

Cada uno de los elementos involucrados en el proceso de diseño y construcción del SAGV son los que conforman el dominio del problema técnico y para cada elemento del dominio existe un objeto en el modelo computacional que lo representa en su forma abstracta.

En la figura 2.7 se representa un sistema del diagrama de clases correspondiente a la especialización de los objetos que describen el problema técnico real.

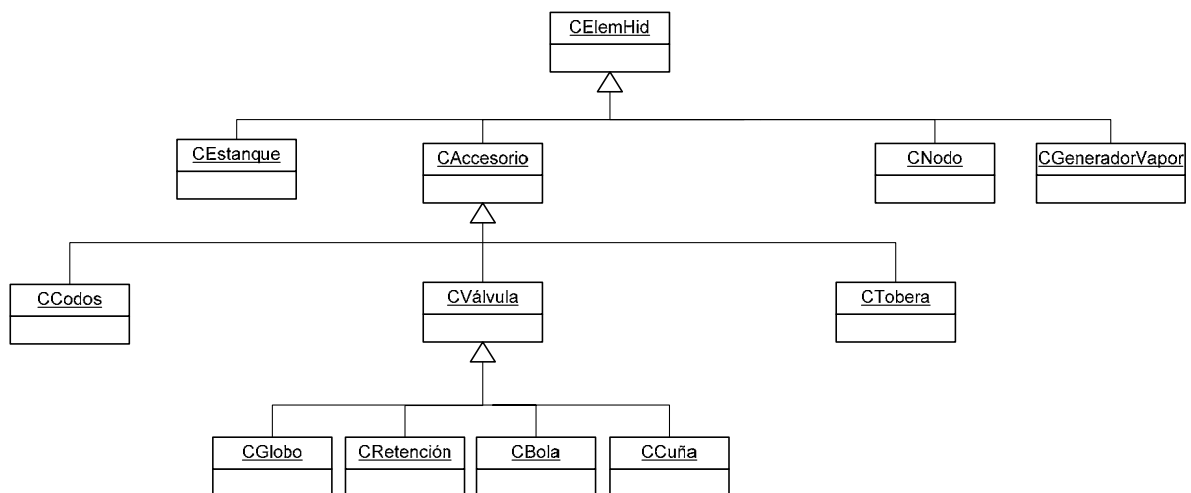


Figura 2.7. Diagrama de clases correspondiente al problema técnico real.

En el diagrama podemos encontrar una clase base CElemHid a partir de la cual se derivan todos los tipos de elementos hidráulicos involucrados en el problema. Otras abstracciones importantes se dan lugar en CAccesorio, que como su nombre lo indica involucra a todos los elementos encargados de unir las tuberías, regular y cambiar la dirección del fluido.

Análisis de las clases en la modelación computacional

El sistema está implementado sobre Microsoft Visio, que posee una estructura de colecciones de objetos predefinida (figura 2.8) que facilita el trabajo, sobre el cual se ha diseñado esta aplicación.

En esta estructura se parte de una colección de objetos llamada Global de la cual heredan otras colecciones, entre ellas se encuentran:

- CactivePages: encargada de informar el nombre de la página que se encuentra activa,
- CThisDocuments: contiene información de los documentos que se encuentran abiertos,
- CActiveDocument: devuelve el nombre del documento que se encuentra activo,
- CActiveWindows: devuelve el nombre de la ventana que se encuentra activa.

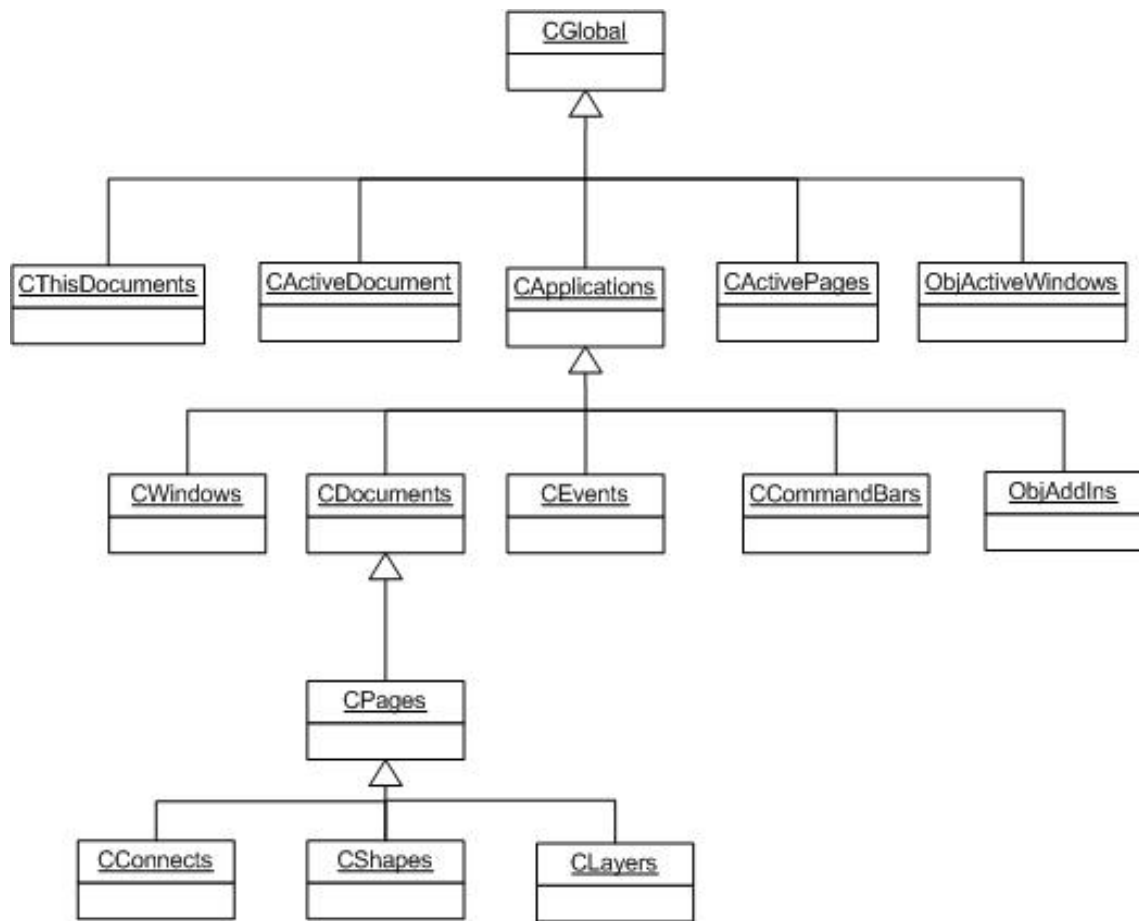


Figura 2.8. Colección de objetos de Microsoft Visio

Dentro de la colección CDocuments se encuentra una parte importante de objetos usados en la implementación que heredan de la colección CPages, esta almacena información sobre los objetos que existen en la página; entre ellos:

- CShapes: contiene información sobre cada objeto en la página de dibujo, Master o grupo. Este objeto es la base para todos los objetos que se crean en la aplicación (figura 2.10) ,
- CConnects: representa la unión entre dos objetos Shape y contiene información sobre ambos objetos.

