

**SOFTWARE EDUCATIVO PARA EL SOPORTE A LA ASIGNATURA
SISTEMAS DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS**

**FELIPE ARANGO URIBE
DAMIAN DURAN NIÑO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2005

**SOFTWARE EDUCATIVO PARA EL SOPORTE A LA ASIGNATURA
SISTEMAS DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS**

**FELIPE ARANGO URIBE
DAMIAN DURAN NIÑO**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
NÉSTOR RÁUL D'CROZ TORRES
Ing. Mecánico.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2005

DEDICATORIA

A nuestros padres, Rodolfo Arango, Clara Patricia Uribe, Luís Napoleón Duran Cortés y Martha Niño Vargas, por el apoyo y el cariño que nos brindaron y siguen brindando diariamente.

A mi querida abuela Hilda Maria Duran Núñez.

A todos aquellos que nos colaboraron a lo largo de nuestro estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Néstor Raúl D'croz T, Ingeniero Mecánico y docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica, por la dirección de este proyecto, y su colaboración a lo largo de toda la carrera.

Jorge Guzmán, Ingeniero Civil y docente en la Escuela de Ingeniería Civil, por su colaboración y el material multimedia suministrado.

Martha Vitalia Montagut, Ingeniera de Sistemas y docente en la Escuela de Ingeniería de Sistemas, por sus valiosas y acertadas orientaciones.

Martha Cardona de Acevedo, directora del INSED, por sus valiosas y acertadas orientaciones.

Gustavo Cristancho y José Luís Barbosa, por su orientación y colaboración en el diseño del software

Claudia Leonor Rueda por toda la ayuda y apoyo que siempre nos brinda

Nuestras familias, por el apoyo y el cariño que nos brindaron y siguen brindando diariamente.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. DISEÑO GENERAL DEL SOFTWARE	16
1.1 ENTORNO PARA EL DISEÑO DEL SOFTWARE	16
1.1 DISEÑO EDUCATIVO DEL SOFTWARE	17
1.2 DISEÑO COMUNICATIVO DEL SOFTWARE	26
2 DESCRIPCION DEL SOFTWARE	27
2.1 FUNCIONES DE APOYO PARA EL USUARIO.	30
2.2 Descripción de pantallas y módulos.	30
2.3 Contenidos temático de los módulos.	43
2.4 DISEÑO DE LAS APLICACIONES DEL SOFTWARE.	45
2.4.1 ALGORITMO Y CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE BOMBAS.	45
2.4.2 ALGORITMO Y CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE COMPRESORES.	75
2.4.3 ALGORITMO Y CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE VENTILADORES.	93
2.5 TUTORIALES DE USO DE LAS APLICACIONES.	117
2.5.1 TUTORIAL APLICACIÓN BOMBAS.	118
2.5.2 TUTORIAL APLICACIÓN COMPRESORES.	135
2.5.3 TUTORIAL APLICACIÓN VENTILADORES.	141
2.6 AMBIENTE DE DESARROLLO DEL SOFTWARE.	148

CONCLUSIONES	149
RECOMENDACIONES	150
BIBLIOGRAFIA	151
GLOSARIO	154
CD ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Sistema Simplificado	20
Figura 2. Estructura particular del software	24
Figura 3. Presentación inicial	31
Figura 4. Pantalla de selección inicial	32
Figura 5. Pantalla de selección secundaria	33
Figura 6. Pantalla de trabajo	35
Figura 7. Menú de la pantalla de trabajo	36
Figura 8. AT en modo pantalla completa.	37
Figura 9. AT submódulo Problemas.	38
Figura 10. AT submódulo Aplicaciones.	39
Figura 11. AT Presentación de resultados.	39
Figura 12. Ventana submódulo catálogos.	40
Figura 13. Menú de navegación.	41
Figura 14. Menú utilidades multimedia.	41
Figura 15. Menú utilidades de ventana.	42
Figura 16. Ventana de la aplicación ayuda.	43
Figura 17. Esquema Tramo Raíz	48
Figura 18. Diagrama de una etapa	50
Figura 19. Sistema Sencillo	51
Figura 20. Tramo Terminal seleccionado	51
Figura 21. Extremos de un tramo	54
Figura 22. Equilibrio de presiones	55

Figura 23. Sistema Asimétrico	55
Figura 24. Incidencia de la variación de caudal	58
Figura 25. Curvas de Presión vs. Caudal	61
Figura 26. Determinación de la intersección de las curvas	62
Figura 27. Diagrama de flujo básico análisis de Tuberías	66
Figura 28. Diagrama de Flujo Ejecutar_Solucion_Tuberia	71
Figura 29. Relación de coeficientes para un compresor	79
Figura 30. Diagrama de Flujo análisis de compresores	87
Figura 31. Diagrama de flujo del proceso de cálculo del Rc inicial y Rc Final.	88
Figura 32. Diagrama de flujo del proceso de cálculo de los valores	89
Figura 33. Esquema de velocidades para un ventilador	96
Figura 34. Curvas de correlación de un ventilador particular con aspas de curvatura hacia atrás con aro de refuerzo.	102
Figura 35. Diagrama de flujo para la creación de la grafica de un ventilador.	115
Figura 36. Diagrama de flujo para determinación de las RPM de un ventilador.	116
Figura 37. Ventana de inicio tuberías.	118
Figura 38. Ventana Datos Generales.	119
Figura 39. Ventana de edición de accesorios.	123
Figura 40. Ventana búsqueda de accesorios.	123
Figura 41. Ventana definir tubería.	127
Figura 42. Esquema simple de tuberías.	129
Figura 43. Ventana de Solución.	132
Figura 44. Ventana de tabla de resultados.	134
Figura 45. Ventana inicial de compresores.	135
Figura 46. Ventana de Solución.	137

Figura 47. Ventana de Tabla de resultados.	139
Figura 48. Ventana inicial ventiladores.	141
Figura 49. Ventana solución del calculo de N.	145
Figura 50. Dispersión de puntos de Caudal [pies ³ /min.] versus Potencia [HP].	146
Figura 51. Dispersión de puntos de Caudal [pies ³ /min.] versus Incremento de la presión estática [pulgadas de agua]	146
Figura 52. Ventana de tabla de resultados.	147

RESUMEN

TITULO:

SOFTWARE EDUCATIVO PARA EL SOPORTE A LA ASIGNATURA SISTEMAS DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS*

AUTORES:

Damián Andrés Duran Niño.

Felipe Arango Uribe.**

PALABRAS CLAVES

Fluidos, Bombas, Compresores, Ventiladores, Turbomaquinas, Tubería, Gas Natural, Aire Comprimido, Cátedra Multimedia, Software.

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto consiste en el desarrollo de un software que permite apoyar el proceso de enseñanza y aprendizaje de la asignatura, aprovechando las ventajas que ofrecen las tecnologías de la información y la comunicación, la disminución en el tiempo invertido que se logra mediante su uso, en el cual se encuentren recopilados la teoría, los ejemplos, las gráficas y los dibujos, así como también catálogos de productos que se encuentran en el mercado, dando así una herramienta adicional dentro del proceso de enseñanza. El estudiante por su parte encuentra en el software el material necesario para agilizar el aprendizaje y asimilar conceptos. A su vez, es esta una herramienta que le apoyará sus hábitos de estudio y trabajo.

Este software es, a diferencia del software especializado que se consigue en el ámbito profesional, una alternativa económica para que la escuela ponga a disposición de los estudiantes una herramienta, que sirve de soporte a los procesos de enseñanza y aprendizaje de la asignatura "Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos".

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Nestor R. D'croz Torres.

SUMMARY

TITLE:

SUPPORTING EDUCATIONAL SOFTWARE FOR THE COURSE “FLUID TRANSPORT AND EMPLOYMENT SYSTEMS”.*

AUTHORS:

Damián Andrés Duran Niño.

Felipe Arango Uribe.**

KEY WORDS:

Fluids, Pumps, Compressors, Fans, Blowers, Turbo machinery, Pipes, Natural Gas, Compressed Air, Multimedia Course, Software .

DESCRIPTION:

This project consists in the development of a software that allows to support the teaching - learning process of the course, employing the advantages that information and communication technology offers, the reduction in time spent that is accomplished by its use, in which is compiled the theory, the examples, the graphics and the pictures, as well as catalogs of products that can be found in the market, becoming an additional tool for the pedagogic process. The student will find in the software the necessary material to speed up the learning and assimilation of concepts. At the same time this is a tool that will support the student's studying and learning habits.

This software, in contrast to the specialized software that can be acquired in the professional level, an economic alternative for the school to put at the students disposition as a tool, that serves as a support to the teaching and learning processes of the course “Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos”.

* Degree Work.

** Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Nestor R. D'croz Torres.

INTRODUCCIÓN

Con el fin de diseñar un medio de presentación del conocimiento y experiencias de aprendizaje, informático significativo, que sirva al estudiante de la asignatura como soporte académico en el aprendizaje y desempeño en el ramo del transporte y aprovechamiento de fluidos, tanto para la asignatura como para su profesión. Desarrollar un material educativo multimedia que facilite los procesos de enseñanza y aprendizaje de la asignatura Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos en un ambiente interactivo, conformado por tres secciones principales: **Bombas, Compresores y Ventiladores**, con cuatro subentornos.

- a. Un entorno teórico en el cual se encontraran aspectos técnicos y académicos de los principios de funcionamiento de estas máquinas, **Capítulo 3** para bombas rotodinámicas, **Capítulos 4, 5 y 6** para compresores y **Capítulo 7** para ventiladores (ver Anexo B formato digital del CD).
- b. Un entorno en el cual se ejemplificarán cálculos tipo para la selección de dichas máquinas.
- c. Un entorno interactivo que permitirá que el estudiante realice los cálculos pertinentes para la selección de una **bomba, un compresor o un ventilador**; como parte del diseño de un sistema de transporte y aprovechamiento de fluidos.
- d. Por último un entorno de tipo referencial en el cual se podrá acceder a catálogos de los equipos y algunos de sus accesorios.

Implementar el software diseñado de manera que ofrezca un mapa de fácil manejo, interacción permanente, y un ambiente que motive al estudiante a crear escenarios para simulaciones, esquemas, animación, gráficos, videos y sonidos que le permitirán al estudiante favorecer procesos de aprendizaje.

Este proyecto es entonces el desarrollo de un software que permite apoyar el proceso de enseñanza y aprendizaje de la asignatura, “Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos”, aprovechando las ventajas que ofrecen las tecnologías de la información y la comunicación.

Restricciones de uso: Por ser el contenido teórico de este software una recopilación de temas y conceptos extraídos de los distintos libros referenciados en la bibliografía y de los cuales los autores de este proyecto de grado no tenemos derechos intelectuales, señalamos que el uso de este software es de carácter académico gratuito y de uso bajo criterios definidos por la Universidad Industrial de Santander. Inicialmente este software esta restringido para el uso exclusivo de los estudiantes de la asignatura Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander.

1. DISEÑO GENERAL DEL SOFTWARE

1.1 ENTORNO PARA EL DISEÑO DEL SOFTWARE

1.1.1 Población Objetivo. Este software ha sido diseñado para personas que cursan cualquier ingeniería, especialmente ingeniería mecánica, de petróleos, civil y química; las cuales tienen la posibilidad de conocer y manejar medios computarizados que los puedan acercar más a las nuevas tecnologías.

1.1.2 Área de contenido. Principios de la Mecánica de Fluidos y los Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos.

1.1.3 Necesidad Educativa que apoya. El desarrollo de este software va encaminado a apoyar las siguientes necesidades:

- Complementar el estudio de los principios de la Mecánica de Fluidos y los Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos.
- Presentar un material que permita el estudio del tema en forma agradable, clara, precisa, interactiva y dinámica.
- Incentivar de manera continua la de motivación y gusto por el tema.

1.2 DISEÑO EDUCATIVO DEL SOFTWARE

1.2.1 Objetivos al desarrollar el software. Al estudiar los principios básicos de los Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos a través del software, se pretende:

- Dar a conocer los aspectos elementales a tenerse en cuenta en la selección de los equipos que forman parte de los sistemas de transporte y aprovechamiento de fluidos comúnmente empleados en la industria.
- Facilitar el conocimiento de todas las características físico-químicas que ofrecen los fluidos a transportar, como elementos esenciales para su selección.
- Facilitar el conocimiento de las especificaciones físico-mecánicas que presentan las máquinas que se encargan de impulsar los fluidos a transportar, como elementos esenciales para su selección.
- Motivar a los estudiantes de pregrado y aquellas personas que consulten el software por el tema de transporte y aprovechamiento de fluidos.
- Superar la subutilización que se le ha venido dando a la informática en el desarrollo de materiales de consulta y estudio de temas específicos.
- Promover la investigación y desarrollo de proyectos referentes a los temas de la asignatura.
- Transformar la relación profesor-alumno, en donde el alumno es quien a través de un estudio personalizado se convierta en el protagonista directo de su propio ritmo, alcances y motivación.

1.2.2 Logros. El usuario al estudiar el software estará en capacidad de:

- Entender los principios fundamentales que rigen el desempeño de los mecanismos encargados de impulsar las sustancias.
- Conocer las propiedades físicas, químicas de las sustancias comúnmente transportadas por los sistemas de suministro, como elementos esenciales en el momento de hacer una selección correcta.
- Diferenciar las sustancias de acuerdo con el riesgo propio de las mismas ya sea por su grado de toxicidad o de inflamabilidad.
- Conocer las características principales y propiedades de las bombas, los compresores y los ventiladores industriales.
- Afianzar el conocimiento de los principales aspectos a tenerse en cuenta en la selección de algunos equipos, comúnmente empleados en la industria dentro de los sistemas de transporte y aprovechamiento de fluidos.
- Motivar la investigación y el análisis de los temas tratados por el software.
- Reforzar los conocimientos adquiridos en clase durante el desarrollo de la asignatura, afianzando los conceptos propios del tema.

1.2.3 Contenido. La unidad temática que se va a desarrollar en el presente diseño es el transporte y aprovechamiento de fluidos, que por ser un tema tan amplio y muy específico se ha dividido en siete módulos con el objeto de cubrir de la forma más clara todos los principios elementales, que el usuario deba tener en cuenta, además cada tema ofrece una serie de subtemas que permite el estudio del contenido teórico de manera más organizada y de forma agradable. Los temas a desarrollar son los siguientes:

- **Primer tema.** Caracterización de los fluidos.
- **Segundo tema.** Instalaciones hidráulicas.

- **Tercer tema.** Bombas rotodinámicas.
- **Cuarto tema.** Compresión de gas.
- **Quinto tema.** Transporte de gas natural.
- **Sexto tema.** Producción y distribución de aire comprimido
- **Séptimo tema.** Sistemas de ventilación.

1.2.4 Descripción del software. Un sistema software se amerita cuando, siendo conveniente brindar el conocimiento al alumno, también interesa que lo incorpore y lo afiance, todo esto dentro de un mundo amigable y ojala entretenido. Para lograr los objetivos propuestos, el ambiente de trabajo debe brindar situaciones para aprender y consultar aquello que interesa, por tal razón debe tenerse en cuenta:

1.2.4.1 Características. El software a implementar presentará las características propias de un material educativo, teniendo en cuenta las necesidades de los usuarios. Entre estas características se destacan:

- **Basado en hipertexto.** Hipertexto es una metodología que permite acceder la información a través de hipervínculos o enlaces que facilitan avanzar de un punto a otro de la información fácilmente, permitiéndole al usuario desplazarse por el software en un orden no rígido ni secuencial.
- **Ambiente gráfico.** Aunque este software presenta gran cantidad de información en forma de texto, una de sus mayores virtudes es la visualización de los gráficos, videos, animaciones, fotografías, tablas dentro de su contenido, que hacen la presentación atractiva a los visitantes del software.

- **Dinamicidad.** El contenido de este software, al hallarse desarrollado en un código abierto, permite ser modificado periódicamente dependiendo de las necesidades de información que se desee satisfacer, con lo que permitirá mantener una información siempre actualizada, dependiendo de la demanda de información.

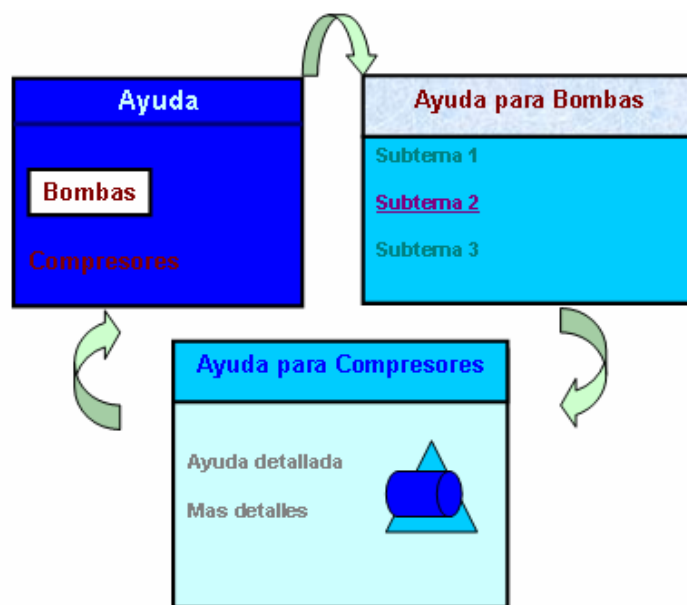


Figura 1. Sistema Simplificado

- **Interactivo.** A través del software no solamente es posible difundir información, es posible encontrar cuadros de textos, casillas de verificación, tablas y botones de comando que permiten tomar la información al instante o actualizar una base de datos con los datos previamente capturados.

* **Elementos y acciones.** Los elementos que van a acompañar la acción en las pantallas, para facilitar el trabajo del estudiante, serán:

- **Botones.** Las opciones que se le presenta al estudiante para que tenga control de aquello que desea hacer

Inicio: Donde el usuario tendrá la oportunidad de regresar al listado inicial de subtemas dentro del módulo seleccionado según el tipo de máquina, cada vez que él lo disponga.

Adelante: Donde el usuario tendrá la oportunidad de avanzar al siguiente subtema de forma consecutiva cada vez que desee hacerlo.

Atrás: En donde el usuario podrá regresar al subtema inmediatamente anterior en forma consecutiva cada vez que lo disponga.

Búsqueda: recurso que le permite al usuario disponer de la ayuda del motor de búsqueda, cada vez que desee hallar un tema específico.

- **Barra de desplazamiento.** Son barras de desplazamiento vertical y horizontal, que forman parte del área de trabajo que le permiten al usuario desplazarse dentro del listado de subtemas y de las páginas de texto, con el objeto de visualizar todo su contenido.

* **Motivación.** El profesor Carlos Enrique Cajamarca, define la motivación como "Aquel impulso interno que induce al educando a decidir a construir su aprendizaje", teniendo en cuenta esta definición y que las motivaciones varían según la edad y madurez de cada ser educando, en este software, tiene prioridad el diseño y la ambientación de un entorno amigable que le proporcione una experiencia de aprendizaje amena de forma que el estudiante genere un interés personal en el contenido del mismo; a su vez que

lo conduzca a un aprendizaje fruto de su propio ritmo e interés. Para esto se tiene:

- Permitirle al estudiante consultar y aprender mediante el uso de íconos ampliamente conocido, mediante la presentación activa y constante de un menú que se despliega cada vez que se selecciona un tema en particular.
- La utilización de un software amigable, de manejo sencillo e interesante, en donde el estudiante pueda seleccionar aquello que le interese sin necesidad de seguir una secuencia rígida.
- Información basada en hipertextos, que consiste en leer un texto sin necesidad de seguir una estructura rígida y lineal, es posible avanzar de un punto a otro fácilmente, obtener más información, regresar al primer punto, brincar hacia otros temas y desplazarse por el texto según los intereses que tenga en determinado momento.

* **Indicaciones para despertar la curiosidad y mantener el interés.** La decisión de despertar el interés y la curiosidad en el usuario puede ser un gran método para motivarlo intrínsecamente. El software, se propone una curiosidad audiovisual mediante la utilización de elementos propios de un sistema multimedia:

- **Ambiente gráfico.** El software presentará una gran cantidad de información basada en texto pero mediante la visualización de fotografías y cuadros alusivos al tema en cuestión, así como también graficas, animaciones y videos.

- **Desarrollo.** Presentación organizada a través de una aplicación multimedia que requiere de un código base de ejecución (plug-in), el cual es de libre distribución y posee una amplia difusión, que hace atractiva y agradable la muestra de información bajo las plataformas informáticas populares (Windows y Linux) así como también las herramientas de Internet.

- **Enlaces.** Apuntador por medio del cual se puede tener acceso a determinada definición o contenido del software.

- **Ayudas.** No es más que el empleo de botones fáciles de distinguir encargados de efectuar una labor específica como: regresar a la página anterior, ir a la siguiente, regresar a la pantalla de presentación; se cuenta también con las barras de desplazamiento vertical y horizontal que hacen fácil el manejo de la información a través de la pantalla; además se cuenta con una sub-aplicación con un formato similar a la ayuda que se encuentra en mayoría de los programas informáticos la cual cuenta con una guía detallada de las prestaciones del software.

- **Pantalla completa.** Esta ayuda es de tipo netamente visual, ya que permite que el texto sea desplegado en la totalidad de la pantalla, conservando los elementos esenciales del software, facilitando así la lectura del contenido textual.

- **Estructura de la presentación.** Existen diversos tipos de estructura de información para software multimedia que definen la forma como se navega la presentación. Algunos de estos son: Jerárquicas, lineal, lineal con opciones, combinación lineal-jerárquica y tipo Web. La diferencia entre cada una de estas está en la manera como están distribuidos los enlaces dentro de las

páginas. El software toma la estructura tipo lineal con opciones que le dan características similares a una distribución de tipo Web.

1.3 DISEÑO COMUNICATIVO DEL SOFTWARE

Considerando la necesidad que exista una comunicación entre el usuario y el programa que favorezca los procesos de enseñanza y aprendizaje, es para ello importante analizar la terminología y particularidades del área de enseñanza y aprendizaje que cubre el material de instrucción, así como también debe tenerse en cuenta la edad y otras características de la población.

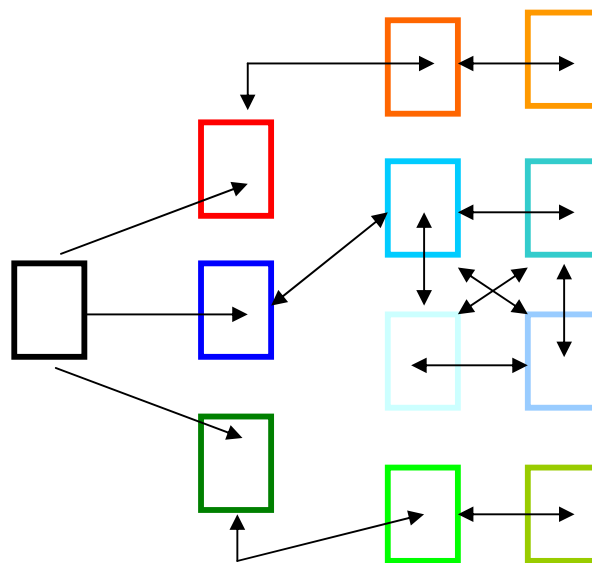


Figura 2. Estructura particular del software

La zona de comunicación en que se realiza la interacción entre el usuario y el programa se denomina interfaz. En el enfoque del software, se tendrá en cuenta los siguientes elementos:

1.3.1 Dispositivos.

- * **Dispositivos de entrada.** Mouse y teclado
- * **Dispositivos de salida.** La pantalla y la impresora.

1.3.2 Interfaz. Mecanismos para intercambiar información entre el alumno y la máquina.

* **Interfaz de entrada.** Los mecanismos empleados para entrar información serán:

- **Teclado,** para introducir las distintas variables necesarias en el diseño de los sistemas dentro de la subaplicación de calculo, para su inherente calculo. el nombre del tema deseado para consulta en el motor de búsqueda.

- **Mouse,** ya que por medio de él, el usuario ejecutará las acciones propias de desplazar el texto, seleccionar subtemas, mover barras de desplazamiento, activar los botones, seleccionar y activar los distintos elementos audiovisuales.

* **Interfaz de salida.** Los mecanismos utilizados como respuesta de salida serán:

- **Gráficos:** Propios de aquellos temas en los cuales se optó por efectuar un diagrama alusivo al tema o se muestra el comportamiento de variables.

- **Fotografías:** Es el soporte del tema o definición en cuestión. Tendrá la opción de ser ampliada en toda la pantalla, mediante la activación de la lupa.

- **Textos:** Es el soporte básico del diseño del software, toda la información esta basada en textos y mensajes escritos sobre fotografías que dan una explicación a que pertenece

- **Animaciones:** Propios de las máquinas, son estos el medio mas dinámico de ilustración del ensamble de los principales elementos constructivos y de sus principios de funcionamiento.

- **Videos:** Son estos una extensión de las fotos ya que permiten una mayor visualización de un determinado tema u objeto real, además opción de incluir sonido.

2. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

Para desarrollar éste software fue necesario crear un Storyboard, que no es más que la presentación organizada de información a través de secuencias de forma análoga a una película, este método es propio de la aplicación Macromedia Flash.

Macromedia Flash, es un herramienta de desarrollo informático de amplia difusión originalmente diseñada para el desarrollo de contenido multimedia, interactivo, dinámico, distribuido, gráfico, basado en hipertexto, con plataforma de enlaces cruzados, que se ejecutan en Internet .

La idea en la que se basa el hipertexto es que en lugar de leer un texto siguiendo una estructura preestablecida y lineal (como un libro), es posible pasar de un punto a otro fácilmente, obtener más información, regresar al primer punto, salta hacia otros temas y avanzar por el texto según los intereses que tenga en determinado momento.

El hipertexto para presentar información se utiliza en los sistemas de ayuda en línea proporcionados por la Ayuda (Help) de Microsoft Windows, AnswerBook, de Sun Microsystems o HiperCard de Macintosh. Para obtener más información sobre un tema específico, sólo se hace clic en él. Aparecerá una pantalla (u otra ventana, un cuadro de diálogo o lo que tenga definido el programa) con más información.

Una de las mayores razones por las que se empleó Flash, es su capacidad para presentar en pantalla texto y gráficos a todo color dentro de la misma

ventana, de una forma mas estilizada y libre que los diseños propios del desarrollo de paginas Web tradicionales. Antes del advenimiento de las nuevas tendencias de diseño grafico para Internet, el uso del mismo, comprendía simples conexiones basadas sólo en texto y para navegar por sus varios servicios se debían utilizar interfaces basadas en caracteres y herramientas arcaicas.

Los nuevos métodos proporcionan capacidad de gráficos, sonido y video para ser incorporados al texto y su interfaz es fácilmente navegable, sólo se salta de un vínculo a otro, de página en página, a lo largo de diferentes temas y subtemas.

Si se tiene acceso a Internet, puede acceder a World Wide Web. No importa que computadora tenga o que sistema operativo emplee, si se piensa que Windows se ve mejor que Linux o viceversa. El servicio World Wide Web no está limitado a un tipo particular de máquina.

La información ocupa una considerable cantidad de espacio, en este caso en particular cuando comprende capacidades de multimedia como videos, fotografías, tablas y animación. Para almacenar toda la información necesitaría incluyendo las líneas de código a partir de las cuales se genero la aplicación se requeriría un gran espacio disponible de disco duro y siendo esto ultimo innecesario para el usuario final. Por esto y para evitar en parte que el contenido del software sea alterado inescrupulosamente. El contenido final del CD tendrá el programa debidamente compilado. Dejando el código en un CD aparte para el uso a discreción del profesor según este considere necesario actualizarlo.

El diseño de tipo multimedia es interactivo por naturaleza: el hecho de seleccionar un vínculo y activar un video es una forma de interacción. Sin embargo, además de ésta sencilla interacción, el software permite diseñar pantallas que semejen formularios, los usuarios que consulten éstas pantallas pueden hacer su selección a partir de múltiples opciones (botones de ayuda), rellenar espacios en blanco con información o seleccionar un botón para realizar una operación determinada.

