

Nº 122  
2FV.

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



## ANALISIS DE SISTEMAS DE BOMBEO UTILIZANDO COMPUTADORAS PERSONALES

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A  
GUSTAVO URBIOLA FLORES

MEXICO D. F.

1992

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

JURADO ASIGNADO:

Presidente . . . . . Prof. ALEJANDRO ANAYA DURAND.  
Vocal . . . . . Prof. JESUS TORRES MERINO.  
Secretario . . . . . Prof. JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ.  
1er. Suplente . . . . . Prof. GUILLERMO MOLINA GOMEZ.  
2o. Suplente . . . . . Prof. EMILIO ARTURO ZUMAYA PEREZ.

Sitio donde se desarrolló el tema:

U.N.A.M. FACULTAD DE QUIMICA.

Asesor del tema:

ING. JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ..... 

Sustentante:

GUSTAVO URBIOLA FLORES..... 



## INTRODUCCION.

En el ejercicio profesional, y durante el desarrollo de la carrera de Ingeniería Química, se presentan una gran variedad de problemas relacionados con la especificación, diseño y selección de sistemas de transportación y distribución de fluidos, como parte de un proceso o como parte de una planta química.

Los sistemas de computo han venido a ser una herramienta de gran apoyo para resolver problemas como los mencionados anteriormente. Durante los años sesentas y parte de los setentas tanto los profesionales como los estudiantes del area empleaban reglas de cálculo, con las que consumían entre 40 y 80 horas, para proponer alternativas de solución. En la actualidad se pueden desarrollar programas que permiten reducir este tiempo a un máximo de 10 minutos, permitiendo de esta forma el analisis de un mayor número de alternativas y con esto realizar una mejor selección en un tiempo menor.

Se espera que el presente trabajo pueda ser usado por quienes estudian la materia de flujo de fluidos, así como por quienes la imparten, ya que en muchas ocasiones la cantidad de cálculos que se requieren realizar para construir la gráfica de un sistema es tan grande que provoca que el estudiante pierda con facilidad el enfoque final del cálculo, como por ejemplo, los efectos que tendría sobre un ramal o sobre el sistema en su conjunto, el cerrar una válvula, disminuir o aumentar en un diámetro nominal una sección del sistema, etc.,

Con base en lo anterior en este trabajo de tesis se tiene como objetivo desarrollar un programa para computadora personal, que permita a los usuarios estudiar varias propuestas referentes a la transportacion de fluidos desde un tanque fuente o mas, hasta un tanque receptor o más, a través de arreglos de bombas en serie o en paralelo. Se incorporan en dicho programa bancos de datos, que contienen la información necesaria para el cálculo de un sistema de bombeo, como lo son, los accesorios más comunmente usados, las propiedades físicas de algunos líquidos, las características físicas de tuberías. Se incluye también un banco de datos con curvas características de bombas conocidas por el programa o bien la posibilidad de que el usuario ingrese la curva característica de su bomba.

## CLASIFICACION DE BOMBAS

Los aparatos destinados a la impulsión de líquidos se denominan BOMBAS, las bombas pueden ser divididas en dos grandes grupos: por desplazamiento volumétrico del fluido, conseguido mecánicamente, o por acción dinámica, como puede ser una fuerza centrífuga.

En el primer caso, las bombas se denominan de desplazamiento positivo o volumétricas, pues en la admisión, el líquido es confinado en un cierto espacio de la bomba donde se le comunica la energía, siendo desplazado a continuación hasta la zona de expulsión. Este tipo de bombas proporciona una cantidad constante de líquido en cada revolución de la parte móvil, sin que el líquido pueda circular libremente a través del cuerpo de la bomba. Esta, lógicamente, no puede funcionar con la salida cerrada y si se quiere disminuir o suprimir el caudal sin parar la bomba, es necesario recircular parte o todo el líquido bombeado, respectivamente.

En el segundo caso, las bombas se denominan centrífugas y en ellas el líquido si puede circular libremente a su través, pues recibe la energía por acción de la fuerza centrífuga que le comunica un disco giratorio a gran velocidad, sin necesidad de ser confinado en espacios interiores.

Una clasificación sencilla de las diferentes bombas existentes, puede hacerse considerando el tipo de impulsor con que cuenta cada clase de bomba.

La tabla No. 1 contiene información sobre la clasificación de bombas y en la tabla No. 2 se muestran algunos criterios de selección de bombas.



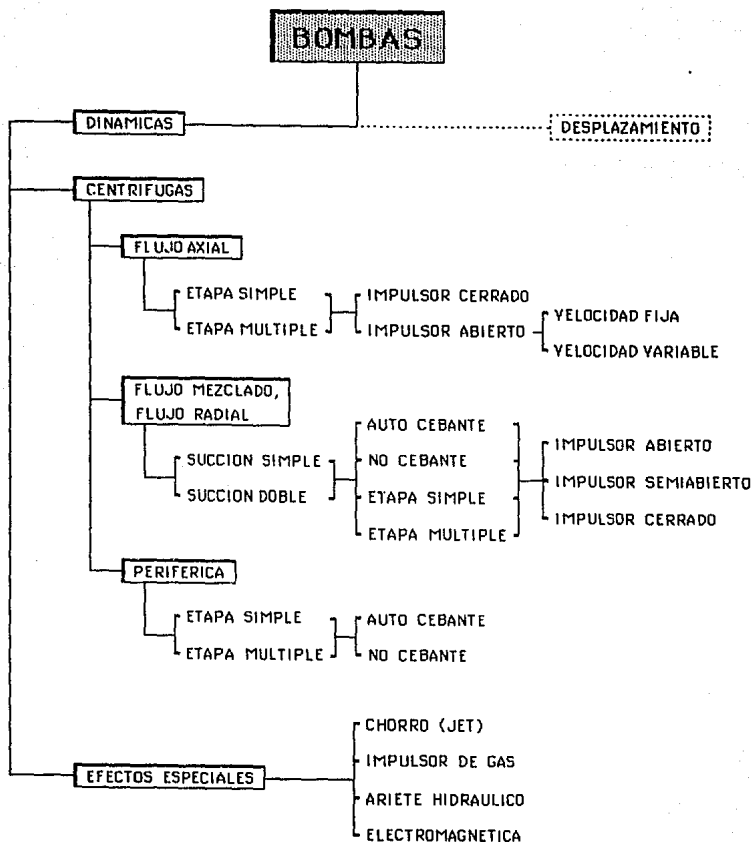


TABLA No. 1

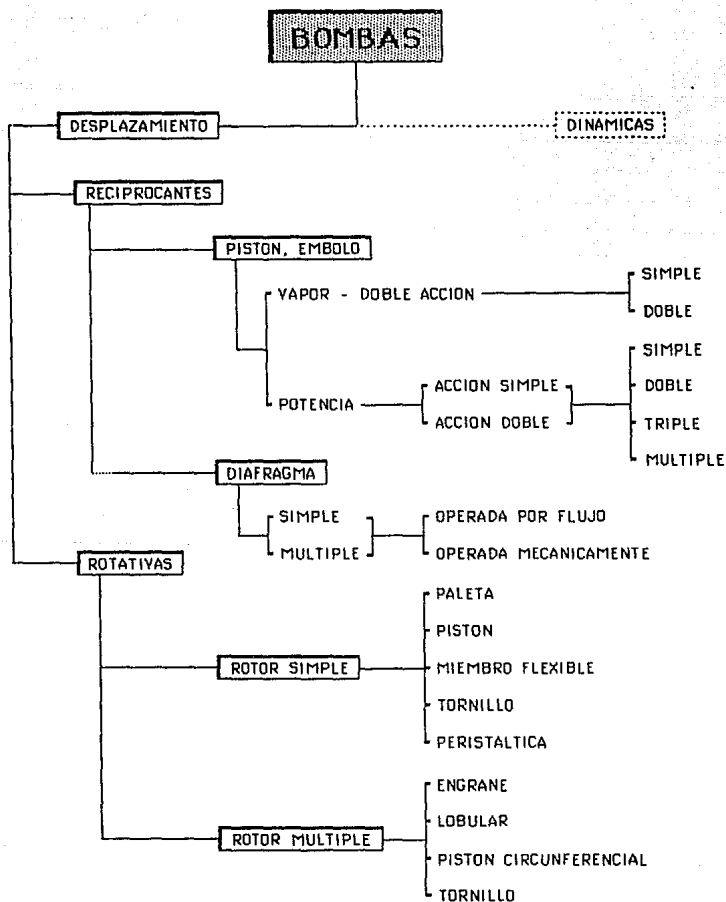


TABLA No. 1 (Continuación).

Criterios de selección primaria de bombas de líquidos (Tabla No. 2)

	TIPO DE BOMBA							
	CENTRIFUGA			ROTATIVA (Desplazamiento Positivo)				
	Flujo Axial	Flujo Radial	Regenerativa (Turbina)	Leva y Pistón	Tubo Flexible	Engrane		Lobulo
						Externo	Interno	
Presión máxima (bar)	350	350	50	350	10	350	350	350
Temperatura intervalo (C)	-240 a 500	-240 a 500	-30 a 250	-10 a 270	-10 a 80	-30 a 400	-30 a 400	-30 a 400
Diferencia máxima de presión (bar) por etapa	2	20	35	200	10	200	200	17
Intervalo de viscosidad (Pa s)		<0.2	<0.1	0.001 a 0.1	0.001 a 0.1	0.001 a 400	0.001 a 400	0.001 a 0.1
Eficiencia (%)	50-85a	50-85a	20-40a	40-85	40-70	40-85	40-88	40-85
Costo relativo								
Precio de compra	Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Bajo	Moderado	Moderado	Alto
Instalación	Bajo	Bajo	Moderado	Bajo	Bajo	Moderado	Bajo	Bajo
Mantenimiento	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Bajo	Bajo	Bajo
Tipo de servicio								
Cavitación	D	E	B	B	B	B	E	B
Líquidos corrosivos	C	C	C	C	B	C	C	C
Operación en seco	E	E	E	E	A	D	D	D
Alto flujo	A	A	E	D	E	D	D	D
Alta presión		C	B	A	D	B	B	D
Alta temperatura	C	C	D	D		C	C	C
Alta viscosidad	D	E	E	B	B	A	A	B
Bajo flujo		D	A	A	A	A	A	B
Baja viscosidad	A	A	A	A	B	D	D	D
Líquidos no Newtonianos	D	D	D	B	D	A	A	B
Partículas								
Abrasivas	B	C			D			
No abrasivas	B	B			D	D	D	
Problemas de servicio:								
Pulsación	A	A	A	B	B	B	B	B
Ruido	A	A	A	A	A	A	A	B
Inversión de flujo				C	A	C	C	C
Goteo de fluidos críticos	C	C	C	C	A	C	C	C
Protección de sobre presión	A	A	D	C	C	C	C	C

(Continuación)

	TIPO DE BOMBA								
	CENTRIFUGA				ROTATIVA (Desplazamiento Positivo)				
	Flujo Axial	Flujo Radial	Regenerativa (Turbinal)	Leva y Pistón	Tubo Flexible	Engrane			Lobulo
						Externo	Interno		
Materiales comunes de construcción									
Acero al carbón	X	X	X	X		X	X	X	X
Fierro colado	X	X	X	X		X	X	X	X
Plástica		X			X	X	X	X	
Fibra de vidrio		X				X	X	X	
Teflón		X				X	X	X	
Recubierta de Polímeros		X							
Vidrio		X							
Acero inoxidable	X	X	X			X	X	X	X
Titanio		X				X	X	X	
Carbón		X			X	X	X	X	
Cerámica		X			X	X	X	X	
Otras ventajas o desventajas					C,d	C,d	C,d	C,d	C,d

## Simbología

- A Excelente o sin limitaciones  
 B Algunas limitaciones  
 C Existen unidades con alto costo para minimizar problemas  
 D Limitada en ese aspecto  
 E Muy limitada en ese aspecto  
 F Inaceptable  
 a Independiente de la viscosidad arriba de 0.05 Pa s  
 b Incluye compresor de gas  
 c Motoreductor de engrane es frecuentemente necesario

- d Protección contra presión es necesaria  
 e Conveniente operarla con vapor o aire a presión  
 f Se puede prever la falla del diafragma  
 g Requiere de espacio considerable

(Continuación)

	TIPO DE BOMBA					
	ROTATIVA (Desplazamiento Positivo)			Reciprocante (Desplazamiento positivo)		Desplazamiento Volumétrico
	Pistón (Circunferencial)	Tornillo	Paletas Deslizantes	Pistón	Diafragma	Tanque Presurizado
Presión máxima (bar)	350	350	350	1000	350	350
Temperatura intervalo (C)	-30 a 370	-30 a 370	-30 a 270	-30 a 370	-30 a 270	-240 a 500
Diferencia máxima de presión (bar) por etapa	17	20	150	1500	70	350
Intervalo de viscosidad (Pa s)	0.0001-400	0.001-1000	0.001-100	0.001-400	0.001-100	<400
Eficiencia (%)	40-85	40-70	40-85	60-90	40-70	40-60
Costo relativo						
Precio de compra	Moderado	Alto	Moderado	Alto	Moderado	Alto b
Instalación	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Moderado	Bajo
Mantenimiento	bajo	Moderado	Bajo	Alto	Moderado	Bajo
Tipo de servicio						
Cavitación	B	B	B	B	B	A
Líquidos corrosivos	C	C	C	C	C	A
Operación en seco	A	D	E	E	B	A
Alto flujo	D	D	D	D	E	A
Alta presión	B	B	B	A	B	C
Alta temperatura	C	C	C	C	C	C
Alta viscosidad	A	A	A	A	A	B
Bajo flujo	A	A	A	B	A	A
Baja viscosidad	D	D	B	B	A	A
Líquidos no Newtonianos	A	A	A	A	D	B
Partículas						
Abrasivas		E		C	B	C
No abrasivas		A	E	C	B	C
Problemas de servicio						
Pulsación	B	A	B	C, D	C	A
Ruido	A	B	B	D	B	D, b
Inversión de flujo	C			C	C	
Goteo de fluidos críticos	C	C	C	D	A	A
Protección de sobre presión	C	C	C	C	C	C

	TIPO DE BOMBA						
	ROTATIVA (Desplazamiento Positivo)			Reciprocante (Desplazamiento positivo)		Desplazamiento Volumétrico	
	Pistón (Circunferencial)	Tornillo	Faletas Deslizantes	Pistón	Diafragma	Ianque	Presurizado
Materiales comunes de construcción							
Acero al carbón	X	X	X	X	X		X
Hierro colado	X		X	X	X		
Plástica					X		
Fibra de vidrio		X					X
Teflón		X			X		X
Recubierto de Polímeros							X
Vidrio							X
Acero inoxidable	X	X	X	X	X		X
Titanio	X						X
Carbón							
Cerámica							
Otras ventajas o desventajas	c,d	c,d	c,d	c,e	c,f		h

A continuación se describen algunos de los principales tipos de bombas, tanto de desplazamiento positivo como centrífugas.

Aún cuando ésta no es una lista exhaustiva de los tipos de bombas, ilustran la variedad de bombas más comúnmente usadas.

## BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO

### BOMBAS DE PISTÓN O EMBOLO

Las bombas de pistón o émbolo constan de un pistón movido por una biela, el cual comprime al líquido en la cámara o cilindro en que se aloja, en la entrada y en la salida existen las correspondientes válvulas de retención. Como consecuencia de dicho mecanismo dan un caudal fluctuante, puesto que durante la admisión no hay descarga de líquido y durante la expulsión el caudal varía, pasando por un máximo.

Para evitar esta fluctuación se suele disponer de un depósito lleno de aire a la salida de la bomba (pulmón), que por compresión y expansión del aire de su interior amortigua las oscilaciones del caudal. Otra forma muy frecuente consiste en utilizar émbolos que actúan por las dos caras (acción doble), de forma que cuando aspira por un lado, está expulsando por el otro.

Un paso más en este sentido lo constituyen las bombas con dos o más cilindros, de acción simple o doble, defasados en medio recorrido, la figura número 1 muestra el esquema de una bomba de pistón de acción simple y la figura número 2 muestra el esquema de una bomba de pistón de acción doble.