Los objetos se corresponden con los elementos que se pueden ver y seleccionar en la interfaz de usuario, estos combinan la hoja de cálculo ShapeSheet (figura 2.9) que permite crear fórmulas para especificar la apariencia y el comportamiento visual de las formas, y Microsoft Visual Basic para Aplicaciones (VBA), que permite crear macros para controlar Visio.

Shape Transform

User-defined Cells		Value	Prompt
User.Class	"Bomba"		"Clase a la que pertenece el objeto"
User.AntesBomba	-1		No Formula
User.Qee	Prop.Qd		"Flujo económico de la bomba"
User.Ns	$3.65 * \text{Prop.rpm} * (\text{Prop.Qd} / \text{Prop.Succion})^{0.5} / (\text{Prop.Hd} /$		No Formula
User.ah	$0.875 * \text{Prop.Hd} + 0.0024 * \text{Prop.Hd} * \text{User.Ns}$		No Formula
User.bh	$0.416 * \text{Prop.Hd} / \text{Prop.Qd} - 0.0025 * (\text{Prop.Hd} / \text{Prop.Qd}) * \text{Us}$		No Formula
User.ch	$0.2878 * \text{Prop.Hd} / \text{Prop.Qd}^2$		No Formula
User.H	$\text{User.ah} + \text{User.bh} * \text{User.Qe} - \text{User.ch} * \text{User.Qe}^2$		No Formula
User.Qe	0		No Formula
User.QT	No Formula		No Formula
User.Ht	No Formula		No Formula

Custom Properties		Label	Prompt	Type	Format
Prop.Hd	"Carga"	"Carga de diseño de la bomba (m)"	2	"#.####"	
Prop.Qd	"Flujo"	"Flujo de diseño de la bomba (m³/s)"	2	"#.####"	
Prop.rpm	"r.p.m"	"Velocidad de subción (r.p.m)"	2	"#.####"	
Prop.Etapas	"Etapas"	"Número de etapas"	2	"#.####"	
Prop.Succion	"Succión"	"Tipo succión <input type="checkbox"/> 1.- Simple succión <input type="checkbox"/> 2.- Doble su 2	2	"#.####"	

Connection Points		X	Y	DirX / A	DirY / B	Type / C
-------------------	--	---	---	----------	----------	----------

Actions		Action	Menu	Checked	Di
1		RUNADDON("Show_Name")	"Nombre..."	0	0

Figura 2.9. Hoja de cálculo ShapeSheet

Para dar solución al problema planteado se crean las componentes visuales de los objetos que no son más que objetos Shapes, los cuales utilizan las hojas de cálculo (ShapeSheet) para especificar su apariencia, y el comportamiento visual y módulos en Visual Basic para realizar los cálculos.

Los objetos de la figura 2.10 son la solución gráfica de los objetos planteados en la figura 2.7, combinando como ya vimos las hojas de cálculo y las macros en Visual Basic.

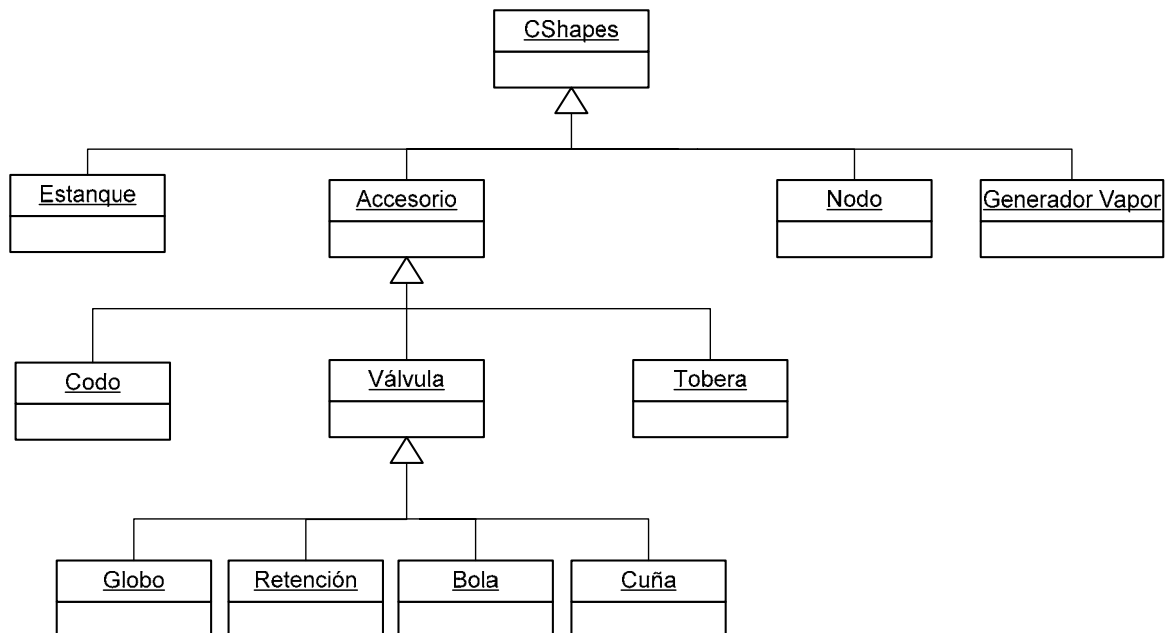


Figura 2.10. Representación de los objetos teniendo como base a CShapes.

2.3. Análisis del código.

Analizado el problema y su solución veremos los algoritmos utilizados en la programación así como la implementación de los mismos.

Para ello es importante señalar que la aplicación está compuesta por varios módulos de trabajo, que utilizan los objetos Shapes para tomar y almacenar los valores utilizados en las operaciones de cálculo y que se relacionan según muestra la figura 2.11.