La estructura del software, es un conjunto de documentos con estructura parcial o carente de ella, en donde lo que mantiene las vincula entre si y a las diferentes páginas de la presentación es un botón o un texto seleccionable (hipervínculo).

El usuario pasa de un documento a otro siguiendo los vínculos establecidos.

La estructura tipo Web por lo general tienden a ser de flotación libre y permiten que el usuario transite sin rumbo fijo por todo el contenido

Este capítulo presenta la estructura lógica del software, haciendo evidente su cometido de ofrecer un ambiente agradable y sencillo para aprender lo deseado y de servir de entorno para el cumplimiento de las demás funciones requeridas.

2.1 FUNCIONES DE APOYO PARA EL USUARIO.

Entre las funciones del software diseñado que sirve como apoyo a la labor de los usuarios se tienen:

- Control del ritmo de aprendizaje, pues ofrece un menú a través de íconos fácilmente manejables que una vez activado con el puntero ofrece despliegue total, sobre los demás temas con la opción de seleccionar lo que se desee nada más. Esto permite abordar los temas de forma secuencial, o libre.
- Presentación de hipertextos con ambientes fotográficos y gráficos, que hace posible afianzar un concepto de manera más fácil.
- Transforma la relación profesor-alumno, donde éste último, interioriza el proceso de aprendizaje convirtiéndose en un educando responsable, crítico y disciplinado; donde él sea el protagonista de sus propias capacidades y libertades individuales.

2.2 DESCRIPCIÓN DE PANTALLAS Y MÓDULOS.

A continuación podrá encontrar capturas de las pantallas principales del software y los elementos constitutivos que lo conforman.

2.2.1 Presentación Inicial.



Figura 3. Presentación inicial

Es la pantalla inicial del software, en la que se da la presentación de este. Característica por tener fondo de textura aparentemente líquida; con el objeto de referenciar desde un comienzo el contenido informático del software en relación a los fluidos, además de contrastar con el color blanco de la sigla S.T.A.F. nombre del software en referencia a la asignatura “Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos” y así captar la atención del usuario.

El ingreso al programa se da de forma automática pasado determinado tiempo (3 seg.) o si el usuario lo desea, una vez este presione la tecla enter o dos veces el botón principal del ratón.

2.2.2 Pantalla de selección inicial.



Figura 4. Pantalla de selección inicial

Es la pantalla a la cual el usuario tiene acceso cada vez que ingrese al software, a través de la pantalla de inicio y en la que tiene la oportunidad de seleccionar uno de los tres posibles principales elementos constitutivos de un sistema de transporte y aprovechamiento de fluidos.

Dicha pantalla presenta tres botones debidamente ilustrados y etiquetados y su objetivo es que a través de ellos el usuario ingrese al tema inicial de interés del software, cada uno de estos tres botones es un vínculo a su respectivo módulo de contenido multimedia.

Los módulos no son más que la división principal a partir de la cual se clasifica el contenido, el módulo de bombas comprende todo lo que tiene que ver con el transporte y aprovechamiento de líquidos, el módulo de compresores lo que compete al transporte y aprovechamiento de gases a alta

presión y por ultimo el modulo de ventiladores con el transporte y aprovechamiento de gases a baja presión.

2.2.3 Pantalla de selección secundaria.

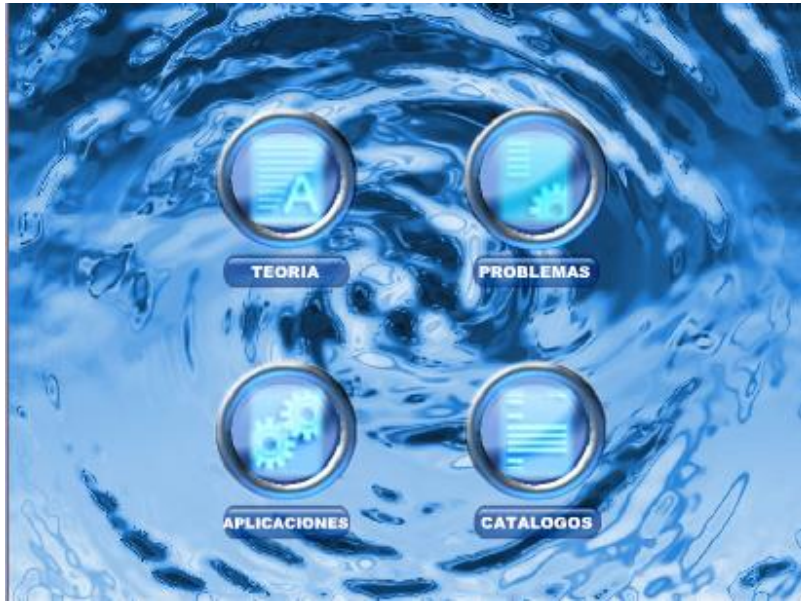


Figura 5. Pantalla de selección secundaria

Es una pantalla visualmente común a los tres módulos que le permite al usuario seleccionar de manera inicial al entrar al software el tipo de contenido al que quiere acceder para su estudio, se hallan definidos por cuatro submódulos que son:

Teoría: Donde encontramos el contenido de la materia organizado tal y como se encuentra en el programa de la escuela, con información de tipo general en el mayor parte de los casos, sobre cada tópico a desarrollar. El contenido se ha complementado con enlaces directos a paginas de Internet y con documentos en formato .pdf a los que se puede acceder de manera inmediata. Tanto en las paginas enlazadas como en los documentos se halla información

referente al tema siendo usual encontrar el mismo tema abordado por otro autor o subtemas referentes al tema principal y que se añaden para aumentar el interés del estudiante y/o su bagaje sobre el tema.

No se ha deseado que en el desarrollo de este contenido que este sea extensivo sobre la materia, sino como un documento de fácil acceso para el estudiante que le permita el estudio y le presente una visión lo mas amplia posible sobre el contenido de la materia para complementar la labor docente del profesor.

Problemas: En este submódulo el estudiante encontrará tanto ejemplos como problemas para su solución. No todos los temas, dada su naturaleza, han sido incluidos en este contenido.

Aplicaciones: Para complementar el contenido de la materia con el desarrollo practico e informático se han desarrollado tres aplicaciones de calculo para cada uno de los principales tipos de maquinaria que se tratan en la materia, bombas, compresores y ventiladores. Estas aplicaciones son ampliamente explicadas tanto en uso como en funcionamiento en la **ayuda** del software pues se desea que el estudiante pueda acceder por completo a este tipo de información, funcionamiento, y genere su propio sentir hacia el desarrollo de aplicaciones de este tipo.

Como complemento de este contenido se han adicionado instaladores y programas encontrados en Internet de carácter demo o shareware.

Catálogos: En este submódulo se han agrupado una serie de catálogos en formato pdf y paginas de Internet de gran interés ya sea por su contenido

técnico o teórico, como handbooks y cursos sobre los diferentes temas tratados. Se intenta con esto un acercamiento al trabajo de campo del ingeniero a los sistemas de transporte y aprovechamiento de fluidos.

2.2.4 Pantalla de trabajo.



Figura 6. Pantalla de trabajo

Pantalla principal del software en la cual siempre estará contenida la información del tema específico que el usuario consulte, entendiéndose bombas, compresores y ventiladores.

Los elementos constitutivos de esta pantalla son comunes para todos los módulos y submódulos. Estos son:

- menú de pantalla de trabajo
- área de trabajo (AT)
- menú de navegación

- menú utilidades multimedia
- menú utilidades de ventana.

El contenido de esta última es lo único que varía entre los cuatro submódulos de cada módulo.

Menú de la pantalla de trabajo: Contiene los cuatro submódulos en que se ha dividido el contenido de la materia, cada uno de estos submódulos relacionado con el sistema escogido previamente en el menú de pantalla de selección principal (Fig. 4) es decir bombas, compresores o ventiladores. Este menú varía el contenido del área de trabajo.

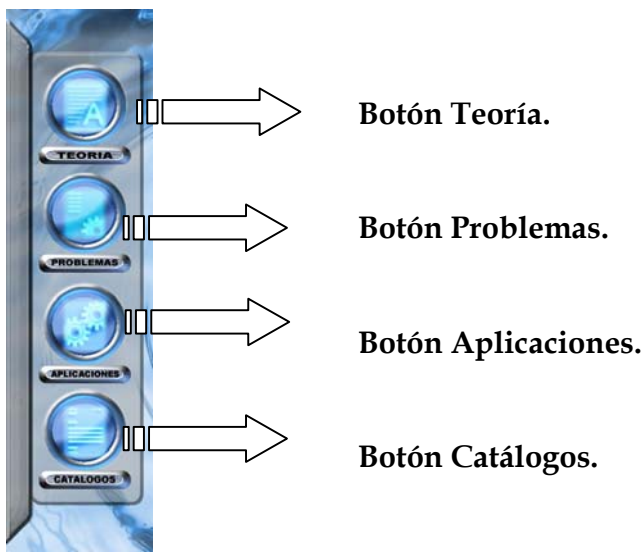


Figura 7. Menú de la pantalla de trabajo

2.2.5 Área de Trabajo (AT). El área de trabajo es el elemento constitutivo principal del software ya que en este se despliega todo el contenido teórico, los subprogramas de cálculo, los listados de elementos multimedia y los catálogos; es por esto que el AT se puede ampliar mediante uno de los botones del menú utilidades de ventana para que ocupe la mayor cantidad

posible de la pantalla del computador, facilitando así la lectura de los subtemas, la visualización de graficas y la interacción en general.

- **Configuración tamaño normal.** En esta configuración el aspecto del AT es el mismo que se observa en la pantalla de trabajo donde el usuario puede navegar a través del contenido del AT empleando los botones del menú de navegación y las barras de desplazamiento (ver figura 6).
- **Configuración pantalla completa.** En esta configuración permite que el texto ocupe la mayor cantidad posible de la pantalla del computador, facilitando así la lectura de los subtemas, la visualización de graficas y la interacción en general. Los elementos visuales (menús) cambian reduciendo su presentación considerablemente, conservando los elementos esenciales del software, facilitando así la lectura del contenido textual (ver figura 8).

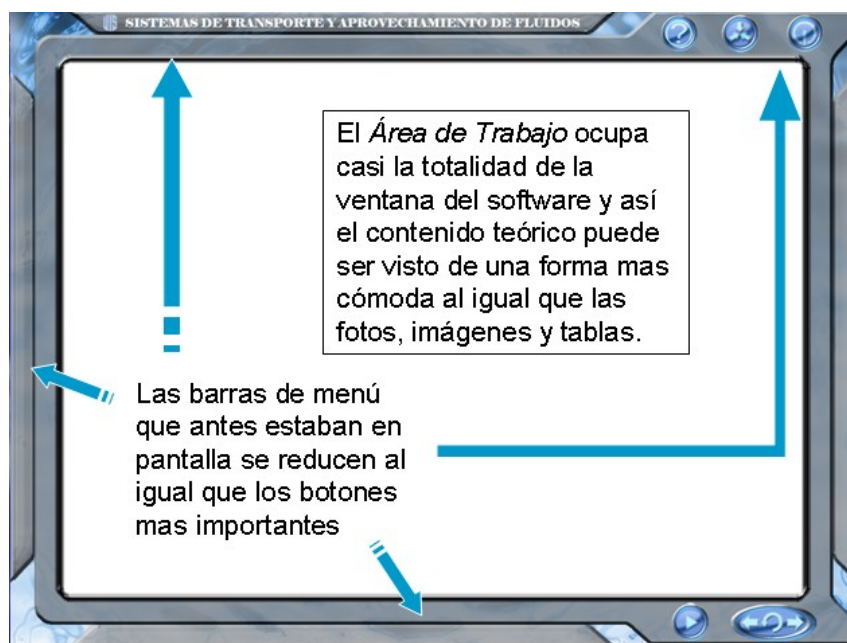


Figura 8. AT en modo pantalla completa.

Figura 9. AT dentro del submódulo “Problemas”. El diseño no cambia con respecto al diseño del submódulo de teoría, lo que caracteriza el AT de este submódulo es su contenido, conformado por ejercicios resueltos acompañados de graficas y dibujos explicativos del mismo.

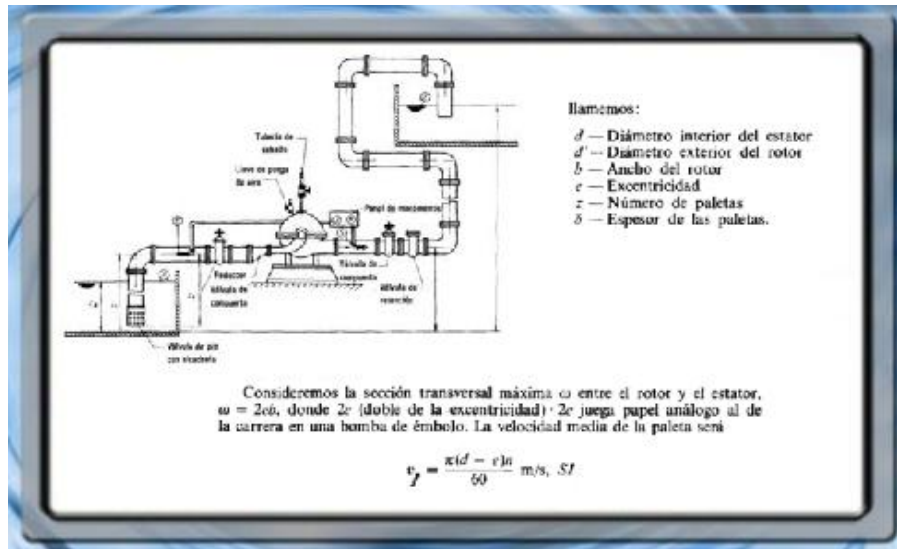


Figura 9. AT submódulo Problemas.

2.2.6 AT dentro del submódulo “Aplicaciones”. Diseñado con un estructura de pestañas, donde cada pestaña corresponde a una parte específica de los cálculos. Al seleccionar una pestaña, se puede observar en su interior una serie de casillas y menús desplegables que a modo de plantilla sirven para definir o seleccionar características de diseño a partir de las cuales y basados en los cálculos de diseño se obtendrán los resultados requeridos.



Figura 10. AT submódulo Aplicaciones.

Una vez los datos necesarios son introducidos y/o definidos dentro de la plantilla los resultados se pueden observar en dentro de las mismas pestañas o en pestañas adicionales, ya sea en una presentación tabulada o gracias al trazado de un grafico.

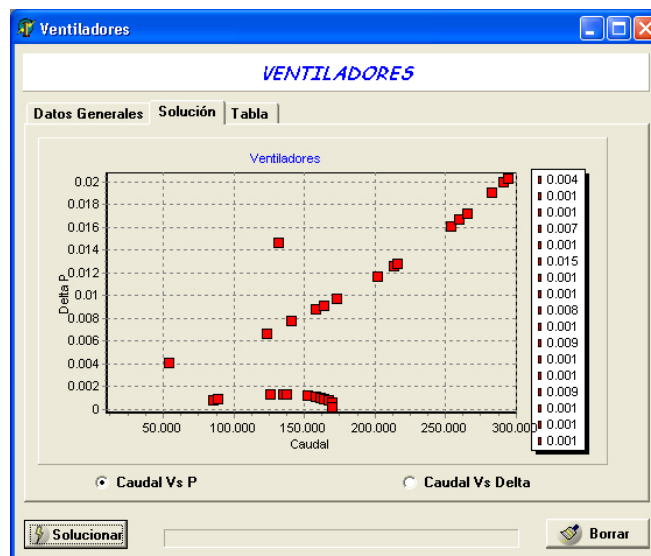


Figura 11. AT Presentación de resultados.

2.2.7 AT dentro del Submódulo Catálogos. El ultimo de los submódulos cuenta con una recopilación de catálogos de maquinaria y accesorios de distintos fabricantes, para consulta del usuario. Los catálogos se encuentran en su mayoría en formato pdf, este formato es propio de la compañía Adobe y se puede visualizar mediante el software de libre distribución Adobe Acrobat reader que se encuentra incluido dentro de este CD. Para ver el contenido de uno de los catálogos este deberá ser accionado dos veces mediante el puntero.



Figura 12. Ventana submódulo catálogos.

Menú de navegación: Ubicado en la parte baja y a la derecha de la pantalla en ambos modos del área de trabajo, permite al estudiante la navegación secuencial a través de los subtemas dentro de la pantalla de trabajo o a niveles superiores de contenido.



Figura 13. Menú de navegación

Esta compuesto por:

Flecha izquierda. Atrás. Muestra la pagina correspondiente al subtema inmediatamente anterior.

Flecha central. Regreso. Regresa al listado de subtemas respondientes al modulo temático en el que se encuentre, o a la pantalla de selección inicial en su defecto.

Flecha derecha. Adelante. Muestra la pagina correspondiente al subtema inmediatamente posterior.

Menú utilidades multimedia



Figura 14. Menú utilidades multimedia

Botón Animaciones Actuales. Pulsando sobre este botón se desea que en el contenido del AT muestre los videos del tema en el que se encuentre.

Botón Galería de Animaciones. Pulsando sobre este botón logra que el contenido del AT muestre la biblioteca completa de videos en orden por temas.

Menú utilidades de ventana



Figura 15. Menú utilidades de ventana

Botón Ayuda. Pulsando sobre este botón se activa una ventana de ayuda similar a la que se encuentra en la mayoría de los programas de computador, en la cual se encuentra una guía detallada del software además del motor de búsqueda de contenidos.

Botón Pantalla Completa. Pulsando sobre este botón obtiene que el texto sea desplegado en el modo de pantalla completa, conservando los elementos esenciales del software, facilitando así la lectura del contenido textual.

Botón Salida. El pulsar este botón cierra el software terminando con el uso del mismo, no sin antes preguntarle al usuario si realmente esto es lo que desea por medio de una pequeña ventana emergente.

2.2.8 Ventana de la aplicación Ayuda. Es el sitio que permite al usuario la búsqueda en forma rápida de algún tema simplemente digitando el nombre del mismo.

Tan sólo con digitar el nombre del tema deseado y con hacer doble clic en el botón de buscar se hace efectiva dicha herramienta. En la parte superior de las indicaciones constantemente aparece el nombre de búsqueda, y un fondo característico que lo distingue de las demás pantallas, permitiéndole al usuario una perfecta orientación.

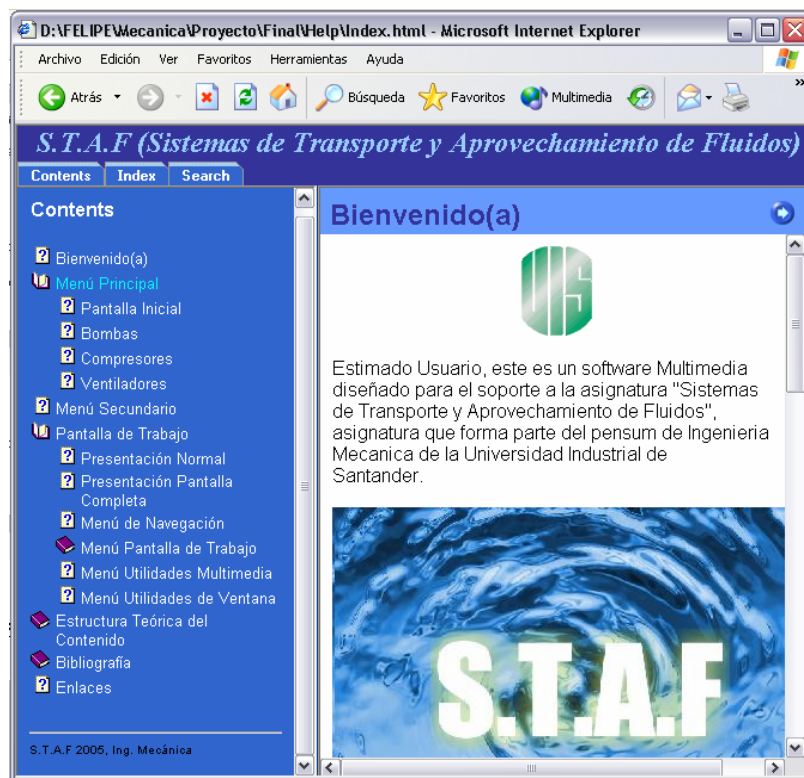


Figura 16. Ventana de la aplicación ayuda.

2.3 CONTENIDOS TEMÁTICO DE LOS MÓDULOS.

La asignatura sistemas de transporte y aprovechamiento de fluidos tiene un contenido teórico definido, gran parte del cual se encuentra incluido en el contenido temático de este software. Como el software esta inicialmente dividido en tres módulos: Bombas, Compresores y Ventiladores; los temas se

dividieron según su correspondencia con cada uno de los módulos, como se describe a continuación . Algunos de los temas son comunes a mas de un modulo por lo cual se repiten, aunque con el enfoque correspondiente al respectivo modulo.

2.3.1 Contenidos temático del módulo Bombas. En este modulo se encuentran los siguientes temas:

- Caracterización de los fluidos (líquidos)
- Instalaciones hidráulicas.
- Bombas rotodinámicas.

2.3.2 Contenidos temático del módulo Compresores. En este modulo se encuentran los siguientes temas:

- Caracterización de los fluidos (gases)
- Instalaciones neumáticas.
- Compresión de gas.
- Transporte de gas natural.
- Producción y distribución de aire comprimido

2.3.3 Contenidos temático del módulo Ventiladores. En este modulo se encuentran los siguientes temas:

- Caracterización de los fluidos (aire atmosférico)
- Sistemas de ventilación.

2.4 DISEÑO DE LAS APLICACIONES DEL SOFTWARE .

2.4.1 Algoritmo y códigos de programación de la aplicación de bombas.

El desarrollo de esta herramienta software se realizó bajo programación orientada a objetos (POO), para esto fue necesario utilizar herramientas de programación que soportaran este paradigma como es el caso de Delphi 6.0, el cual integrado con una base de datos transaccional como es el caso de Internase 6.0, forman un potente conjunto de herramientas que permiten llevar a cabo el desarrollo de proyectos de este tipo.

Necesidades del software para el cálculo de bombas.

Las necesidades a suplir con el desarrollo de la aplicación fueron determinadas por las prestaciones que esperaban de esta, así pues se determino que fuesen:

Prestaciones del software

Simulación virtual de un sistema de transporte en serie-paralelo con un bomba que debía incluir los tipos mas comunes de válvulas, tuberías y sus accesorios.

Esta simulación se debió desarrollar con un mímico tanto computacional como grafico, este ultimo como guía para el usuario del sistema en la realidad. El mímico computacional corresponde al desarrollo de la programación para la creación virtual de la tubería y es la lógica que usa la aplicación para la abstracción del sistema al modelo matemático de solución (se explica en un tópico mas adelante).

Simulación virtual de la bomba que consiste en el modelo parabólico que comúnmente se usa en la literatura con tres puntos de la curva de la bomba, también se ha adicionado la opción de insertar un polinomio de hasta grado seis para describir la curva de la bomba.

Después de los cálculos necesarios la aplicación entrega al usuario las curvas de Cabeza Vs. Caudal del sistema y de la bomba;

Se ha incluido también el cálculo del punto de corte de ambos sistemas y que representa el punto de funcionamiento de la red con la bomba modelada.

Estas simulaciones, tanto la del sistema como la de la bomba se han creado para el análisis gráfico de ambos y en especial como un ejemplo didáctico del entendimiento de la ingeniería para este tipo de sistemas que es redundante en los sistemas de cálculo computacional general de los sistemas de transporte.

El software fue pensado para la emulación de un sistema de transporte de fluido con ciertas limitaciones como:

- Una sola bomba.
- Válvulas y accesorios de K fija.
- Sistema estático de bombeo, no se calculan estado transcientes.
- No se permite el diseño de loops o lazos en los que la red vuelve a alimentarse a sí misma, solo sistemas lineales serie-paralelo.
- La aplicación solo es capaz de simular estados estables donde el único caudal que entra al sistema es el de la bomba, es decir, si un sistema tiene un tramo de tubería con suficiente carga estática como para

bombear hacia otro tramo de tubería, la aplicación no tendrá en cuenta este punto e iterará con el caudal de la bomba hasta que se de la condición de flujo positivo en todos los tramos.

A continuación se explicará brevemente el desarrollo del algoritmo de calculo, haciendo énfasis en los tópicos concernientes a la abstracción de la teoría de la materia a la programación.

Desarrollo de la programación para la creación virtual de la tubería.

El software cuenta con un módulo de diseño de tubería que permite definir las características básicas de la tubería a solucionar.

Se ha desarrollado el software para que el usuario pueda simular una tubería ramificada, partiendo de un tramo raíz, conectado a la bomba, y del cual se desprenderán tantos tramos como sean necesarios, pudiendo servir estos a su vez de tramos **padre** o raíz para otros tramos en paralelo.

A los tramos que no tengan bifurcación alguna se les ha llamado **tramos finales** y representan los puntos de salida del liquido bombeado, como tales, se debe conocer sobre ellos su presión estática al final, que no es mas que la altura del punto final del tramo con respecto a la posición de la bomba y es un dato importante para la solución del sistema.

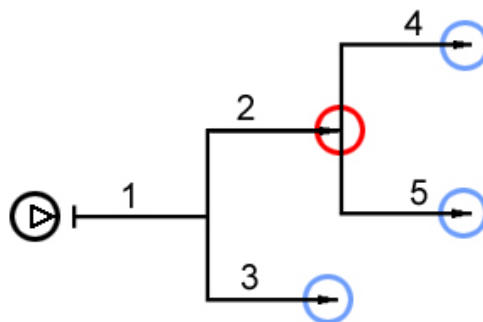


Figura 17. Esquema Tramo Raíz

En la figura se observa el tramo raíz o padre principal con numero 1, el tramo 2 sirve como raíz de los tramos 4 y 5, estos junto con el 3 son tramos terminales y deben tener una presión estática debido a la altura en que liberan el liquido del sistema. El usuario debe tener cuidado para esta altura en los casos en que el tramo descargue dentro de un tanque debido a la definición de presión estática.

En general podemos concebir una tubería como un tramo raíz (Sin tramo padre) en el que se conecta la brida de descarga de la bomba, del cual se pueden desprender dos o mas tramos hijos, de los cuales a la vez se desprenden mas tramos hijos y así sucesivamente.

Esta estructura se representa computacionalmente como un árbol que no es binario desde el punto de vista que un tramo puede tener más de dos hijos, hecho que hace el diseño de las rutinas que manejan la tubería aún más complejo. En síntesis podemos decir que la tubería computacionalmente esta representada mediante un vector de 100 casillas de tipo **TTramo** que almacenan los datos básicos de cada tramo, como es el caso de su longitud, su tipo de material, el diámetro, la presión final a la salida del tramo en caso que

este no tenga tramos hijos (tramo final), así como cada uno de los accesorios con que pueda contar el tramo entre otros.

Solución de la tubería para la generación de la curva del sistema.

Introducción.

Se debe recordar que se busca crear la grafica del sistema de presión versus presión, es así que tanto en un proceso manual como computacional se usa un método iterativo de una de estas variables para encontrar la otra. Así se ha dispuesto que se hallará para cada caudal posible su presión, dando como resultado que el caudal siempre será la variable conocida e iterable para hallar la presión.

El algoritmo esta basado en un proceso lógico de solución que a su vez se basa en la interpretación de la tubería.

En la figura 18 se muestra la simplificación de un sistema como un conjunto de etapas, las cuales están formadas por un tramo raíz, del cual se bifurcan otros tramos, uno de estos es llamado tramo solución pues a partir de este se solucionará la etapa, el otro o los otros son considerados tramos hermanos de este tramo solución.