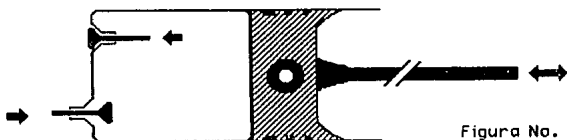


Figura No. 1

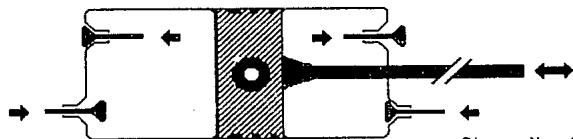


Figura No. 2

Sin embargo, a pesar de estas fluctuaciones significativas en periodos cortos de tiempo, estas bombas proporcionan caudales muy constantes en periodos largos de tiempo. Las presiones que alcanzan a la salida suelen ser elevadas.

Las bombas de pistón o émbolo son muy útiles para la impulsión de líquidos muy viscosos por el elevado esfuerzo cortante que se crea sobre las paredes del cilindro al paso del émbolo, sin embargo, no se pueden utilizar para bombear líquidos que contengan sólidos abrasivos, debido al daño que ocasionarían sobre las superficies pulidas del interior.

#### BOMBAS DE DIAFRAGMA

Las bombas de diafragma pueden operar sea mecánicamente o a través de presión de fluido en el lado del propulsor del diafragma.



Una bomba de diafragma típica del segundo tipo (usando líquido propulsor) se muestra en la figura número 3. El diafragma toma el lugar de un pistón, las únicas partes en movimiento en contacto con el líquido bombeado son el diafragma flexible y las válvulas de entrada y salida, las cuales pueden ser de bola o de compuerta.

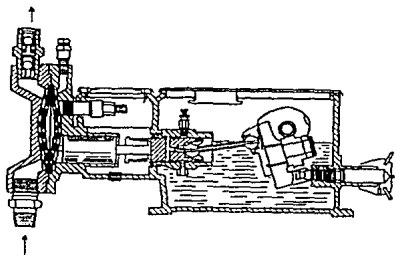


Figura No. 3

En las bombas de propulsión de líquido (figura 3) el líquido es usado para transmitir movimiento de un pistón recíprocante al diafragma. En este caso el líquido deberá ser recirculado para evitar calentamiento.

En bombas mecánicas el movimiento es transmitido directamente al diafragma como es el caso de las bombas de pistón. Para presiones más altas, como las bombas de filtro, es práctica común usar anillos concéntricos para soportar un diafragma flexible.

## TIPOS DE BOMBAS ROTATIVAS.

Las bombas rotativas son bombas de desplazamiento positivo, en las cuales la acción principal de bombeo es causada por el movimiento relativo entre los elementos giratorios de la bomba y los elementos estacionarios de la misma. El movimiento rotatorio es lo que las distingue de las bombas recíprocas.

Su acción de bombeo por desplazamiento las distingue de la clase general de bombas centrífugas en las cuales el desplazamiento del líquido depende en gran parte de la velocidad desarrollada por el líquido.

Es característica de una bomba rotativa de desplazamiento positivo que el líquido desplazado por cada revolución de la misma sea independiente de la velocidad.

Las bombas rotativas son útiles en el manejo de líquidos y de fluidos, donde fluido es un término general, donde se incluyen líquidos, vapores, gases y mezclas de las mismas y en ocasiones sólidos suspendidos; y donde líquido es un término más específico que está limitado a líquidos verdaderos que son relativamente incompresibles y relativamente libres de gases, vapores y sólidos.

## BOMBAS DE TORNILLO.

Las bombas de tornillo son un tipo especial de bombas de desplazamiento positivo, en las cuales el flujo que se bombea es axial a los elementos de la bomba. El líquido es llevado entre

las crestas del tornillo y es transportado como el engranaje del tornillo. En todas las bombas de desplazamiento positivo el liquido es forzado a viajar circunferencialmente, la bomba de tornillo es el único tipo de bomba con flujo axial y baja velocidad interna dando asi ventajas en muchas áreas de aplicación en donde la agitación del liquido o la turbulencia son inconvenientes.

De acuerdo con los estándares del instituto hidráulico, las bombas de tornillo son clasificadas como de rotor simple o de rotor multiple, estos tipos de bombas se muestran en las figuras Nos. 4 y 5 respectivamente.

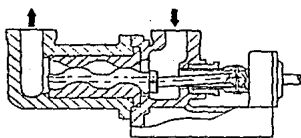


Figura No. 4

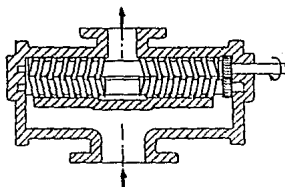


Figura No. 5

La bomba mostrada en la figura No. 4 es de rotor simple, en este caso la cresta del rotor es excéntrica al centro de rotación y engrana con las crestas internas del cuerpo de la bomba o estator, este tipo de bombas existen en un número limitado de configuraciones.

La bomba mostrada en la figura No. 5 es de rotor múltiple, este tipo de bombas se encuentran disponibles en una gran variedad de diseños, la más conocida de este tipo de bombas es la de doble par de rotores.

#### BOMBAS DE LOBULO

Estas bombas operan como las bombas de engrane externo. Dentro de las bombas de lóbulo, los impulsores pueden ser de 2, 3 o 4 impulsores, el principio de una bomba de 3 lóbulos está ilustrada en la figura número 6, los dos impulsores son movidos independientemente.

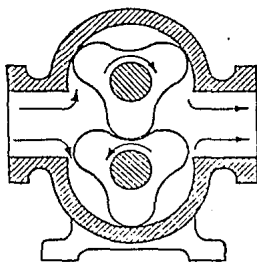


Figura No. 6

#### BOMBAS DE ENGRANE.

Este tipo de bombas rotativas tienen 2 o más engranes que se engranan para provocar el bombeo, es característico que uno de estos engranes sea capaz de mover a los otros engranes. El

contacto mecánico entre los engranes provoca el movimiento del líquido entre la entrada y la salida de la bomba.

Los dos principales tipos de bombas de engrane, son las de engrane externo y las de engrane interno. Generalmente las bombas de engrane externo están configuradas para que el centro de rotación de cada elemento sea independiente, y todos los engranes son del tipo de diente externo. En las bombas de engrane interno el centro de rotación de cuando menos un engrane, está dentro del diámetro mayor de uno inmediato y por lo menos, un engrane es del tipo de diente interno.

La figura No. 7 muestra una sección transversal de una bomba de engrane externo y la figura No. 8 muestra una sección transversal de una bomba de engrane interno.

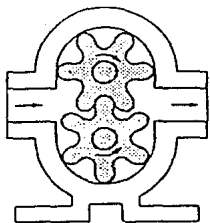


Figura No. 7

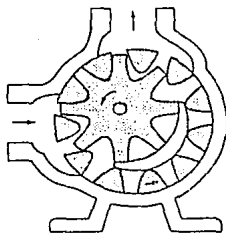


Figura No. 8

El volumen de fluido atrapado entre los dientes del engrane y las paredes del estator o cuerpo de la bomba deberá permanecer constante entre la entrada y la salida de la bomba.

Una forma especial de bomba de engrane se ilustra en la figura No. 9, es llamada bomba de tornillo y engrane. el tornillo es helicoidal y es movido por un engrane especial de forma recta, en esta bomba el tornillo helicoidal es el encargado de proporcionar la fuerza al fluido.

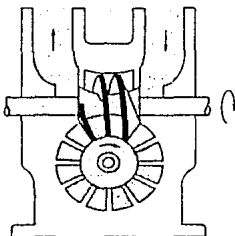


Figura No. 9

#### BOMBAS DE PISTÓN CIRCUNFERENCIAL.

Este tipo de bombas son llamadas también bombas circunferenciales de pistón externo, porque los centros de rotación de los rotores son externos al diámetro mayor de cualquiera de los rotores adjuntos, una bomba de este tipo se muestra en la figura No. 10.

En las bombas de de pistón circunferencial los rotores no se engranan ni se tocan, y el fluido es transportado únicamente entre la separación de los dientes del rotor y las paredes del estator o coraza de la bomba.

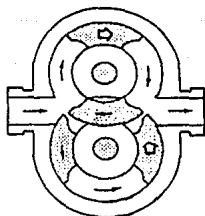


Figura No. 10

Es característica de estas bombas que los rotadores no se engranan entre ellos, lo que las distingue de las bombas lobulares, de engrane y de tornillo.

Las superficies radiales y axiales de los elementos del rotor, giran en estrecho contacto con las paredes del estator, pero aun cuando existe este estrecho contacto queda libre un pequeño espacio por el cual escapa una pequeña parte del fluido que depende de la diferencia de presión, entre la entrada y la salida de la bomba, y la viscosidad del fluido manejado.

La figura No. 11 muestra una bomba-circunferencial interna, donde el centro de rotación de uno de los rotadores está dentro del diámetro mayor del otro. La diferencia entre esta bomba y la de engrane, que físicamente se parecen, es que en esta el flujo no es continuo como en aquella.

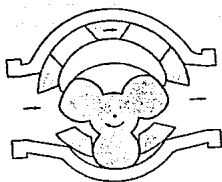


Figura No. 11



## BOMBAS CENTRIFUGAS

Son sin duda las más extensamente utilizadas en la industria para el transporte de fluidos de todo tipo, por sus notables ventajas.

Están formadas por un disco rotatorio denominado rodete o impulsor, provisto de unas nervaduras o álabes dispuestos como indica la figura 12, que gira a gran velocidad dentro de una carcasa metálica (1500 a 3000 rpm). El líquido entra a la bomba por el eje hueco del impulsor, aspirado como consecuencia de la disminución inicial de presión que producen sus álabes al girar. A continuación, este líquido es proyectado radialmente a lo largo de los álabes por la acción de la fuerza centrífuga, aumentando considerablemente su energía cinética. A la salida del impulsor esta energía cinética adquirida se transforma en energía de presión de acuerdo con la ecuación de Bernoulli, a costa de un ensanchamiento paulatino de la sección de paso. Este ensanchamiento progresivo se puede conseguir dándole a la carcasa una forma de espiral, denominada voluta, como se indica en la figura 12 o mediante otra pieza dotada de álabes, fija, denominada difusor, muy utilizado en bombas más complejas de etapas múltiples (figura 13).

La presión de descarga de una bomba centrífuga para una misma presión de admisión, dependerá, naturalmente, de la eficiencia con que se lleve a cabo la citada conversión de energía cinética en energía de presión.



Figura No. 12

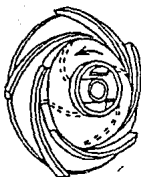


Figura No. 13

Las bombas centrífugas son de gran versatilidad, fácil diseño, operación y mantenimiento por lo que resultan las mas indicadas en la mayoría de los casos. Pueden proporcionar caudales variables, desde algunos litros por minuto (los modelos de menor tamaño) hasta varios miles de metros cúbicos por minuto. Según sea el tipo de líquido que se vaya a bombear, se elige un tipo u otro de impulsor, construyéndolo además de material adecuado.

Este puede ser hierro, bronce, acero de diversos tipos, aleaciones de níquel, etc., incluso existen también de metal revestido de vidrio, de cerámica, de carbón o de fibras sintéticas, según las necesidades.

Los rotores pueden ser cerrados, semiabiertos, abiertos o de flujo mezclado. Los primeros estan formados por dos discos paralelos, entre los que se encuentran los álabes soldados a sus carcasas; los rotores semiabiertos constan de un solo disco con

los álabes en una de sus caras, los impulsores abiertos están formados por los álabes y el soporte imprescindible para su sujeción, y los de flujo mezclado disponen de unos álabes especiales que proporcionan además un flujo radial, un flujo axial. Los rodetes cerrados son los más corrientes y se utilizan para líquidos viscosos y sin sólidos en suspensión. A su vez, los impulsores abiertos son los más indicados cuando se ha de bombear un líquido con sólidos abrasivos en suspensión.

En cuanto a la aspiración de la bomba centrífuga, ésta puede ser sencilla o doble, según que se produzca por una de las caras del impulsor o por ambas respectivamente, tal como se indica en la figura 14.

Cuando se desean presiones superiores a las que puede suministrar una bomba centrífuga simple de una sola etapa, es preciso utilizar bombas de múltiples etapas en serie, en las que cada etapa aspira el líquido que expulsa una etapa anterior. Pueden ser de voluta o más frecuentemente de difusor, y en ellas la aspiración suele ser sencilla. Las bombas centrífugas de múltiples etapas, de difusor, son similares a los compresores de igual denominación utilizados para la impulsión de gases.

Otras características de las bombas centrífugas son que no producen pulsación en la descarga, que pueden trabajar en un amplio intervalo de presiones y caudales, para una misma velocidad de giro, y que la presión de descarga es función de la densidad del líquido bombeado.

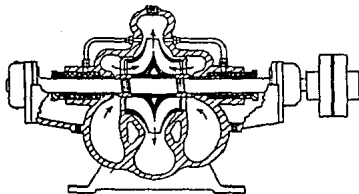


Figura No. 14

Resumiendo, como ventajas principales de las bombas centrifugas, cabria destacar las siguientes:

- Construcción sencilla
- Ausencia de válvulas
- Posibilidad de acoplamiento directo a un motor eléctrico
- Funcionamiento muy estable
- Pueden manejar sólidos suspendidos

Entre sus principales desventajas tenemos:

- Una bomba centrifuga de una sola etapa, no puede producir una presión elevada
- Necesitan de la instalación de válvulas de retención en la línea de aspiración
- Los líquidos muy viscosos no pueden manejarse con buen rendimiento.

## SISTEMAS DE BOMBEO

Un sistema de bombeo esta constituido esencialmente por tubería y equipo auxiliar, como pueden ser válvulas, codos, contracciones, expansiones, etc., por donde fluye un líquido desde un tanque fuente hasta la bomba y de ésta hasta un tanque destino, mediante la acción de la bomba.

Un sistema de bombeo típico consta esencialmente de un tanque a la succión de la bomba, un tanque a la descarga, una bomba, codos, válvulas y tubería que conecta a los tanques con la bomba, y a partir de este sistema se pueden presentar muchas variantes.

Estas variantes se pueden presentar en el arreglo de tanques, como puede ser, un arreglo en que cuente con dos tanques a la succión de la bomba y tres tanques a la descarga de la bomba con solamente una bomba. También pueden existir variantes en el arreglo de las bombas, como puede ser que se tenga un sistema con un tanque a la succión de la bomba, tres tanques a la descarga y un arreglo de tres bombas en paralelo, en este caso el flujo del líquido a través del sistema estará determinado por la acción combinada de las tres bombas.

En este trabajo se proponen diversos tipos de arreglos, los cuales pueden ser en el caso más simple un tanque a la succión de la bomba y un tanque a la descarga de la bomba, y el caso más complejo tres tanque a la succión de la bomba y tres tanques a la descarga de la bomba, esto en cuanto a tanques, y en cuanto a

bombas se pueden manejar arreglos en serie conteniendo cualquier número de bombas o en paralelo, también con cualquier número de bombas.

En un sistema de bombeo particular, es necesario conocer la resistencia que el mismo ofrecerá al líquido que ha de conducir, dichas resistencias se dan por la fricción que existe entre el líquido y las paredes de la tubería, por los cambios de dirección ocasionados por aditamentos, como codos de 45 grados o codos de 90 grados, etc. también existe resistencia al flujo en válvulas, medidores de flujo, etc.

También es necesario cuantificar la resistencia que existe si la descarga del líquido se realiza en un tanque elevado y una presión mayor que la del tanque a la succión.

Todas estas resistencias se deben cuantificar para conocer la resistencia total del sistema y con esto poder conocer la energía o cabeza de la bomba, necesaria para vencer dicha resistencia del sistema.

De lo anterior tenemos que los factores importantes a considerar al momento de calcular un sistema son los siguientes: 1) las propiedades físicas y químicas del líquido, 2) el gasto del líquido, 3) las características de la tubería, y 4) la resistencia total del sistema que depende de las características propias de éste y a su vez rige la cabeza de la bomba.