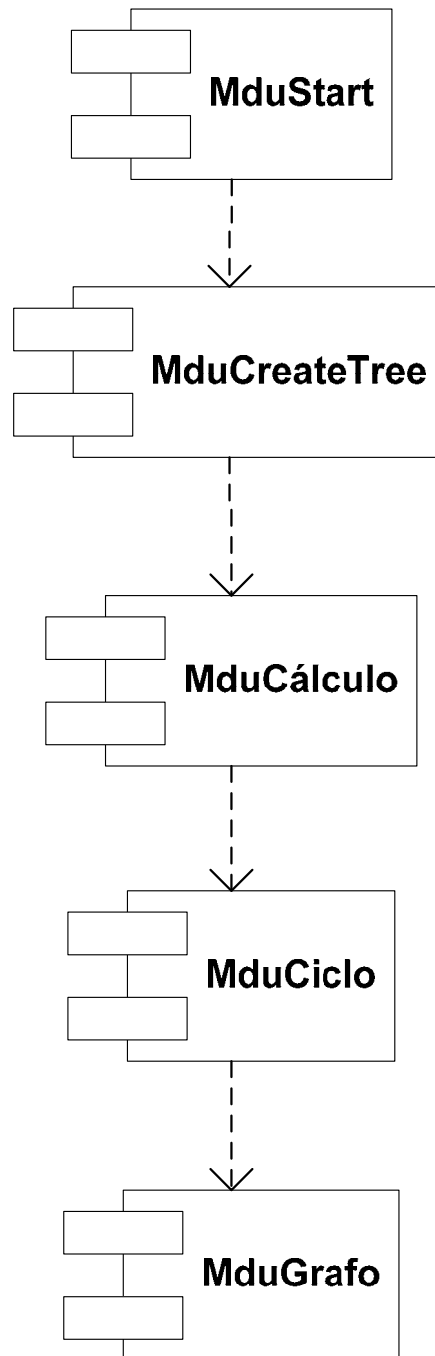


Figura 2.11. Diagrama de relación entre módulos

2.3.1. Módulos

- MduCreateTree:

Módulo encargado de crear todo el árbol, formado por dos procedimientos; en el primero se realiza un recorrido de todos los objetos que existen en la página en busca del objeto de inicio, que en nuestro caso debe ser un depósito con conexión de salida, posteriormente se llama a un segundo procedimiento en el que, de forma recursiva se van recorriendo las salidas de cada uno de los nodos hasta encontrar el próximo o el final del ramal que se analiza, comenzando por el depósito de inicio considerado como el primer nodo.

El segundo procedimiento tiene el siguiente encabezado:

*Private Sub RecorreObjetos(objs As Visio.Shape, ByVal indice, ByVal nodo As Integer,
Optional pbomba As Boolean = False)*

Donde:

- Obj: objeto que representa el nodo que se está analizando,
- Indice: variable que cambia su valor dentro del propio procedimiento y almacena el Id del objeto que se va a analizar,
- Nodo: representa la posición que ocupa el nodo dentro del arreglo que representa el árbol,
- Pbomba: variable opcional que informa si el objeto está delante o detrás de la bomba. Esto como ya se explicó anteriormente es importante porque define el valor de la velocidad económica a utilizar.

En este módulo los algoritmos utilizados no requieren de mucha complejidad por depender todas las operaciones que se realizan de los n objetos que existan sobre la hoja de trabajo.

- MduCommon:

Módulo en el que se definen variables constantes y funciones utilizadas por el resto de los módulos dentro de la aplicación, entre ellas tenemos la definición de valores como: Pi, MaxObjs (máximo número de objetos que soportará el arreglo) y funciones destinadas al trabajo con las cadenas de texto.

- MduCálculo:

Cuenta con dos procedimientos fundamentalmente, el primero de ellos recursivo que se encarga de recorrer el árbol en post-orden para inicializar algunas variables importantes dentro del objeto y a su vez encontrar el nodo de más a la izquierda para comenzar el cálculo, una vez encontrado llama a un segundo procedimiento encargado de recorrer cada uno de sus ramales para calcular el flujo económico. Al final de este procedimiento se verifica que el flujo económico calculado no sea mayor que el flujo permitido por el nodo.

– MduCiclo:

Este módulo es el encargado, una vez calculado el flujo económico, de calcular los valores reales del sistema.

Para ello cuenta con tres procedimientos, dos de ellos similares al módulo anterior, el primero solo recorre el árbol para encontrar el nodo de más a la izquierda, sin inicializar ninguna variable. En el segundo procedimiento se calcula el valor del flujo y la carga en cada uno de los ramales.

En este procedimiento las operaciones son más complejas, pues es necesario calcular cada uno de los ramales en un rango de flujo para poder ajustar la curva por el método de los mínimos cuadrados y así obtener valores por cada rango de flujo.

Esto es necesario porque al terminar de recorrer cada uno de los ramales del nodo se calcula el valor de la carga manteniendo el flujo constante. Este proceso puede complicarse después de ser calculado los nodos de los extremos, pues pueden ser parte de otros nodos como se muestra en la figura 2.12:

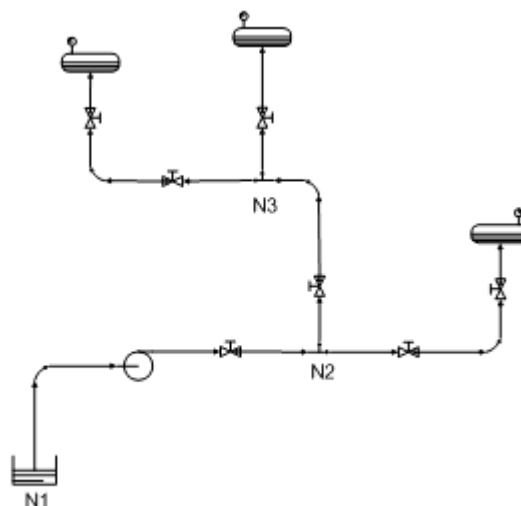


Figura 2.12. Diagrama de un sistema donde N1, N2, N3 son nodos.

En este caso se calculan los ramales del nodo N3, sumándose los valores del flujo (Q) manteniendo la carga (H) constante (figura 2.13). El resultado de esta suma es una curva compuesta, la cual sigue un trayecto similar a la curva (N3-2).