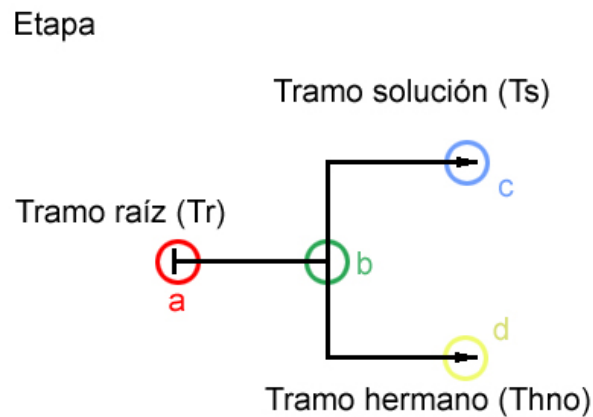


Figura 18. Diagrama de una etapa

El tramo de b a c ha sido llamado tramo solución y debe ser un tramo terminal, es decir, con una carga estática conocida por diseño.

Un sistema puede estar constituido por una etapa o mas, en cuyo caso las otras se consideran bifurcaciones de la etapa principal y así sucesivamente.

En la figura 19 se observa un sistema sencillo que puede ser interpretado como una etapa principal formada por los tramos 1, 2 y 3 y una etapa bifurcada formada por 2, 4 y 5, se observa también que los tramos 3, 4 y 5 son tramos terminales pues se supone que el agua es descargada al final de estos así que poseen una presión estática o presión al final del tramo H_{s_i} determinada por el diseño del sistema hidráulico.

Sistema

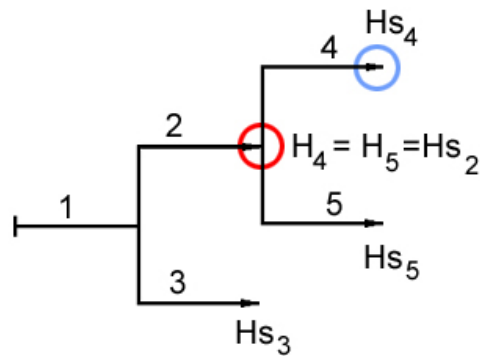


Figura 19. Sistema Sencillo

Proceso de solución.

1. **Encontrar un tramo solución:** Una vez se tiene el diseño, se busca el tramo terminal mas lejano y con mayor carga o presión estática, se ha llamado a este **Tramo Solución** y va a ser el tramo guía del sistema, esto se hace buscando que se comience el proceso con el tramo cuyo caudal sea el menor de todos los tramos terminales. Este sistema es un método lógico necesario para ayudar a la aplicación a hacer una elección para empezar a solucionar. En la figura que se muestra abajo, por ejemplo se podría suponer el tramo 4 como el tramo solución.

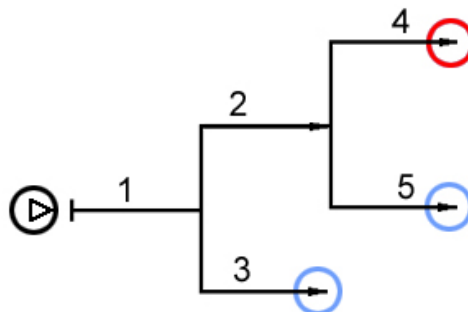


Figura 20. Tramo Terminal seleccionado

En la figura se observan los tramos terminales, de los cuales se escoge para el ejemplo el tramo 4.

Se observa el tramo solución, este tiene una carga estática conocida al final de su longitud y es Hs_4

2. Aplicar restricción de caudal al tramo solución: A este tramo se le aplica una restricción para el caudal mínimo con el cual las ecuaciones son aplicables. Esta restricción se basa las ecuaciones basadas en el diagrama de Moody y restringen en numero de Reynolds a un valor entre 3000 y 3×10^8 y restringe al caudal con un mínimo de:

$$Q \geq \frac{3000 \times D}{4\pi}$$

El software no hace pruebas con el límite mayor pues se considera que en las aplicaciones normales este no se alcanza.

3. Hallar las pérdidas de presión en el tramo solución: Se hallan las pérdidas que se generan por el paso de este caudal mínimo a través de la tubería, este cálculo se realiza con la ecuación de Swamee y Jain que representa el diagrama de Moody.

$$h_f = 1.07 \frac{Q^2 L}{gD^5} \left\{ \ln \left[\frac{e}{3.7D} + 4.62 \left(\frac{vD}{Q} \right)^{0.9} \right] \right\}^{-2} \quad \text{Donde:}$$

h_f = Pérdidas en el tramo.

Q = Caudal que se supone pasa por el tramo.

D = Diámetro de la tubería.

ν = Viscosidad cinemática del fluido.

e = Rugosidad de la tubería.

L = Longitud total del tramo, esta longitud incluye las longitudes equivalentes de los accesorios que pueda tener el tramo, es decir

$$L = L_{\text{tubería}} + \Sigma L_{\text{equivalente de los accesorios.}}$$

$$\Sigma L_{\text{equivalente}} = D/f \Sigma K$$

Donde:

f = Factor de fricción del diagrama de Moody

D = Diámetro de la tubería

ΣK = La sumatoria de los coeficientes de pérdida de los accesorios del tramo.

El factor de fricción puede ser modelado con la ecuación de Colebrook para zona completamente turbulenta que es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \ln\left(\frac{e}{3.7D}\right)$$

Reemplazando en la definición de la longitud equivalente:

$$L_e = 0.7396 \cdot D \left(\ln \frac{e}{3.7D} \right)^2 \cdot \Sigma K$$

4. Determinar las presiones asociadas al tramo solución: Al conocer la presión al final de la tubería y la caída de presión es posible entonces conocer

la presión inicial de este tramo, para el ejemplo, la presión inicial del tramo 4, que llamaremos H_4 .

Se demuestra esto con la ecuación:

$$H_i = H_{s_i} + h_l$$

Donde H_i = Presión inicial del tramo.

H_{s_i} = Presión final del tramo.

h_l = Caída de presión en el tramo.

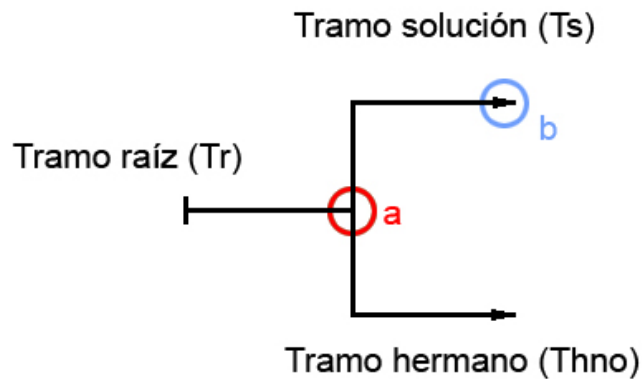


Figura 21. Extremos de un tramo

Para la figura la ecuación representa la caída de presión entre el punto a y el b del tramo solución, donde la presión en a o inicial es igual a la presión en b o final, mas la caída de presión del fluido en su paso del punto a al b.

5. Relacionar la presión inicial del tramo solución con sus tramos asociados: Esta presión inicial del tramo es igual para todos los tramos hermanos y a su vez igual a la presión final del tramo raíz de este que ha dado la solución, tal y como se explica en la figura.

Sistema

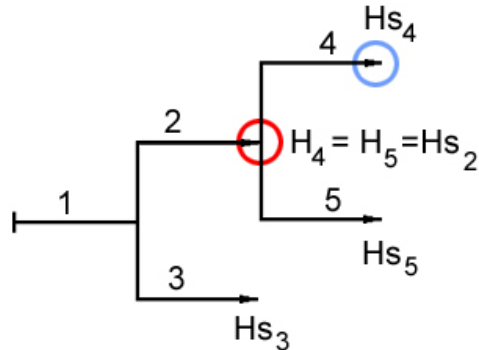


Figura 22. Equilibrio de presiones

6. Hallar la presión al inicio de los tramos hermanos del tramo solución:

Este calculo se ha programado de manera iterativa y consiste en repetir los puntos 1 al 7 (todo el proceso) de manera parcial, se dice que de manera parcial puesto que el nuevo tramo solución que se hallará será diferente al escogido cuando se busco a partir del tramo inicial del sistema y este proceso esta encaminado a encontrar la presión al inicio del tramo solución principal que ha llamado la recursividad.

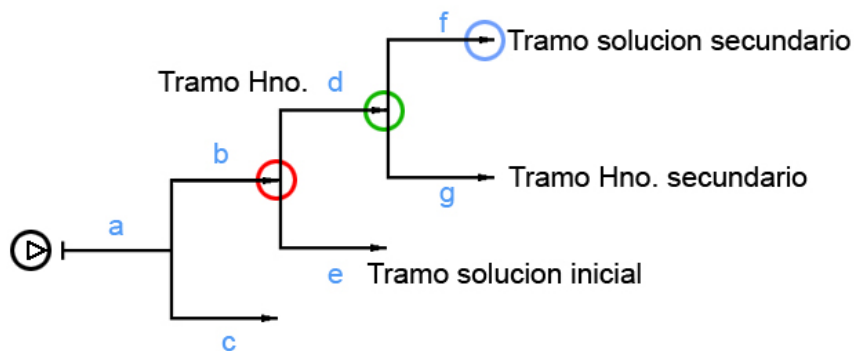


Figura 23. Sistema Asimétrico

Con esta grafica se intenta ilustrar el caso en que el tramo solución en que se este trabajando (e) tenga un tramo hermano (d) que no sea tramo terminal, se

deberá entonces buscar entre los tramos hijos de este (f y g) un tramo solución secundario, en caso de no hallarlo, se debe seguir subiendo en las etapas. A cada tramo solución hallado se le debe aplicar el proceso descrito.

Para el caso del ejemplo este tramo solución es el mismo tramo hermano pues es un tramo final y no es raíz de otros tramos haciendo entonces se apliquen los puntos 1 al 4 a este él mismo, se nota aquí una recursividad del proceso que es aprovechada en la programación.

Es en el punto 5 donde al relacionar las presiones del tramo 5 con el tramo 4 vemos que el tramo 4 ya tiene definida una presión de inicio que provocó la búsqueda de la presión de inicio del tramo 5 así que se deben comparar estas presiones para establecer su igualdad.

De no ser iguales se procede a iterar con el tramo solución parcial aumentándolo un delta y volviendo a calcular la presión inicial. Se continúa iterando hasta que se dé la igualdad necesaria.

Este método iterativo para solucionar un tramo final ha sido programado por eficiencia computacional, sin embargo el calculo de la caída de presión de los tramos hermanos el cual necesario para hallar el caudal que pasa por estos se podría realizar a partir de las ecuaciones de Swamee y Jain para el caudal.

$$Q = -0.965 \left(\frac{gD^5 h_l}{L} \right)^{0.95} \operatorname{Ln} \left[\frac{e}{3.7D} + \left(\frac{3.17v^2 L}{gD^3 h_l} \right)^{0.5} \right] \text{ donde:}$$

h_l = Perdidas en el tramo.

Q = Caudal que se supone pasa por el tramo.

D = Diámetro de la tubería.

ν = Viscosidad cinemática del fluido.

e = Rugosidad de la tubería.

L = Longitud total del tramo, esta longitud incluye las longitudes equivalentes de los accesorios que pueda tener el tramo, es decir

$$L = L_{\text{tubería}} + \sum L_{\text{equivalente de los accesorios.}}$$

7. Hallar el caudal del tramo raíz de la etapa a la que pertenece el tramo

solución: Una vez se ha dado la igualdad entre las presiones del tramo solución inicial y la presión inicial de sus tramos hermanos se puede hallar el caudal del tramo raíz dado que por la ley de conservación de la masa se tiene que:

$$Q_{\text{raíz}} = \sum Q_{\text{hijos}}$$

Para el ejemplo de la figura entonces $Q_2 = Q_4 + Q_5$

Para el ejemplo, ahora que se cuenta con el caudal del tramo raíz numero 2 y su presión final se observa que esta etapa esta ahora resuelta y se puede tomar al tramo 2 como un tipo de tramo final y a su vez tramo solución, pues al se resuelto a partir del tramo solución principal, contiene la solución de este dentro de él.

Si se vuelve a aplicar el proceso con las soluciones ya establecidas se termina por resolver el caudal y la presión inicial del tramo 1 los cuales a su vez son el caudal y la presión del sistema.

Nótese que este proceso termina con el cálculo del caudal y la presión del tramo conectado directamente a la bomba y es un cálculo puntual. Esto significa que al momento de llegar a este tramo raíz del sistema hidráulico se ha resuelto un punto de la curva del sistema, para obtener la curva del sistema en el rango de caudal de la bomba se debe solucionar incrementando el caudal del tramo solución principal o total un delta del caudal que en el caso de aplicación desarrollada es un valor porcentual del caudal máximo de la bomba, siendo entonces el rango de caudales para las soluciones validas aquellas que sean mayores que el menor caudal de la bomba, normalmente 0, y aquellas menores al mayor caudal de esta. Nótese además que el incremento del caudal para la obtención de los puntos del sistema se da en el caudal del tramo solución y este incremento a su vez variará las condiciones de presión y de caudal del tramo inicial del sistema, creando así la curva del sistema.

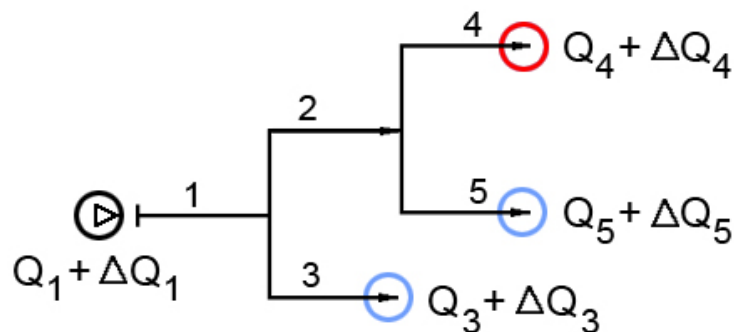


Figura 24. Incidencia de la variación de caudal

En la figura se observa como un aumento de caudal en el tramo 4 induce un aumento en los otros tramos y la sumatoria de estos aumentos produce el aumento del caudal del tramo raíz del sistema o tramo 1, se hace notar que el aumento inicial induce un aumento mayor en el caudal del sistema y proporcional a las características de este.

Puede darse el caso de la figura donde el caudal mínimo del tramo solución halla sido muy alto y esto obligue al tramo raíz del sistema a comenzar con un caudal obviamente visiblemente mayor, pues para que se dé ese caudal en los otros tramos finales debe estar saliendo un caudal inversamente proporcional a la resistencia del sistema antes de ellos. Recuerde que el sistema esta ligado a la conservación de la masa y se cumple que la sumatoria de los caudales de los tramos finales son igual al caudal del tramo inicial del sistema y desde el principio del proceso *se ha obligado a que el caudal que sale de los tramos terminales sea positivo.*

Análisis de la bomba.

Para complementar el análisis de los sistemas hidráulicos de transporte es necesario, además de conocer la curva del sistema, comparar esta curva con la curva de una bomba real para así encontrar el punto de funcionamiento del sistema con una bomba determinada. Para esto hay dos formas:

1. Calculo de la curva de la bomba basado en el modelo cuadrático: Este método es ampliamente aplicado en la literatura y consiste en la teorización de la curva de la bomba como un polinomio de segundo grado así:

$$H = aQ^2 + bQ + c$$

Donde:

H = Cabeza de la bomba

Q = Caudal de la bomba

a, b y c = constantes del polinomio dependientes de cada bomba.

Para este modelo es necesario que el usuario introduzca tres puntos representativos de la curva real de la bomba, estos son: Caudal cero-Cabeza

correspondiente, Caudal máximo-Cabeza correspondiente y Caudal-Cabeza nominal.

Introduciendo estos puntos en la ecuación nos permite la solución simultánea de la ecuación particular de la bomba, es decir, determinar el valor de a, b y c.

Para la aplicación desarrollada este método está disponible para el usuario por defecto y le es obligatorio introducir los tres puntos de la bomba pues los dos puntos Caudal cero-Cabeza correspondiente y Caudal máximo-Cabeza correspondiente son usados por la aplicación para establecer el rango de cálculo de la curva del sistema y el delta de caudal apropiado para el cálculo de la curva del sistema.

2. Cálculo de la curva de la bomba con polinomio introducido por el usuario: Para la mayor parte de las bombas encontradas en catálogos el modelamiento de la curva en forma cuadrática puede llegar a estar muy alejado de la curva real, para esto se ha permitido que el usuario ingrese las constantes de un polinomio hasta el grado seis y así obtener una curva más precisa, ya sea que el polinomio haya sido dado por el fabricante u obtenido por medio de otra aplicación, como Microsoft Excel, a través de la gráfica.

Este polinomio puede ser de un grado menor a seis pues es posible dar valor de cero a los coeficientes de los exponentes mayores. Al obligar al usuario a introducir los puntos Caudal cero-Cabeza correspondiente y Caudal máximo-Cabeza correspondiente, este rango también se hace el rango del polinomio y será calculado con los mismos incrementos de caudal que el sistema haya generado en su tramo raíz para

facilitar el cálculo de el punto de intersección entre el sistema y los dos modelos de las bombas, el cuadrático y el polinómico.

3. Cálculo del punto de intersección: Para el cálculo de la intersección primero se ha solucionado el sistema en el rango de caudal de la bomba, esto ha producido una lista de caudales a los que corresponde una cabeza para el sistema y es esta lista de caudales la que es calculada con el modelo cuadrático y el modelo polinómico para hallar la curva de ambos modelos. Esto es necesario pues conocer las tres curvas en los mismos puntos facilita la comparación necesaria para hallar el punto de intersección entre el sistema y los modelos de la bomba.

Al verse la gráfica se observa que el comportamiento de las curvas, la curva de la bomba puede representar tanto al modelo cuadrático como al modelo polinómico, y se puede notar como después de la intersección los valores relativos de la cabeza del sistema y de la bomba se invierten, pasa de una cabeza siempre mayor en la bomba para los mismos caudales, a una cabeza mayor para el sistema después del punto de intersección.

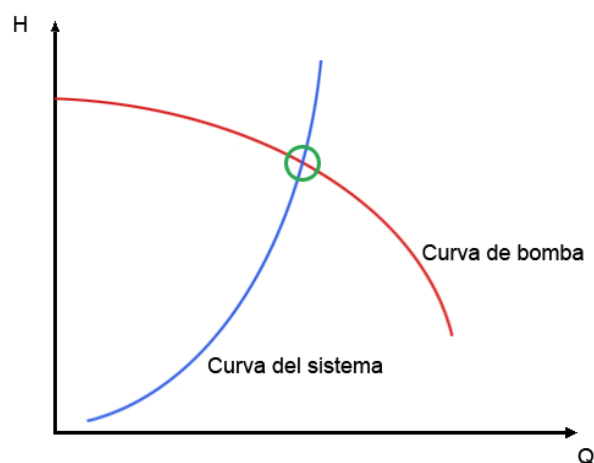


Figura 25. Curvas de Presión vs. Caudal

En la figura se aprecia las tendencias típicas de las curvas de la bomba y del sistema. Con un simple sensor de este cambio la aplicación es capaz de hallar el ultimo punto donde la bomba tiene mayor cabeza y el primer punto donde tiene una menor cabeza, con estos puntos, dos para cada curva, se calcula un promedio y se obtiene el punto de corte entre el sistema y cualquiera de las curvas de la bomba.

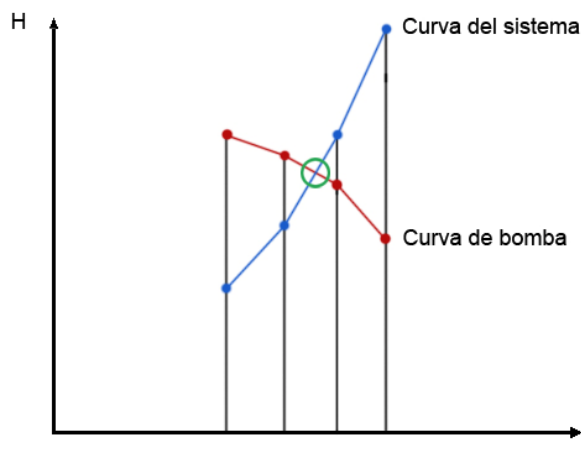


Figura 26. Determinación de la intersección de las curvas

Esquema de la intersección de las curvas en detalle, la intersección puede hallarse por relación de triángulos, planteando ecuaciones generales para ello.

Se observa en la figura los puntos que forman las curvas de la bomba y el sistema, todos calculados para los mismos caudales y se aprecia la diferencia entre los cuatro puntos que forman la intersección de las curvas.

Análogo computacional del proceso descrito.

A continuación se explica como se programó el algoritmo de solución ya explicado, para ello se ofrecen las definiciones de los términos

computacionales que describen las características de programación usadas en el desarrollo de la aplicación.

Paradigma: Es una palabra muy importante en todo lo referente a la programación, ya que indica la forma como se hacen los procesos en general. Por esto se habla del paradigma procedural, donde los programas se estructuran como un conjunto de procedimientos que al combinarse permiten crear un programa con unas características especiales. También se habla del paradigma orientado a objetos, que permite estructurar los programas por medio de la interacción de objetos que tienen definidas unas características y funciones especiales. Por lo anterior podemos decir que un paradigma es la forma de ver y hacer las cosas.

Programación orientada a objetos (POO): Es un paradigma de programación que permite construir programas teniendo como base múltiples componentes independientes y diferentes llamados objetos. Cada uno con una función específica en el programa y que pueden comunicarse con todos los demás de manera predefinida.

Clase: Es una plantilla para múltiples objetos con características similares. Las clases incluyen todas las características y funciones de un conjunto de objetos en particular. Como ejemplo podemos pensar en la Clase Tree, que define las características de todos los árboles (tienen hojas, raíces, crecen, crean clorofila, etc.), la clase Tree sirve como modelo abstracto para el concepto de un árbol.

Objeto ó instancia: Objeto o instancia es la representación concreta y específica de una clase. La clase Tree contiene la definición de las características de un árbol, pero el árbol en sí con el que podemos interactuar directamente es a lo que llamamos objeto o instancia.

Vector o arreglo: Un vector es un medio para almacenar colecciones de elementos en una sola unidad. Un arreglo tiene un cierto número de

posiciones, cada una de ellas puede contener un elemento individual como por ejemplo una característica de la tubería, como el diámetro.

Método: Como se mencionó anteriormente una clase es una plantilla que modela los atributos y el comportamiento de un conjunto de objetos. Por tanto los métodos describen el comportamiento de un objeto y son un conjunto de instrucciones que definen la reacción de dicho objeto para un caso específico. En el paradigma de la POO los métodos se catalogan con diferentes tipos de protecciones como son: públicos, privados, protegidos.

La protección pública significa que el método puede ser solicitado por cualquier otro método que este dentro o fuera de la clase a la que pertenece el método protegido. La protección privada significa que el método puede ser accedido únicamente por métodos de la misma clase. La protección protegida significa que el método puede ser accedido por los métodos de la misma clase y los de las subclases de esta (Subclases son las clases hijas de una superclase).

Desarrollo.

El código mostrado a continuación es el procedimiento computacional central mas importante, pues es el que permite resolver la tubería diseñada basado en el proceso explicado. Este procedimiento es un método público de la clase `TSolucionTuberia`, que es un formulario del proyecto (interfaz de usuario).

En este procedimiento se crean un conjunto de instancias de clases locales al método como es el caso de `vGestorSolucion` (instancia de `TGestorSolucion`), `vGestorDiseno` (instancia de `TGestorDiseño`), `vTramosolucion` (instancia de `TTramo`), que ofrecen una serie de métodos necesarios para poder resolver la tubería diseñada con anterioridad.

La solución general y presentación de resultados, consiste en resolver la tubería diseñada una cierta cantidad de veces, pasando al método que resuelve la tubería un caudal mínimo de inicio, tomado del rango de caudales que se pueden dar en una bomba.

Pasos para la solución:

1. Buscar el tramo inicial de solución, que consiste en encontrar el tramo más lejano al tramo raíz y que tenga la máxima presión final [Hs].
2. Se calcula el caudal mínimo para este tramo que cumpla con $Q = (3000 * v * \pi * D)/4$.
3. Para cada uno de la cantidad de puntos de la bomba que se quieran resolver, se llama al método `Ejecutar_Solucionar_tuberia` de la clase `TGestorSolución`, a este método se le pasan como parámetros el tramo inicial desde donde se quiere resolver la tubería, que para efectos de solucionar la tubería completa debe ser el tramo raíz o tramo 0 de la estructura de datos mencionada anteriormente, También se pasa un delta de caudal, un porcentaje de error soportado entre los tramos hermanos y un caudal desde el que se va a iniciar la solución del tramo inicial encontrado en el primer paso. El objetivo fundamental es, para cada uno de los caudales pasados como parámetros, encontrar la presión inicial correspondiente del tramo raíz, y finalmente mostrar el gráfico del comportamiento de la tubería y la bomba.

A continuación se muestra el diagrama de flujo básico de los pasos anteriormente descritos

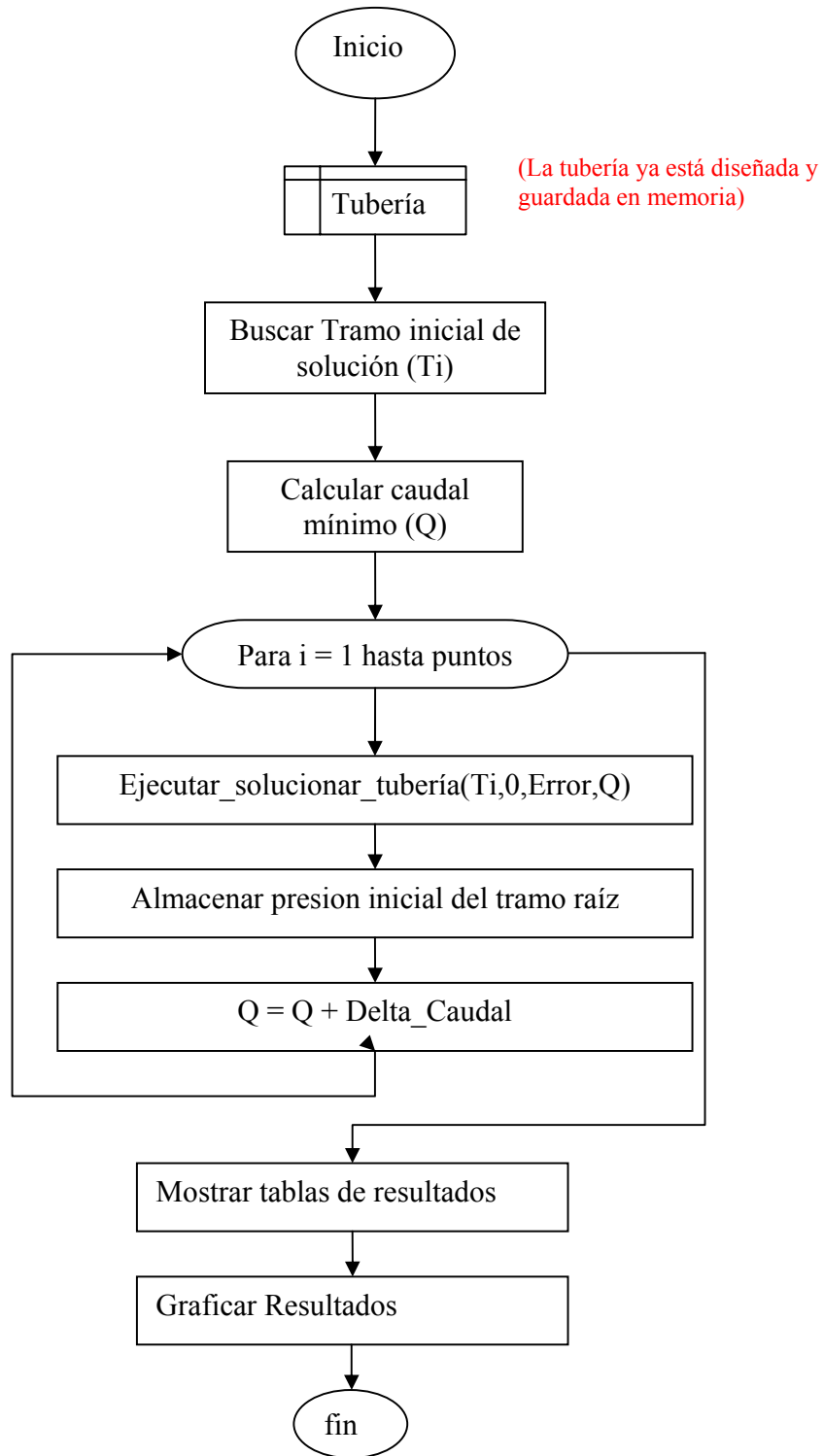


Figura 27. Diagrama de flujo básico análisis de Tuberías

A continuación se presenta el código fuente del método solucionar tubería descrito anteriormente:

```
procedure TSolucionTuberia.SolucionarTuberia;
var
  vGestorSolucion: TGestorSolucion;
  vGestorDiseno: TGestorDiseno;
  vTramoSolucion: TTramo;
  vCaudalMinimo,vPresionInicio:double;
  indice: integer;
begin
  vGestorSolucion:= TGestorSolucion.crear; //Creación de la instancia de
  clase vGestorSolucion
  vGestorDiseno:= TGestorDiseno.crear; //Creación de la instancia de clase
  vGestorDiseno

  //Búsqueda del tramo de solución de toda la tubería, por esto se pasa el
  tramo 0 o raíz como parámetro
  vTramoSolucion:= vGestorSolucion.BuscarTramoSolucion(0);
  //Cálculo del caudal mínimo de solución para el tramo solución hallado en
  el paso anterior
  vCaudalMinimo:=
  vGestorSolucion.Calcular_caudal_Inicio(vTramoSolucion);
  MessageDlg('El tramo inicial de solucion es: '+
  FloatToStr(vCaudalMinimo),mtConfirmation,[mbOk],0);
  Grafica.Series[0].Clear;

  pbProgreso.Min:= 0;
  pbProgreso.Max:= Bomba.get_puntos;
  pbProgreso.Visible:= true;

  // iteración desde 1 hasta la cantidad de puntos a calcular
  for indice:= 1 to Bomba.get_puntos do
  begin
    pbProgreso.Position:= indice;
```

```

vGestorDiseno.EjecutarReset; // Limpieza de los cálculos anteriores
realizados sobre la tubería
    // Solución de la tubería
vGestorSolucion.Ejecutar_Solucionar_tuberia(0,0,DatosGenerales.get_Porcent
aje,vCaudalMinimo);
    vPresionInicio:= Tuberia.get_tramo(0).get_presion_inicio;
    // Almacenamiento de la presión de inicio del tramo raíz, calculado al
solucionar la tubería
    Grafica.Series[0].AddXY(vCaudalMinimo,vPresionInicio);
    // Calculo del próximo caudal mínimo con el que se va a solucionar la
tubería
    vCaudalMinimo:= vCaudalMinimo + Bomba.get_delta_caudal;
end;

// El terminar el ciclo iterativo, el objeto Gráfica automáticamente realiza la
respectiva gráfica de los
// puntos almacenados en ella.
pbProgreso.Position:= pbProgreso.Min;
pbProgreso.Visible:= false;

vGestorDiseno.destruir;
vGestorSolucion.destruir;

end;

```

El método principal llamado en el procedimiento Solucionar_Tubería descrito anteriormente es Ejecutar_Solucionar_Tubería, que recibe como parámetros el tramo base, que es el tramo desde donde se va a iniciar la solución de la tubería, el delta de caudal, el Porcentaje de error que se soportará al realizar la comparación entre presiones iniciales de tramos hermanos, y el caudal que se tomará como base para la solución de la tubería desde el tramo solución pasado a este método como parámetro.