Para evaluar la resistencia total del sistema es necesario cuantificar las pérdidas por fricción, así como las cabezas

estáticas del sistema, esto es, supongamos que tenemos un sistema con un tanque a la succión de la bomba y otro a la descarga, y se desea conocer la cabeza del sistema a un determinado gasto.

Existen varios tipos de energía llamados "cabezas", el primero de ellos es nombrado cabeza estática o altura de los tanques se denota con el símbolo  $z$ , esta altura es tomada a partir de una línea fijada arbitrariamente.

La cabeza presión está determinada por la relación (144  $P/p$ )( $Gc/g$ ), donde "P" es la presión en psi., "p" es la densidad, " $2Gc$ " es un factor dimensional y "g" es la aceleración de la gravedad, con lo que la cabeza presión esta en pies.

La cabeza velocidad está dada por la relación " $u^2/2g*a$ ", en la que "u" es la velocidad en pies/seg, "g" es la aceleración de la gravedad en pies/seg<sup>2</sup>, y "a" es un factor adimensional que puede tomarse como 0.5 para tubería circular con flujo laminar y 1 para flujo turbulento.

Así que la combinación de las diferentes cabezas nos da:

$$H = z + \frac{144 P}{p} \frac{Gc}{g} + \frac{u^2}{2g a}$$

Debido a que la relación " $Gc/g^2$ " es prácticamente la unidad, puede ser omitida, y para un diámetro de tubería constante la velocidad permanece constante entre el punto uno y el punto 2, por lo cual la ecuación anterior puede ser escrita de la siguiente forma:

$$H = z + \frac{144 P}{p} \quad (1)$$

Para cuantificar las pérdidas por fricción a través de la tubería que conecta a el tanque 1 con el 2 podemos utilizar la siguiente ecuación:

$$h = \frac{f L u^2}{d 2 Gc} \quad (2)$$

en donde "h" son las pérdidas por fricción en pies, "f" es el factor de fricción que es adimensional, "L" es la longitud total, "u" es la velocidad en pies por segundo, "d" el diámetro interno de la tubería en pies y "Gc" es un factor dimensional 32.17 (lb) (pie)/(lb fuerza) (segundo cuadrado)

El factor de fricción "f", se obtiene por cálculo o de la gráfica de Moody, en la cual se relaciona el número de Reynolds y la rugosidad relativa, el número de Reynolds es un número adimensional que indica el tipo de flujo que se esta manejando en la tubería el cual puede ser: laminar cuando el Reynolds se encuentra por debajo de 3800, turbulento cuando se encuentra arriba de 10000 o en un estado de transición cuando se tiene un número de Reynolds entre 3800 y 10000, el número de Reynolds se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{D u p}{\nu} \quad (3)$$



en donde "D" es el diámetro interno de la tubería en pies, "u" es la velocidad en pies por segundo, "p" es la densidad del líquido en libras por pié cubico y "v" es la viscosidad del fluido en libras por pié segundo.

La longitud total se obtiene sumando la longitud de tramos rectos mas la longitud equivalente ocasionada por accesorios.

La cabeza total del sistema se obtiene de la diferencia entre la cabeza a la succión y la cabeza a la descarga, mas las pérdidas por fricción a la succión y la descarga, esto es:

$$H_{\text{Tot}} = (z_d - z_s) + \frac{144 (P_d - P_s)}{p} + (h_d + h_s)$$

o substituyendo la ecuación 1 en la ecuación anterior tenemos:

$$H_{\text{Tot}} = H_d - H_s + (h_d + h_s) \quad (4)$$

#### Características de la Bomba.

Cuando se compra una bomba ésta deberá ser seleccionada para entregar un gasto de fluido específico a través de un sistema particular.

La capacidad requerida y la cabeza total necesaria para superar la resistencia del sistema debe ser especificada.

la carga o cabeza de una bomba centrífuga se mide en pies o metros de líquido, y expresa la energía que la bomba es capaz de agregar a cada libra o kilogramo de líquido bombeado.

Es responsabilidad del comprador el calcular la resistencia del sistema para que así el proveedor pueda hacer una selección adecuada de la bomba.

El subestimar la cabeza total requerida por el sistema, tendrá como consecuencia una entrega, por la bomba centrífuga, menor al flujo requerido por el sistema, por otra parte, el subestimar la diferencia de presión requerida por el sistema tendrá como consecuencia, en las bombas de desplazamiento positivo, el que use mayor potencia que la estimada y también que el límite de presión de la bomba pueda ser excedida.

## DESCRIPCION DEL PROGRAMA.

El presente programa fue desarrollado en una computadora personal compatible con IBM, y para su correcto funcionamiento la máquina en donde ha de ejecutarse requiere de la siguiente configuración: sistema operativo 3.0 o posterior, unidad de disco flexible de 5 1/4 de doble cara y doble densidad en la unidad activa A, esto es importante debido a que los archivos han sido direccionados a esta unidad de disco, tarjeta para gráficos hércules, capacidad de memoria RAM de 614 Kb y monitor de alta resolución (tipo TTL).

Cabe hacer la aclaración, en cuanto a la tarjeta gráfica y al tipo de monitor, éstos pueden ser diferentes a los recomendados debido a que el programa ha sido creado para aceptar diversos tipos de tarjetas gráficas o monitores, por ejemplo, si se utiliza un monitor de baja resolución esto traerá como consecuencia el que al mostrar la o las gráficas, éstas se pueden observar distorsionadas, e incluso los mensajes mostrados en las mismas pueden observarse igualmente distorsionados, debido a que la cantidad de puntos que maneja el monitor de baja resolución es menor a la que maneja el monitor de alta resolución, por otra parte, en cuanto al tipo de tarjeta gráfica es posible utilizar otra, esto es debido a que al crear el programa se procuró hacerlo lo más general posible, en este caso, también las gráficas y los mensajes mostrados en las las misma pueden observarse distorsionados.

En el directorio raíz del disco podemos encontrar los siguientes tipos de archivos:

En primer lugar tenemos a los archivos con extensión EXE, de estos archivos el que activa el programa principal es el llamado SB.EXE y los otros tres archivos con esta misma extensión son utilizados por el programa principal como subprogramas, estos tres archivos, o subprogramas, pueden ser ejecutados desde el sistema operativo, siempre que se tenga en el disco la información necesaria para su correcto funcionamiento, de lo contrario, se generará un error que abortará la ejecución del mismo.

El programa principal y sus tres subprogramas están configurados para trabajar en la unidad de disco "A" únicamente.

Los archivos con extensión DAT son utilizados por el programa principal como bancos de datos, estos son: GRAFICA.DAT, PRODP.DAT, TUBOS.DAT, y ECHSIS.DAT

El archivo GRAFICA.DAT contiene los datos necesarios para la sección 4 del programa principal, gráficas característica de bombas, el archivo PRODP.DAT contiene las constantes para el cálculo de las propiedades físicas de cada uno de los fluidos incluidos en dicho archivo. El archivo TUBOS.DAT contiene los diámetros nominales, áreas de flujo y otras constantes características de cada diámetro de tubería con cédula 40, y que además son leídas mediante una clave, para mayor información sobre este banco de datos consulte el apéndice "B".

En el archivo ECHSIS.DAT se graba automáticamente la información resultante del cálculo del último sistema analizado, misma que será utilizada para construir la gráfica característica del sistema.

En el archivo GRAFICA.USR se graba la información necesaria para construir la gráfica característica de la bomba o arreglo de bombas, seleccionadas o ingresadas por el usuario en el punto 4 del programa principal.

Los archivos con extensión BGI son utilizados por el compilador de turbo pascal 5.0 para localizar el tipo de tarjeta gráfica con que cuenta la máquina en la que se está ejecutando el programa, es importante que el disco cuente con estos archivos, pues sin éstos toda la sección de gráfica no podrá ser utilizada.

Finalmente, los archivos con extensión CHR son utilizados también por el compilador de turbo pascal 5.0, para crear los diferentes tipos de letra asignados en la sección de gráfica, si no se cuenta con estos archivos en disco turbo pascal tomará el tipo de letra que tiene asignada, dando como resultado que algunos valores numéricos no se distingan, debido a que este tipo de letra es muy ancha y genera que los números se traslapen.

Para utilizar el programa tecleé SB desde el sistema operativo, teniendo el disco del sistema en la unidad "A", y presione enter.

En la pantalla deberá aparecer el menú principal de opciones, las cuales son:

Calcular nuevo sistema.  
Consultar datos.  
Construir gráfica de sistema.  
Construir gráfica de bomba.  
Acoplar gráfica sistema y bomba.  
Imprimir datos calculados.  
Salir del sistema.

Y bajo éstos, la sentencia "Tu selección de proceso es:" y el cursor aparece al final de ella en forma intermitente, lo que indica que esta en espera de información, aquí se debe teclear el número de la opción deseada (1 a 7) y después enter, en el caso de teclear cualquier otro número diferente a estos en pantalla aparecerá un mensaje de error.

Si aún no se ha efectuado ningún cálculo de sistema se deberá iniciar con la opción No. 1, pero si ya en otra ocasión se calculó algún sistema y se desea ver la gráfica del sistema, las gráficas de las bombas, o la gráfica del sistema acoplada a la de la bomba, cualquiera de estas se puede ejecutar directamente, lo que no se puede hacer es consultar datos del cálculo o imprimir los mismos, éstos solamente se pueden ejecutar cuando sin salir del sistema se ha calculado un nuevo sistema, esto es debido a que los puntos 2 y 6 hacen uso de variables que permanecen en la memoria ram de la máquina.

Para calcular un nuevo sistema se tecleará el número 1 y después se presionará enter, al hacer esto en la pantalla se desplegarán los siguientes mensajes:

## CALCULANDO NUEVO SISTEMA.

### Características del Sistema

Estos dos mensajes indican al usuario en que lugar del programa se encuentra, y después pregunta:

?El número de tanques a la succión es?

Aquí se le debe ingresar el número de tanques con que cuenta el sistema antes de la bomba o bombas, el número máximo de tanques que acepta el programa es de 3, si se le ingresa un número de tanques mayor que tres, en pantalla aparecerá un mensaje de error, no se debe ingresar un número mayor que tres porque el programa ha sido diseñado para manejar un máximo de tres tanques a la succión de la bomba y tres tanques a la descarga.

Después de esto, aparecerá el mensaje:

?El número de "Ts" a la succión es?

Esta pregunta solamente aparecerá en el caso de tener 2 o 3 tanques en la succión, para el caso de contar con 2 tanques se deberá responder a esta pregunta con: 1, y para el caso de contar con tres tanques se le puede responder con un 2 o con 1. Esta pregunta no aparece en el caso de contar con solamente un tanque a la succión.

Después de ingresar el número de tanques a la succión, el programa preguntará, de la misma forma, la información para los tanques que se encuentren a la descarga de la bomba.

Una vez ingresada la información sobre las características del sistema aparecerá en pantalla el mensaje:

"Características del Fluido."

En esta sección se requiere ingresar únicamente dos datos, el primero es la temperatura a la cual se encuentra el líquido a manejar, dicha temperatura deberá estar dada en grados Celsius, y el segundo es el fluido a manejar, el cual requiere ser ingresado mediante una clave específica que ha sido asignada a cada líquido, dicha lista aparece en el apéndice "A".

El apéndice "A" cuenta con información sobre 29 líquidos diferentes, en el caso de que el líquido a manejar no se encuentre incluido en dicha lista, se deberá ingresar el número 30, con lo que indicamos a la máquina que deseamos manejar un fluido no incluido en su banco de datos.

Una vez hecho esto, el programa procederá a preguntar las características del fluido que se desea manejar, algunas de estas son: El nombre del fluido, el peso molecular, la temperatura crítica, etc.

Si por alguna razón no se cuenta con las constantes necesarias para el líquido que será utilizado, pero se cuenta con el valor de la densidad, viscosidad, presión de vapor, temperatura, nombre del líquido, en las unidades correspondientes (ver apéndice "A"), entonces ingresar el número 1 como líquido a manejar, más adelante se explica como se puede cambiar dicha información.



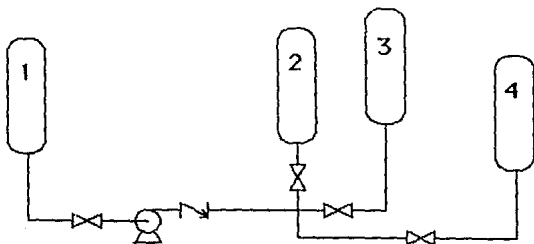
El siguiente mensaje que despliega el programa señala que continuamos dentro de la sección uno de menú principal, "Calculando un Nuevo Sistema", y en la subsección en la que se reingresará la información de las características de los tanques, en la pantalla se podrá observar:

"Características de los tanques a la succión"

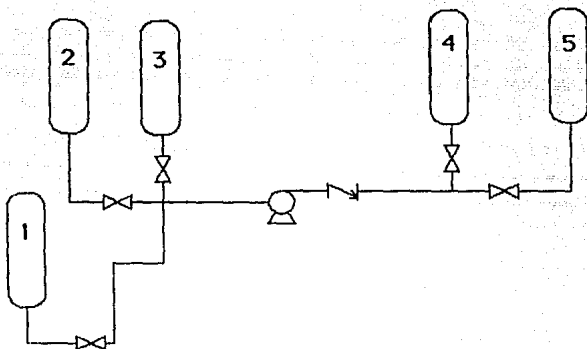
?La altura del tanque 1 (en m) es?

En esta sección el programa pregunta por los tanque en orden secuencial, siempre comenzando a contar por la extrema izquierda y terminando a la derecha, por ejemplo:

En el caso de que el sistema cuente con 1 tanque a la succión y 3 a la descarga, estos deberán ser numerados de la siguiente forma:



o en el caso de que el sistema sea el siguiente,



La numeración de los tanques deberá ser la que se indica en la figura anterior.

Después de esto se preguntará por la presión dentro del tanque uno. Este orden de preguntas (altura-presión) se repetirá hasta terminar con el total de los tanques.

Al terminar de ingresar estos datos se preguntará al usuario si desea verificar los datos registrados y entre paréntesis un S/N que corresponde:

S : Si

N : No

En el caso de teclear N se proseguirá a preguntar las características de las tuberías y accesorios.

Si se desea cambiar algun dato o únicamente se desea verificarlos se deberá teclear una "S". Al hacer esto, se presentará en pantalla la información correspondiente a el fluido, como se muestra a continuación:

#### CALCULANDO NUEVO SISTEMA

#### Características del fluido.

El fluido a manejar es: 2-ETILHEXANOL  
La temperatura del fluido (en oC) es: 20  
La densidad del fluido (en g/cc) es: 0.8046  
La viscosidad del fluido (en cp) es: 10.2824

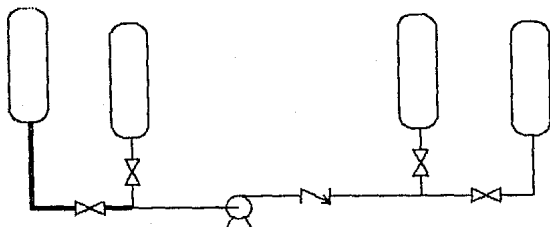
?Deseas cambiar algún valor (S/N)?

y de la misma forma se presenta la información para el número de tanques y "Ts" y por último de alturas y presiones, en cada uno de los casos existe la opción para cambiarlos o dejarlos como están, para cambiar los datos, de por ejemplo el fluido, cuando se muestran los valores de sus características físicas, en la parte de abajo de la pantalla aparecerá una pregunta (?Desea cambiar información S/N), a esta se deberá responder con una "S", en este caso el programa preguntará por las propiedades del nuevo fluido. Así es como se puede ingresar las propiedades de un fluido si es que estas son conocidas y las constantes características del mismo, como presión crítica, constantes de viscosidad, etc., desconocidas.

Al terminar de ingresar la nueva información, el programa pregunta nuevamente si se desea cambiar información o no.

En el caso de desear cambiar información sobre las características de los tanques o tuberías, que veremos más adelante la forma de proceder es la misma que para el caso las características del fluido, descrito anteriormente.