Gráfico Q (m^3/s) vs. H (m)

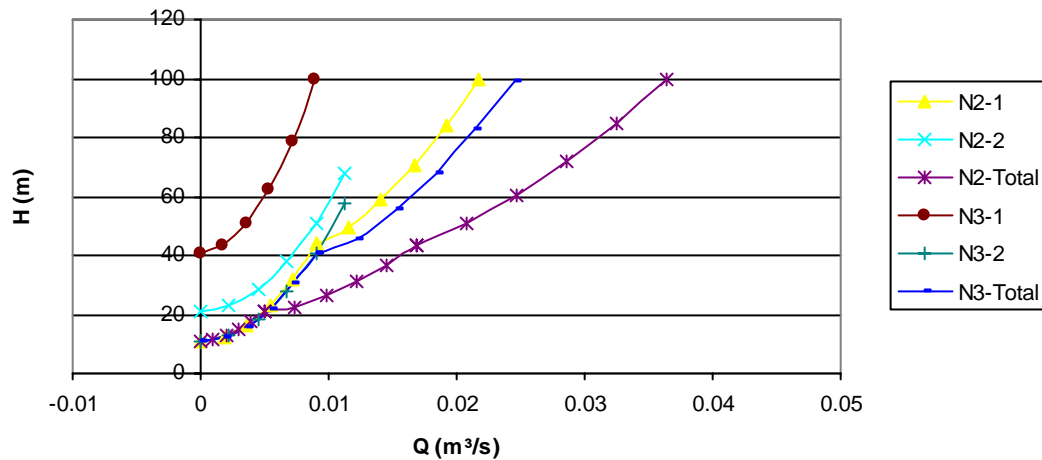


Figura 2.12. Representación gráfica de Q (m^3/s) vs. H (m)

Para realizar estas operaciones los valores de Q y H se almacenan en un arreglo, para posteriormente realizar el ajuste de la curva, almacenándose los valores de los coeficientes (a y b) de la ecuación.

Dentro del objeto esto se almacena como se indica en la figura 2.14, en forma de texto separado por una barra “|”.

User.a1	"41.2210454534642 "
User.b1	"732535.061513849 "
User.a2	"11.1081224442279 "
User.b2	"364682.141851153 "
User.at	"11.0836788829297 28.3627890753338 "
User.bt	"365115.072803681 117221.532274843 "
User.Hi	IF(User.H1 > User.H2, User.H1, User.H2)
User.Hm	2
User.Ht	"11 41 100 "

Figura 2.14. Almacenamiento de datos en el objeto.

En un tercer procedimiento se realiza la suma total de los ramales del nodo, tanto del flujo que en este caso es una simple suma de Q_1 y Q_2 como de la carga.

En el caso de la carga (H) existen tres combinaciones:

- $H_1 = H_2$,
- $H_1 < H_2$,
- $H_1 > H_2$.

Este análisis genera un algoritmo lleno de condiciones como se muestra en el anexo 1 donde solo se muestra el caso en que H_2 sea menos que H_1 , en el resto de las condiciones se generan análisis similares.

Estas condiciones vienen dadas por la necesidad de chequear durante todo el análisis cada punto de la curva, que en el caso de que sea simple no es complejo, pero cuando está o están integradas por varias, es necesario chequear constantemente qué rango nos estamos moviendo para poder cambiar de ecuación.

- MduGrafo:

Módulo encargado de generar el gráfico y representar el punto de operación.

Para realizar esta operación nos hemos auxiliado de Microsoft Graph, herramienta proporcionada por Microsoft para realizar diferentes tipos de gráficos al estilo de Microsoft Excel.

En este módulo se define el tipo de gráfico con que se representan los datos (XIXYScatterSmooth), el tamaño de la fuente a utilizar, el título y el nombre de cada eje.

Por la lentitud con que se realiza la operación de inicialización y transferencia de los datos de este objeto se decidió hacerlo de forma oculta y mostrarlo solo cuando todo esté listo, aunque para casos puramente docentes se pudiera programar de forma que el usuario pudiera ver como se van construyendo las curvas del sistema.

- MduShow:

Módulo encargado de mostrar el formulario donde se le muestra al usuario el cuadro de diálogo que permite cambiar el nombre al objeto y chequear que este nuevo nombre no existe en la hoja de trabajo.

- MduStart:

Módulo por el cual comienza la ejecución de la aplicación

2.4. Componentes del SAGV 1.0

SAGV utiliza una serie de componentes visuales (figura 2.10), estos trabajan de forma cooperada con los módulos desarrollados en Visual Basic para llevar a cabo de una forma rápida y eficiente el diseño y cálculo del sistema de alimentación. A continuación desarrollaremos un resumen de los principales elementos visuales del sistema.

Todos los objetos visuales como: depósitos, bombas, accesorios, son objetos “Shape” de Visio. El objeto conexión como se verá más adelante es un objeto “connect” de Visio.

Los objetos tienen valores comunes en su definición:

- Class: nombre de la clase a la que pertenece el objeto (Depósitos, bombas, accesorios, etc.),
- AntesBomba: valor que indica si el objeto se encuentra antes o después de la bomba. Esto es importante porque de la posición donde se encuentre el objeto depende el valor de la velocidad económica que se tome para los cálculos,
- Ve: velocidad económica, valor que depende de que el objeto esté antes o después de la bomba, para ello se plantea la condición: $IF(User.AntesBomba=-1,3,1.5)$.

Cada objeto tiene definido valores particulares como veremos:

Objeto Depósito (figura 2.15): Es un depósito donde se almacena el agua que se toma para alimentar al generador de Vapor y tiene los siguientes valores definidos por el usuario:

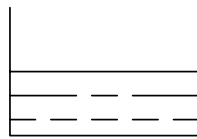


Figura 2.15. Objeto estanque.

- Qt: flujo total que sale del estanque,
- Sh: carga total
- Ql₁, Hl₁: valores del tipo string encargados de almacenar una cadena de números con los que se realiza el ajuste de la curva para obtener la ecuación que la rige.

Estos valores representan una curva compuesta por varias, y por tanto en la cadena se colocan los valores extremos de cada una de ellas quedando de la siguiente forma: "0|4.991417E-03|0.0154985|2.484117E-02|"

- a_1 y b_1 : coeficientes que se obtienen como resultado de ajustar la curva compuesta.

Se definen además las siguientes propiedades de entrada:

- TipoMaterial: tipo de material de la tubería de salida,
- Diámetro: diámetro de la tubería de salida,
- z : carga estática del estanque,
- p : presión en el estanque.