Es importante hacer notar en este punto que la solución de la tubería se puede dar de forma total o parcial. Una solución de forma total consiste en

resolver la tubería pasando como tramo base el tramo raíz, solución para la cual se obtendrá la presión inicial del tramo raíz para el caudal pasado como parámetro.

Una solución parcial consiste en llamar al método `Ejecutar_Solucionar_tubería` pasando como tramo base un tramo diferente al raíz, con lo cual se obtendrá la presión inicial del tramo base pasado como parámetro.

Pasos para solucionar una tubería:

1. Buscar el tramo solución, partiendo del tramo base pasado como parámetro. El tramo solución es el tramo más lejano descendiente del tramo base y que tiene la máxima presión de salida.
2. Mientras la presión inicial del tramo base sea < 0 entonces, calculamos el caudal de solución para el tramo solución hallado en el paso anterior
3. Con los datos obtenidos anteriormente calculamos la presión inicial para el tramo solución hallado.
4. Si el tramo solución hallado es diferente del tramo base pasado como parámetro, entonces: buscamos los hermanos del tramo solución al cual se le acabó de hallar la presión inicial.
5. Para cada uno de los hermanos encontrados, calculamos su presión inicial, para lo cual es necesario llevar a cabo cada uno de los pasos mencionados en este aparte. Esta presión inicial hallado se compara con la presión

inicial hallada del tramo solución, teniendo en cuenta una tolerancia de error definida y pasada con anterioridad. En caso que la comparación no sea satisfactoria, se vuelve a realizar el cálculo de la presión inicial del mismo tramo hermano en cuestión, pero con un caudal inicial de solución aumentado por un delta de caudal definido con anterioridad. Este paso se realiza hasta que se cumpla la condición de comparación para cada uno de los tramos hermanos hallados.

6. de esta forma tenemos la presión inicial del tramo solución y de sus hermanos, que al mismo tiempo es la presión final del padre del tramo solución. El nuevo tramo solución pasa a ser el nuevo tramo padre en cuestión, y se vuelven a repetir los pasos desde el punto 2 hasta el actual.

Es importante centrar la atención en el punto 5 del apartado inmediatamente anterior, pues en este punto se hace uso de la recursividad, que consiste en el autollamado de un método dentro del cuerpo del mismo, para este caso, el método recursivo es el método `Ejecutar_Solución_Tuberia`, ya que al hallarse la presión inicial del tramo solución, seguidamente se deben hallar las presiones iniciales de los tramos hermanos, para lo cual se requiere una solución parcial de la tubería pasando como tramo base cada uno de los tramos hermanos del tramo solución actual.

A continuación mostramos el diagrama de flujo del método `Ejecutar_Solucion_Tuberia`:

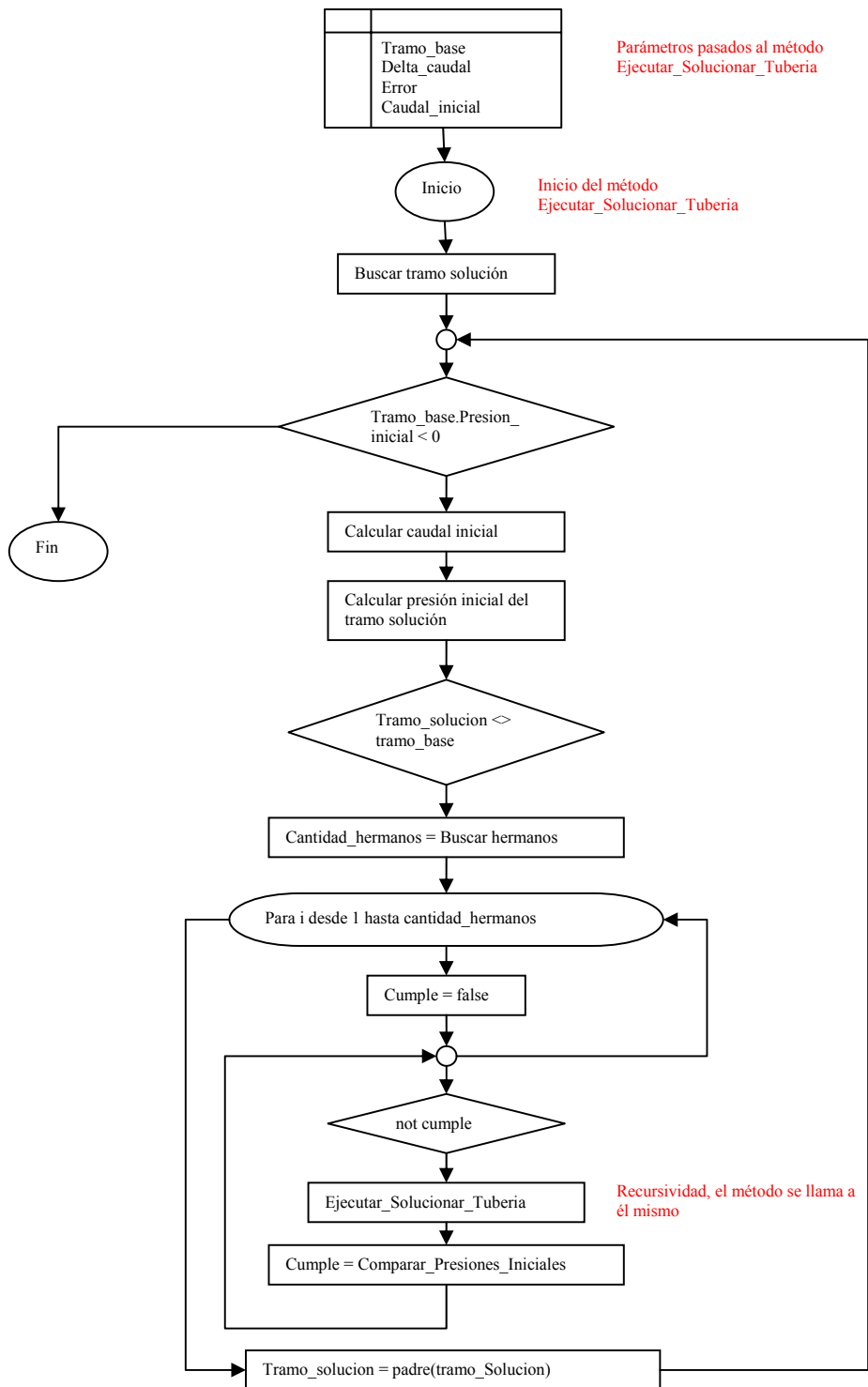


Figura 28. Digrama de Flujo Ejecutar_Solucion_Tuberia

A continuación se presenta el código fuente del método Ejecutar_Solucionar_Tubería descrito anteriormente:

```
function TGestorSolucion.Ejecutar_Solucionar_tuberia(
    pIndiceTramoInicial: integer; pDeltaCaudal, pError, pcaudalInicial: double):
Boolean;
var
    vHermanos: array [0..49]of TTramo;
    vCantHermanos,i,j: integer;
    vtramoSolucion,vtramoInicial: TTramo;
    vResultado,vCumple: boolean;
    vPresionFinal: double;
    viteraciones,vIndice: integer;
begin

    vResultado:= true;
    vtramoInicial:= Tuberia.get_tramo(pIndiceTramoInicial);
    //Búsqueda del tramo solución de la tubería
    vtramoSolucion:= BuscarTramoSolucion(pIndiceTramoInicial);
    viteraciones:= 0;

    // Ciclo repetitivo que controla la solución de la tubería, esta termina
cuando la presión inicial del
    // tramo base o tramo inicial es >= 0
    while(vtramoInicial.get_presion_inicio < 0)and(vResultado) do
    begin
        viteraciones:= viteraciones + 1;

        // Cálculo del caudal con el cual se hallará la presión inicial del tramo
solución
        if (viteraciones = 1) then
        begin
            if (pcaudalInicial < 0) then
                Calcular_Caudal_Minimo(vtramoSolucion,pDeltaCaudal)
            else
                vtramoSolucion.set_caudal(pcaudalInicial);
        end
        else
            Calcular_Caudal_Minimo(vtramoSolucion,pDeltaCaudal);
```

```

// Cálculo de la presión inicial del tramo solución
Calcular_Presion_Inicial(vtramoSolucion);

if(vtramoSolucion <> vtramoInicial) then
begin
// Conteo de la cantidad de hermanos del tramo Solución
vCantHermanos:=
Tuberia.BuscarHermanos(vtramoSolucion,vHermanos);
i:= 0;

for vIndice := 0 to vCantHermanos - 1 do
begin
vHermanos[i].set_presion_inicio(-1);
if vHermanos[i].get_hijos then
vHermanos[i].set_presion_fin(-1);
end;

//Ciclo que controla la solución parcial de la tubería pasando como
tramo base cada uno de los
// Tramos hermanos
while (i < vCantHermanos) do
begin
vCumple:= false;
j:= 0;
while(not vCumple)and (vResultado) do
begin
// Recursividad. Llamado por medio del método a el mismo, para
lograr la solución parcial
// de cada uno de los hermanos del tramo solución actual
if (Ejecutar_Solucionar_tuberia(vHermanos[i].get_indice,
j*DatosGenerales.get_deltaCaudal, pError,-1))then
begin
// comparación de las presiones para ver si cumple con el % de
error especificado
vcumple:=
Comparar_presion_Inicial(vtramoSolucion.get_presion_inicio,vHermanos[i].
get_presion_inicio);
if (not vCumple) then
begin
vHermanos[i].set_presion_inicio(-1);
j:= j + 1;

```

```

        end;
    end
    else
        vResultado:= false;
    end;
    if vCumple then
    begin
        i:= i + 1;
    end
    else
    begin
        i:= vCantHermanos;
        vResultado:= false;
    end;
    end; // fin del while de la i que recorre los hermanos
end; // fin de la comparación del tramo Solucion con el tramo Inicial
if (vResultado) and (vtramoSolucion.get_padre >= 0 )then
begin
    vPresionFinal:=
RoundTo(vtramoSolucion.get_presion_inicio,DatosGenerales.get_precision *
-1);
    vtramoSolucion:= Tuberia.get_tramo(vtramoSolucion.get_Padre);

vtramoSolucion.set_presion_fin(RoundTo(vPresionFinal,DatosGenerales.get_
precision * -1));
    end;
    end;
    Result:= vResultado;
end;

denuevo

```

2.4.2 Algoritmo y códigos de programación de la aplicación de compresores.

Para el diseño y desarrollo del software de Compresores, del cual hablaremos a continuación, se tuvo en cuenta la POO. Las clases principales para el desarrollo del software son: TCompresor, TConversion, TGestorSolucion.

Necesidades del software para el calculo de compresores.

Se estimo que dada la complejidad de los sistemas de transmisión de fluidos comprimidos es mas adecuado para el contenido de la materia sistemas de transporte y aprovechamiento de fluidos una aplicación que le permitiese al estudiante relacionarse con las variables físicas de los compresores centrífugos y la manera aproximada en que esto influye en el desempeño que debe esperar de esta turbomáquina térmica.

Se ha estimado para cumplir con este propósito la aplicación debe ser capaz de calcular la curva aproximada de un compresor centrifugo con algunos datos básicos dados por el estudiante. Estos son:

DImpulsor: Diámetro del impulsor.

Zs: Factor de compresibilidad a la succión.

Zd: Factor de compresibilidad a la descarga.

Mw: masa molar del gas.

Ts: Temperatura en la succión.

Ps: presión a la succión.

K: Relación de calores específicos.

N: Revoluciones por minuto del compresor.

Dada la naturaleza didáctica de la aplicación se ha dado la opción al usuario de estimar por si mismo u omitir la variable N , velocidad de rotación del compresor, pues dada las características de esta maquinaria su velocidad de rotación mas adecuada y eficiente esta regida por las otras variables, así que se ha dado la oportunidad al usuario de omitirla para que así la aplicación encuentre la velocidad teórica mas adecuada para las características del compresor, así el usuario podría “experimentar” como afecta el cambio de esta variable en la curva del sistema.

Las limitaciones de la aplicación son.

- No permite una descripción mas adecuada del impulsor, como sus ángulos de entrada y salida, así como dimensión de sus alabes para acercar su desempeño calculado a la realidad.
- No permite la descripción adecuada del comportamiento del fluido a la compresión, como por ejemplo anexar una ecuación que describa la variación del factor de compresibilidad del gas o de su relación de calores específicos.
- Permite el calculo aproximado de compresores industriales de 14 a 60 pulgadas de diámetro.
- La base de datos que usa la aplicación tiene información de compresores centrífugos con alabes de inclinación inversa, si se pretende hacer una aproximación de un compresor con otro tipo de alabes los resultados pueden presentar gran diferencia con la realidad.
- No se tiene en cuenta el control de oscilaciones para el calculo de la curva, es decir, es posible que no sea posible el funcionamiento del compresor en todo el rango de caudal calculado por la aplicación.

- La aplicación iterará con la relación de compresión que se podrían llegar a dar en un compresor de aplicaciones normales, estos valores son un mínimo de 1.2 a un máximo de 3 veces la presión a la succión.

Algoritmo para el calculo del compresor.

El objetivo del algoritmo de cálculo que se presenta a continuación es crear la curva de cabeza politrópica vs. Caudal a condiciones de succión de un compresor centrifugo descrito, a través del calculo de un numero determinado de puntos de esta curva.

Para ello se itera con la relación de compresión que se estima el compresor es capaz de ser utilizado, desde un mínimo de 1.2 a un máximo de 3, para cada punto de la curva la variable relación de compresión es conocida debiéndose calcular la cabeza politrópica y el caudal para cada iteración.

Caso 1.

Solución cuando el usuario ha introducido la velocidad de rotación del impulsor.

1. Calculo de cabeza politrópica: Se empieza por utilizar la ecuación:

$$H_{prom} = \left(\frac{Z_s + Z_d}{2} \right) \cdot \left(\frac{1545}{M_w} \right) \cdot T_s \cdot \left[\frac{Rc^{(k-1)/k} - 1}{(k-1)/k} \right]$$

Donde:

Zs = Factor de compresibilidad del gas a la succión del compresor.

Zd = Factor de compresibilidad del gas a la descarga del compresor.

Mw = Masa molar del gas comprimido.

Ts = Temperatura del gas a la succión del compresor.

Rc = Relación de compresión del gas.

k = Relación promedio de calores específicos del gas en el proceso de compresión.

Todas las variables son conocidas e introducidas por el usuario a excepción de la relación de compresión que como ya se dijo es iterable y se comienza por un valor de 1,2.

2. Calculo del coeficiente de carga μ : Con la carga politrópica que se ha calculado se procede a calcular el coeficiente de carga con la ecuación:

$$\mu = \frac{H \cdot g}{U^2}$$

Donde

μ = Coeficiente de carga.

H = Carga politrópica.

g = Constante gravitacional.

U = Velocidad tangencial de la punta del impulsor = $N \cdot D / 229$.

N = Velocidad de rotación en rpm

D = Diámetro del impulsor en pulg.

La constante 1/229 es necesaria para la consistencia de unidades y puede ser cambiada a conveniencia.

3. Calculo del coeficiente de flujo ϕ : El coeficiente de carga de un compresor centrifugo esta relacionado con el coeficiente de flujo, siendo

esta relación el puente para relacionar la carga politrópica de un compresor con su caudal es necesaria una ecuación que una ambos coeficientes, esta es:

$$\Phi = -32478.74934768670 \cdot \mu^6 + 93831.91308490930 \cdot \mu^5 - 112776.27932935100 \cdot \mu^4 + 72176.32830208110 \cdot \mu^3 - 25941.62415606620 \cdot \mu^2 + 4964.69477592250 \cdot \mu - 395.20084174383$$

Donde el radio del polinomio es:

$$R^2 = 0.99950698649$$

Esta ecuación polinómica fue obtenida de la grafica mostrada abajo y solo tiene validez física en el rango 0.42 a 0.56 del coeficiente de carga μ . Se observa también la gran precisión por su radio aproximado a 1.

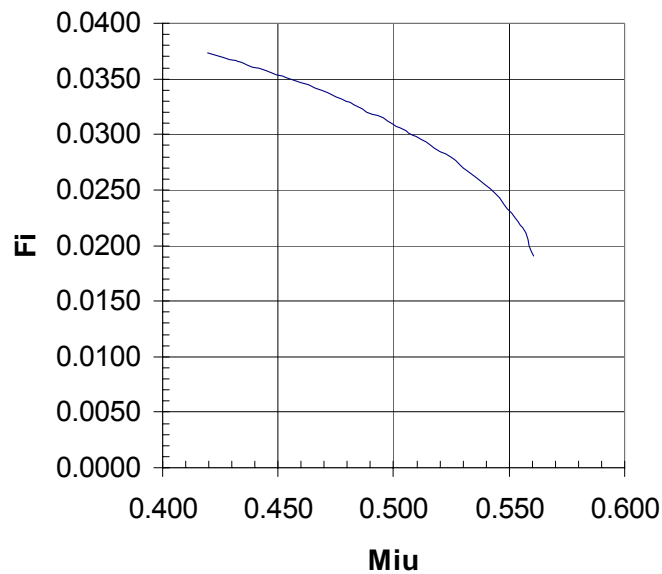


Figura 29. Relación de coeficientes para un compresor

4. Calculo del caudal: Con el coeficiente de flujo ϕ es posible hallar el caudal asociado a la carga politrópica, el diámetro del impulsor y la velocidad de rotación del compresor con la ecuación:

$$Q = \frac{\phi ND^3}{700}$$

Donde:

Q = Caudal o flujo en pies cúbicos por minuto.

N = velocidad de rotación del impulsor en rpm.

D = Diámetro del impulsor en pies.

Estas unidades se han dado para justificar en este caso la constante 1/700 que multiplica a las variables, esta ecuación puede ser transformada para justificar cualquier sistema de medidas.

Una vez terminado este proceso se tiene el punto de la grafica correspondiente a la relación de compresión escogida, esta se puede aumentar un delta para volver a realizar el proceso y obtener sucesivamente los puntos de la curva Cabeza politrópica vs. Caudal.

Dado que es mas común que el diseño de un sistema de transporte de gas comprimido sea determinado por la presión a la salida del compresor, la aplicación genera también la curva presión a la salida del compresor vs. Caudal muy sencilla de programar pues la presión a la salida es la presión a la succión multiplicada por la relación de compresión con que se ha calculado el caudal.

Caso 2.

Solución cuando el usuario no ha introducido la velocidad de rotación del impulsor.

1. Calculo de cabeza politrópica promedio: Cuando el usuario no ha introducido la velocidad de rotación del impulsor, ha hecho de U (velocidad tangencial de la punta del impulsor) una variable desconocida haciendo a su vez desconocido el coeficiente de carga y el caudal.

Para llegar a calcular esta velocidad, que no puede ser variable, debemos hallar una cabeza politrópica promedio que represente la cabeza politrópica del compresor a una velocidad y relación de compresión situada en un punto de la curva cercano la máxima eficiencia politrópica del compresor:

Esto se logra calculando la cabeza politrópica con las relaciones de compresión en las condiciones mínima y máxima del coeficiente de carga, es decir, la relación de compresión inicial con valor de 1.2 y la relación de compresión final de 3.

Se usa entonces para la cabeza politrópica inicial:

$$H_{ini} = \left(\frac{Z_s + Z_d}{2} \right) \cdot \left(\frac{1545}{M_w} \right) \cdot T_s \cdot \left[\frac{Rc_{ini}^{(k-1)/k} - 1}{(k-1)/k} \right]$$

Y para la final:

$$H_{if} = \left(\frac{Z_s + Z_d}{2} \right) \cdot \left(\frac{1545}{M_w} \right) \cdot T_s \cdot \left[\frac{Rc_f^{(k-1)/k} - 1}{(k-1)/k} \right]$$

Donde:

Zs = Factor de compresibilidad del gas a la succión del compresor.

Zd = Factor de compresibilidad del gas a la descarga del compresor.

Mw = Masa molar del gas comprimido.

Ts = Temperatura del gas a la succión del compresor.

Rc = Relación de compresión del gas.

k = Relación promedio de calores específicos del gas en el proceso de compresión.

Con estas cabezas politrópicas podemos calcular un promedio entre ellas para hallar una cabeza politrópica promedio, **Hprom**, necesaria para hallar la velocidad tangencial del impulsor aproximada al punto de mayor eficiencia politrópica.

$$H_{prom} = (H_f - H_{ini})/2$$

2. Calculo del coeficiente de carga promedio: Como se hizo notar en el punto 1, no podemos calcular el coeficiente de carga sin conocer la velocidad tangencial del impulsor, así que se ha programado una base de datos basado en la siguiente tabla:

Diámetro del impulsor [pulgadas]	Coefficiente de carga promedio μ	Limites de flujo [pie³/min]
14 a 16	0.48	800 a 2000
17 a 19	0.49 a 0.50	1500 a 7000
21 a 22	0.50 a 0.51	4000 a 12000
24	0.51 a 0.52	6000 a 17000
32	0.51 a 0.52	8000 a 35000
42 a 45	0.53	35000 a 65000
54 a 60	0.54	65000 a 100000

Así, dependiendo del diámetro del impulsor podemos escoger un coeficiente de carga promedio, siendo posible calcular una velocidad tangencial del impulsor con un ligero ajuste de la ecuación del coeficiente de carga:

$$\mu_{prom} = H_{prom} \cdot g / U^2$$

$$U = \sqrt{H_{prom} \cdot g / \mu_{prom}}$$

Donde

μ = Coeficiente de carga.

H_{prom} = Carga politrópica promedio entre los puntos mas extremos que se pueden generar en la curva del compresor.

g = Constante gravitacional.

U = Velocidad tangencial de la punta del impulsor

Como se ve, es necesario el uso de un H_{prom} único para el calculo de la velocidad tangencial única del compresor, puesto que la curva que se quiere generar es a velocidad constante, es así como el coeficiente de carga promedio hallado con la tabla también es único y diferente a aquel que calculamos para cada punto de la curva.

3. Calculo de la Velocidad de rotación promedio: Con U se puede establecer también la velocidad de funcionamiento del compresor N [rpm]

$N = 229U/D$ = Velocidad de rotación en rpm

D = Diámetro del impulsor en pulg.

La constante 229 es necesaria para la consistencia de unidades y puede ser cambiada a conveniencia.

Como se ve, es necesario el uso de un Hprom único para el calculo de la velocidad tangencial única del compresor, puesto que la curva que se quiere generar es a velocidad constante, es así como el coeficiente de carga promedio hallado con la tabla también es único y diferente a aquel que calculamos para cada punto de la curva.

4. Calculo de la curva: De este punto en adelante se puede seguir la solución con los mismos pasos del caso 1, puesto que ya se tiene la velocidad de rotación del impulsor.

Dado que es mas común que el diseño de un sistema de transporte de gas comprimido sea determinado por la presión a la salida del compresor, la aplicación genera también la curva Presión a la salida del compresor vs. Caudal muy sencilla de programar pues la presión a la salida es la presión a la succión multiplicada por la relación de compresión con que se ha calculado el caudal.

Desarrollo computacional del proceso descrito.

A continuación describiremos los atributos y métodos de las clases Tcompresor y TgestorSolucion:

1. La clase TCompresor, contiene los atributos y métodos relacionados con el compresor. Entre sus atributos encontramos:

DImpulsor: Diámetro del impulsor.

Zs: Factor de compresibilidad a la succión.

Zd: Factor de compresibilidad a la descarga.

Mw: masa molar del gas.

Ts: Temperatura en la succión.

Ps: presión a la succión.

K: Relación de calores específicos.

N: Revoluciones por minuto del compresor.

Y otros datos que no son propios de un compresor real, pero que nos permiten realizar los cálculos de la forma como lo requiera el usuario, esos son:

ConN: Representa el tipo de solución para el compresor, con N conocido o desconocido

DeltaPresionDescarga: El valor en el cual se aumentará la presión de carga para cada pasada, esto tiene por objetivo aumentar la relación de compresión de cada punto a calcular.

Puntos: Cantidad de puntos a calcular y por ende a graficar

SistemaUnidades: Representa si la solución del compresor se entrega en sistema SI o Inglés.

No nombraremos cada uno de los métodos contenidos en esta clase, consideramos que es importante decir en este punto, que estos métodos permiten fijar un nuevo valor a un atributo de los anteriormente mencionados, u obtener el valor actual de estos atributos.