Una vez verificada la información registrada (o no verificada), se pedirá información sobre las características de la tubería por secciones, esto es; en el caso de estar calculando un sistema como el que se indica a continuación:



Primeramente se preguntarán las características de la tubería que conecta el tanque 1 con la "T1" (esta sección aparece más gruesa en el dibujo anterior).

El programa pregunta primeramente por la clave del diámetro nominal de la tubería (esta información se encuentra contenida en el apéndice "B").

Después pregunta el programa por el tipo de material de que está hecha la tubería, para esta pregunta se tienen tres opciones:

- 1 Acero comercial
- 2 Fierro galvanizado
- 3 Fierro colado

A continuación pregunta por la longitud de dicho tramo, y finalmente pregunta si existen aditamentos, si existen, como puede ser un codo, una válvula, etc. se deberá teclear una "S" y en caso de no existir aditamentos, una "N"; para el caso en el que si existan aditamentos, después de presionar la "S" y enter, el programa comenzará a preguntar una serie de aditamentos ya establecidos, el primer aditamento por el que pregunta es una válvula de globo, si no se tienen de este tipo de válvulas en el tramo, se deberá ingresar un cero y en el caso de existir se deberá ingresar el número correspondiente a la cantidad de válvulas existentes de este tipo en dicho tramo.

Al final de dicha lista se pregunta por el número de válvulas de compuerta existentes, e igualmente que en el caso anterior, si no se cuenta con este tipo de válvulas, se deberá responder con un cero, pero en el caso de tener una o más válvulas de este tipo, además, se deberá ingresar el porcentaje de abertura de la misma.

Al terminar de ingresar los aditamentos se muestra el valor de L/D registrado para este tramo de tubería, con la opción de corregirlo o proseguir con la introducción de datos.

Una vez concluida la secuencia anterior ésta se repite hasta concluir con todos los tramos de tubería, para cada tramo de tubería en pantalla se podrá observar un encabezado que indica la sección de tubería para la cual se está pidiendo la información y

al igual que para el caso de los tanques los tramos de tubería se cuentan de izquierda a derecha del diagrama.

Como se indicó anteriormente, al final de la sección de entrada de número de tanques, características del fluido, presiones y alturas de los tanques, existe otra sección en la cual se puede verificar o cambiar los valores ingresados.

Después de esto, el programa procede a hacer el cálculo del sistema mostrando en pantalla el mensaje:

Calculando el Sistema  
Espere por Favor

e inmediatamente después se puede llegar a leer el siguiente mensaje:

Grabando información a disco  
Espere por favor

Cuando termina de hacer todos los cálculos y de grabar la información en disco, se regresa a el menú principal de opciones en el cual se puede elegir cualquiera de las 7 opciones contenidas.

Con la finalidad de llevar un orden en la explicación en el uso del programa y de hacer más fácil la localización de información en el caso de existir dudas, continuaré con el segundo punto del programa.

Esta segunda opción del proceso permite consultar la información del cálculo anterior.

Para el uso de este punto hay que recordar que únicamente se podrá hacer uso de él cuando sin salir del sistema se halla ejecutado el punto uno, de no hacerlo así se caerá en un error tal que interrumpe la ejecución del programa y regresa la máquina al sistema operativo.

Para ejecutar esta opción de proceso basta con teclear un dos (numérico) y oprimir enter.

Al hacer esto en pantalla aparecerá el siguiente mensaje:

Consultando información

?A qué flujo deseas información (en m<sup>3</sup>/min)?

La pregunta anterior cuestiona al usuario sobre el gasto al que desea conocer información del sistema calculado, a lo que el usuario debe responder con un valor de flujo con unidades de metros cúbicos por minuto y posteriormente oprimir enter.

Después de esto, el programa procederá a mostrar la información correspondiente del sistema a ese flujo en varias pantallas.

Cuando termina de mostrar la información pregunta el programa al usuario si desea continuar consultando información, en el caso de que la respuesta sea afirmativa, se repetirá el proceso desde el punto en que se pide ingresar el valor de flujo al cual se requiere la información y en caso contrario, el programa regresará al menú principal de opciones.

Continuando con el orden de opciones, proseguiré con la descripción del punto tres del menú principal.

En este tercer inciso se contempla la posibilidad de visualizar la gráfica del sistema y de los ramales, se acciona de la misma forma que los dos incisos anteriores (número de opción y enter), al hacer esto en la pantalla aparecerá otro menú de opciones, las cuales son:

- 1 Construir gráfica del sistema
- 2 Construir gráfica de ramales
- 3 Construir gráfica de ramales y sistema

y abajo de éstas se pide ingresar el número de opción, mediante el mensaje "Tu selección es: ", a lo que se deberá responder con cualquiera de los tres números, en caso de ingresar cualquier otro número diferente a esos tres, en la pantalla aparecerá un mensaje de error.

Después de ingresar el número de opción en pantalla aparecerá la gráfica del último sistema calculado, con los siguientes desplegados:

En la parte superior, "GRAFICA DEL SISTEMA", en el eje de las "Xs", el gasto con dos escalas, la superior en sistema internacional ( $m^3/Hr$ ) y la inferior en sistema inglés (galones/min).

En el eje de las "Ys" tenemos la cabeza del sistema, también en dos escalas, la del sistema internacional de unidades y la del sistema inglés.

Los valores de todas las escalas se despliegan de acuerdo a los valores obtenidos en el cálculo del sistema, para el gasto y para la cabeza del sistema.



Para continuar basta con oprimir cualquier tecla, al hacer esto, en pantalla aparecerá el mensaje: "Desea ver otra gráfica (S/N)", si la respuesta es afirmativa automáticamente aparecerá el menú de opciones descrito anteriormente, pero en caso de ser negativa, el programa regresará a el menú principal de opciones.

La visualización de la gráfica, se puede llevar a cabo sin previo cálculo del sistema, pues los datos del cálculo quedan registrados en disco.

Si se desea obtener la gráfica impresa en papel se deberá hacer lo siguiente,

A) Con tarjeta gráfica hércules:

- 1) Estando en el sistema operativo cargar el comando GRAPHICS.COM.
- 2) Cargar a memoria algún programa que simule la tarjeta gráfica CGA, de mediana o baja resolución.
- 3) Cargar el programa de Sistemas de Bombeo (SB).
- 4) Mandar construir, en pantalla, la gráfica que se desea imprimir.
- 5) Presionar la tecla de impresión de pantalla ("PRINT SCREEN").

B) Con tarjeta gráfica CGA, VGA, etc.:

- 1) Estando en el sistema operativo cargar el comando GRAPHICS.COM.

- 2) Cargar el programa de Sistemas de Bombeo (SB).
- 3) Mandar construir, en pantalla, la gráfica que se desea imprimir.
- 4) Presionar la tecla de impresión de pantalla ("PRINT SCREEN").

Lo anterior es válido para cualquiera de las tres secciones de graficación contenidas en el programa principal.

Al ejecutar el cuarto punto del menú de opciones, se presentará el mensaje en pantalla que indica que nos encontramos en la sección de graficación de curvas características de bombas.

El programa cuenta con un banco de datos de 12 diferentes bombas con tres diámetros diferentes de impulsor cada una, estas gráficas aparecen en el apéndice "C", para reproducir cualquiera de éstas, se deberá oprimir el número 1 y enter, pero si se desea introducir los datos de una gráfica característica de una bomba diferente a las contenidas en el banco de datos, se deberá oprimir el número dos y enter, esta sección se explica después.

Si la elección es reproducir la gráfica de alguna de las bombas existentes en el banco de datos, después de teclear el número uno y enter, el programa cuestiona al usuario sobre el número de gráfica que desea construir, esto es, cualquiera de las doce existentes en el banco de datos, pero si se teclaea cualquier número superior a doce, se mostrará un mensaje de error, y después de esto el programa regresa al menú principal de

opciones, en este caso se deberá reiniciar el proceso desde este menú, hasta llegar nuevamente a la pregunta sobre el número de gráfica que se desea reproducir.

Una vez corregido el error, si es el caso, el programa pregunta si existe más de una bomba, esto es:

Se pueden tener diferentes tipos de arreglos de bombas, como lo es, dos bombas en serie, tres bombas en paralelo, o un caso especial en que el sistema cuente con un tanque a la succión, dos bombas en serie y dos tanques a la descarga acomodados de la siguiente forma: tanque uno a la succión, bomba uno, tanque dos a la descarga, bomba dos (en serie con la con la primera) y tanque tres a la descarga. Este programa ha sido diseñado para manejar arreglos de bombas en serie o en paralelo.

En caso de tener que usar más de una bomba en serie o en paralelo o el caso especial descrito en el parrafo anterior, la respuesta a esta pregunta deberá ser un si ("S"), e inmediatamente después se le deberá indicar que tipo de arreglo de bombas se desea, en serie o en paralelo; para el caso de un arreglo en serie, se debe presionar el número 1 y después enter, para un arreglo en paralelo, se debe presionar el número 2 y para el caso especial con un tanque intermedio se deberá presionar el número 3 y enter.

En el caso de tener un sistema con bombas en paralelo o en serie sin tanques intermedios, el programa cuestiona sobre la cantidad de bombas con ese arreglo. Este programa puede manejar en ambos casos (serie o paralelo) un número de bombas que va desde 2 hasta

el número requerido. Después de indicarle el número de bombas, el programa procede a mostrar la gráfica de dicho arreglo de bombas.

Esta gráfica, al igual que la mostrada en el punto anterior del menú principal, cuenta con un mensaje en la parte superior de la pantalla, en la que se indica que estamos en la sección de gráficas de bombas, tiene también dos escalas en cada uno de los ejes coordenados con los valores desplegados igualmente de acuerdo con los valores de cada gráfica.

En el caso de necesitar solamente una bomba, la respuesta a la pregunta sobre: si existe más de una bomba en el sistema, deberá ser un no ("N") y a continuación aparecerá en la pantalla la gráfica de la bomba seleccionada.

En cualquier caso, después de visualizar la gráfica de la bomba se deberá presionar cualquier tecla para continuar, y después de esto aparecerá en pantalla:

Gráfica Característica de Bomba.

?Desea ver otra gráfica (S/N)?:

En caso de querer seguir contruyendo gráficas, se deberá responder con una "S", con lo que el programa retornará al punto en el que se pregunta si se desea reconstruir una gráfica existente en el banco de datos o si se desea ingresar la gráfica, por otra parte, si lo que se desea es concluir la visualización de gráficas, se deberá oprimir una "N", con lo que el programa graba en disco la información de la última gráfica visualizada en pantalla, pues se asume que es la deseada por el usuario para el

sistema que se está calculando. Y finalmente retornará al menú principal de opciones.

Ahora, si el usuario desea ingresar su propia gráfica, se deberá oprimir un número 2 y enter estando en la sección donde se pregunta si se desea construir una gráfica existente en el banco de datos o si lo que se desea es ingresar una gráfica diferente, en este caso se deberá proceder de la siguiente manera:

Primeramente se debe indicar la cantidad de líneas a graficar, dependiendo de cuántas líneas a diferentes diámetros de impulsor se cuente, que pueden ser 1,2 o 3, después se deberá indicar el número de pares ordenados a ingresar. EL número de pares ordenados mínimo que se requiere es de 10 y el máximo es de 50, esta indicación se deberá hacer para cada una de las líneas que se desee construir (3 como máximo).

Después de ingresar la cantidad de pares ordenados a graficar, el programa preguntará por el gasto del punto uno y después por el valor de cabeza del punto uno, estos datos deberán alimentarse en sistema inglés de unidades.

Después de ingresar los pares ordenados de todas las líneas, se deberá seguir el mismo procedimiento que se explico para el caso de reproducir una gráfica existente en el banco de datos, desde el punto en donde aparece en pantalla la pregunta:

?El sistema cuenta con más de una bomba (S/N)?

Hasta el momento hemos analizado los primeros cuatro puntos del

menú principal de opciones, los cuales son:

Cálculo de un nuevo sistema  
Consultar datos  
Construir gráfica de sistema  
Construir gráfica de bomba

Por lo tanto, ya tenemos la información suficiente para conocer el punto de operación de nuestro sistema con la bomba seleccionada, el cual estará dado por el cruce de la gráfica del sistema con la gráfica de la bomba, esto se visualiza en el punto cinco del menú principal.

Al activar la quinta sección del programa principal se podrá observar el siguiente menú de opciones:

#### GRAFICAS A COPLADAS

Gráfica de sistema y bomba. . . . . 1  
Gráfica de ramales y bomba. . . . . 2  
Gráfica de ramales, sistema y bomba . . . . 3

Tu selección es:

esta pantalla es semejante al que se muestra en el punto tres del menú principal de opciones y además se activa de la misma forma que se explico para el punto tres del sistema.

Al ejecutar esta parte del programa se obtendrá una gráficas con las mismas características de las gráficas mostradas en el punto tres, e igualmente al presionar cualquier tecla despues de que se ha construido la gráfica, provocará que el programa regrese al menú principal de opciones.

El punto número seis del menú principal manda información existente en memoria de la máquina a la impresora, al accionar este punto primeramente se mostrará el mensaje:

?A qué flujo deseas información (en m<sup>3</sup>/min)?

La impresora debe de estar encendida y en línea, para evitar errores, en pantalla se muestra un mensaje para que el usuario revise o ponga la impresora lista a recibir información.

Mientras la impresora se encuentre recibiendo información, en pantalla aparecerá:

Imprimiendo Información  
Espere  
Por Favor

La información que se manda a la impresora incluye las propiedades físicas del líquido, cabezas estáticas, algunas constantes propias de cada sección de tubería.

En cuanto a las constantes de la tubería, éstas están numeradas por tramos, tomando como referencia el sistema más complicado que acepta el programa, el cual se muestra en la figura número 1.

Así que si por ejemplo tenemos el sistema que se muestra en la figura 2.

En la hoja de resultados impresa las constantes de la tubería serán impresas en los renglones de los tramos 1,6,7 y 8, como se indica en la figura número 3.

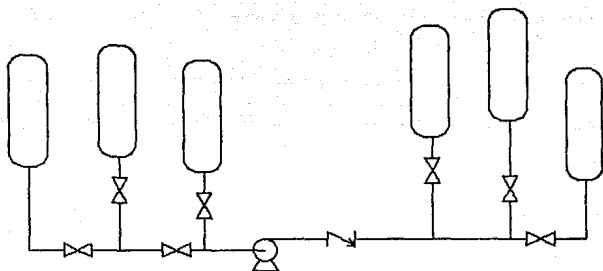


Figura No. 1

Cuando la máquina termina de mandar información a la impresora, regresa automáticamente al menú principal de opciones, del cual

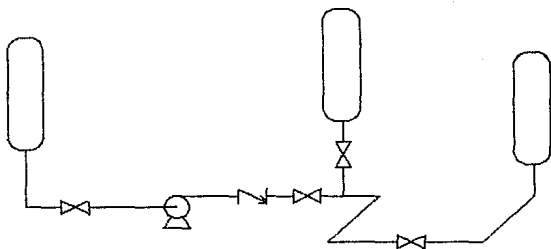


Figura No. 2



solamente resta explicar el punto siete, que es mediante el cual regresamos a sistema operativo y dejamos el programa de análisis de sistemas de bombeo.

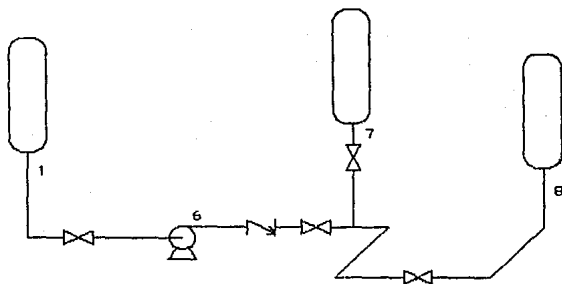


Figura No. 3

Al activar este punto siete del menú principal , aparecerá en pantalla la pregunta:

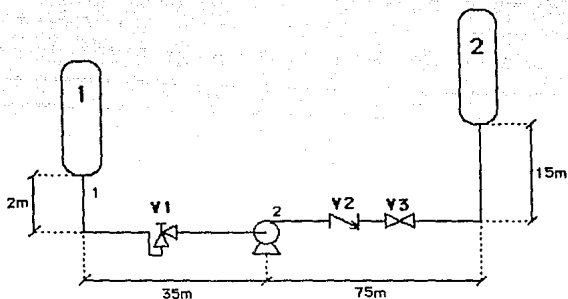
?Desea concluir sección (S/N)?

si la respuesta es afirmativa, el usuario deberá teclear una "S" y enter, con lo que la máquina regresará a sistema operativo, pero si la respuesta es negativa, deberá teclear una "N" y enter, con lo que el programa regresará a el menú principal de opciones.