Objeto Tubería (figura 2.16): es un objeto connect de Visio y utiliza todas sus facilidades como: redireccionamiento y redimensionamiento, sin perder la unión con los objetos que se encuentren en los extremos y los siguientes valores definidos:



Figura 2.16. Objeto conector.

- E : rugosidad relativa que depende del tipo de material, para ello se toma el valor de la propiedad TipoMaterial y se plantean una combinación de condiciones anidadas:
 $IF(LOOKUP("Acero \text{ remachado}", Prop.TipoMaterial) \geq 0,2, IF(LOOKUP("Hormigón", Prop.TipoMaterial) \geq 0,1,5 \dots$
- f : valor del factor del coeficiente de fricción que es calculado a partir de E a través de la ecuación de Chen (2.9),
- k : Coeficiente total de resistencia o pérdidas de carga por velocidad, calculado a través de las ecuaciones (2.11 y 2.12) según el tipo de flujo,
- Q_{ec} : flujo económico que pasa a través del objeto.

Se definen también las siguientes propiedades:

- TipoMaterial: define el material con que está construida la tubería,
- TipoFluido: define el tipo de fluido que circula a través del objeto; puede ser agua, guarapo, miel A, miel B, miel C, petróleo, para esta primera versión solo está habilitada el agua por estar dirigido a los sistemas de alimentación de agua a los generadores de vapor,
- Diámetro: diámetro interior de la tubería,

- Longitud: longitud real del objeto.

Objeto Bomba (figura 2.17): objeto encargado de mover la sustancia del estanque a los generadores de vapor a través de todo el sistema al cual se le definen los siguientes valores:

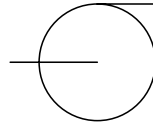


Figura 2.17. Objeto Bomba

- N_s : Velocidad específica calculada por la ecuación (2.5),
- a_h, b_h, c_h : coeficientes para el cálculo de la carga.

Teniendo las siguientes propiedades:

- H_d : carga de diseño de la bomba,
- Q_d : flujo de diseño de la bomba,
- rpm: velocidad de succión en r.p. m.,
- Etapas: número de etapas de la bomba,
- Succión: tipo de succión de la bomba: simple o doble succión.

Objeto Válvula de globo (figura 2.18): utilizada para regular el flujo que pasa a través del ramal donde se coloca, al cual se tiene los siguientes valores definidos:

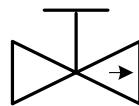


Figura 2.18. Válvula de globo

- l_e : longitud equivalente de la resistencia,
- l_{ee} : longitud equivalente para la velocidad económica.

Propiedades de las variables de entrada:

- TipoMaterias: tipo de material de la válvula,
- Diámetro: diámetro interior,
- Abertura: abertura de la válvula que puede ser: 3/4;1/4;1/2;Totalmente,

Objeto Nodo (figura 2.19): objeto donde ocurre la ramificación del fluido y puede tener varias salidas. Dentro de sus variables fundamentales tenemos:



Figura 2.19. Nodo

- Q_e : suma de los flujos de todas las salidas
- Re : número de Reynolds,

Propiedades de las variables de entrada:

- TipoMaterial: tipo de material del nodo,
- Diámetro: diámetro de entrada del nodo.

Objeto Codo (figura 2.20): objeto utilizado para cambiar la dirección del fluido, que introduce pérdidas en el sistema. Como variables fundamentales se pueden declarar:



Figura 2.20. Codo.

- f : factor de fricción,
- Q_t : flujo total.

Propiedades de las variables de entrada:

- TipoMaterial: tipo de material del nodo,
- Diámetro: diámetro de entrada del nodo.
- TipoMaterial: tipo de material del codo,
- Accesorio: tipo de codo, que en este caso puede ser de 45° o de 90° ,
- Diámetro: diámetro interior del codo.

Objeto Generador de Vapor (figura 2.21): como su nombre es el encargado de convertir el agua suministrada en vapor y es quien define las condiciones de funcionamiento del sistema. Como propiedades fundamentales se pueden declarar:

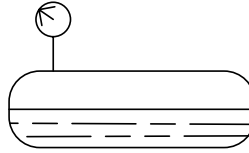


Figura 2.21. Generador de Vapor.

- Q_T : flujo consumido por el generador,
- Z : valor de la carga estática del generador,
- p : presión del equipo.

Capítulo 3. Interface con el usuario

3.1. Análisis del sistema

Para visualizar el comportamiento del sistema se realizará un análisis del mismo a través del modelado de diagramas UML, utilizando los diagramas de Casos de Uso y de Componentes.

3.1.1. Diagramas de Casos de Uso

Desde la perspectiva del especialista SAVG se analiza a través del siguiente de Casos de Uso (figura 3.3)

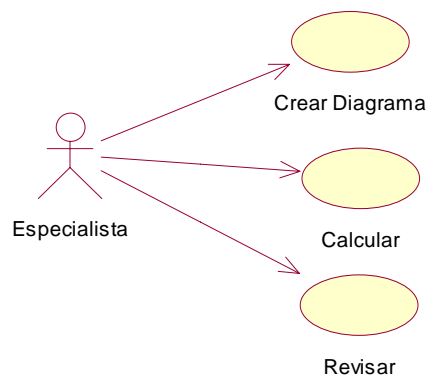


Figura 3.3. Casos de uso

Caso de uso:	Crear diagrama
Actor:	Especialista
Tipo:	Primario
Descripción:	El especialista arrastra los objetos desde las plantillas hasta la página de trabajo, donde construye el diagrama y les especifica los valores de sus propiedades
Caso de uso:	Calcular
Actor:	Especialista
Tipo:	Primario
Descripción:	El especialista, una vez terminado el proceso de

	creación del diagrama le ordena al sistema que inicie los cálculos
Caso de uso:	Revisar
Actor:	Especialista
Tipo:	Primario
Descripción:	El especialista, revisa los resultados de los cálculos mostrados de forma gráfica y toma una decisión.

3.1.2. Diagramas de Componentes

En la figura 3.4 se muestra la relación entre los principales componentes del sistema. La interfaz de usuario depende de los módulos de cálculo y del motor gráfico y a su vez este último depende del módulo de cálculo para crear los gráficos.