2. La clase TgestorSolucion, no contiene atributos, sólo contiene métodos que nos ayudaran a la solución de un compresor. Estos métodos son:

Métodos públicos:

- `Calcular_Hpromedio`: Permite calcular el valor de H promedio.
- `Calcular_UPromedio`: Permite calcular el valor de U promedio, pasando a este método valores como: H promedio calculado, Gravedad y una Carga promedio calculada.
- `Function CalcularCargaPromedio`: Permite calcular una carga promedio pasando a este método el valor del diámetro del compresor.
- `Function Calcular_Npromedio`: Permite calcular una cantidad promedio de velocidad del compresor, pasando a este método variables como: un U promedio calculado, el diámetro del compresor y el valor de la Gravedad.
- `Function Calcular_H(pRc:double)`: Permite calcular el valor de H, pasando a este método un valor de Rc.
- `Function Solucion_Con_N`: Este método es el mas importante de esta clase, ya que es el encargado de dar solución al problema planteado. Es necesario pasar a este método valores como: El diámetro del compresor, un valor para H, el valor de gravedad, la velocidad del compresor, un valor de U, un valor de carga y un valor Fi.

El objetivo de este software es permitir observar las gráficas correspondientes a Caudal Vs H y Caudal Vs Presión de descarga (pd), teniendo en cuenta que estos valores deben ser obtenidos para un rango de Rc entre 1.2 y 3, siempre y cuando cumpla con la condición de $0.42 < \mu < 0.56$.

En el software da la opción de realizar los cálculos teniendo en cuenta una velocidad específica del compresor, la cual será ingresada como dato de entrada para la solución, pero en caso de no ingresarse ese dato, el software

calcula una velocidad promedio del compresor y resuelve el ejercicio con este dato.

A continuación veremos el diagrama de flujo para la solución del compresor:

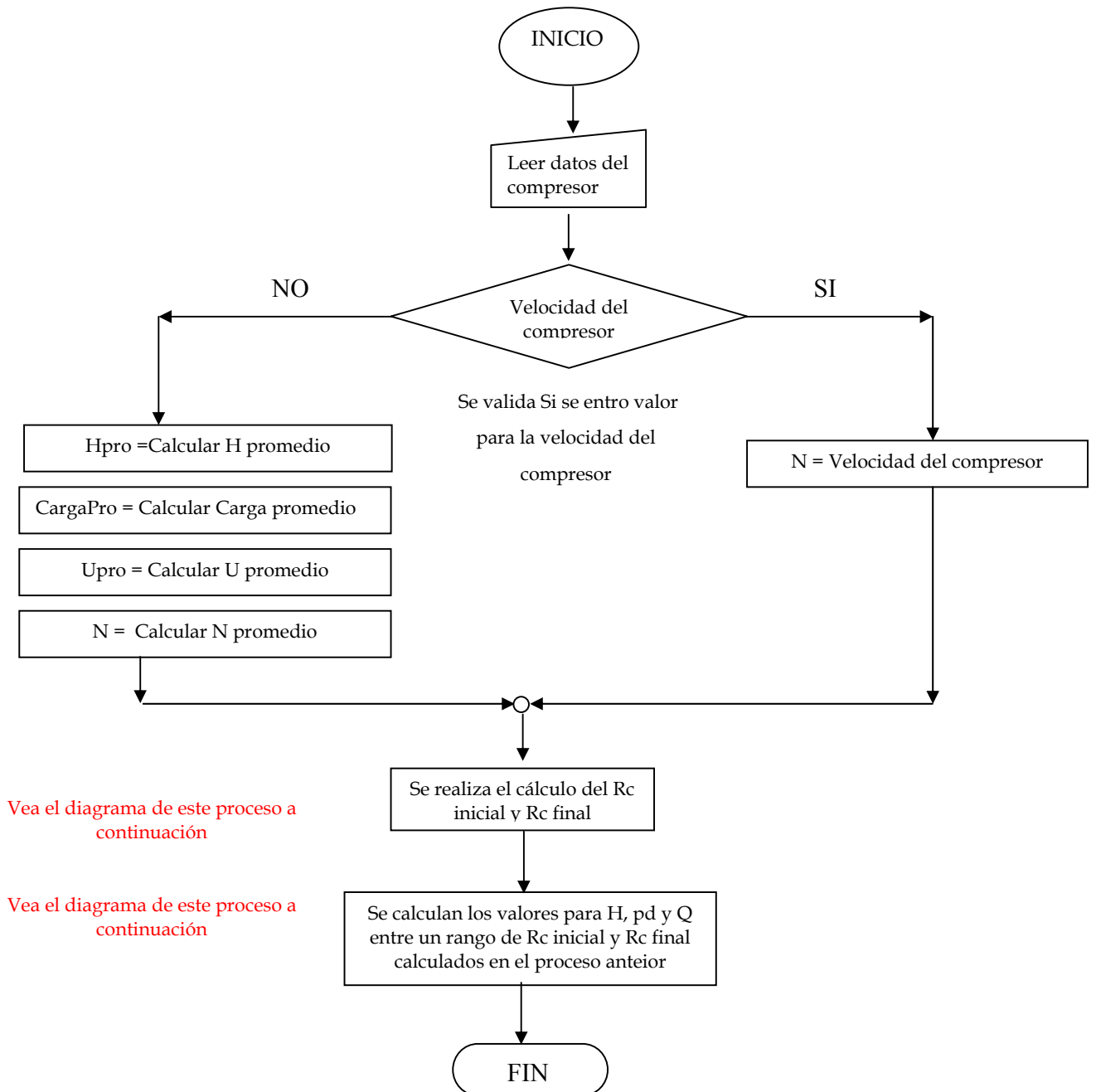


Figura 30. Diagrama de Flujo análisis de compresores

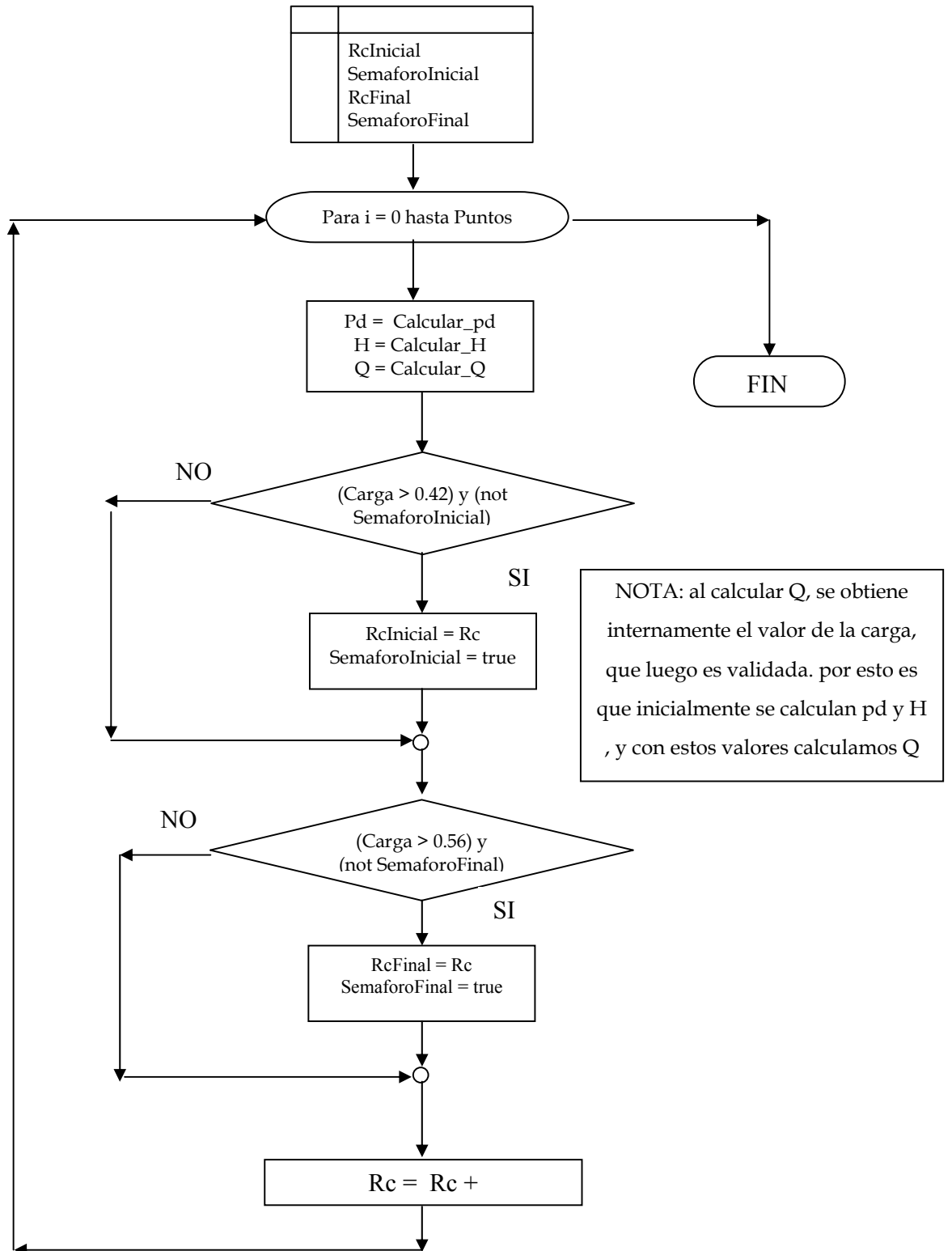


Figura 31. Diagrama de flujo del proceso de cálculo del Rc inicial y Rc Final

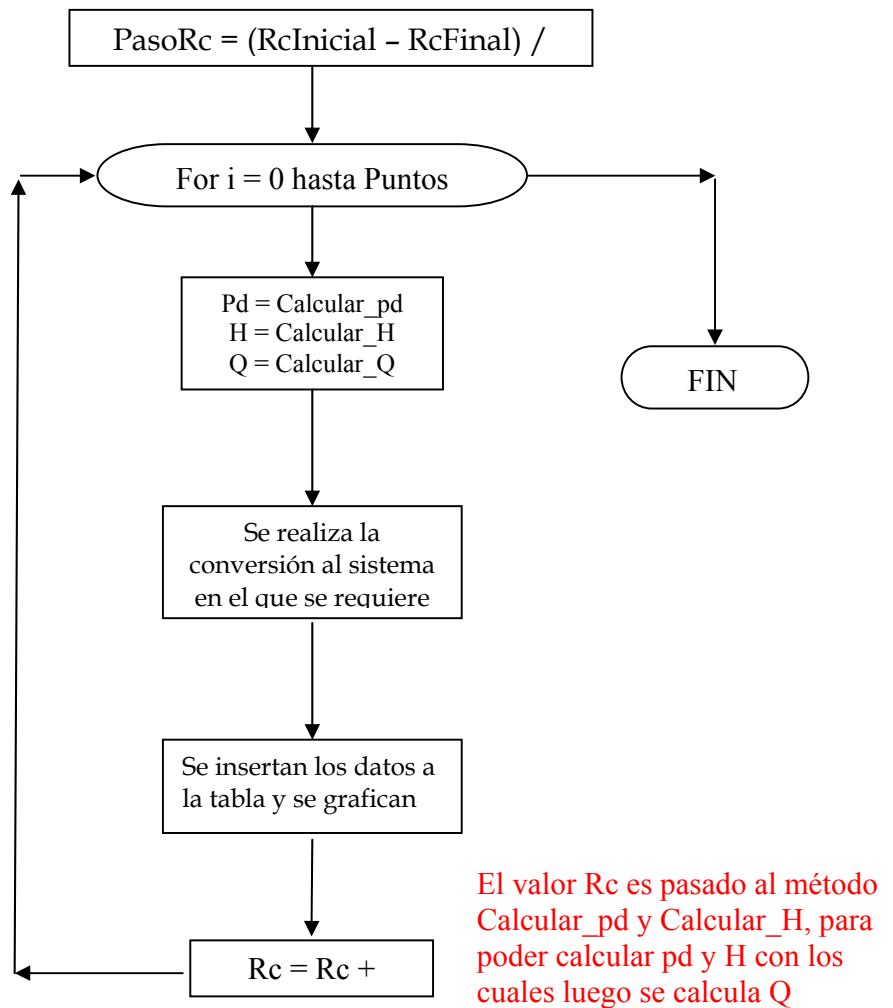


Figura 32. Diagrama de flujo del proceso de cálculo de los valores para pd, H y Q

A continuación veremos el código del proceso de solución del compresor:

```

procedure TForm1.Solucion(pTipo: integer);
// el parámetro pTipo es 0 si el usuario no introdujo la N y 1 si la introdujo
var
  vIndice: integer;
  vRc,vH,vQ,vPd: double;
  vU,vCarga,vFi:double;
  vHpromedio,vCargaPromedio,vUpromedio,vN: double;
  
```

```

vRcInicial,vRcFinal,vPasoCalculo:double;
vSemaforoCargaInicial,vSemaforoCargaFinal:boolean;
vGestorSolucion: TGestorSolucion;
begin
//Creamos un objeto vGestorSolucion para utilizar su métodos y solucionar
el compresor
vGestorSolucion:= TGestorSolucion.crear;

// Validamos si se introdujo como dato de entrada la velocidad del
compresor (N)
if pTipo = 0 then // para este caso no se introdujo N, por lo cual se debe
calcular un N promedio
begin
//calculamos un H Promedio
vHpromedio:= vGestorSolucion.Calcular_HPromedio;
//Buscamos en tablas la Carga promedio e interpolamos en caso de ser
necesario
vCargaPromedio:=
vGestorSolucion.CalcularCargaPromedio(Compresor.getDimpulsor);
//Calculamos un U promedio
vUPromedio:=
vGestorSolucion.Calcular_UPromedio(vHpromedio,32.17,vCargaPromedio);
//Calculamos un N promedio
vN:=
vGestorSolucion.Calcular_NPromedio(vUPromedio,Compresor.getDimpulsor,
32.17);
end
else //Para este caso si se introdujo un N
vN:= Compresor.getN;

vSemaforoCargaInicial:= false;
vSemaforoCargaFinal:= false;
vRcInicial:= 1.2;
vRcFinal:= 3;
vU:=0;
vCarga:= 0;
vFi:= 0;
vRc:= 1.2;
pbProgreso.Min:= 0;
pbProgreso.Max:= Compresor.getPuntos;
LimpiarTabla;

```

```

chGrafica.Series[0].Clear;
chGrafica.Series[1].Clear;
chGrafica.Canvas.Pen.Width:= 10;

//precalculo para saber el valor del Rc inicial y final en los cuales se dan
resultados validos
for vIndice:= 0 to Compresor.getpuntos do
begin
// Cálculo de pd
vPd:= vRc * Compresor.getPs;
// Cálculo de H
vH:= vGestorSolucion.Calcular_H(vRc);
// Cálculo de Q, en este punto obtenemos un valor para la carga en la
variable vCarga
vQ:=
vGestorSolucion.Solucion_Con_N(Compresor.getDimpulsor,vH,32.17,vN,vU,
vCarga,vFi);

// validamos el valor de carga obtenido en el paso anterior
if (vCarga > 0.42) and (not vSemaforoCargaInicial) then
begin
// fijamos un valor de RcInicial para el cual la carga es > a 0.42, punto
desde el cual
// se empiezan a obtener resultados válidos
vRcInicial:= vRc; vSemaforoCargaInicial:= true;
end;

if (vCarga > 0.56) and (not vSemaforoCargaFinal) then
begin
// fijamos un valor de RcFinal para el cual la carga es > a 0.56, punto
desde el cual
// se empiezan a obtener resultados válidos
vRcFinal:= vRc;
vSemaforoCargaFinal:= true;
end;

// aumentamos el valor de Rc en la cantidad estipulada en los parámetros
de entrada.
vRc:= vRc + Compresor.getDeltaPresionDescarga;
end;

```

```

// Se inicia el cálculo real de los valores de pd, H y Q entre RcInicial y
RcFinal
//realizamos el cálculo del nuevo paso para Rc, según RCInicial, RCFinal y
la cantidad de puntos
//a graficar
vPasoCalculo:= (vRcFinal - vRcInicial)/Compresor.getPuntos;
vU:=0;
vCarga:= 0;
vFi:= 0;
vRc:= vRcInicial;
for vIndice:= 0 to Compresor.getpuntos do
begin
// Cálculo del valor de pd
vPd:= vRc * Compresor.getPs;
//Cálculo del valor de H
vH:= vGestorSolucion.Calcular_H(vRc);
//Cálculo del valor de Q
vQ:=
vGestorSolucion.Solucion_Con_N(Compresor.getDimpulsor,vH,32.17,vN,vU,
vCarga,vFi);

pbProgreso.Position:= vIndice;
if Compresor.getSistemaUnidades = 0 then
begin

//Se hace la conversión al sistema necesario, se insertan los datos en la tabla
y se grafica
insertarFila(FloatToStr(vH),FloatToStr(vQ),FloatToStr(vRc),FloatToStr(vPd),F
loatToStr(vU),FloatToStr(vCarga),FloatToStr(vFi));
chGrafica.Series[0].AddXY(vQ,vH);
chGrafica.Series[1].AddXY(vQ,vPd);
end
else if Compresor.getSistemaUnidades = 1 then
begin

insertarFila(FloatToStr(Conversor.PiesAmetros(vH)),FloatToStr(Conversor.Pi
e3minAmetro3min(vQ)),FloatToStr(vRc),FloatToStr(Conversor.PsiAKPascale
s(vPd)),FloatToStr(Conversor.PieSegAmetroSeg(vU)),FloatToStr(vCarga),Floa
tToStr(vFi));
chGrafica.Series[0].AddXY(vQ,vH);
chGrafica.Series[1].AddXY(vQ,vPd);

```

```

end;

vRc:= vRc + vPasoCalculo; //se incrementa el valor de Rc a uno nuevo
dentro del rango
end;

MessageDlg('El proceso ha terminado con éxito',mtConfirmation,[mbOk],0);
pbProgreso.Position:= pbProgreso.Min;

// calculo de los puntos mínimos y máximos para las graficas
if rbCaudalVsH.Checked then
begin
lbHoPdMin.Caption:= 'H mínimo';
lbHoPdMax.Caption:= 'H máximo';

edtCaudalMinimo.Text:= FloatToStr(chGrafica.Series[0].MinXValue);
edtCaudalMaximo.Text:= FloatToStr(chGrafica.Series[0].MaxXValue);
edtHoPdMin.Text:= FloatToStr(chGrafica.Series[0].MinYValue);
edtHoPdMax.Text:= FloatToStr(chGrafica.Series[0].MaxYValue);
end
else
begin
lbHoPdMin.Caption:= 'Pd mínimo';
lbHoPdMax.Caption:= 'Pd máximo';

edtCaudalMinimo.Text:= FloatToStr(chGrafica.Series[1].MinXValue);
edtCaudalMaximo.Text:= FloatToStr(chGrafica.Series[1].MaxXValue);
edtHoPdMin.Text:= FloatToStr(chGrafica.Series[1].MinYValue);
edtHoPdMax.Text:= FloatToStr(chGrafica.Series[1].MaxYValue);
end;
end;
end;

```

2.4.3 Algoritmo y códigos de programación de la aplicación ventiladores.

Para el diseño y desarrollo del software de Ventiladores, del cual hablaremos a continuación, se tuvo en cuenta la POO.

Necesidades del software para el cálculo de ventiladores.

Se estimo que dada la complejidad de los sistemas de transmisión de gases es mas adecuado para el contenido de la materia sistemas de transporte y aprovechamiento de fluidos una aplicación que le permitiese al estudiante relacionarse con las variables físicas de los ventiladores centrífugos y la manera aproximada en que esto influye en el desempeño que debe esperar de esta turbomáquina.

Se ha estimado para cumplir con este propósito la aplicación debe ser capaz de calcular la curva aproximada de un ventilador centrifugo con algunos datos básicos dados por el estudiante. Estos son:

Diametro: Diámetro del impulsor.

W: Ancho del alabe del ventilador centrifugo en la dirección del eje de rotación.

Area: Área de salida del gas por la descarga hacia el sistema.

Vol. Especifico: Volumen especifico del gas bombeado.

N: Velocidad de rotación del ventilador.

Dada la naturaleza didáctica de la aplicación se ha dado la opción al usuario de estimar N, velocidad de rotación del compresor, con la introducción de otras variables, estas son:

Caudal: El caudal que se espera bombear con el ventilador.

Presión en pulgadas de agua: La presión en pulgadas de agua a la salida del ventilador.

Con estos datos no se hace mas que un sencillo calculo para calcular la velocidad teórica en que se producen estas condiciones y puede utilizarse para el análisis de un ventilador a velocidades diferentes.

Las limitaciones de la aplicación son.

- No permite una descripción mas adecuada del impulsor, como sus ángulos de entrada y salida, así como dimensión de sus alabes para acercar su desempeño calculado a la realidad.
- La aplicación hallará solución para los caudales comprendidos entre 10.000 y 300.000 pies cúbicos por minuto.
- El modelo utilizado para el cálculo es incapaz de generar una curva continua, generando una dispersión de puntos y puede llegar a dar dos resultados para un solo caudal, se ha permitido que la aplicación muestre todas las posibles soluciones para que el usuario pueda analizar los resultados.

Algoritmo para el calculo de la curva del ventilador.

El objetivo del algoritmo de cálculo que se presenta a continuación es crear la curva Potencia Vs. Caudal y la curva del Incremento de la presión en pulgadas de agua vs. Caudal a condiciones de succión de un ventilador centrifugo descrito, a través del cálculo de un número determinado de puntos de esta curva.

Introducción.

Para poder explicar paso a paso los cálculos necesarios para la creación de los puntos de la curva de un ventilador centrífugo se hace necesaria la explicación del enfoque físico que se le ha dado al funcionamiento del ventilador en esta introducción,

Para empezar se tiene la geometría del ventilador con las características de su flujo como se ven en la siguiente figura.

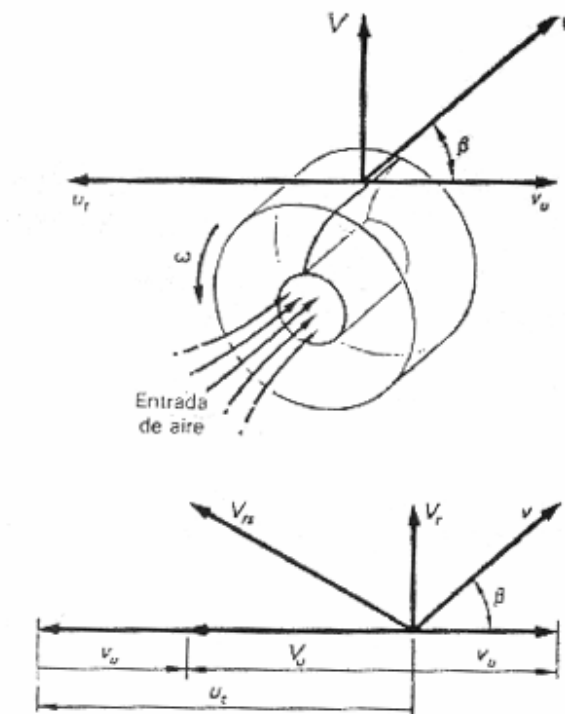


Figura 33. Esquema de velocidades para un ventilador

Donde β es el ángulo medio con el cual sale el gas de la rueda y que se mide a partir de una tangente a la periferia en el punto de salida.

Si se supone que el caudal (gasto) total de masa, m , se distribuye con uniformidad en la periferia de la rueda, entonces el momento de torsión τ que se debe aplicar a la rueda se puede obtener con la aplicación del principio de conservación de la cantidad de movimiento, es decir

$$\tau = \Delta(mV_u r) / g_c \quad (1)$$

En donde V_u es la componente de la velocidad tangencial absoluta, r es el radio de la rueda, m es la masa relacionada al flujo y g_c es la constante gravitacional.

En un ventilador centrífugo la potencia requerida es el producto de la velocidad angular y el momento de torsión. Al expresar la entrada de potencia como entrada de energía por unidad de masa, entonces:

$$W_{ea} = p/m = \tau \omega / m = 2\pi N r V_u / g_c = pV/F \quad (2)$$

Donde El término W_{ea} es llamado carga total de Euler y representa la potencia por unidad de masa que el ventilador transfiere al fluido.

p = potencia

m = masa del flujo.

ω = velocidad de rotación en rad/seg.

N = velocidad de rotación en rpm.

r = radio del impulsor.

F = Flujo volumétrico del ventilador.

Si se tiene en cuenta que $2\pi Nr$ es la velocidad u_t en las puntas, se tendría

$$W_{ea} = u_t V_u / g_c \quad (3)$$

Con base en la figura 33, el análisis vectorial produce:

$$V_u = u_t - v_u = u_t - V_T \cot\beta \quad (4)$$

y por tanto,

$$W_{ea} = (u_t^2 - u_t V_r \cot\beta) / g_c \quad (5)$$

El valor de V_r se obtiene con un simple balance basado en que el caudal es el área por la que pasa el flujo multiplicada por la velocidad de este:

$$V_r = F / \pi D W \quad (6)$$

Donde W es la anchura de las puntas de la rueda, F es el flujo volumétrico y D es el diámetro del impulsor.

Y la expresión para W_{ea} se puede escribir como:

$$W_{ea} = \Delta E_o - \Delta E_b \cot\beta \quad (7)$$

en donde:

$$\Delta E_o = (\pi D N)^2 / g_c \quad (8)$$

$$\Delta E_b = (F N / W) / g_c \quad (9)$$

Las variables W_{ea} , ΔE_o y ΔE_b son todas en términos de energía por unidad de masa de fluido que pasa por el rotor. Dato que $\cot\beta$ es de cero cuando β es de 90° , se apreciará que ΔE_o es la entrada hipotética de energía en el árbol por unidad de masa de fluido, cuando todo el fluido sale de la rueda con una componente de la velocidad tangencial absoluta igual a la velocidad en las puntas.

En la práctica no se logra guiar con perfección el fluido dentro del ventilador y no hay una forma sencilla de conocer, en forma previa, cómo varía β según las condiciones de operación. Sin embargo, es evidente que si se cuenta con datos de experimentos, se pueden calcular con facilidad los valores efectivos de β . Por tanto, con unas cuantas manipulaciones algebraicas se encuentra que:

$$\beta = \arctan (FN/W)/(\Delta E_o - W_{ea}) \quad (10)$$

Por tanto, se establece la relación de β con las condiciones de operación del ventilador.

Consideraciones termodinámicas.

Para complementar el modelamiento del ventilador se debe hacer un balance general de energía de un ventilador, bajo el supuesto de que el fluido es incompresible y que no hay cambio apreciable en la elevación, se muestra con facilidad que:

$$\Delta E_t = \Delta E_k + \Delta E_p = W_{ea} - \delta E. \quad (11)$$

Donde:

ΔE_t = Es el incremento de energía total.

ΔE_k = Es el incremento de energía cinética.

ΔE_p = Es el incremento de energía en forma de presión del gas.

En donde W_{ea} es la entrada de potencia en el árbol, δE es la energía de entrada degradada a energía térmica, según lo exige la segunda ley de la termodinámica. Se tiene entonces:

$$\text{Ganancia de energía de presión} = \Delta E_p = V\Delta P \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{Ganancia de energía cinética} = \Delta E_k &= \frac{1}{2} u^2/g_c \quad (13) \\ &= (F/A)^2/2g_c \end{aligned}$$

Este resultado es independiente de si se transfiere o no cualquier energía térmica al fluido cuando se mueve en el ventilador. La ecuación corresponde exactamente a lo que a veces se llama balance de energía mecánica con fricción, que a menudo se presenta como si fuera intuitivamente evidente.

La pérdida de energía, según la segunda ley, se puede identificar con las pérdidas de entrada en el árbol, y es conveniente definir un nuevo término, Φ :

$$\Phi = \delta E/W_{ea} \quad (14)$$

Como la fracción de la entrada de energía en el árbol que se convierte en energía térmica debido a las pérdidas por fricción. Ahora, el balance de energía se vuelve:

$$\Delta E_t = W_{ea}(1-\Phi) \quad (15)$$

Si se tiene en cuenta que:

$$\eta_t = 1 - \Phi = E_t/W_{ea} \quad (16)$$

Es evidente que $(1 - \Phi)$ corresponde exactamente a la definición usual de η_T que se llama eficiencia total o eficiencia mecánica total del ventilador.