## ANALISIS DE RESULTADOS.

Resolver los siguientes sistemas:

1)



Las características del sistema son la siguientes:

Temperatura 18 grados C. Líquido a manejar Agua (Clave 1)

Sección de tubería 1, diámetro nominal 6 pulgadas (Clave 15)  
longitud 37 metros

Sección de tubería 2, diámetro nominal 2 pulgadas (Clave 13)  
longitud 90 metros

Material Acero comercial (Clave 1)

V1 Válvula de globo tipo Y

V2 Válvula Check

V3 Válvula de compuerta 70% abierta

Tanque No.	Altura (m)	Presión (Atm)
1	2	1
2	15	1

Para un flujo de 0.4 m<sup>3</sup>/min tenemos:

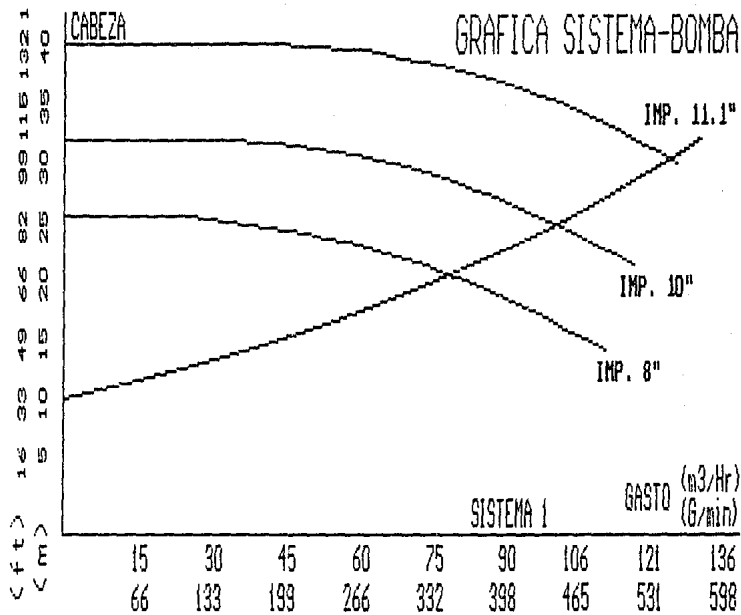
Cabeza estática del tanque 1 en metros 12.4109

Cabeza estática del tanque 2 en metros 25.4115

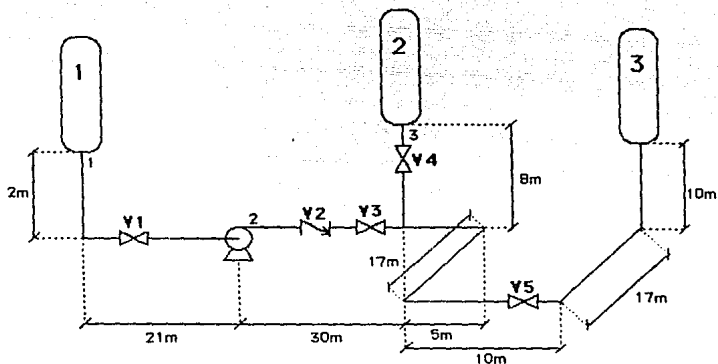
Sección de tubería	Velocidad (m/seg)	Pérdidas por fricción (m)	Número de Reynolds
1	0.3578	0.0568	63 422
2	0.8119	0.7512	95 539

Utilizando los puntos 3,4 y 5 del programa encontramos, que para este sistema se requieren 2 bombas en paralelo del tipo 12 del banco de datos del programa y en este caso se pueden utilizar dos diferentes diámetros de impulsor, a flujos diferentes para cada uno de ellos, esto es:

Para los impulsores de 8, 10 y 11.1 pulgadas los puntos de operación del sistema están en aproximadamente 75, 100 y 125 m<sup>3</sup>/Hr respectivamente.



2)



Temperatura 13 grados C, liquido metilheleter (clave 20)

Tanque No.                      Altura (m)                      Presión (Atm)

1	2	1
2	8	1
3	10	1

Sección                      Diámetro                      Clave                      Material                      Longitud                      Válvulas  
nominal (pulg)                      (clave)                      total (m)

1	6	15	1	23	V1
2	4	13	1	30	V2
3	4	13	1	8	V3
4	4	13	1	59	V4

- V1 Válvula con filtro de línea
- V2 Válvula check normal
- V3 Válvula de compuerta 45% abierta
- V4 Válvula de compuerta 45% abierta

Para un flujo de 0.6665 m<sup>3</sup>/min tenemos

Tanque	Cabeza estática (m)
1	16.1442
2	21.1445
3	24.1446

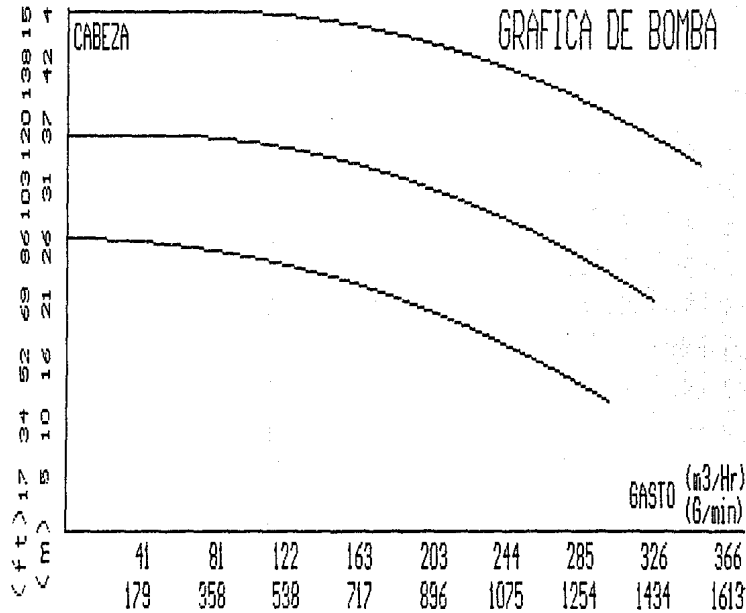
Sección de tubería	Velocidad (m/seg)	Pérdidas por fricción (m)	Número de Reynolds
1	0.5961	0.1780	342 795
2	1.3528	1.2425	516 389
3	1.3528	0.5205	516 389
4	1.3528	1.5211	516 389

Después de utilizar los puntos 3 y 4 del programa encontramos que ninguna de las bombas contenidas en el banco de curvas características satisface los requerimientos del sistema, por lo cual se hace necesario ingresar otra bomba.

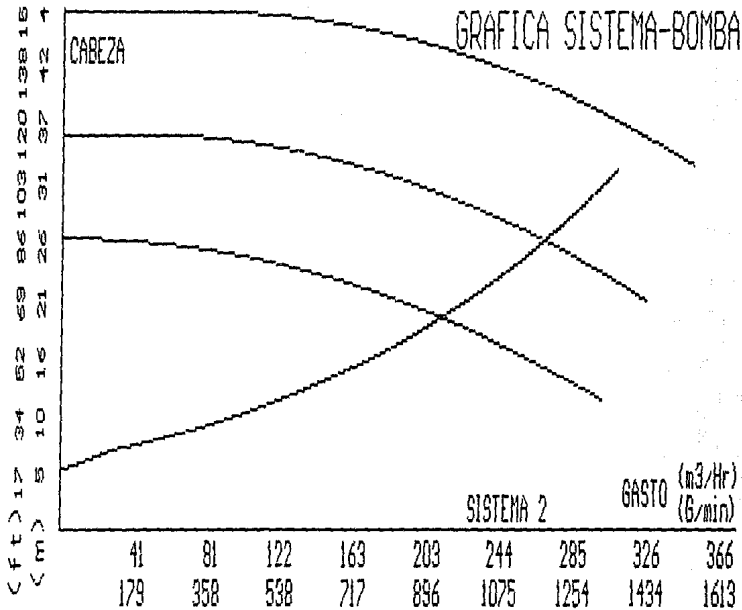
Los pares ordenados de la nueva gráfica para impulsores de 12, 10 y 9 pulgadas de diámetro son respectivamente los siguientes:

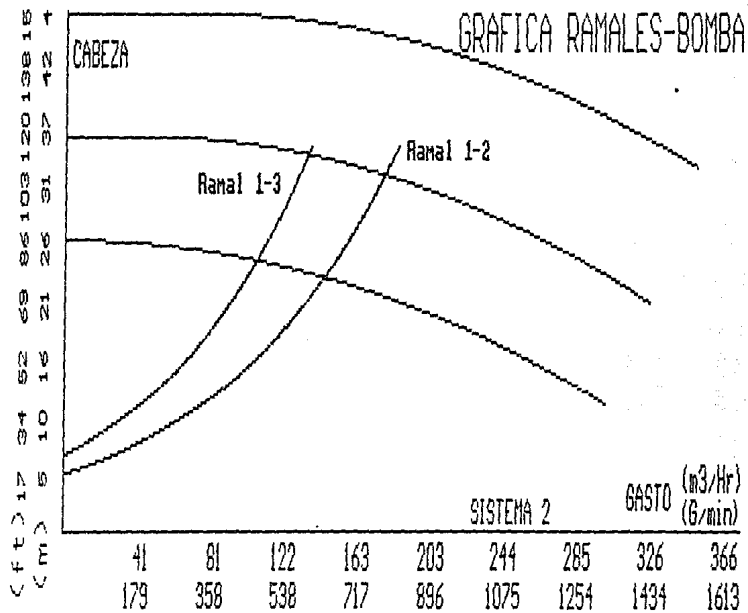
GASTO (Gal/min)	CABEZA (Pie)	CABEZA (Pie)	CABEZA (Pie)
0	147.6	113.1	83.6
110	147.6	113.1	83.6
220	147.6	113.1	82.0
330	147.6	113.1	80.3
440	147.6	111.5	78.7
550	145.9	108.2	77.0
660	145.9	106.6	77.1
770	142.7	103.3	67.2
880	139.4	100.0	63.9
990	136.1	93.4	57.3
1100	134.4	86.9	50.8
1210	126.2	80.3	44.2
1320	119.7	73.7	37.7
1430	111.5	65.5	
1540	103.3		

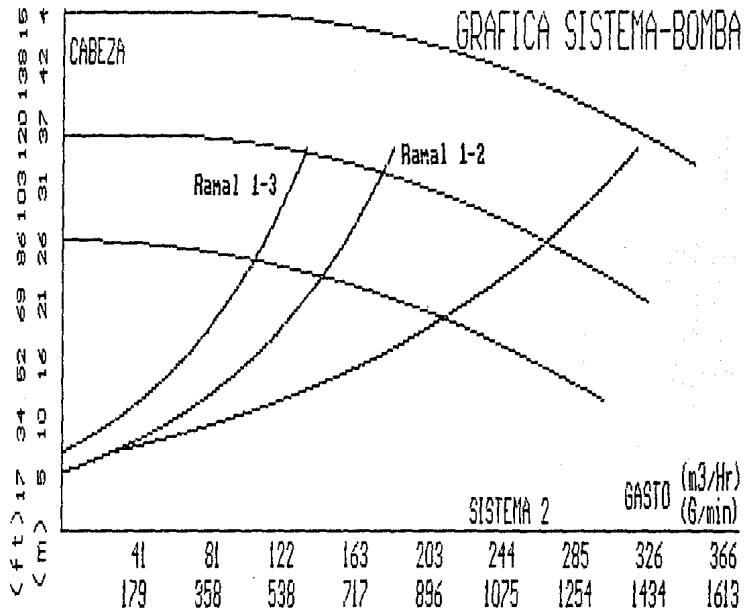
Una vez ingresada la gráfica característica de esta bomba, podemos pasar a el punto cinco del programa, en donde encontramos que el punto de operación se encuentra en aproximadamente 210 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 9 pulgadas y en 265 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 10 pulgadas.













- V1 Válvula de globo
- V2 Válvula check normal
- V3 Válvula de compuerta 65% abierta
- V4 Válvula de compuerta 37% abierta
- V5 Válvula check normal

Para un flujo de 0.2366 m<sup>3</sup>/min tenemos:

Tanque	Cabeza estática (m)
1	15.2649
2	21.7652
3	23.7653

Sección de tubería	Velocidad (m/seg)	Pérdidas por fricción (m)	Número de Reynolds
1	0.2116	0.0377	5 862
2	0.4802	0.2200	8 831
3	0.4802	0.0598	8 831
4	0.4802	0.3710	8 831

Después de utilizar los puntos 3 y 4 del programa encontramos, como en el ejemplo anterior, que ninguna de las bombas contenidas en el banco de curvas características satisface los requerimientos del sistema, por lo cual se hace necesario ingresar otra bomba.

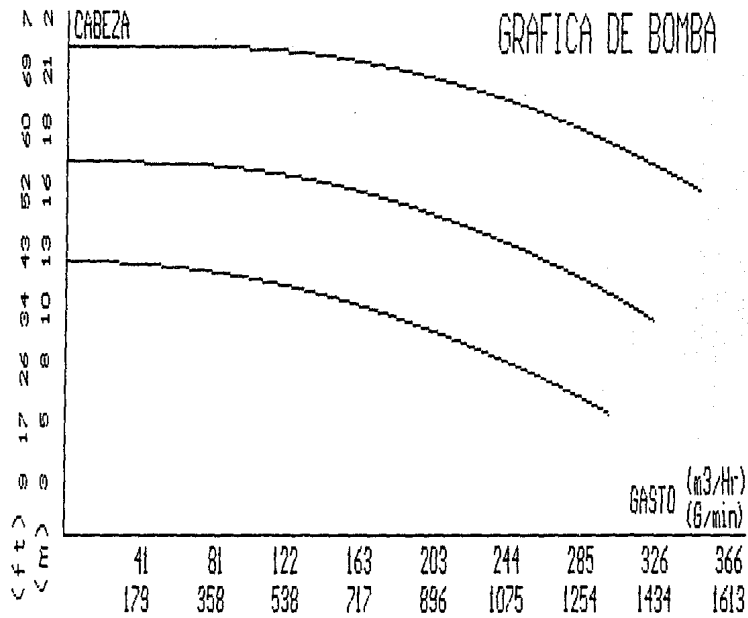
Los pares ordenados de la nueva gráfica para impulsores de 10, 8 y 7 pulgadas de diámetro son respectivamente los siguientes:

GASTO (Gal/min)	CABEZA (Pie)	CABEZA (Pie)	CABEZA (Pie)
0	73.8	56.6	41.8
110	73.8	56.6	41.8
220	73.8	56.6	41.0
330	73.8	56.6	40.2
440	73.8	55.8	39.4
550	73.0	54.1	38.5
660	73.0	53.3	36.0
770	71.4	51.7	33.6
880	70.0	50.0	31.9
990	68.0	46.7	28.7
1100	67.2	43.5	25.4
1210	63.1	40.2	22.1
1320	59.9	36.9	18.9
1430	55.8	32.8	
1540	51.7		

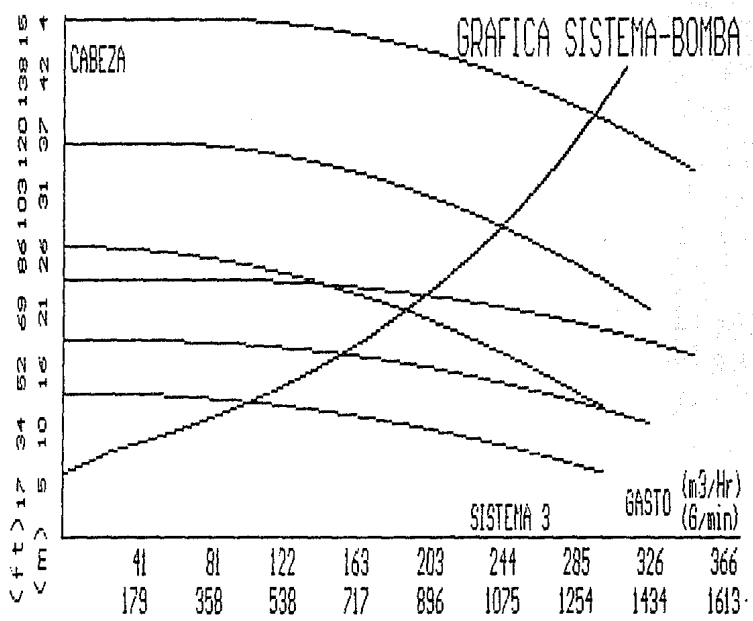
Una vez ingresada la gráfica característica de esta bomba, podemos pasar a el punto cinco del programa, en donde encontramos que el punto de operación para el ramal 1-2 se encuentra en aproximadamente 70 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 7 pulgadas, en 100 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 8 pulgadas y en 130 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 10 pulgadas.