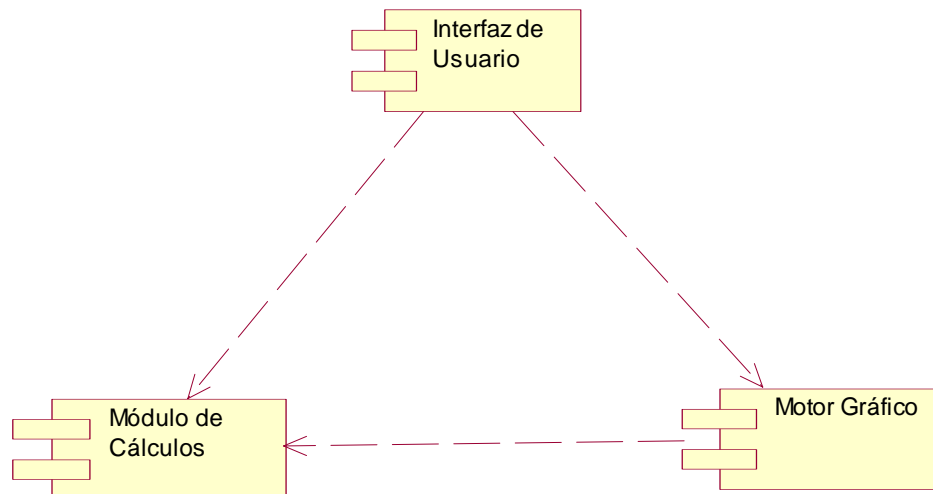


Figura 3.4. Diagrama de Componentes

El diagrama de clases se encuentra explicado en el capítulo anterior.

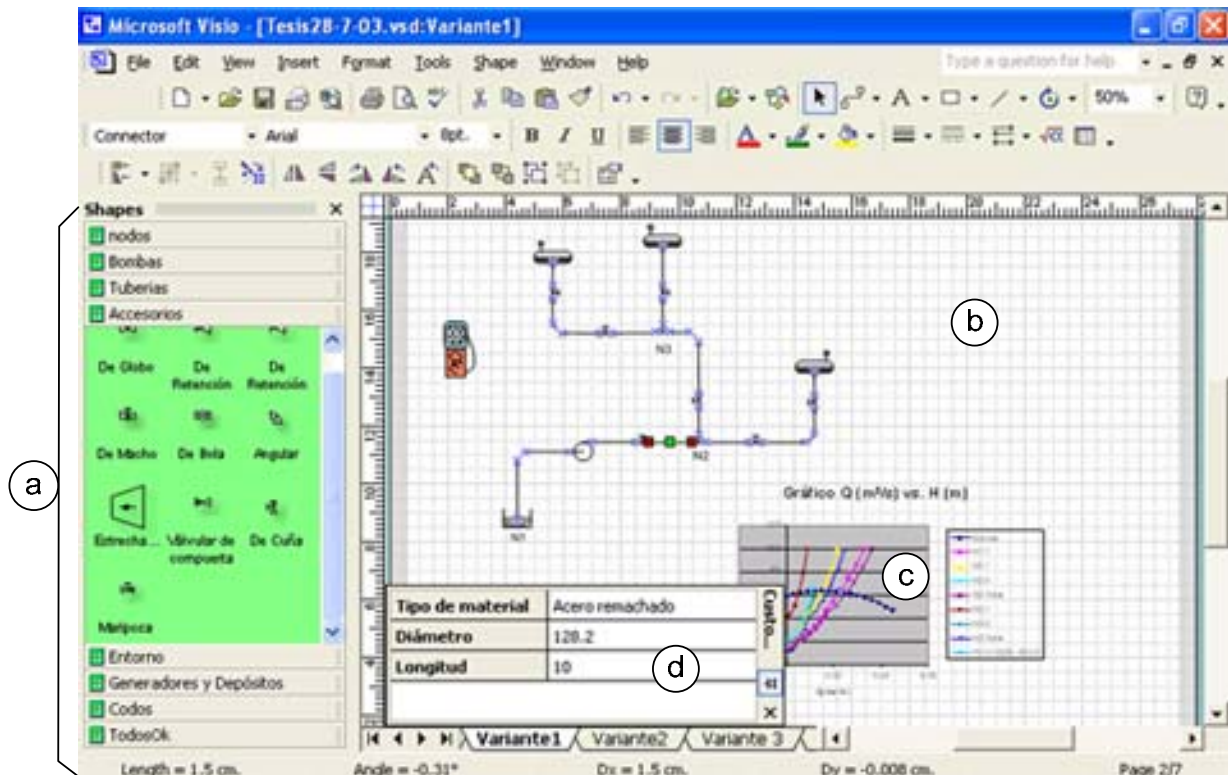
3.2. Características generales.

SAGV 1.0, es una herramienta gráfica que ha sido desarrollada para diseñar y calcular en forma rápida un sistema de alimentación de agua a Generadores de Vapor, utilizando todas las facilidades que brinda Microsoft Office Visio en su ambiente gráfico. Está basada en la posibilidad que ofrece Visio de una interfaz de documentos múltiples (MDI) y múltiples páginas en un documento, lo cual posibilita la gestión de varios proyectos a la vez tanto en

diferentes documentos como en diferentes páginas de documentos, con esto se puede tener en el mismo documentos varias versiones de un mismo sistema.

3.3. Interface con el usuario

SAGV está constituido por un conjunto de componentes visuales (Figura 3.1) que trabajan cooperadamente para llevar a cabo de una forma rápida y eficiente el diseño de un sistema de alimentación de agua a Generadores de Vapor



a- Plantillas,

b- Página de trabajo,

c- Objeto de Microsoft Graph

d- Ventana de propiedades.

Figura 3.1. Elementos Visuales de Microsoft Visio

Visio brinda un ambiente muy familiar y ya conocido por cualquier usuario que trabaje con el paquete de oficina de Microsoft, dentro de este ambiente aparecen en la parte superior la barra de menús tales como: Archivos, que permiten realizar todo el trabajo con la manipulación de los ficheros con que se trabajan; el menú Editar que brinda todas las facilidades en la edición

de los esquemas y el menú Formas que permite realizar todo el trabajo con las imágenes que se van insertando en la hoja de trabajo para construir el esquema.

Seguido de los menús aparecen las barras de herramientas que permiten realizar varias actividades de forma rápida, algo que ayuda a disminuir el tiempo de construcción del esquema a analizar. Podemos destacar la posibilidad de rotar las imágenes, agregarles textos para especificar algún dato importante o variar la escala visual de trabajo.