Esta relación, basada en los principios de la termodinámica, es rigurosamente válida hasta el grado en el cual sean válidas las suposiciones de que no cambió en la elevación y de incompresibilidad; pero, también en este caso no hay forma de hacer una predicción anticipada de 0. No obstante, si se tienen datos de experimentos, se pueden calcular los valores de Φ .

Aplicación a datos.

Cuando se aplicaron técnicas de correlación a los datos de una tabla de un fabricante de ventiladores, se encontró que las variables β y η eran funciones únicas de un factor γ (gamma). También se encontró que los datos representados por las curvas de porcentaje concuerdan con los resultados de las tablas, excepto, por supuesto, que las curvas abarcan todo el intervalo (rango), desde el paro hasta la descarga libre. Por lo tanto, para un ventilador particular se puede escribir que:

$$\beta = f_1(\gamma) \quad (17)$$

$$\Phi = 1 - \eta_T = f_2(\gamma) \quad (18)$$

En principio, las funciones f_1 y f_2 deben depender de la configuración o geometría exacta del ventilador y del mecanismo de decremento por turbulencia. La definición de estas funciones es el principal problema en el diseño de ventiladores y no se requiere para la finalidad inmediata de correlacionar los datos de rendimiento de un ventilador particular.

Para la serie de ventiladores con ruedas de curvatura hacia atrás y aro de refuerzo, con diámetros de 25 a 100 pulgadas, se encontró que las curvas de correlación para todos ellos eran casi idénticas dentro de los límites de las tablas. Es probable que las diferencias se puedan atribuir a las dificultades para lograr una semejanza geométrica precisa con esas aspas de formas tan complejas.

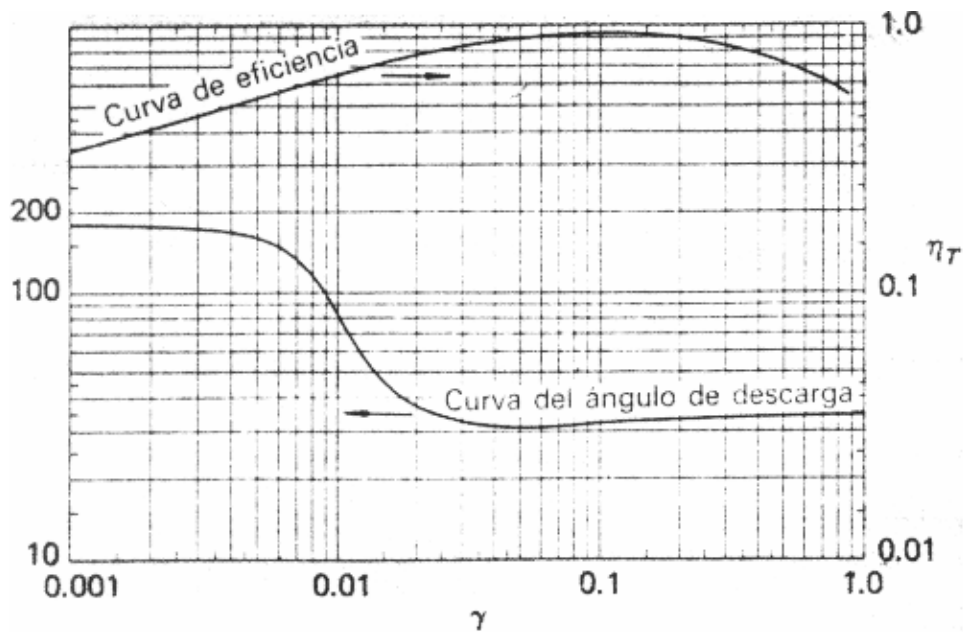


Figura 34. Curvas de correlación de un ventilador particular con aspas de curvatura hacia atrás con aro de refuerzo

Utilizando puntos seleccionados de las dos curvas, se encontró que los puntos se representan bien con las expresiones:

Para $0.02 < \gamma < 0.9$

$$\ln \eta_T = -1.2450 - 0.7891 \ln \gamma - 0.1368(\ln \gamma)^2 \quad (19)$$

$$\ln \beta = 3.5688 - 0.0147 \ln \gamma - 0.0241(\ln \gamma)^2 \quad (20)$$

Con este análisis es posible ahora determinar el uso de las ecuaciones halladas en un algoritmo para el cálculo de la tendencia de funcionamiento de un ventilador centrífugo, el método resultante puede llegar a ser inestable en su solución pero sus datos deben ser interpretables por el estudiante.

Caso 1.

Solución cuando el usuario desea obtener las curvas características del ventilador.

1. Cálculo de las energías teóricas transferidas en el ventilador: Para el cálculo de las energías transferidas en un punto de la curva del ventilador se debe iterar con el caudal que se bombea, así que el caudal es la variable conocida al ser iterada para hallar cada punto de la curva de desempeño del ventilador.

Se empieza con el cálculo de ΔE_0 , ΔE_b y ΔE_k según las ecuaciones:

$$\Delta E_0 = (D/N)^2 / 1698726$$

$$\Delta E_b = (QN/W)^2/9650$$

$$\Delta E_k = (Q/A)^2/231624$$

Donde

D = Diámetro del impulsor del ventilador en pulgadas.

N = Velocidad de rotación del impulsor en rpm.

Q = Caudal de fluido que pasa por el ventilador en pies cúbicos por minuto.

Recuerde que este caudal es constante para el cálculo y se debe aumentar progresivamente para solucionar la curva del ventilador.

W = Distancia entre las puntas de los alabes del impulsor, ancho del impulsor.

Las constantes asociadas a la ecuación son las adecuadas para las unidades descritas para cada valor.

2. Suposición inicial de un valor para γ (Gamma): Se hace una iteración para la variable γ , esta suposición inicial se llama γ_a , los valores posibles para γ están entre 0.02 y 0.9

3. Obtención de β (Beta): Se inserta la suposición inicial de γ en la ecuación que modela la relación entre beta y gamma. Esta es:

$$\ln \beta = 3.5688 - 0.0147 \ln \gamma - 0.0241(\ln \gamma)^2$$

4. Obtención de la eficiencia total η_T : Al igual que con Beta se halla la eficiencia total introduciendo el valor inicial de Gamma en la ecuación empírica:

$$\ln \eta_T = -1.2450 - 0.7891 \ln \gamma - 0.1368(\ln \gamma)^2$$

5. Cálculo de W_{ea} : Se calcula la carga total de Euler usando su definición:

$$W_{ea} = \Delta E_0 - \Delta E_b \cot \beta$$

6. Cálculo del incremento de la energía total: Se calcula el delta de energía total según su definición en función de la carga total de Euler con la ecuación:

$$\Delta E_t = W_{ea}^2 \eta_T$$

7. Cálculo de un segundo valor de Gamma: Con las variables encontradas con la primera suposición de Gamma γ_a . Este nuevo valor de Gamma es llamado γ_b y está definido por:

$$\gamma_b = \Delta E_k / \Delta E_t$$

8. Comparación de las variables Gamma: Para que los cálculos sean validados y considerados reales las variables gamma γ_a y γ_b deben ser iguales dentro de un límite adecuado.

En caso que no se de esta igualdad se puede decir que los cálculos no tienen validez y se debe intentar con un incremento en la variable γ_a , volviendo al punto dos del proceso, es decir, con el mismo caudal que se viene trabajando. Esto puede repetirse hasta que γ_a llegue a su valor máximo de 0.9, en cuyo caso se debe intentar con otro caudal pues no existe solución aceptable para el caudal en cuestión.

En caso en que ambos gamma sean iguales en los límites establecidos, se puede decir que en ese punto convergen los modelos termodinámico y de flujo a través de la correlación y que la solución tiene posibilidades de ser aplicable a la realidad.

9. Calculo del incremento de presión ΔP : Una vez se ha validado el valor de gamma se puede hallar el incremento de presión en el fluido a la salida del ventilador, recuerde que este incremento es muy bajo pues se ha supuesto la incompresibilidad del fluido.

La ecuación que gobierna este incremento de presión es:

$$\Delta P = (\Delta E_t - \Delta E_k) / 5204 V$$

Donde

ΔP = incremento de la presión del fluido en pulgadas de agua.

ΔE_t = incremento de la energía total del fluido.

ΔE_k = incremento de la energía cinética del fluido.

V = Volumen específico del fluido en pies cúbicos por cada libra.

10. Cálculo de la potencia: Para complementar el análisis se calcula la potencia consumida por el ventilador con la ecuación:

$$P = \frac{W_{ea} Q}{33000V}$$

Donde

p = Potencia del ventilador en caballos de potencia.

W_{ea} = La carga total de Euler.

Q = Caudal en pies cúbicos por minuto.

V = Volumen específico en pies cúbicos por libra.

En este punto se ha solucionado el incremento de presión y la potencia del ventilador para un caudal único, es decir, un punto de la curva de desempeño del ventilador. Ahora se puede volver al punto uno con un incremento del caudal para hallar un nuevo punto y construir así la dispersión de puntos que describa aproximadamente al ventilador.

Para el caso de esta aplicación los caudales a intentar van de 10000 a 300000 pies cúbicos por minuto.

Recuerde que todo el proceso se ha llevado definiendo las ecuaciones para el sistema ingles.

Caso 2.

Calculo de las revoluciones por minuto necesarias para un punto de operación de un ventilador.

Para este caso se ha de conocer:

D = Diámetro del impulsor.

W = Distancia entre puntas de los alabes, ancho del impulsor.

A = Área de salida del fluido hacia el sistema.

V = Volumen específico del fluido.

Q = Caudal que se espera mover con el ventilador.

ΔP = Incremento de la presión del fluido a la salida en columna de agua.

Con estos datos se procede al cálculo lineal de la velocidad de rotación del ventilador que consta de los pasos:

1. Cálculo de variables asociadas a Gamma: Se realizan los cálculos necesarios para hallar el valor de Gamma con las ecuaciones:

$$\Delta E_p = 5204 * V * \Delta P$$

$$\Delta E_k = (Q / A)^2 / 231624$$

$$\Delta E_t = \Delta E_p + \Delta E_k$$

Donde

V = Volumen específico del fluido pies cúbicos por libra.

ΔP = Incremento de la presión del fluido a la salida en pulgadas de columna de agua.

Q = Caudal que se espera mover con el ventilador en pies cúbicos por minuto.

A = Área de salida del fluido hacia el sistema en pulgadas cuadradas.

Para el cálculo de Gamma con la ecuación

$$\gamma = \Delta E_k / \Delta E_t$$

2. Obtención de la Eficiencia total η_T y el ángulo Beta β : Con el valor de Gamma se obtiene el valor de la eficiencia total y el ángulo Beta con las ecuaciones empíricas:

$$\ln \eta_T = -1.2450 - 0.7891 \ln \gamma - 0.1368(\ln \gamma)^2$$

$$\ln \beta = 3.5688 - 0.0147 \ln \gamma - 0.0241(\ln \gamma)^2$$

3. Calculo de la carga total de Euler W_{ea} : Se calcula la eficiencia total de Euler con la ecuación:

$$W_{ea} = \Delta E_k / \eta_t$$

4. Calculo de la velocidad de rotación del ventilador: Teniendo en cuenta que

$$W_{ea} = (\pi DN)^2 / g_c - (QN / W) g_c \cot \beta$$

$$W_{ea} = \left(\frac{D^2}{1689726} \right) N^2 - \left(\frac{Q}{9650 W \tan \beta} \right)$$

Se puede definir

$$F = (D^2 / 1689726)$$

$$R = (F / (9650 W \tan \beta))$$

Y llegar a la ecuación:

$$N = (R \pm \sqrt{R^2 + 4FW_{ea}}) / 2Q, \text{ rpm}$$

Que da solución al problema planteado.

Desarrollo computacional del proceso descrito.

A continuación se explica el código mas importante del programa para la solución de la curva de un ventilador y el calculo de su velocidad de rotación.

```

procedure TfrmVentiladores.Solucion;
var
  vDEo,vDQ,vQ,vDEb,vDEk: double;
  vWea,vDEt:double;
  vDP,vP:double;
  vDEp,vGama,vBeta,vnt,vF,vR,vN1,vN2:double;
  vIndiceQ:integer;
  GestorSolucion: TGestorSolucion;
  vMarca:boolean;
  vMensaje: String;
begin
  // Creación del objeto TGestorSolucion, por medio del cual, haciendo
  // llamado a sus métodos, // podemos resolver el ejercicio de ventiladores en
  // cuestión
  GestorSolucion:= TGestorSolucion.crear;

  // Se valida si el usuario quiere resolver el ejercicio de ventiladores, dando
  // un caudal variable o uno // específico, esto se hace validando si el usuario
  // seleccionó la opción de caudal variable o caudal // específico en la ventana
  // principal
  if rbCaudalVariable.Checked then // Esta es la solución para un caudal
  variable
  begin
    // Se borran las gráficas que hallan
    chGraficas.Series[0].Clear;
    chGraficas.Series[1].Clear;
  end;
end;

```

```

// Se borran los datos que hallan en la tabla de resultados
LimpiarTabla;
// Se actualiza la barra de progreso, que nos muestra el estado de la
solución
pbProgreso.Min:= 0;
pbProgreso.Max:= Ventilador.getPQ;

// Se calcula el Deo, haciendo llamado al método Calcular_DEo del objeto
GestorSolucion, al
// cual se le pasan como parámetros el diámetro del ventilador y la
velocidad del mismo
vDEo:= GestorSolucion.Calcular_DEo(Ventilador.getD,Ventilador.getN);

// Calculamos el delta de caudal (DQ), teniendo en cuenta un caudal
mínimo de 10000 y un
// caudal máximo de 300000
vDQ:= (300000 - 10000)/Ventilador.getPQ;
// Fijamos el caudal mínimo a 10000
vQ:= 10000;

//Resolvemos las ecuaciones que resuelven el problema, tantas veces
como puntos a iterar
// para el caudal introdujo el usuario en los datos de entrada del
programa
for vIndiceQ:= 0 to Ventilador.getPQ do
begin
//Cálculo de DEb, pasando como parámetros el caudal (Q), la
velocidad (N) y el ancho del
// ventilador (W)
vDEb:=
GestorSolucion.Calcular_DEb(vQ,Ventilador.getN,Ventilador.getW);
// Cálculo de Dek, pasando como parámetros el caudal (Q) y área del
ventilador (A)
vDEk:= GestorSolucion.Calcular_DEk(vQ,Ventilador.getA);

// Se hace el cálculo del valor Det y Wea, pasando como parámetros
DEo,DEb,DEk y Q
GestorSolucion.SolucionY(vDEt,vWea,vDEo,vDEb,vDEk,vQ);

pbProgreso.Position:= vIndiceQ;
// Se aumenta el caudal, para volver a realizar el proceso

```

```

    vQ:= vQ + vDQ;
end;
MessageDlg('Ha terminado el proceso',mtConfirmation,[mbOk],0);
pbProgreso.Position:= 0;
end
else if rbCaudalEspecifico.Checked then //Si el usuario eligió un caudal
específico
begin
    // Cálculo de DEp
    vDEp:= GestorSolucion.Calcular_DEp_Qespecifico;
    // Cálculo de DEk
    vDEk:= GestorSolucion.Calcular_DEk_Qespecifico;
    // Cálculo de DEt para un caudal (Q) específico
    vDEt:= GestorSolucion.Calcular_DEt_Qespecifico(vDEp,vDEk);
    // Cálculo de Gama para un caudal específico
    vGama:= GestorSolucion.Calcular_Gama_Qespecifico(vDEk,vDEt);
    //Cálculo de nt para un caudal específico
    vnt:= GestorSolucion.Calcular_nt_Qespecifico(2.71828183,vGama);
    //Cálculo de Wea para un caudal específico
    vWea:= GestorSolucion.Calcular_Wea_Qespecifico(vDEt,vnt);
    // Cálculo de P para un caudal específico
    vP:= GestorSolucion.Calcular_potencia_Qespecifico(vWea);

    //Cálculo de Beta
    vBeta:= GestorSolucion.Calcular_Beta_Qespecifico(2.71828183,vGama);
    // Cálculo de F
    vF:= GestorSolucion.Calcular_F_Qespecifico;
    // Cálculo de R
    vR:= GestorSolucion.Calcular_R_Qespecifico(vBeta);
    // Cálculo de la velocidad del ventilador para un caudal específico
    GestorSolucion.Calcular_N_Qespecifico(vR,vF,vWea,vN1,vN2);

    vMensaje:= 'Resultados : ' + chr(13) + 'Potencia = ' + FloatToStr(vP) +
'[hp]';
    vMensaje:= vMensaje + chr(13) + ' El análisis matemático entrega los
siguientes resultados, seleccione el mas indicado: ';
    vMensaje:= vMensaje + chr(13) + 'N1 = ' + FloatToStr(vN1) + chr(13) + 'N2
= ' + FloatToStr(vN2);
    MessageDlg( vMensaje,mtConfirmation,[mbOk],0 );

end;

```

end;

Otro de los métodos importantes del software es el que se ilustra a continuación, y que se utiliza en la solución del ventilador con caudal variable.

```
function TGestorSolucion.SolucionY(var pDEt, pWea: double;
pDEo,pDEb,pDEk:double;pCaudal:double): boolean;
var
  vDY,vYa,vBeta,vnt,vYb:double;
  vDp,vP: double;
  vCumple,ventro:boolean;
  vPuntos:integer;
begin
  // Cálculo del delta de Gama
  vDY:= (0.9 - 0.02)/10000;
  // Se inicia el Gama sub a en 0.02
  vYa:= 0.02;
  vCumple:= false;
  vPuntos:= 0;
  ventro:= false;

  // se itera gama para encontrar el valor de gama sub b que sea igual a
  Gama sub a
  for vPuntos:= 0 to 10000 do
    begin
      // Cálculo de Beta pasando como parámetro el valor de Gama sub a y el
      número E
      vBeta:= Calcular_Beta(vYa,2.71828183);
      // Cálculo del valor de Wea pasando como parámetros los valores de
      DEo,DEb y Beta
      pWea:= Calcular_Wea(pDEo,pDEb,vBeta);
      //Cálculo del valor de nt pasando como parámetros el número e y el
      valor de Gama sub a
      vnt:= Calcular_nt(2.71828183,vYa);
      //Cálculo de Det pasando como parámetros el valor de WEa y vnt
      pDEt:= Calcular_DEt(pWea,vnt);
```

```

    // Calculo del valor de Gama sub b pasando como parámetro el valor de
    DEk y DEt
    vYb:= Calcular_Yb(pDEk,pDEt);

    // Se valida si se cumple la condición de que Gama sub a sea igual a
    Gama sub b con una
    // porcentaje de error EYa, por esto se pasan tres parámetros que son:
    Gama sub a (vYa),
    // Gama sub b (vYb) y EYa.
    vCumple:= ValidarCumplimientoY(vYa,vYb,Ventilador.getEYa);
    if vCumple then
    begin
        // Si se cumple la condición, entonces calculamos DP y VP
        vDP:= Calcular_DP(pDEk,pDEt,Ventilador.getVesp);
        vP:= Calcular_P(pWea,pCaudal,Ventilador.getVesp);

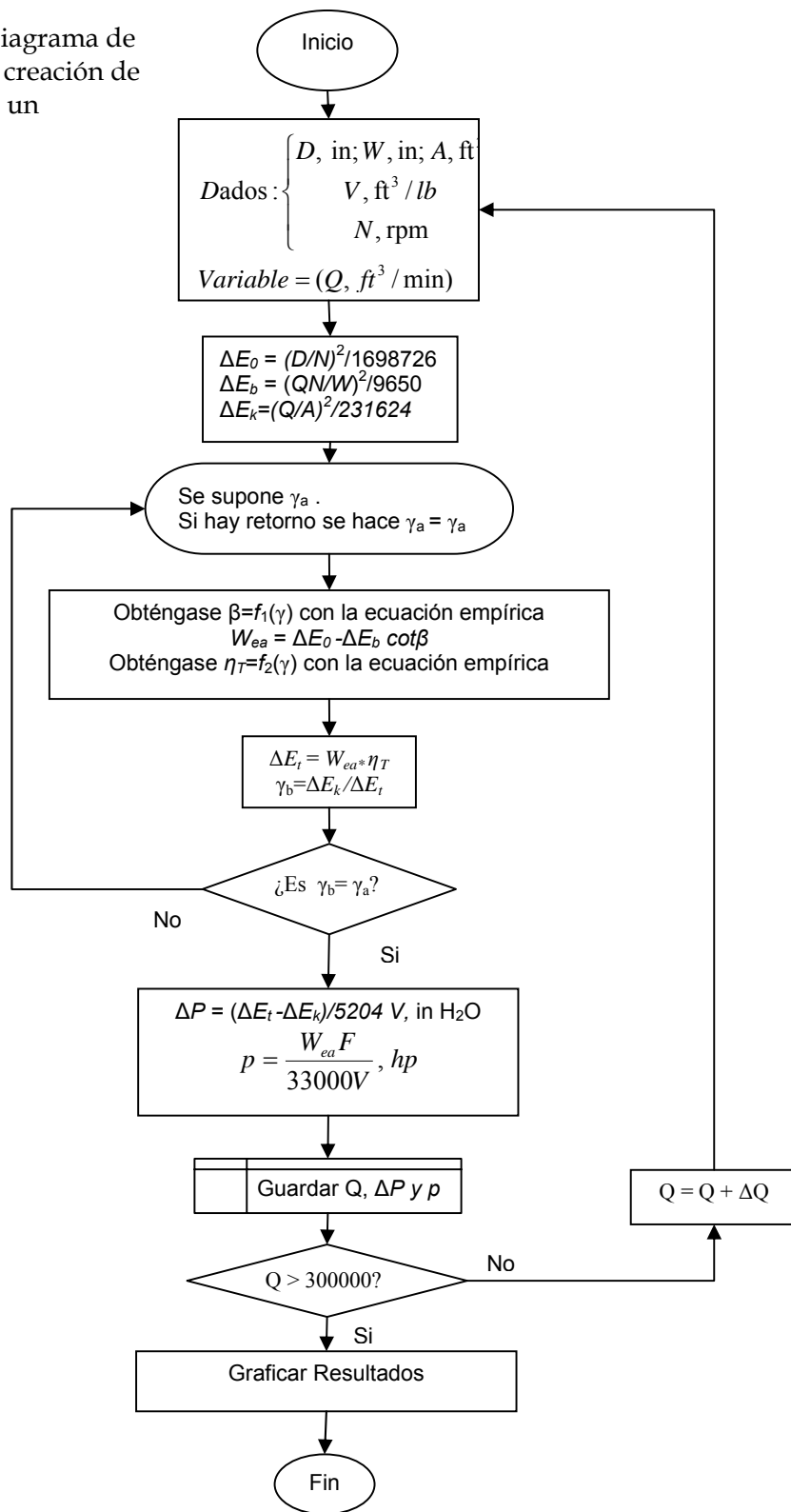
        //Generamos el punto en cuestión para la gráfica e insertamos el punto
        en la tabla
        frmVentiladores.chGraficas.Series[0].AddXY(pCaudal,vDp);
        frmVentiladores.chGraficas.Series[1].AddXY(pCaudal,vP);

    frmVentiladores.insertarFila(FloatToStr(pCaudal),FloatToStr(vP),FloatToStr(v
    DP));
    end;
    // aumentamos el valor de Gama sub a para seguir buscando un valor
    indicado para
    // Gama sub b en caso tal que no se halla encontrado
    vYa:= vYa + vDY;
    end;

    Result:= vCumple;
end;

```

Figura 35. Diagrama de flujo para la creación de la grafica de un ventilador.



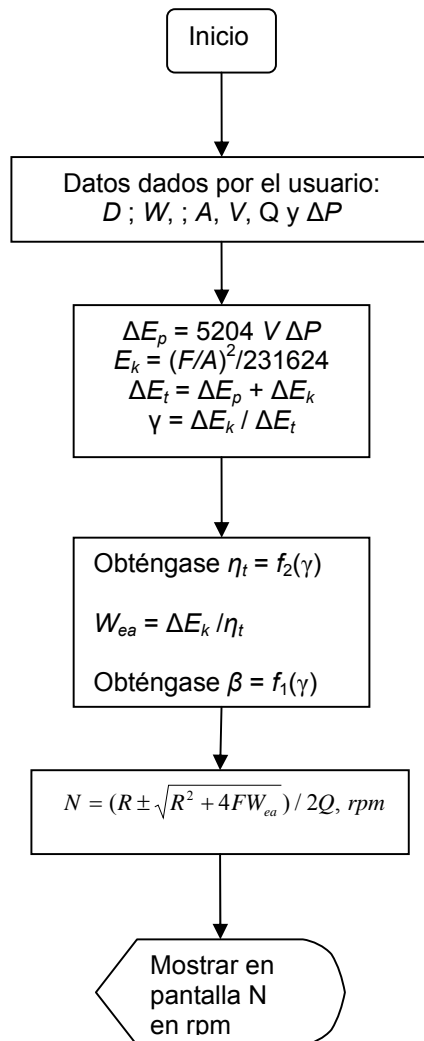


Figura 36. Diagrama de flujo para determinación de las RPM de un ventilador.

2.5 TUTORIALES DE USO DE LAS APLICACIONES.

Uso de botones comunes.

Botón Editar:

Este botón se presenta reiteradamente en las ventanas y es de obligatorio uso para acceder a hacer cambios en los valores que se presenten en la ventana, una vez se ha hecho clic sobre el cambia a desactivado y se pueden insertar los valores deseados en las casillas.

Botón Cancelar:

Cuando el usuario ha usado el botón editar generalmente estará este botón que permite cancelar la inserción de los datos y vuelve los datos a su valor por defecto.

Botón Aceptar:

Este botón permite aceptar los datos insertados por el usuario para el calculo posterior, el usuario no puede continuar con la solución de las variables y debe ser usado para continuar una vez se ha dado la inserción o al menos cancelar la inserción de daros.

Botón Buscar:

Es usado para acceder a las bases de datos y escoger de ellas el elemento deseado para el sistema que se desea resolver. Normalmente abre otra ventana en la que se realiza la elección, otras veces llena una lista con los elementos a escoger de la base de datos.

Botón Eliminar: 

Es usado en la aplicación de bombas para la edición de la tubería eliminando elementos como son tramos de tubería y materiales.

Botón Limpiar: 

Usado en las ventanas de búsqueda en las bases de datos, limpian los datos cargados de esta, como son la lista de líquidos, materiales, etc.

Botón Nuevo: 

Usado en la aplicación de bombas es usado para insertar un elemento nuevo en el sistema.

Botón Solucionar: 

Botón usado para empezar el cálculo de la respectiva aplicación y posterior muestra de los resultados.

2.5.1 TUTORIAL APLICACIÓN BOMBAS.

Inicio de la aplicación de Bombas.

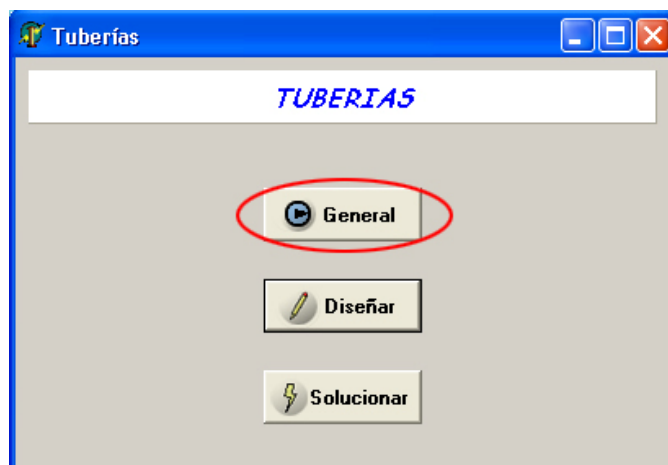


Figura 37. Ventana de inicio tuberías.

En la Ventana de inicio de la aplicación se encuentran los botones General, Diseñar y Solucionar los cuales abren ventanas para el cálculo ordenado del sistema y la bomba.

Datos Generales.

Con el botón General se llega a la ventana Datos Generales en donde se tiene acceso para editar variables generales del sistema como son el líquido bombeado, variables del cálculo como la precisión, se debe describir el funcionamiento de la bomba.