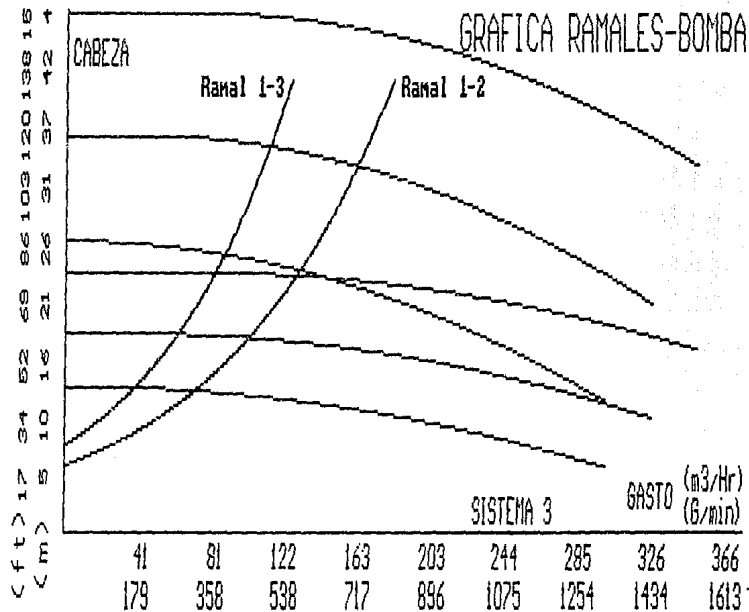
Por otra parte para el ramal 1-3 tenemos que trabaja con dos bombas en serie y para este ramal los puntos de operación son los

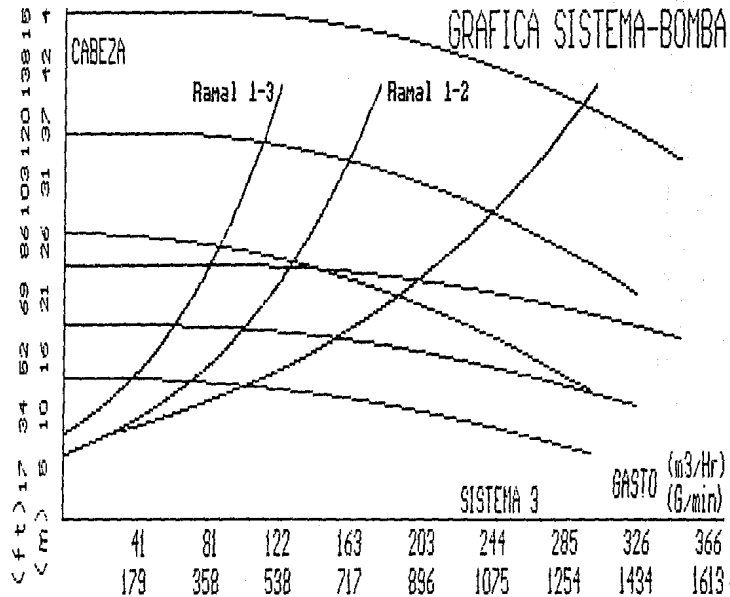
siguientes; aproximadamente 85 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 7 pulgadas y en 110 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 8 pulgadas.



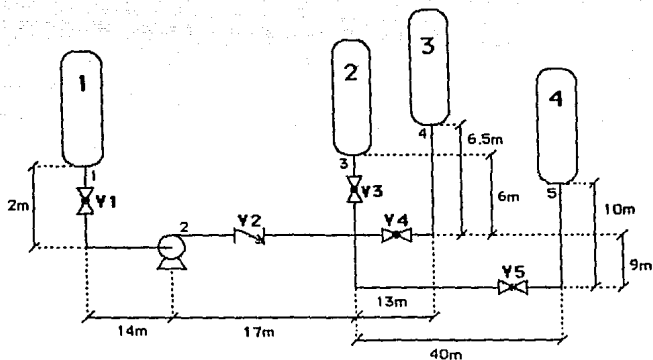








4)



Temperatura 5 grados C, liquido Nitrometano (Clave 4)

Tanque No.                      Altura (m)                      Presión (Atm)

1	2	1
2	6	1
3	6.5	1
4	10	1

Sección                      Diámetro                      Clave                      Material                      Longitud                      Válvulas  
 nominal (pulg)                      (clave)                      (clave)                      total (m)

1	6	15	1	16	V1
2	4	13	1	17	V2

Sección	Diámetro nominal (pulg)	Clave	Material (clave)	Longitud total (m)	Válvulas
3	4	13	1	6	V3
4	4	13	1	19.5	V4
5	4	13	1	59	V5

V1 Válvula de globo

V2 Válvula check normal

V3 Válvula de globo

V4 Válvula de globo

V5 Válvula de globo

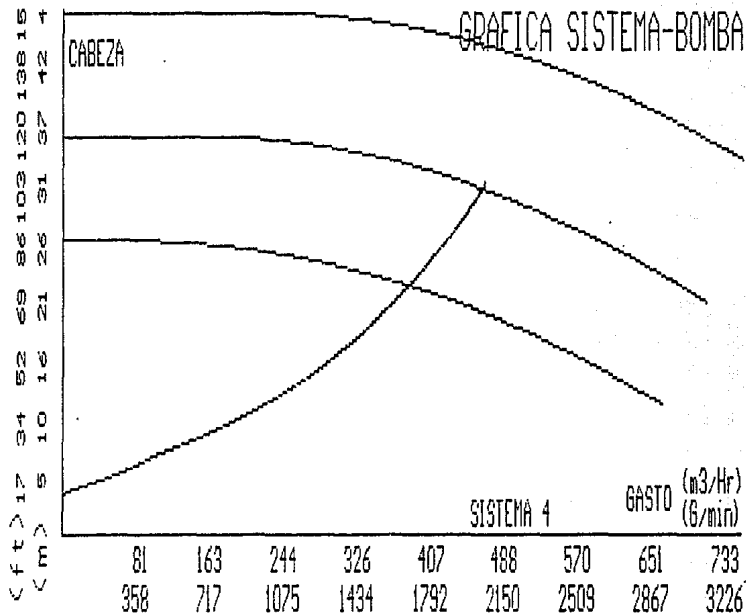
Para un flujo de 0.6 m<sup>3</sup>/min tenemos:

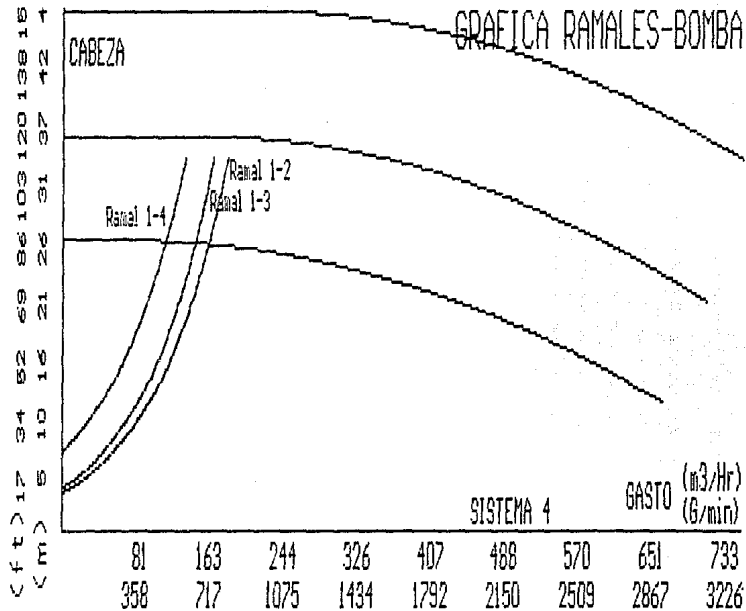
Tanque	Cabeza estática (m)
1	11.6650
2	15.6652
3	16.1652
4	19.6654

Sección de tubería	Velocidad (m/seg)	Pérdidas por fricción (m)	Número de Reynolds
1	0.5366	0.1329	112 779
2	1.2178	0.4300	169 892
3	1.2178	0.5691	169 892
4	1.2178	0.8004	169 892
5	1.2178	1.3946	169 892

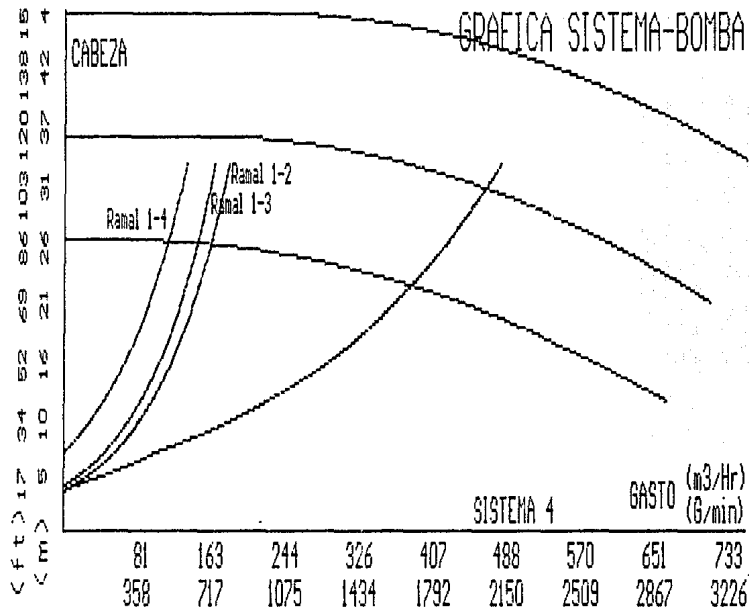
Despues de utilizar los puntos 3 y 4 del programa encontramos que ninguna de las bombas contenidas en el banco de curvas caracteristicas satisface los requerimientos del sistema, por lo que se hace necesrio utilizar otro tipo de bomba, por ejemplo la que se utilizo en el ejemplo número dos.

Una vez ingresada la gráfica característica de esta bomba, encontramos que se requieren dos bombas en paralelo y que los puntos de operación se encuentran en aproximadamente 375 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 9 pulgadas y en 460 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 10 pulgadas.

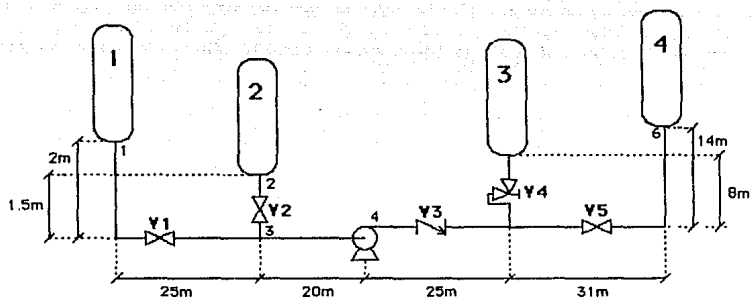








5)



Temperatura 15 grados C, liquido Etanol (clave B)

Tanque No.	Altura (m)	Presión (Atm)
1	2	1
2	1.5	1
3	8	1.1
4	14	1.1

Sección	Diámetro nominal (pulg)	Clave	Material (clave)	Longitud total (m)	Válvulas
1	4	13	1	27	V1
2	4	13	1	1.5	V2
3	6	15	1	20	

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Sección	Diámetro nominal (pulg)	Clave	Material (clave)	Longitud total (m)	Válvulas
4	4	13	1	25	V3
5	4	13	1	8	V4
6	4	13	1	45	V5

- V1 Válvula de compuerta 100% abierta  
 V2 Válvula de compuerta 100% abierta  
 V3 Válvula check normal  
 V4 Válvula en globo tipo Y  
 V5 Válvula de compuerta 40% abierta

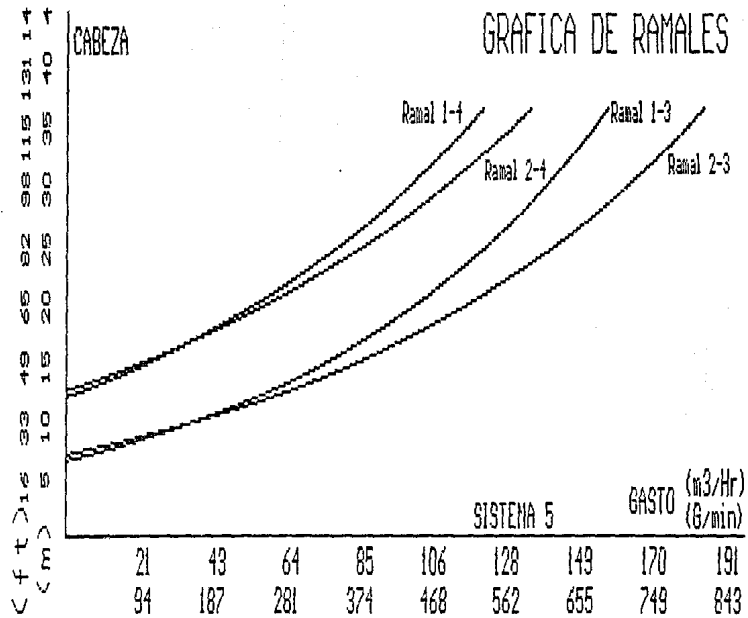
Para un flujo de 0.78 m<sup>3</sup>/min tenemos

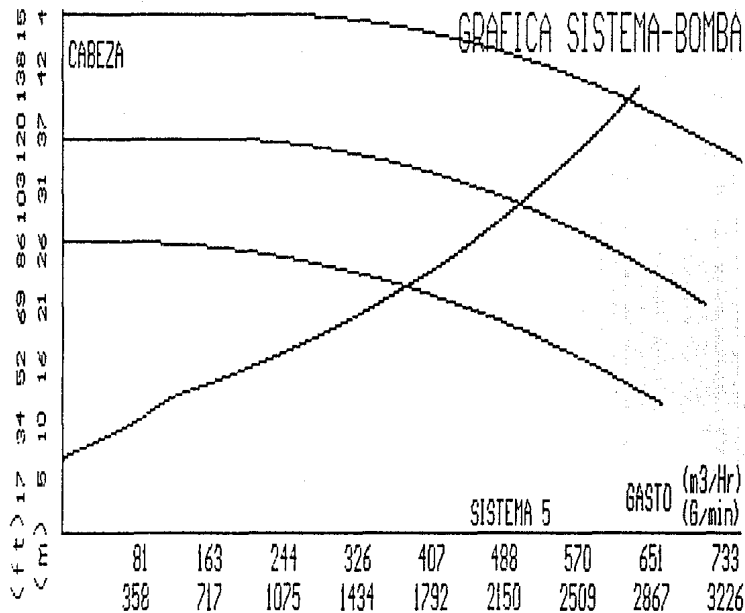
Tanque	Cabeza estática (m)
1	14.9518
2	14.4518
3	22.2473
4	28.2476