En Visio se incorporan las plantillas o Stencil (en inglés), figura 3.1a, que son ficheros con extensión (vst) que forman galerías de símbolos que cuentan con los estilos y valores necesarios para crear un dibujo. A los símbolos dentro de la galería se les denominan Patrones y pueden ser editados para definirle su aspecto o sus propiedades a través de la hoja de cálculo ShapeSheet (figura 3.2), la cual se encuentra dividida en *secciones* que controlan un aspecto determinado del comportamiento o la apariencia de una forma, como su geometría o su formato. Cada sección contiene una o más *filas* que a su vez contienen *celdas*. Cada celda puede contener una fórmula, su resultado (normalmente denominado valor de la celda) e información opcional de error. Una fórmula puede ser requerida u opcional dependiendo de la celda de que se trate. Los datos de una celda (por ejemplo, su fórmula o valor) pueden estar definidos localmente o, con más frecuencia, se heredan de la celda equivalente del patrón o estilo de la forma.

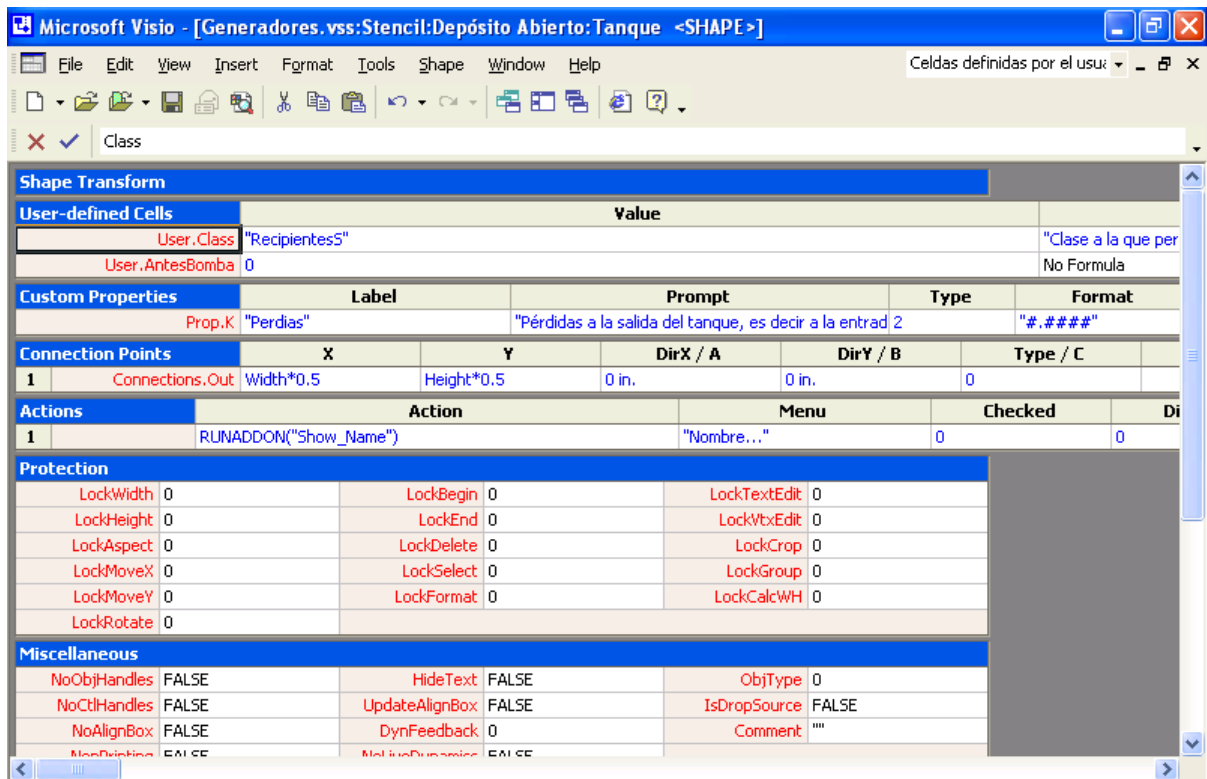


Figura 3.2. Hoja de Cálculo ShapeSheet

Los patrones son arrastrados hacia la página de trabajo (figura 3.1 b) sobre la cual se va creando el esquema a calcular. Cada documento puede constar de varias páginas de trabajo, permitiendo al especialista crear varias variantes de su esquema y analizar sus comportamientos.

Sobre la página de trabajo se muestra el resultado del cálculo en forma gráfica utilizando el objeto Microsoft Graph (figura 3.1 c) y también las propiedades (figura 3.1 d) del objeto al hacer clic con el botón secundario del Mouse sobre él. Esta ventana de propiedades son los valores de la celda propiedades personalizadas de la hoja de cálculo (figura 3.2).

Una vez realizado los cálculos, el especialista puede realizar cambios en el esquema como: variar los diámetros de las tuberías, regular el flujo abriendo o cerrando alguna válvula, modificar longitudes, cambiar codos o cualquier otro cambio que considere necesario y volver a realizar los cálculos. Esto le permite tener varios gráficos con el comportamiento del sistema hidráulico ante los cambios realizados y poder seleccionar cual sería la solución más adecuada.

3.4. Requerimientos del sistema

3.4.1. Requerimientos de la aplicación.

La aplicación para el cálculo de Sistemas de Alimentación de Agua a Generadores de Vapor (SAGV) fue diseñado sobre plataforma Windows, utilizando como base Microsoft Office Visio 2000, unos de los programas del paquete de oficina de Microsoft.

3.4.2. Requerimientos de Hardware.

Al ser una aplicación que se ejecuta sobre Microsoft Office Visio los requerimientos de hardware dependen de lo que necesite Visio según se muestra en la tabla 3.1 (Corp. 2000)

Tabla 3.1 Requerimientos de hardware

Ordenador /Procesador	Ordenador con un Pentium de 166 megahercios (MHz) o un procesador superior
Memoria	Para Microsoft Windows® 95, Windows98 o Windows Millenium: 16 megabytes (MB) de RAM para el sistema operativo, además de 16 MB de RAM para Visio 2000 Standard Edition Para Microsoft Windows NT® o Windows 2000: 32 MB de RAM para el sistema operativo, además de 16 MB de RAM para Visio 2000 Standard Edition
Disco Duro	80 MB de espacio de disco duro disponible
Unidad	CD-ROM
Pantalla	VGA o un monitor de resolución; Se recomienda Superior VGA
Sistema Operativo	Windows 95 o posterior, o Windows Millenium , Windows NT Workstation, o Windows NT Server versión 4.0 con Service Pack 3 o posterior, Windows 2000 profesional o Windows 2000 server.
Periféricos	Microsoft Mouse, Microsoft IntelliMouse®, o dispositivo indicador compatible.