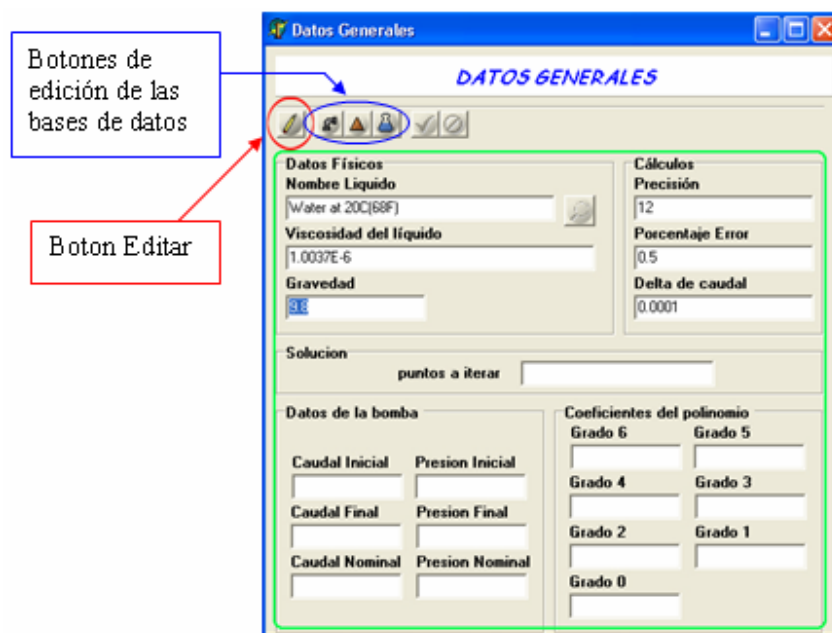


Figura 38. Ventana Datos Generales.

Las secciones de Datos Generales son:

Edición de Datos Generales.

Para editar los valores dentro del recuadro verde se debe hacer clic sobre el botón editar, esto activa los botones de aceptar o cancelar y permite introducir los datos necesarios en las casillas.

Las casillas están distribuidas en zonas según su tipo:

Datos físicos.

Nombre del líquido: Muestra el líquido con el cual se realizarán los cálculos, para realizar un cambio solo debe escoger el adecuado pulsando en el botón Buscar al lado de la casilla.

Viscosidad del líquido: Es una casilla testigo pues no puede ser editada, simplemente muestra la viscosidad cinemática del líquido escogido de la base de datos.

Gravedad: En esta casilla se puede editar el valor de la gravedad que influye en las ecuaciones de cálculo, el valor por defecto es de 9.8 m/s^2 .

Cálculos.

Precisión: Esta casilla el usuario debe ingresar las cifras significativas que se desea que tenga en cuenta la aplicación para los cálculos, se ha estimado que con una precisión de 12 cifras significativas se tiene una eficiente aproximación a los resultados de otros programas.

Porcentaje de Error: En esta casilla se edita el porcentaje de error que debe existir entre las presiones causadas por los caudales de dos tramos hermanos cuando se este iterando el caudal correcto de uno de ellos. Para mayor comprensión de esta variable estudie el desarrollo de la aplicación.

Delta de Caudal: En esta casilla se introduce la proporción en que, con respecto al caudal máximo de la bomba, se desea que el caudal sea incrementado en el tramo solución del sistema. Para mayor comprensión de esta variable estudie el desarrollo de la aplicación.

Solución.

Puntos a Iterar: Son el numero de iteraciones que el programa realizará para hallar el caudal de un tramo respecto al caudal conocido de otro.

Datos de la bomba: En estas casillas se introducen los datos de la bomba que se desea unir al sistema, es necesaria la introducción de datos en todas las casillas y se recomienda el uso de los catálogos de las bombas que se suministran en la aplicación principal. Con estos puntos la aplicación generará una ecuación cuadrática que modelará una curva de la bomba y será graficada en la solución.

Los caudales deben ser introducidos en m^3/seg y la cabeza en mts.

Coefficiente del polinomio: Estas casillas se han dispuesto para la introducción de los coeficientes de un polinomio que describa la curva de la bomba de manera mas precisa de lo que lo hace el modelo cuadrático. El polinomio que se espera sea introducido debe ser de la forma

$$H = aQ^6 + bQ^5 + cQ^4 + dQ^3 + eQ^2 + fQ + g$$

Donde

H = Cabeza de la bomba en metros.

Q = Caudal de la bomba en m³/seg

a, b, c, d, e, f, g = Coeficientes del polinomio donde el exponente del caudal indica el grado del polinomio.

Edición de las bases de datos:

En orden (ver Figura 38) estos botones permiten Editar y crear materiales en la base de datos, por ejemplo nuevos codos, Editar y crear nuevos materiales para la tubería y por ultimo Editar y crear nuevos líquidos que podrían se bombeados:

Editar Accesorios:

1. Con este botón se llega a la ventana de Accesorios donde se tiene la posibilidad de editar las características de los accesorios en la base de datos o agregar un accesorio nuevo. A cada accesorio se le ha dado un código que el usuario puede introducir directamente para la escogencia rápida del accesorio.



Figura 39. Ventana de edición de accesorios.

1.1. Edición de Accesorios: Para editar accesorios ya existentes en la base de datos se debe hacer clic sobre el botón Buscar el cual abre una nueva ventana, Buscar Accesorios.



Figura 40. Ventana búsqueda de accesorios

1.1.1. En esta ventana el botón Buscar llena la lista con los accesorios de la base de datos mientras que el botón Limpiar la deja en blanco sin borrar la base de datos, a cada accesorio se le ha dado un código que el usuario puede

introducir directamente para la escogencia rápida del accesorio. Es importante hacer clic sobre el botón Aceptar para realizar la inserción del accesorio que desea editar.

1.1.2. El accesorio escogido aparecerá en la ventana Accesorios, sin embargo se debe hacer clic sobre el botón editar para poder realizar los cambios deseados para el accesorio, al realizarlos se debe hacer clic sobre el botón aceptar y podrá cerrar la ventana Accesorios.

1.2. Crear un nuevo accesorio:

1.2.1. En la ventana Accesorios haga clic sobre el botón Nuevo, automáticamente aparecerá el código de identificación de este accesorio y podrá darle un nombre y K al nuevo accesorio.

1.2.2. Haga clic en el botón Aceptar y cierre la ventana.

Editar Materiales.

1. Con este botón se llega a la ventana de Materiales (ver Figuras 39. y 40. se diferencian de las ventanas de accesorios por sus rótulos) donde se tiene la posibilidad de editar las características de los materiales en la base de datos o agregar un material nuevo. A cada material se le ha dado un código que el usuario puede introducir directamente para la escogencia rápida del material.

1.1. Edición de materiales: Para editar materiales ya existentes en la base de datos se debe hacer clic sobre el botón Buscar el cual abre una nueva ventana, Buscar Materiales.

1.1.1. En esta ventana el botón Buscar llena la lista con los materiales de la base de datos mientras que el botón Limpiar la deja en blanco sin borrar la base de datos, a cada material se le ha dado un código que el usuario puede introducir directamente para la escogencia rápida del material. Es importante hacer clic sobre el botón Aceptar para realizar la inserción del material que desea editar.

1.1.2. El material escogido aparecerá en la ventana Materiales, sin embargo se debe hacer clic sobre el botón editar para poder realizar los cambios deseados para el material, al realizarlos se debe hacer clic sobre el botón aceptar y podrá cerrar la ventana Materiales.

1.2. Crear un nuevo material:

1.2.1. En la ventana Materiales haga clic sobre el botón Nuevo, automáticamente aparecerá el código de identificación de este material y podrá darle un nombre y rugosidad al nuevo material.

1.2.2. Haga clic en el botón Aceptar y cierre la ventana.

Editar Líquidos.

1. Con este botón se llega a la ventana de Líquidos (ver Figuras 39. y 40. se diferencian de las ventanas de accesorios por sus rótulos) donde se tiene la posibilidad de editar las características de los líquidos en la base de datos o agregar un líquido nuevo. A cada líquido se le ha dado un código que el usuario puede introducir directamente para la escogencia rápida del líquido.

1.1. Edición de líquidos: Para editar líquidos ya existentes en la base de datos se debe hacer clic sobre el botón Buscar el cual abre una nueva ventana, Buscar Líquidos.

1.1.1. En esta ventana el botón Buscar llena la lista con los líquidos de la base de datos mientras que el botón Limpiar la deja en blanco sin borrar la base de datos, a cada liquido se le ha dado un código que el usuario puede introducir directamente para la escogencia rápida del liquido. Es importante hacer clic sobre el botón Aceptar para realizar la inserción del liquido que desea editar.

1.1.2. El liquido escogido aparecerá en la ventana Líquidos, sin embargo se debe hacer clic sobre el botón editar para poder realizar los cambios deseados para el liquido, al realizarlos se debe hacer clic sobre el botón aceptar y podrá cerrar la ventana Líquidos.

1.2. Crear un nuevo liquido

1.2.1. En la ventana Líquidos haga clic sobre el botón Nuevo, automáticamente aparecerá el código de identificación de este liquido y podrá darle un nombre y viscosidad cinemática al nuevo liquido.

1.2.2. Haga clic en el botón Aceptar y cierre la ventana.

Botón Diseñar del inicio de la aplicación.

Con el botón Diseñar (ver Figura 37) se llega a la ventana Definir Tubería en donde se tiene acceso para crear y editar el sistema, esto se hace creando tramos de tubería respecto a un tramo padre y dándole propiedades a estos

tramos como son el material de la tubería, su longitud, diámetro, presión final, etc.

Definir Tubería:

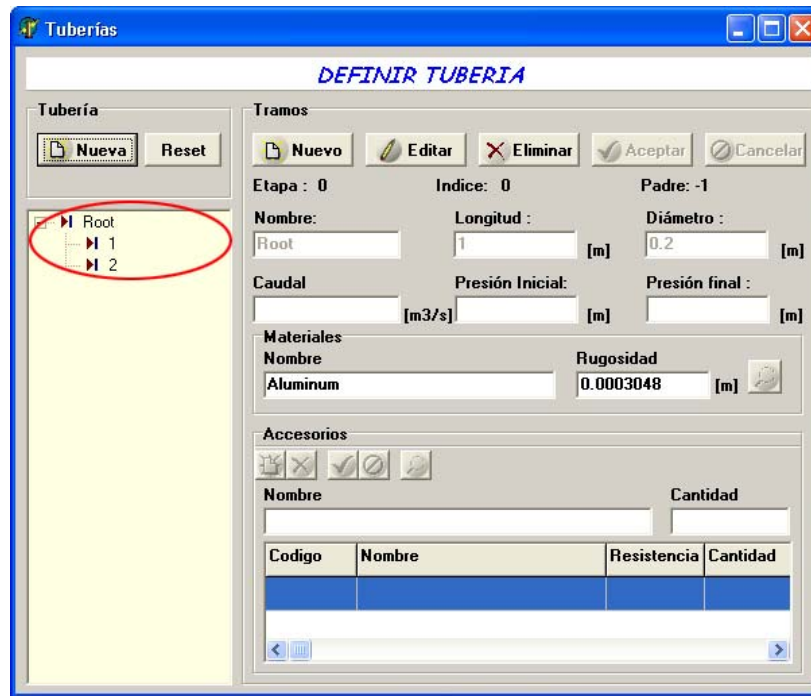


Figura 41. Ventana definir tubería.

En la ventana Definir Tubería se construye el sistema de transporte del fluido comenzando por un tramo raíz o Root, que esta definido como el tramo conectado a la bomba y por el que pasa el caudal de salida de todos los tramos finales que pueda tener el sistema.

La ventana se halla dividida en las secciones:

Tubería: Formada por el botón Nueva y Reset, además de un mímico de la tubería que comienza con el único tramo existente Root y a medida que el

usuario inserta nuevos tramos estos se van anexando de manera coherente en el sistema apareciendo un signo (+) en el tramo al que se le han anexado tramos hijos y que pueden ser desplegados al hacer clic sobre este signo.

Tramos: En esta sección se hallan los botones Nuevo, Editar, Eliminar, Aceptar y Cancelar, además de las casillas Nombre, Longitud, Caudal, Presión Inicial, Presión Final.

En esta sección se crea y edita el sistema en lo relativo a la relación entre los tramos, sus medidas y la presión estática al final del tramo, se describe a continuación la creación de nuevos tramos.

Creación de nuevos tramos:

Los pasos a seguir para crear nuevos tramos en el sistema son:

1. En el mímico escoja el tramo que desea bifurcar o crearle un nuevo tramo hijo, por defecto se comienza con solo el tramo Root así que los primeros dos tramos deberán ser anexados a este, cuando ya halla creado mas puede escoger en el mímico un tramo y seguir con el paso 2.

El mímico de la figura representa el sistema

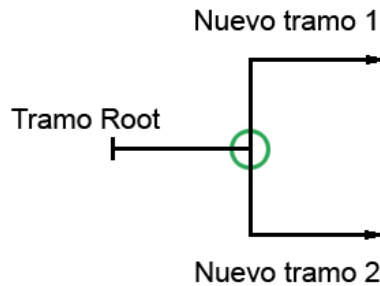


Figura 42. Esquema simple de tuberías.

2. Haga clic sobre el botón Nuevo de la sección tramos, esto genera un aviso en el que se le recuerda que debe crear como mínimo dos nuevos tramos si el tramo no tiene tramos hijos, pues recuerde que una etapa esta constituida por al menos un tramo raíz y dos tramos hijos.
3. Después de hacer clic sobre el botón Nuevo se hacen disponibles las casillas:

Nombre: Donde podrá indicar el nombre que desea para el tramo en construcción se recomienda que este nombre sea un numero y que corresponda a un diagrama prediseñado del sistema que se quiere solucionar.

Longitud: Se debe introducir la longitud del tramo que se esta construyendo, esta es la longitud real de la tubería planeada y debe recordar que esta longitud va del punto de bifurcación del tramo padre en el tramo que se esta creando hasta la bifurcación de este en otros tramos o el punto donde entrega el fluido.

Diámetro: En esta casilla se introduce el diámetro de la tubería que forma el tramo.

Presión Final: En esta casilla se debe introducir la presión estática final que se espera en el tramo en construcción. Esta presión estática final tiene sentido solo en los tramos finales del sistema pero se ha hecho obligatorio la introducción de esta información para todos los tramos para que el usuario no olvide introducirla, si el tramo no es final se recomienda al usuario que introduzca el valor cero o uno.

Las casillas **Caudal** y **Presión inicial** serán llenadas por el computador una vez resuelto el sistema, así el usuario puede hacer clic sobre cualquier tramo y conocer su presión inicial y el caudal en el último punto calculado.

Por la manera en que esta programada la aplicación es posible entonces hallar el caudal y la presión final de cualquier punto de la curva del sistema con solo cambiar el límite de los caudales de la bomba, pues estos son los límites que usa la aplicación para calcular el sistema.

4. Una vez llenadas estas casillas con los datos correspondientes el usuario puede pasar a escoger el material de la tubería de la base de datos con solo hacer clic sobre el botón Buscar en la sección materiales que abre la ventana buscar materiales.

En esta ventana con hacer clic en el botón Buscar se llena la lista de los materiales y es posible escoger el adecuado de la lista con solo hacer clic sobre el material y después sobre el botón Aceptar.

5. Por ultimo el usuario puede añadir los accesorios de tubería necesarios de la base de datos haciendo clic sobre el botón Nuevo en la sección Accesorio y luego haciendo clic sobre el botón Buscar, apareciendo la ventana Buscar Accesorio. En esta ventana con hacer clic en el botón Buscar se llena la lista de los accesorios y es posible escoger el adecuado de la lista con solo hacer clic sobre el accesorio y después sobre el botón Aceptar, entonces aparece el accesorio escogido en la ventana Definir Tubería y es posible definir cuantos de estos accesorios tiene el tramo en la casilla cantidad, el usuario puede cambiar esta información y dar clic en aceptar o cancelar según su juicio.

Al hacer clic sobre aceptar el accesorio aparece en la lista de abajo y se reactivan los botones de Nuevo y Eliminar.

Escogiendo cualquier accesorio en esta lista es posible eliminarlo con el botón Eliminar y luego Aceptar.

Edición de tramos.

Si el sistema ya se ha creado pero se desea editar cualquier valor, material o accesorio de un tramo se debe:

1. Hacer clic en el ícono sobre el tramo que se desea editar.
2. Hacer clic sobre el botón Editar en la sección tramos.
3. Hacer los cambios necesarios en las secciones que se desee.

Botón Solucionar del inicio de la aplicación.

Con el botón Solucionar se da inicio a los proceso de calculo e iteración anteriormente enunciados para obtener como resultado los datos y graficas deseadas a partir de los datos que previamente fueron definidos por el usuario.

Solución:

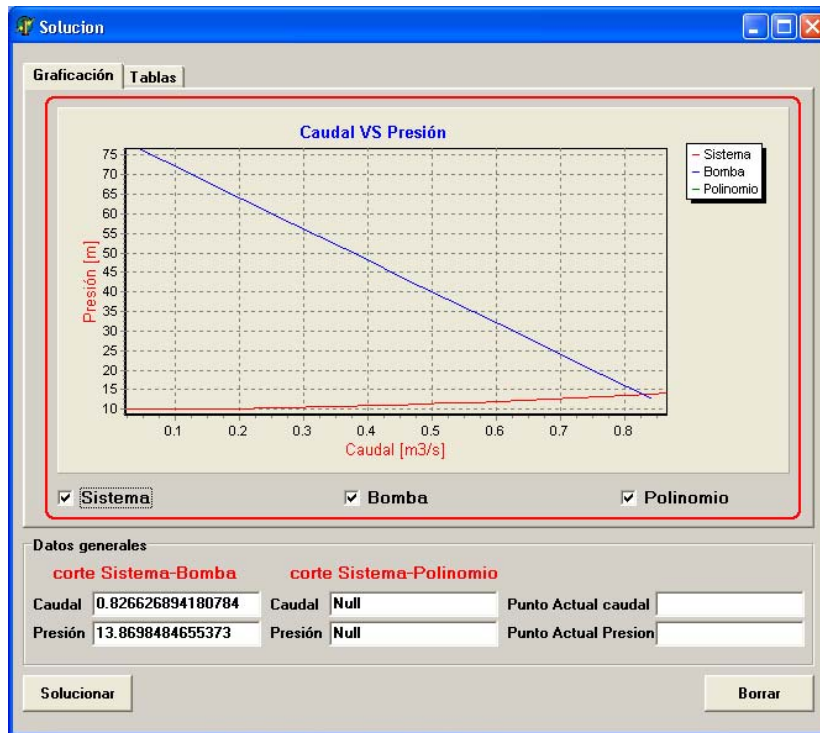


Figura 43. Ventana de Solución.

En la ventana Solución se da la orden a la aplicación de solucionar el sistema y las bombas así como se da la visualización de la solución de dos maneras, a través de grafica y de tablas de resultados.

La ventana se halla dividida con dos pestañas diferentes y en una zona inferior común al área de las pestañas, en esta zona común se halla la sección Datos Generales donde encontramos:

Botón Solucionar: Con los datos introducidos en las otras ventanas realiza los cálculos necesarios para ofrecer una solución al usuario.

Botón Borrar: Elimina los datos producto de hacer clic sobre el botón solucionar, no hace cambios en los datos de otras ventanas.

Las casillas de información:

Corte Sistema-Bomba Caudal y presión: En estas casillas el usuario encuentra el punto de la grafica donde la curva del sistema se cruza con la curva de la bomba de modelo cuadrático.

Corte Sistema-Polinomio Caudal y presión: En estas casillas el usuario encuentra el punto de la grafica donde la curva del sistema se cruza con la curva de la bomba de modelo polinomico introducido por el usuario.

Punto actual de caudal y presión: En estas casillas el usuario encuentra el punto real de la curva de la bomba del modelo polinomico calculado por la aplicación, sin interpolación, en el cual se da el cruce de esta curva con la curva del sistema. Esta casilla puede llegar a estar vacía si la aplicación no encuentra un punto de corte.

A continuación se describen las zonas de pestaña:

Graficación:

En la zona de graficación, encerrada en rojo (Figura 43), se muestran las tres curvas posibles al solucionar el sistema. En rojo la curva del sistema, en azul la curva de la bomba con modelo cuadrático tomado de los tres puntos

descritos en la ventana Datos Generales, y en verde la curva que describe la bomba con el polinomio que el usuario ha introducido.

El usuario puede hacer clic sobre las casillas Sistema, Bomba y Polinomio para hacer que se grafiquen las curvas deseadas.

Zoom: Es posible hacer un acercamiento en la grafica con solo hacer clic sostenido con el botón izquierdo y crear un cuadrado trazando una diagonal de derecha a izquierda y de arriba abajo. Para volver al zoom inicial trace una diagonal en sentido inverso a la descrita.

Tablas:

The screenshot shows a software window titled 'Solucion' with two tabs: 'Graficación' and 'Tablas'. The 'Tablas' tab is active, displaying a table titled 'Tabla de resultados'. The table has four columns: CAUDAL, PRESION SISTEMA, PRESION BOMBA, and PRESION POLINOMIO. Below the table, there are input fields for 'Datos generales' with labels for 'corte Sistema-Bomba' and 'corte Sistema-Polinomio'. At the bottom, there are buttons for 'Solucionar' and 'Borrar'.

CAUDAL	PRESION SISTEMA	PRESION BOMBA	PRESION POLINOMIO
0	Null	80	0
0.00236491240980606	10.0001257164477	79.8108070072155	0
0.0423649124098061	10.0112580031421	76.6108070072155	0
0.0823649124098061	10.0404000360531	73.4108070072155	0
0.122364912409806	10.0875518043436	70.2108070072155	0
0.162364912409806	10.1527133047649	67.0108070072155	0
0.202364912409806	10.2358845356554	63.8108070072155	0
0.242364912409806	10.3370654959964	60.6108070072155	0
0.282364912409806	10.4562561850915	57.4108070072155	0
0.322364912409806	10.5934566074244	54.2108070072155	0

Datos generales

corte Sistema-Bomba corte Sistema-Polinomio

Caudal: 0.826626894180784 Caudal: Null Punto Actual caudal:

Presión: 13.8698484655373 Presión: Null Punto Actual Presion:

Solucionar Borrar

Figura 44. Ventana de tabla de resultados

En la misma zona de graficación se puede abrir la pestaña de Tablas, donde se muestran los valores de las variables de interés que se han calculado, encontramos.

Caudal: En esta casilla se muestra el caudal común que pasa teóricamente por el sistema, la bomba de modelo cuadrático y la bomba de modelo polinómico. En la gráfica la presión del polinomio corresponde a la falta de valores de los coeficientes en la sección general.

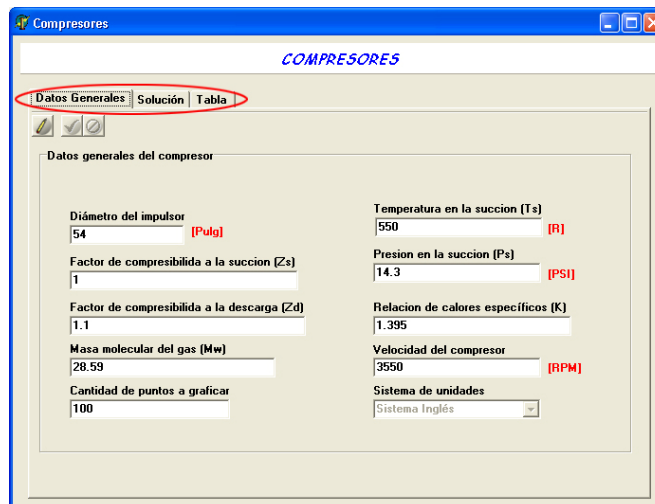
Presión Sistema: En esta casilla se muestra la presión correspondiente a cada caudal al inicio del tramo Root.

Presión Bomba: En esta casilla se muestra la presión correspondiente a cada caudal a la salida de la bomba que se ha modelado según el modelo cuadrático.

Presión Polinomio: En esta casilla se muestra la presión correspondiente a cada caudal a la salida de la bomba que se ha modelado a través del polinomio insertado por el usuario.

2.5.2 TUTORIAL APLICACIÓN COMPRESORES.

Aplicación para cálculo de compresores.



The image shows a software window titled 'Compresores' with a menu bar containing 'Datos Generales', 'Solución', and 'Tabla'. The 'Datos Generales' tab is active. Below the menu bar are three icons: a pencil, a checkmark, and a trash can. The main area is titled 'Datos generales del compresor' and contains two columns of input fields:

Datos generales del compresor	
Diámetro del impulsor 54 [Pulg]	Temperatura en la succión (Ts) 550 [R]
Factor de compresibilidad a la succión (Zs) 1	Presión en la succión (Ps) 14.3 [PSI]
Factor de compresibilidad a la descarga (Zd) 1.1	Relación de calores específicos (K) 1.395
Masa molecular del gas (Mw) 28.59	Velocidad del compresor 3550 [RPM]
Cantidad de puntos a graficar 100	Sistema de unidades Sistema Inglés

Figura 45. Ventana inicial de compresores

La aplicación de compresores esta dividida en tres pestañas, Datos Generales, Solución y Tabla. Se describen a continuación cada una de estas.

Datos Generales:

En esta ventana el usuario debe introducir en la respectiva casilla los datos necesarios para el cálculo de la grafica del compresor.

Las casillas son:

Diámetro del impulsor: El usuario debe introducir el tamaño del impulsor, este valor debe estar entre 14 y 60 pulgadas o entre 0.3556 y 1.524 metros.

Factor de compresibilidad a la succión: El usuario debe introducir el valor de esta propiedad del gas a la succión.

Factor de compresibilidad a la descarga: El usuario debe introducir el valor de esta propiedad del gas a la descarga del compresor. Se recomienda al usuario que use el valor de esta propiedad del gas en la relación de compresión en que desee mas precisión en el calculo.

Masa molecular del gas: En esta casilla el usuario debe introducir la masa molar del gas que desea simular en el compresor.

Cantidad de puntos a graficar: La aplicación necesita saber cuantos deltas de la relación de compresión debe usar para los cálculos así que el usuario debe introducir cuantos puntos desea que la aplicación calcule.

Temperatura a la succión: En esta casilla se debe introducir la temperatura del fluido a la entrada, ya sea la temperatura ambiente o la temperatura de salida de una etapa anterior.

Presión en la succión: En esta casilla se debe introducir la presión del fluido a la entrada, ya sea la temperatura ambiente o la presión de salida de una etapa anterior.

Relación de calores específicos: En esta casilla se debe introducir la relación de los calores específicos del fluido.

Velocidad del compresor: Esta casilla es opcional, el usuario puede usarla para probar el desempeño teórico del compresor a una velocidad determinada que puede llegar a no producir un resultado o puede dejarla vacía para que la aplicación escoja una velocidad de funcionamiento aproximada a la mas adecuada.

Sistema de unidades: En esta casilla se puede escoger el sistema de unidades con que se desea trabajar.

Solución.

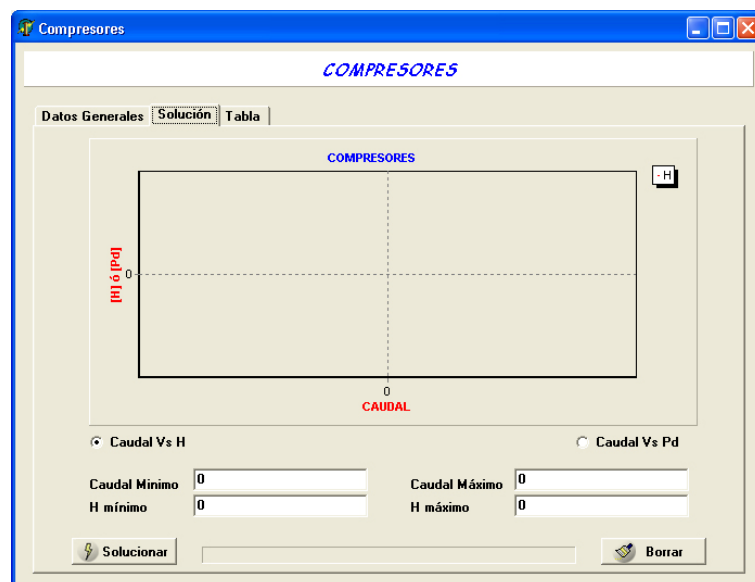


Figura 46. Ventana de Solución.