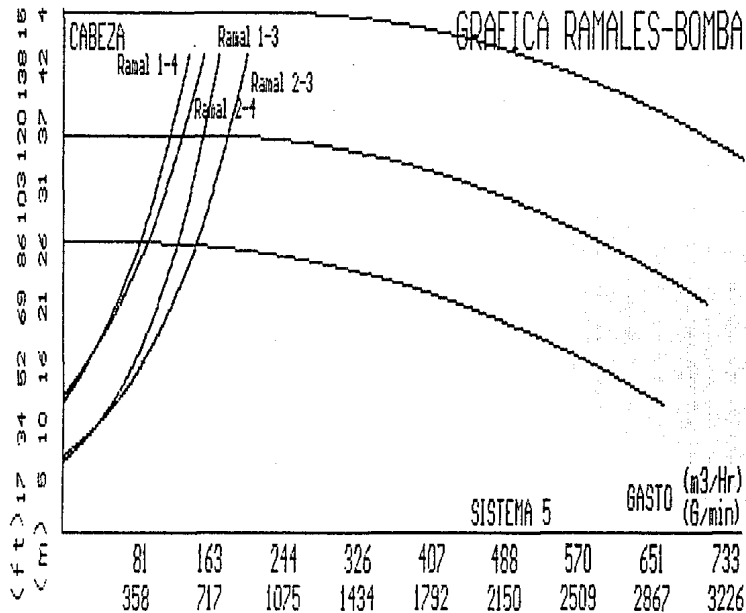
Sección de tubería	Velocidad (m/seg)	Pérdidas por fricción (m)	Número de Reynolds
1	1.5831	0.7809	102 514
2	1.5831	0.0649	102 514
3	0.6976	0.0668	68 052
4	1.5831	0.9727	102 514
5	1.5831	1.0307	102 514
6	1.5831	2.0350	102 514

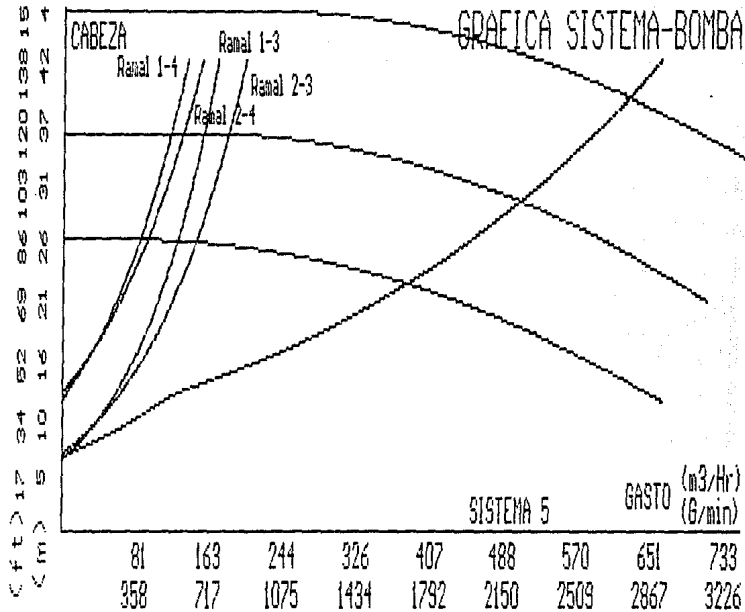
Despues de utilizar los puntos 3 y 4 del programa encontramos que ninguna de las bombas contenidas en el banco de curvas caracteristicas satisface los requerimientos del sistema, por lo que se hace necesrio utilizar otro tipo de bomba, por ejemplo la que se utilizo en el ejemplo número dos.

Una vez ingresada la gráfica característica de esta bomba, encontramos que se requieren dos bombas en paralelo y que los puntos de operación se encuentran en aproximadamente 375 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 9 pulgadas, en 500 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 10 pulgadas y 610 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 12 pulgadas.













Sección	Díametro nominal (pulg)	Clave	Material (clave)	Longitud total (m)	Válvulas
3	6	15	1	24	
4	4	13	1	33	V3
5	4	13	1	5	V4
6	4	13	1	48	V5
7	4	13	1	12	V6
8	4	13	1	47.3	V7

- V1 Válvula de compuerta 100% abierta
- V2 Válvula de compuerta 100% abierta
- V3 Válvula check normal
- V4 Válvula de globo
- V5 Válvula de compuerta 50% abierta
- V6 Válvula de globo tipo en Y
- V7 Válvula de compuerta 30% abierta

Para un flujo de 1.035 m<sup>3</sup>/min tenemos

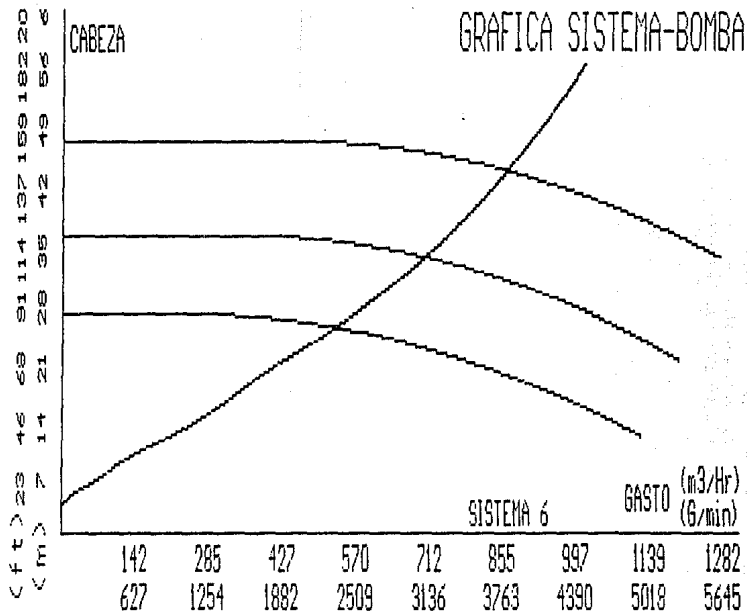
Tanque	Cabeza estática (m)
1	18.0054
2	16.5053
3	22.0560
4	27.5059
5	39.0082

Sección de tubería	Velocidad (m/seg)	Pérdidas por fricción (m)	Número de Reynolds
1	2.1007	0.7456	574 546
2	2.1007	0.0792	574 546
3	0.9257	0.1130	381 401
4	2.1007	1.7755	574 546
5	2.1007	1.5085	574 546
6	2.1007	2.5319	574 546
7	2.1007	1.0177	574 546
8	2.1007	4.1306	574 546

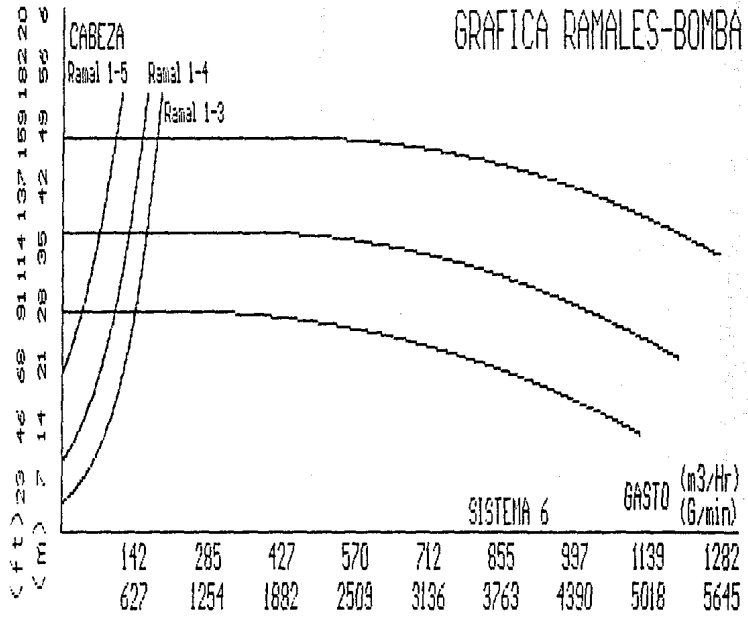
Después de utilizar los puntos 3 y 4 del programa encontramos que ninguna de las bombas contenidas en el banco de curvas características satisface los requerimientos del sistema, por lo que se hace necesario utilizar otro tipo de bomba, por ejemplo la que se utilizó en el ejemplo número dos.

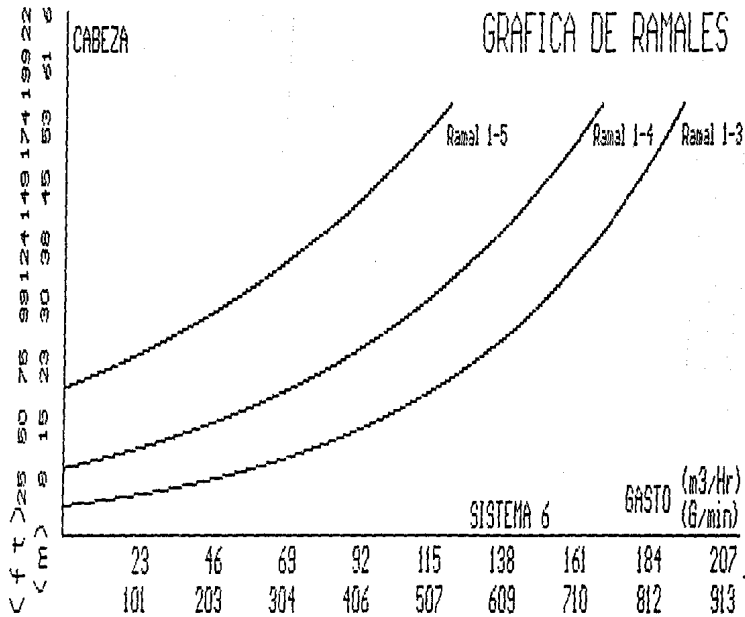
Una vez ingresada la gráfica característica de esta bomba, encontramos que se requieren tres bombas en paralelo y que los puntos de operación se encuentran en aproximadamente 530 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 9 pulgadas, en 710 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 10 pulgadas y 860 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 12 pulgadas.

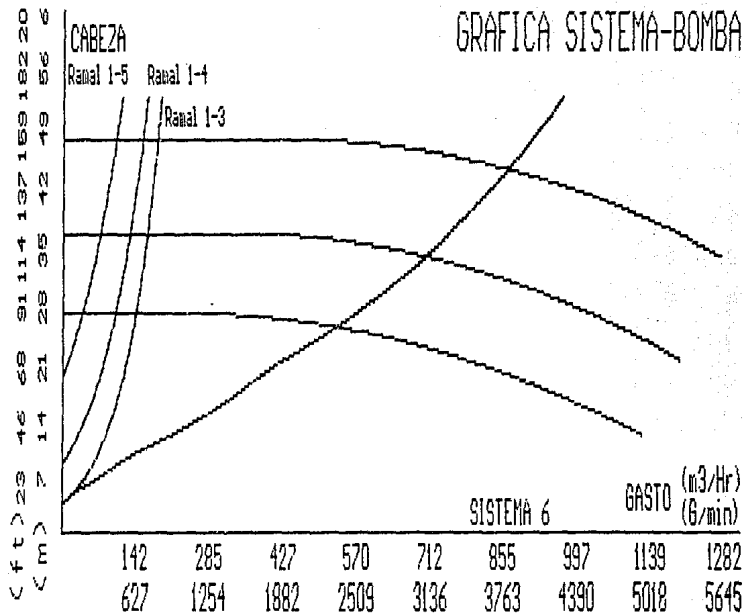
En las gráficas de este sistema las líneas de los ramales 2-3, 2-4 y 2-5 han sido suprimidas para poder dar mayor claridad a las gráficas.



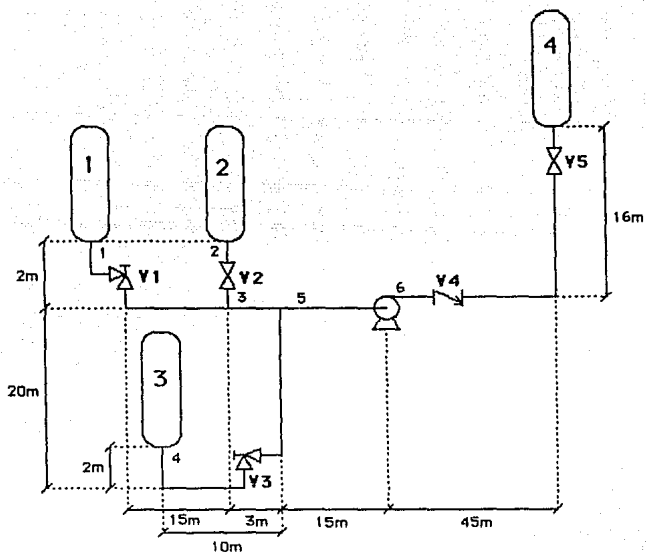
# GRAFICA RAMALES-BOMBA







7)



Temperatura 10 grados C, Liquido N-Butanol (clave 12)

Tanque No.                      Altura (m)                      Presión (Atm)

1	2	1
2	2	1
3	2	1
4	16	1.2

Sección                      Diámetro                      Clave                      Material                      Longitud                      Válvulas  
nominal (pulg)                      (clave)                      total (m)

1	4	13	1	17	V1
2	4	13	1	2	V2
3	4	13	1	3	



Sección	Diámetro nominal (pulg)	Clave	Material (clave)	Longitud total (m)	Válvulas
4	4	13	1	32	V3
5	6	15	1	15	
6	4	13	1	61	V4 V5

- V1 Válvula de globo tipo en Y  
V2 Válvula de compuerta 80% abierta  
V3 Válvula de globo tipo en Y  
V4 Válvula check normal  
V5 Válvula de compuerta 45% abierta

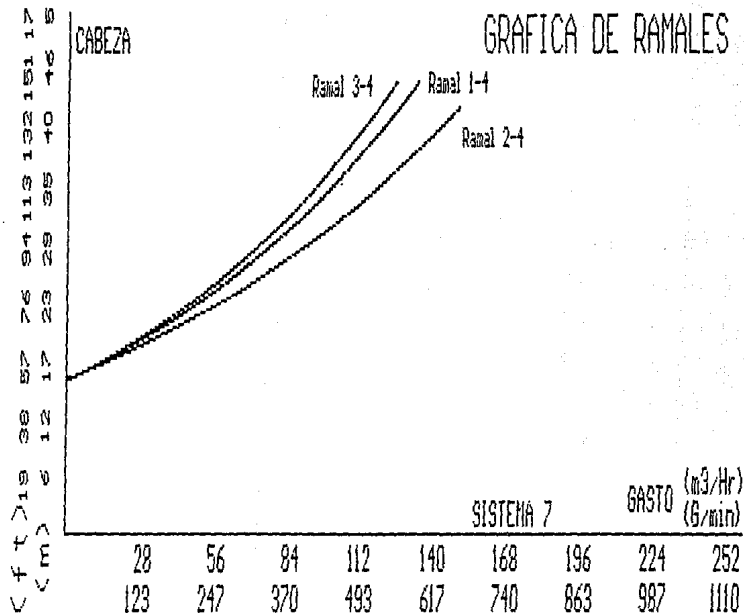
Para un flujo de 5 m<sup>3</sup>/min tenemos