CONCLUSIONES

- Como resultado de este trabajo se ha obtenido la Aplicación: SAGV 1.0, la cual permite vincular criterios energéticos y de tipo operacional en el cálculo de sistemas hidráulicos de alimentación de Agua a Generadores de Vapor,
- Con SAGV 1.0 se crea una herramienta que agiliza el trabajo de los especialistas, reduciendo el tiempo empleado por estos en el cálculo hidráulico y permitiendo el análisis de varias posibilidades de comportamiento del sistema hidráulico,
- Se dejan creadas las bases para la implementación de un software que cuente con sus propias facilidades gráficas.

Aplicación de un algoritmo de cálculo hidráulico que permita la vinculación dinámica de criterios energéticos y de tipo operacional, posibilitando así el análisis comparativo de variantes.

RECOMENDACIONES

- Incrementar la biblioteca de objetos a emplear en el cálculo,
- Incorporar a la aplicación bases de datos de los diferentes catálogos de fabricantes de bombas para reducir el tiempo empleado en el diseño del sistema hidráulico,
- Trabajar en la creación de un software con interfaz gráfica propia, independiente del paquete Microsoft Visio.

BIBLIOGRAFÍA

- Alberto, R. (1998). MS GRAPH 8.0. <http://www.fpress.com/revista/Num9812/Dic98.htm>
- Argote, J. I. (2002). El diseño asistido por ordenador. Los programas CAD. <http://personal.telefonica.terra.es/web/cad/>
- Benedict, R. P. (1980). Fundamentals of pipe flow. New York, Ed. John Wiley & Sons.
- Cano, R. (1985). Flujo en tuberías y canales. Medellín, Ed. Gráficos Ltd.
- Chejne, F. (1994). Simulación de procesos como herramienta útil para los programas de ahorro de energía. Cali.
- Cherkasski, V. M. (1986). Bombas, ventiladores y compresores. Moscú, Ed. MIR.
- CITMA (2005). "Objetivos de los programas nacionales." <http://www.villaclara.cu/>
- Corp., H. (2002). Parallel and pump system analysis. Nevada. <http://www.tahoessoft.com/html/hydroflo.html>
- Corp., M. (2000). Requerimientos del sistema. <http://www.microsoft.com/spain/Office/2000/visio/sysreq.asp>
- Corp., P.-P. (2003). Pipe-Pro fluid master. <http://pipepro.com/>
- Corp., P. S. (2003). <http://www.phelpssoftware.com/>
- Daugherty, R. L. and J. B. Franzini (1970). Fluid Mechanics. La Habana, Ed. Ciencia y Técnica.
- Eaton, N. and R. Online (2001). Microsoft® Visio® Version 2002 Inside Out. Washington, Microsoft Press.
- FLO-SERIES (2001). The perfect tool to design, optimize & troubleshoot fluid piping systems. <http://www.eng-software.com/floseries.htm>
- Gill, N. (1997). Adjustable Speed Pumps: Your Control Valve Alternative? <http://www.motorcontrol.com/public/ASPumps.htm>
- Goldberg, E. (2002). Today's plant and piping programs. CADALYST.

González, V. (1994). Modelación matemática y simulación en la industria azucarera. Cali, Universidad Industrial de Santander.

González, V., E. González Suárez, et al. (1987). Análisis de inversiones y proyecto en la ingeniería química. Santa Clara, Ed. UCLV.

HPAC (1985). Analysis and program for design of series piping systems. HPAC.

Institute, H. (1976). Hydraulic Institute Standards. Ohio, Ed. Cleveland.

J. Lage, F., J. T. P., et al. Estructura de Datos. Arreglos.
<http://www.lip.uns.edu.ar/pci/Tipos%20Subindicados%20en%20Pascal.PDF>

Kapseu, C., E. S. Kombou, et al. (1995). Pump maintenance and factory productivity. International Sugar Journal. **Vol. 97**.

Lycos (2000). Microsoft Graph 2000, completa tus trabajos en Word.
http://www.lycos.es/channel/internet_y_orderadores/documento.html?id=1077&idcat=3

Martín Mesa, M. and F. Santos García (1999). Modelos matemáticos para la determinación de la forma aproximada de la característica de trabajo de una bomba centrífuga. Revista Centro Azúcar.

Marzal, V. (2000). Tipos de datos, estructuras de datos y tipos abstractos de datos.
http://rinconprog.metropoliglobal.com/CursosProg/ProgGen/Estr_Datos/index.php?cap=1

Mathur, J. (1990). Draw some help from hydraulic grade lines. Chemical Engineering Progress. **Vol. 86**.

Nekrasov, B. (1968). Hidráulica. La Habana, Ed. Pueblo y Educación.

Pedroso, I. (1989). Cálculo hidráulico de tuberías. Santa Clara, Ediciones Universitarias. UCLV.

Preday, J. (1994). Visualizing with CAD. New York, Springer-Verlay. Inc.

PumpBase (2002). Advanced pump selection. Nevada.
<http://www.tahoessoft.com/html/pumpbase.html>

Reyes, R. (1992). Sistema automatizado para el dimensionamiento de tuberías. Santa Clara, UCLV.

Rivas Nieto, A. (2000). FAQ, Mecánica de fluidos I.
<http://www1.ceit.es/asignaturas/Fluidos1/WEBMF/Mecanica%20de%20Fluidos%20I/>

Rubio González, Á. (1987). Instalación de máquinas industriales. Santa Clara, UCLV.

Simpson, G. (1998). Design and implement with CAD. New York, McGraw-Hill. Inc.

Streeter, V. L. and E. B. Wylie (1988). Mecánica de los fluidos. Ciudad de México, Ed. McGraw Hill.

Turiño H., I. (1996). Procedimientos metodológicos para el diagnóstico operacional de sistemas de bombeo mediante modelos matemáticos. Santa Clara, UCLV.

V. Aho, A., J. E. Hopcroft, et al. (1983). Data Structures and Algorithms. California, Addison-Wesley.

Vennar K., J. and R. Streeter L. (1986). Elementos de Mecánica de fluidos. La Habana, Ed. Revolucionaria.

Anexo 1

Diagrama de Bloques para la suma de las curvas