La ventana de solución ofrece la oportunidad de visualizar la solución en forma de grafica y sus características son:

Caudal Vs. H: Muestra en el área de la grafica el caudal en el eje X y la cabeza politrópica en el eje Y. En la sección de tablas puede ver las unidades de las variables mas importantes.

Caudal Vs. Pd: Muestra en el área de la grafica el caudal en el eje X y presión de a la descarga en el eje Y.

Caudal Mínimo: Muestra el caudal mínimo teórico que el compresor podría admitir en estado estable.

Caudal Máximo: Muestra el caudal máximo teórico que el compresor podría admitir en estado estable. No se ha tenido en cuenta la estabilidad vibracional.

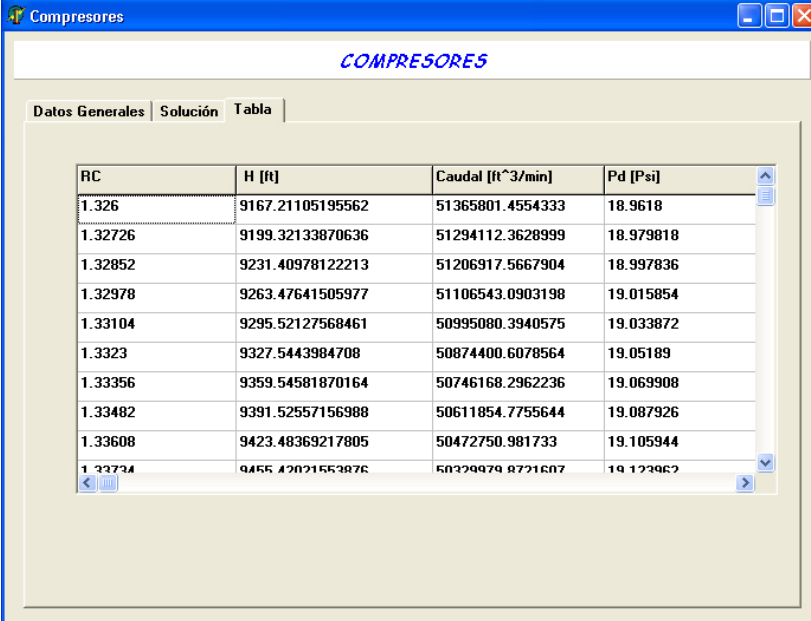
H mínimo: Muestra la cabeza politrópica asociada al caudal máximo y que teóricamente es la menor cabeza politrópica que produce el compresor.

H máximo: Muestra la cabeza politrópica asociada al caudal mínimo y que teóricamente es la mayor cabeza politrópica que produce el compresor.

Botón Solucionar: Con este botón se da inicio al proceso de solucionar la curva del compresor con los datos que el usuario ha proveído.

Botón Borrar: Con este botón se borran los datos que ha producido el proceso de solucionar sin eliminar los datos que el usuario ha introducido en la ventana de Datos Generales.

Tablas.



RC	H [R]	Caudal [ft ³ /min]	Pd [Psi]
1.326	9167.21105195562	51365801.4554333	18.9618
1.32726	9199.32133870636	51294112.3628999	18.979818
1.32852	9231.40978122213	51206917.5667904	18.997836
1.32978	9263.47641505977	51106543.0903198	19.015854
1.33104	9295.52127568461	50995080.3940575	19.033872
1.3323	9327.5443984708	50874400.6078564	19.05189
1.33356	9359.54581870164	50746168.2962236	19.069908
1.33482	9391.52557156988	50611854.7755644	19.087926
1.33608	9423.48369217805	50472750.981733	19.105944
1.33734	9455.42021553876	50329979.8721607	19.123962

Figura 47. Ventana de Tabla de resultados.

La solución de la curva del compresor también es dada en forma de tabla en esta ventana. En estas tablas encontramos las casillas:

RC: Muestra la relación de compresión que fue tomada para cada cálculo, recuerde que en la ayuda del programa STAF encuentra una explicación detallada de cómo funcionan las aplicaciones de cálculo.

H: Es la cabeza politrópica calculada para cada relación de compresión que el compresor es capaz de producir teóricamente.

Caudal: Es el caudal calculado para cada relación de compresión que el compresor es capaz de producir teóricamente.

Pd: Es la presión de descarga que produce el compresor para cada punto calculado de la curva.

Moviendo la barra de desplazamiento inferior puede acceder a otras variables para el análisis de la solución, estas son.

U: Es la velocidad tangencial del impulsor y es mostrada ya sea que el usuario halla introducido la velocidad de rotación del impulsor o no. En caso de que el usuario no lo halla hecho la aplicación encuentra una velocidad U adecuada que le sirve al usuario para saber a que velocidad rota el compresor.

$N = 229U/D$ = Velocidad de rotación en rpm

D = Diámetro del impulsor en pulg.

U = Velocidad tangencial en Pies/seg.

O para el sistema internacional

$N = 19.1 U/D$ = Velocidad de rotación en rpm

D = Diámetro del impulsor en metros.

U = Velocidad tangencial en metros/seg.

Carga promedio: Muestra el coeficiente de carga promedio μ que es la relación entre la carga politrópica y la velocidad de rotación del impulsor. Su valor debe estar entre 0.42 y 0.56.

Fi: Muestra el coeficiente de flujo ϕ calculado para cada punto y es la relación entre el caudal y la velocidad de rotación del impulsor.

2.5.3 TUTORIAL APLICACIÓN VENTILADORES.

Aplicación para cálculo de compresores.

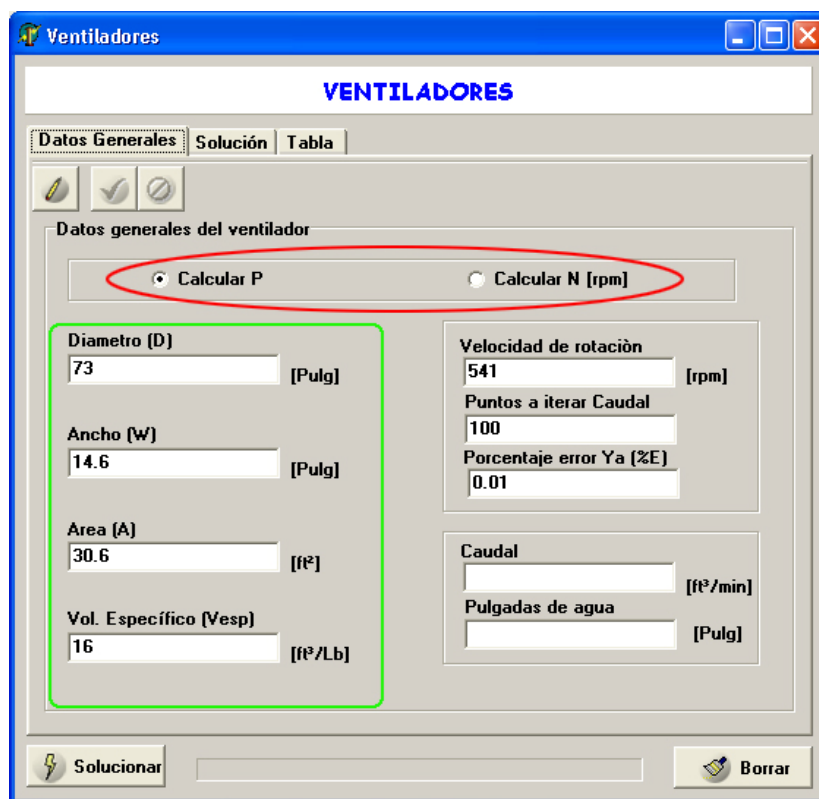


Figura 48. Ventana inicial ventiladores

Esta es la ventana principal de la aplicación para ventiladores, dividida en tres secciones principales por medio de pestañas, estas secciones son:

Datos Generales.

En esta ventana el usuario debe introducir en la respectiva casilla los datos necesarios para el cálculo que desea realizar del ventilador.

El usuario tiene dos tipos de cálculos a su disposición que puede escoger haciendo clic primero sobre el botón Editar. En la primera sección de la ventana puede escoger entonces **Calcular P** o **Calcular N** (rpm), encerrada en rojo en la figura de abajo:

Los datos necesarios para estos cálculos se hallan divididos en dos zonas, la primera una zona común a ambos tipos de cálculo, encerrada en verde en la figura de arriba, que contiene las casillas:

Diámetro: En esta casilla el usuario debe introducir el diámetro del impulsor del ventilador que desea modelar.

Ancho: En esta casilla el usuario debe introducir la distancia que hay entre las puntas de los alabes del impulsor, es decir, el ancho del impulsor.

Área: En esta casilla el usuario debe introducir el área transversal por la que el gas sale del ventilador y se dirige al sistema.

Vol. Específico: En esta casilla el usuario debe introducir el volumen específico del gas a bombear.

Y la otra zona depende del tipo de cálculo que el usuario halla escogido realizar, a continuación se describen cada uno:

Calcular P

En esta opción al hacer clic sobre el botón Editar se deben suministrar datos en las casillas encerradas en verde en la figura, estos datos son necesarios para el cálculo de las dispersiones de puntos de Caudal [pies³/min.] Vs. Incremento de la presión en columna de agua ΔP [pulgadas] y para Caudal [pies³/min.] Vs. Potencia consumida por el ventilador [Caballos de Potencia]

Al escoger calcular P se activan las casillas para generar esta dispersión de puntos y son:

Velocidad de rotación: Se debe introducir la velocidad de rotación a la cual funciona el ventilador a modelar en revoluciones por minuto.

Puntos a iterar caudal: En esta casilla se inserta la resolución con que se desea que se resuelva la dispersión de puntos, la aplicación calculará para todas las dimensiones posibles las variables en un rango de caudal fijo que es de 10.000 a 300.000 pies cúbicos por minuto.

Porcentaje de error de γ_a : En esta casilla se inserta el límite de comparación entre las variables internas γ_a y γ_b donde una se considerará igual a la otra si cumple con el porcentaje de diferencia incluido en esta casilla.

Esta variable es muy importante pues establece la convergencia de la solución que puede llegar a no generar puntos de funcionamiento si se exige gran precisión de igualación.

Con estos datos la aplicación realiza los procesos del algoritmo para generar una dispersión de puntos que pueden representar el desempeño de un

ventilador centrífugo con las características que el usuario ha introducido en las casillas.

Para entender mejor el funcionamiento de la aplicación se recomienda consultar la ayuda general del software STAF.

Calcular N.

En esta opción, que se escoge al hacer clic sobre el botón Editar, se deben suministrar datos en las casillas encerradas en verde en la figura que son necesarios para el cálculo de la velocidad de rotación en que debe funcionar un ventilador de las características físicas descritas en los datos generales comunes para las especificaciones de incremento de presión y caudal que el usuario desea obtener.

Es así como solo se tienen las casillas:

Caudal: En esta casilla se debe introducir el caudal que se espera producir con el ventilador, debe ser dado en pies cúbicos por minuto.

Pulgadas de agua: Es el aumento de presión estática que se espera producir con el ventilador, este incremento de presión debe ser pequeño, con un máximo recomendado de 12 pulgadas de agua para un ventilador de aproximadamente 250.000 pies cúbicos por minuto.

Al hacer clic en el botón solucionar la solución aparece en forma de una nueva ventana que informa la solución de N, como se muestra en la figura abajo. Dado que esta se obtiene de una ecuación que contiene una raíz cuadrada se dan ambas soluciones para la interpretación del usuario.

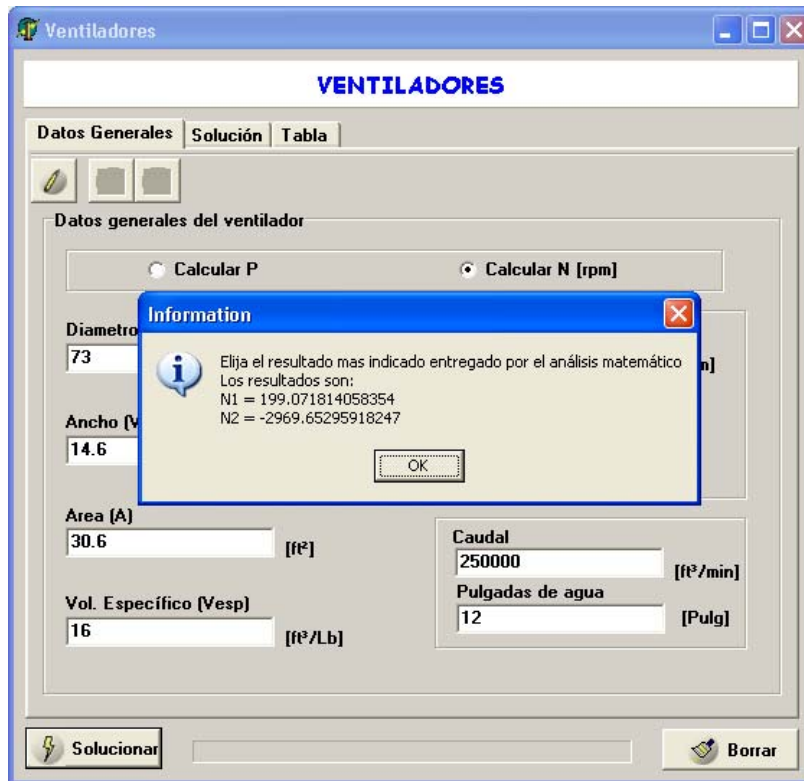


Figura 49. Ventana solución del calculo de N.

Las pestañas solución y tablas no ofrecen información extra sobre la solución de la velocidad de rotación N.

Pestaña Solución.

En la ventana de solución se muestra el resultado de los cálculos que corresponden a **Calcular P**, estos resultados son una dispersión de puntos de caudales contra la variable que se escoge en las casillas de opción, ya sea la potencia del ventilador en la casilla Caudal Vs. P o el incremento de la presión estática en la casilla Caudal Vs. Delta.

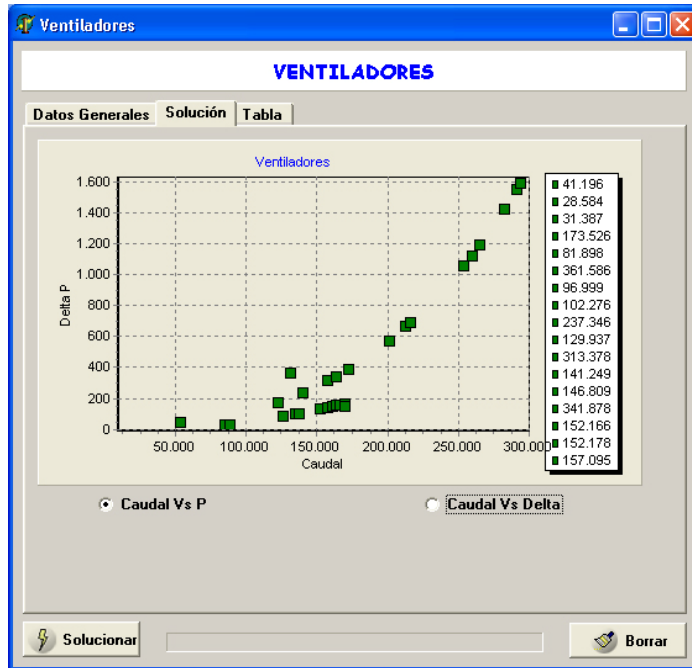


Figura 50. Dispersión de puntos de Caudal [pies³/min.] versus Potencia [HP]

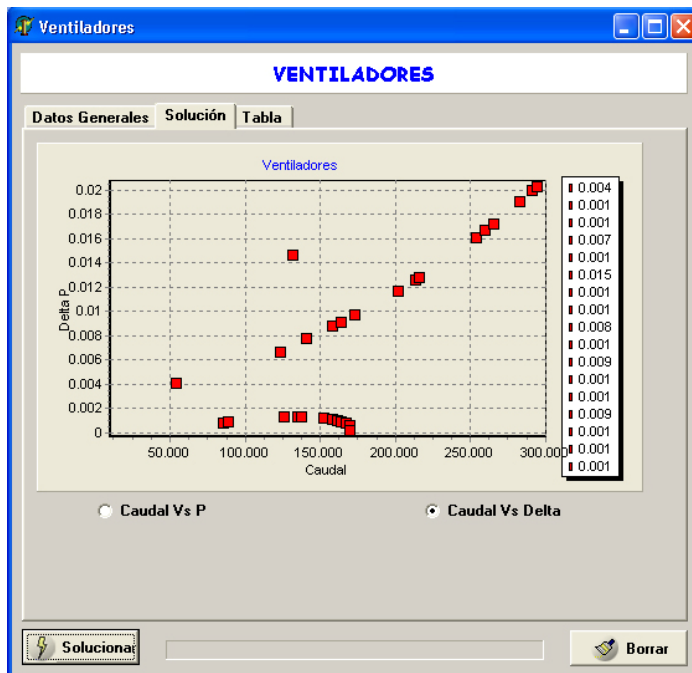
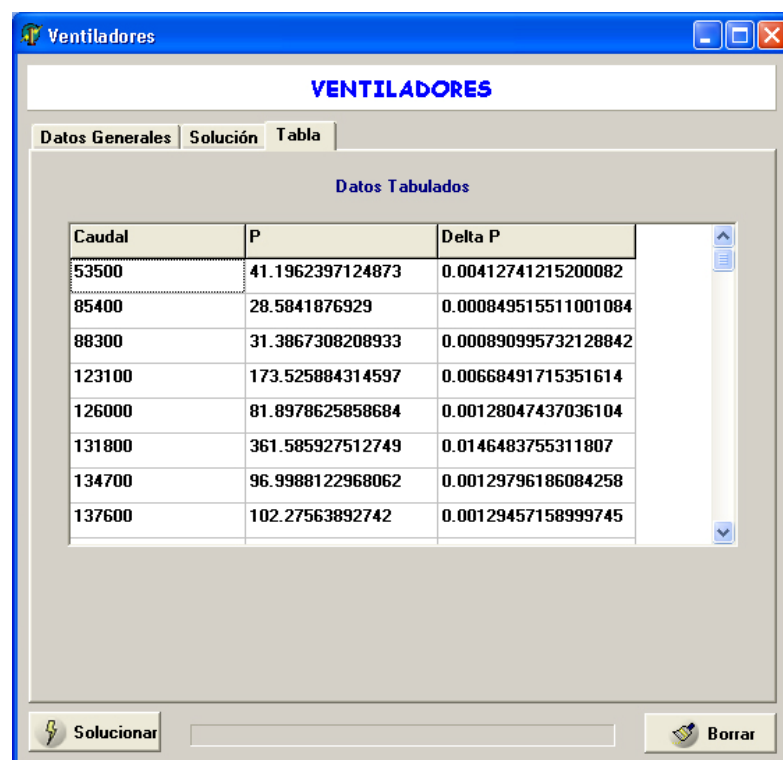


Figura 51. Dispersión de puntos de Caudal [pies³/min.] versus Incremento de la presión estática [pulgadas de agua]

La dispersión de puntos debe ser interpretada por el usuario y generalmente produce más de dos puntos por caudal y muestra inconsistencia en encontrar una solución para cada caudal iterado, esto obedece al modelo usado para los cálculos y debe tenerse conciencia de las limitaciones de este.

Pestaña Tabla.



Caudal	P	Delta P
53500	41.1962397124873	0.00412741215200082
85400	28.5841876929	0.000849515511001084
88300	31.3867308208933	0.000890995732128842
123100	173.525884314597	0.00668491715351614
126000	81.8978625858684	0.00128047437036104
131800	361.585927512749	0.0146483755311807
134700	96.9988122968062	0.00129796186084258
137600	102.27563892742	0.00129457158999745

Figura 52. Ventana de tabla de resultados

En la ventana de tabla se muestran los puntos de la dispersión de las dos graficas en forma tabulada, aquellos valores de caudal que no generaron una solución no son tabulados.

Se han tabulado el caudal en pies cúbicos por minuto, la potencia (P) en caballos de potencia y el delta P en pulgadas de agua de presión estática.

Se recuerda al estudiante que entender mejor el funcionamiento de la aplicación se recomienda consultar la ayuda general del software STAF.

2.6 AMBIENTE DE DESARROLLO DEL SOFTWARE .

2.6.1 Hardware Requerido.

Procesador Pentium MMX o superior

Memoria RAM 32 MB

Disco Duro de 1.2 GB

Monitor a color

Unidad de CD ROM

Mouse

Punto de conexión a Internet.

2.6.2 Software Requerido.

Sistema operativo Microsoft Windows (98, Me,XP), o Linux

MS Internet Explorer

Macromedia Shockwave plug-in

Software par visualización de pdf (ej. Adobe Reader)

Codecs de video Divx

CONCLUSIONES

El proyecto de grado y más específicamente el software, cumplió a cabalidad el objetivo de convertirse en una herramienta de gran valor pedagógico y que además servirá como aglomerador de futuras actividades de investigación y desarrollo de contenido pertinente a la asignatura “Sistemas de transporte y aprovechamiento de Fluidos”.

El tiempo empleado en el proceso de digitación de la información y contenido teórico del software fue mucho mayor de lo proyectado inicialmente en el plan de proyecto, inicialmente el contenido recopilado fue tan amplio que se requirió sintetizar y concentrar mucha de la información para no colmar el proyecto de teoría.

Algunos de los temas reducidos se remplazaron por archivos pdf que le permitirán a los estudiantes profundizar en estos temas si así lo desean.

El proceso de autorización de uso del contenido teórico extraído de los libros a fin de generar un permiso de distribución del software de forma comercial por parte de la Universidad o de los estudiantes, como se pretendía inicialmente para los posibles usuarios del sector industrial que estuvieran interesados, fue tan complejo y demandaba tanto tiempo que simplemente no resulto apropiado para el tiempo con el que se contaba. Los derechos intelectuales en su gran mayoría permanecen en propiedad de los autores de los libros por lo que se decidió hacer una declaración de uso académico restrictivo del proyecto de grado.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que este software se restrinja para el uso exclusivo de los estudiantes y egresados de la de la Universidad Industrial de Santander, principalmente los estudiantes de la asignatura Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos de la Escuela de Ingeniería Mecánica; por ser el contenido teórico de este software una recopilación de temas y conceptos extraídos de los distintos libros referenciados en la bibliografía y de los cuales los autores de este proyecto de grado no tenemos derechos intelectuales, señalamos que el uso de este software es de carácter académico gratuito y de uso bajo criterios definidos por la Universidad Industrial de Santander.

Los archivos en formato pdf mencionados a lo largo del ANEXO B (CD adjunto) "Contenido Teórico" no se incluyen impresos dentro de este documento por la longitud de algunos de estos archivos y por que algunos de ellos a su vez tienen restricciones de captura de texto e imagen, estos archivos deben ser vistos a través del software STAF o buscándolos en la respectiva carpeta del capítulo dentro del CD.

Se recomienda al usuario revisar las indicaciones de instalación de las todas las aplicaciones especialmente las indicaciones de las aplicaciones principales, el software arranca automáticamente con la presentación inicial para comodidad del usuario, pero en su primer uso se recomienda oprimir el botón de ayuda y leer las indicaciones de uso del software para que el usuario obtenga una descripción total de los botones y el contenido.

BIBLIOGRAFÍA

BLOCH HEINZ P. Guía practica para la tecnología de los compresores. Mexico : McGraw-Hill, 1998. 528 p.

BROWN, Royce N. Compressors; Selection and Sizing. London. : GULF, 1986. 0498 p.

CORNELL, Gary. Manual de Borland Delphi 3.0 para Windows. Madrid: McGraw Hill. 1995. 650 p.

EVANS, Frank L. Jr. Equipment Design Handbook for Refineries and Chemical Plants
Houston : GULF, 1979. 0582 p.

GALVIS, PANQUEVA. Alvaro. Ingeniería del software Educativo.
Santafé de Bogotá: Universidad de los Andes Editorial 1994.

GALVIS, PANQUEVA. Alvaro. Ambientes Educativos Computarizados.
En: BOLETÍN DE INFORMATICA EDUCATIVA: Materiales Educativos Computarizados, grupo de Investigación informática Educativa de la universidad de los andes. Vol 2, No 2 (Agosto 1989). Santafé de Bogotá: Universidad de los Andes COLCIENCIAS, 1989.

GULF PUBLISHING COMPANY, Book Division. Compressor Handbook for Hydrocarbon Processing Industries. Houston : GULF, 1979. 0258 p.

HICKS, Tyler G. Pump Operation and Maintenance. New York: MCGRAW HILL, 1958. 0310 p.

KREITH, Frank. Principios de Transporte y aprovechamiento de fluidos. México: Herrero Hermanos S. A., 1.978. 690 p.

LITTLETON, Charles T. Tubería Industrial. Mexico: Compañía Editorial CONTI, 1964. 405 p.

MCNAUGHTON, Kenneth. Bombas, selección, uso y mantenimiento. Mexico : McGraw-Hill, 1999. 373 p.

MELÉNDEZ, ACUÑA. Alfonso. Informática y Software Educativo. INSTITUTO COLOMBIANO PARA EL FOMENTO DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR, Santafé de Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Educación

MOHITPOUR- GOLSHAN H. -MURRAY A. Pipeline design & construction. M. New York: ASME Press, 2002. 458 p.

ÖZISIK, M. Necati. Transporte y aprovechamiento de fluidos. Colombia : McGraw-Hill, 1.975. 556 p.

POTTER, Merle C. WIGGERT, David C. Mecánica de fluidos. México: Prentice Hall, 1998. 776 p.

SCHUETZLE, Dennis, Ed. Monitoring Toxic Substances; Based on a Symposium Sponsored by the ACS Division of Industrial and Engineering Chemistry at the 174th Meeting. Washington, DC. : ACS, 1979. 0289 p.

SIHI Group. Basic Principles for the Design of Centrifugal Pump Installations. Ludwigshafen : Sihi-Halberg, 1980. 324p. : il., diagsr., tablas

SIHI-HALGERG. Basic principles for the design of centrifugal pump installations. Ludwigshafen: Sihi Group, 1980. 324 p.

SOLER MANUEL, Manuel A. Manual de Bombas. España: Asociación Española de Fabricantes de Bombas para Fluidos, 1992. 262p. : il., diagsr., tablas.

STREETER, Victor L. WYLIE, E. Benjamin. Mecánica de los fluidos. México: McGraw-Hill, 1994. 595 p.

VIEJO ZUBICARAY, Manuel. Bombas: Teoría, Diseño y Aplicaciones. Mexico : Limusa, 1996. Descripción Física 290p. : il. (algunas col.), diagsr., tablas + [2] plegs.

WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION TECHNICAL PRACTICE COMMITTEE CONTROL GROUP. Diseño de Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales y Aguas Pluviales. Washington, D.C. : WPCF, 1984. 176p. : il.

GLOSARIO

Pdf: los archivos con esta extensión son documentos de Acrobat Reader ® los cuales normalmente no son alterables por el lector.

Link: es una palabra o frase a la cual se le atribuye una acción que permite dirigirse a un documento o aplicación predefinida.

Interfaz: es un ambiente grafico de interacción, el cual presenta todo el contenido de el programa según este sea programado para presentarse en la pantalla del computador, y para que el usuario acceda a sus diferentes elementos.

Hipervínculo: esta es otra forma de referirse a los links.

Zip: los archivos con esta extensión son documentos comprimidos con aplicaciones como WINZIP o WINRAR los cuales a través de estos mismos o de las últimas versiones de Windows pueden ser accedados.

Plug-in: herramienta adicional a los navegadores de Internet que permiten acceder directamente archivos a través de los mismos sin abrir la aplicación nativa de la extensión del archivo.

Shockwave flash: plug-in gratuito distribuido por Macromedia ® para la visualización de animaciones y ambientes interactivos.