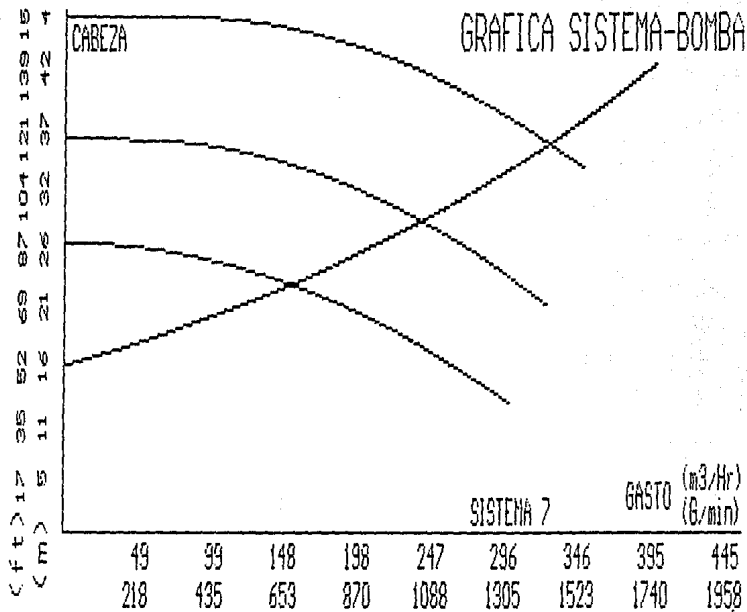
Tanque	Cabeza estática (m)
1	14.8071
2	14.8071
3	14.8071
4	31.3692

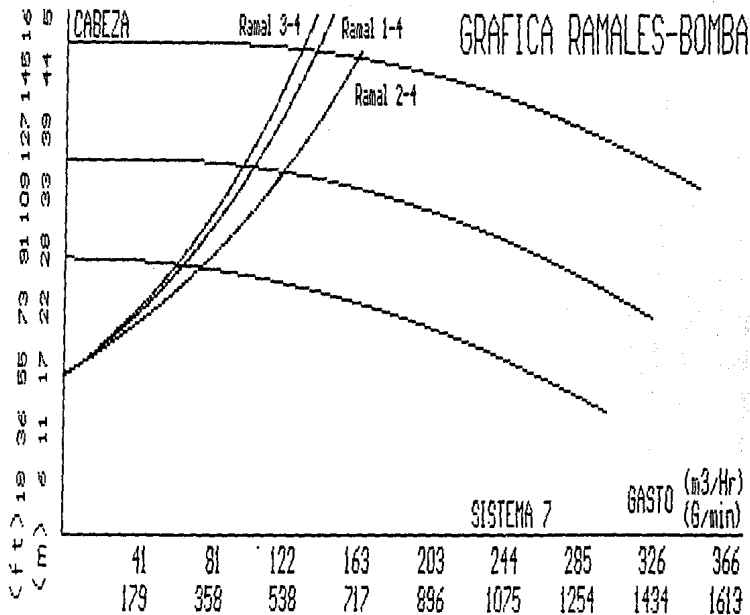
Sección de tubería	Velocidad (m/seg)	Pérdidas por fricción (m)	Número de Reynolds
1	10.1483	33.0404	215 110
2	10.1483	2.9239	215 110
3	10.1483	10.1483	215 110
4	10.1483	50.1480	215 110
5	4.4720	1.8343	142 797
6	10.1483	91.4806	215 110

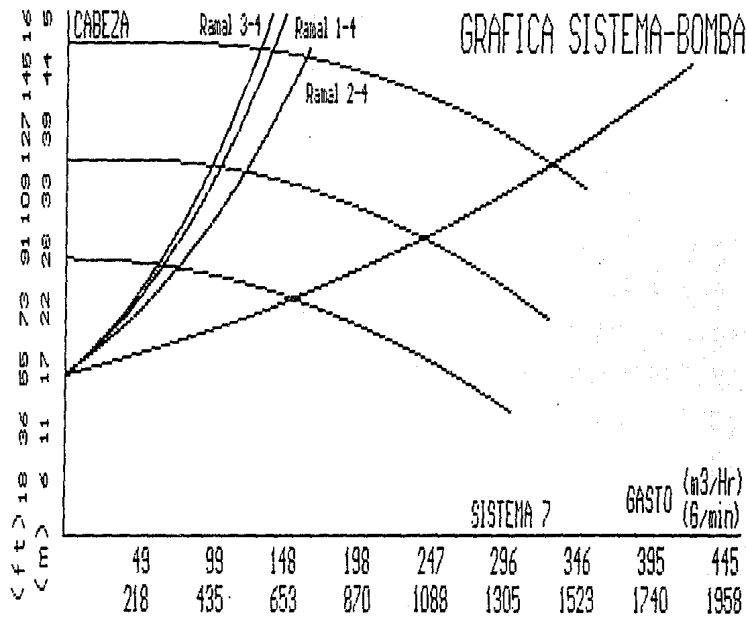
Despues de utilizar los puntos 3 y 4 del programa encontramos que ninguna de las bombas contenidas en el banco de curvas caracteristicas satisface los requerimientos del sistema, por lo que se hace necesrio utilizar otro tipo de bomba, por ejemplo la que se utilizo en el ejemplo número dos.

Una vez ingresada la gráfica característica de esta bomba, encontramos que se requieren una bomba y que los puntos de operación se encuentran en aproximadamente 150 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 9 pulgadas, en 240 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 10 pulgadas y 330 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 12 pulgadas.

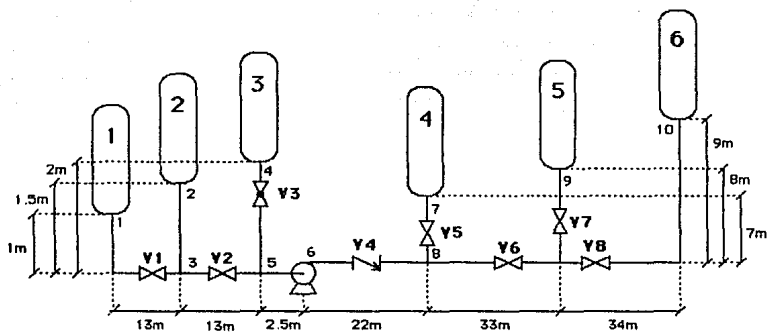








8)



Temperatura 10 grados C, Líquido 2-Etilhexanol (clave 26)

Tanque No.	Altura (m)	Presión (Atm)
1	1	1
2	1.5	1
3	2	1
4	7	1.2
5	8	1.2
6	9	1.2

Sección	Diámetro nominal (pulg)	Clave	Material (clave)	Longitud total (m)	Válvulas
1	4	13	1	14	V1
2	4	13	1	1.5	V2
3	4	13	1	13	
4	4	13	1	1	V3
5	6	15	1	2.5	
6	4	13	1	22	V4
7	4	13	1	7	V5
8	4	13	1	33	
9	4	13	1	8	V6
10	4	13	1	43	V7

- V1 Válvula de compuerta 100% abierta
- V2 Válvula de compuerta 100% abierta
- V3 Válvula de globo
- V4 Válvula check normal
- V5 Válvula de compuerta 40% abierta
- V6 Válvula de compuerta 40% abierta
- V7 Válvula de compuerta 30% abierta

Para un flujo de 4 m<sup>3</sup>/min tenemos

Tanque	Cabeza estática (m)
1	13.6826
2	14.1827
3	14.6827



Tanque Cabeza estática (m)

4	22.2195
5	23.2195
6	24.2195

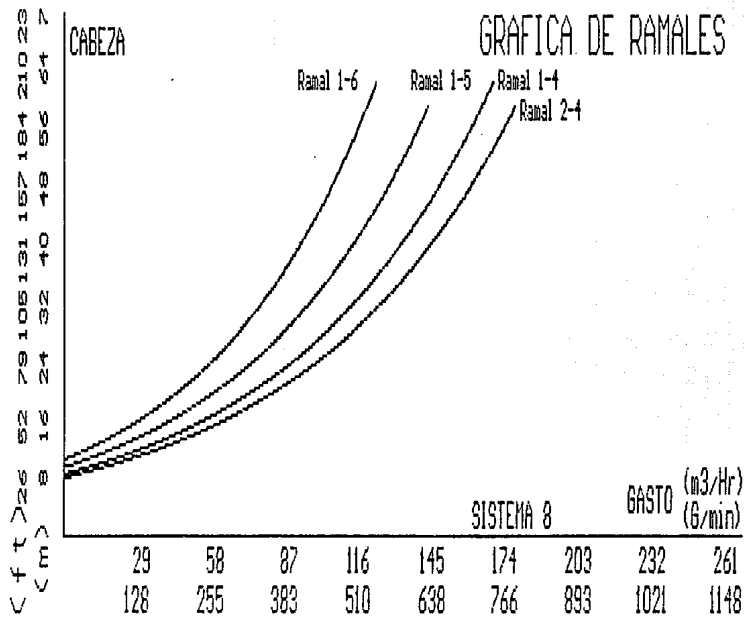
Sección de tubería	Velocidad (m/seg)	Pérdidas por fricción (m)	Número de Reynolds
1	8.1186	13.9241	39 942
2	8.1186	1.9848	39 942
3	8.1186	9.9701	39 942
4	8.1186	27.4306	39 942
5	3.6374	2.6374	26 514
6	8.1186	27.4595	39 942
7	8.1186	31.5346	39 942
8	8.1186	25.3086	39 942
9	8.1186	32.3016	39 942
10	8.1186	80.2111	39 942

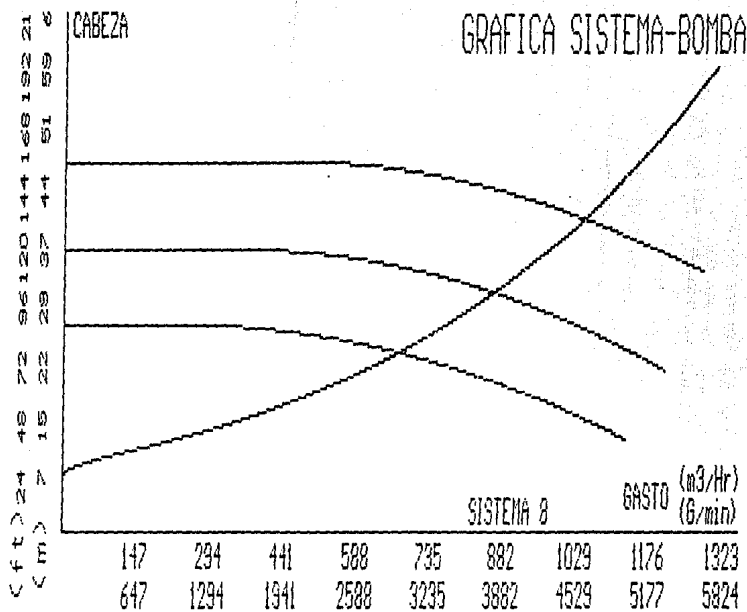
Después de utilizar los puntos 3 y 4 del programa encontramos que ninguna de las bombas contenidas en el banco de curvas características satisface los requerimientos del sistema, por lo que se hace necesario utilizar otro tipo de bomba, por ejemplo la que se utilizó en el ejemplo número dos.

Una vez ingresada la gráfica característica de esta bomba, encontramos que se requieren tres bombas en paralelo y que los puntos de operación se encuentran en aproximadamente 660 m<sup>3</sup>/Hr

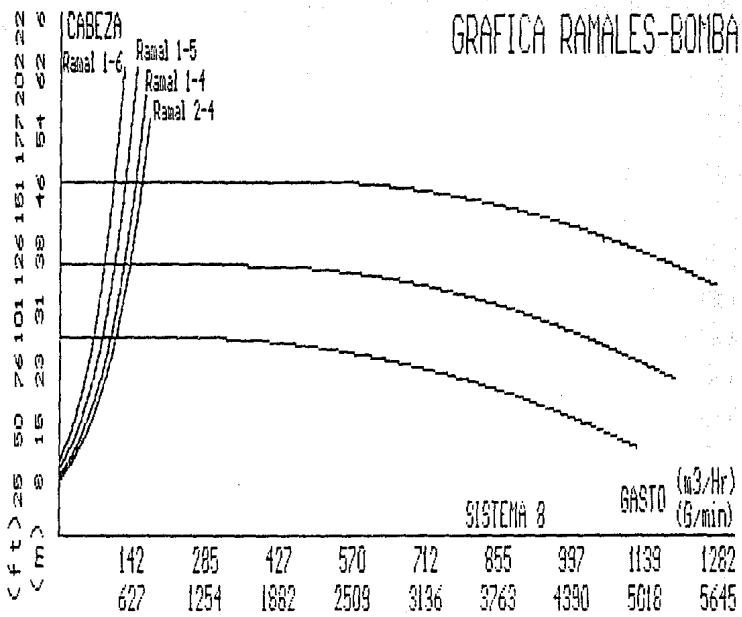
para un diámetro de impulsor de 9 pulgadas, en 870 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 10 pulgadas y 1029 m<sup>3</sup>/Hr para un diámetro de impulsor de 12 pulgadas.

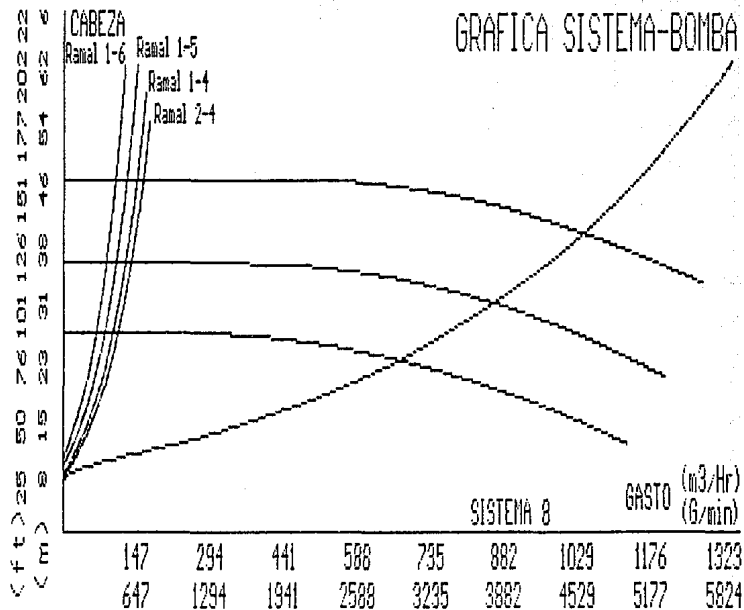
En las gráficas de este sistema las líneas de los ramales 2-5, 2-6, 3-4, 3-5 y 3-6 han sido suprimidas para poder dar mayor claridad a las gráficas.





# GRAFICA RAMALES-BOMBA





## CONCLUSIONES.

Durante el desarrollo del presente trabajo de tesis, se me presentaron diversos tipos de problemas, algunos relacionados con la creación del programa para computadora personal y otros relacionados con el texto de la misma, a continuación comento algunos de estos:

En un principio se pensaba crear un programa que fuera totalmente general, esto es, que pudierà manejar cualquier cantidad de tanques a la succiòn de la bomba y a la descarga, cualquier arreglo de tanques tanto a la succiòn como a la descarga y tambièn cualquier arreglo de bombas, pero se desechò la idea debido a que se podria tener una cantidad tan grande de sistemas que para poder crear un programa de esta magnitud seria necesario tener una màquina que contarà con una capacidad de memoria muy grande, por lo cual se necesito fijar un màximo de tanques a manejar, tanto a la succiòn como a la descarga, encontrando que un nùmero de tanques significativo erà de tres tanques a la succiòn y tres tanques a la descarga como màximo, incluyendo por supuesto cualquier combinaciòn de tanques y arreglos con esa llimitante.

Tambièn al intentar crear una secuencia para poder manejar cualquier arreglo de bombas, me encontrè con la limitante de la capacidad de memoria, por lo cual decidì manejar ùnicamente dos tipos de arreglos, serie o paralelo, con cualquier nùmero de bombas cada uno de ellos.

Otro problema fue la creación de los bancos de datos con que cuenta el programa, en un principio pensé en colocarlos como procedimientos dentro del programa principal, pero de nueva cuenta me encontré con el problema de la capacidad de memoria de la máquina, lo cual me llevo a crear en disco archivos que pudieran ser consultados desde el programa principal, con lo cual el siguiente problema a resolver fue la organización de la información tanto para ser grabada en disco como para ser consultada por el programa.

Después de resolver los problemas anteriores, llegué al punto tres del programa principal. en el cual se construye la gráfica del sistema calculado, en donde encontré el problema que me llevó más tiempo resolver debido a que me encontré que el lenguaje de programación que elegí para crear el programa para cálculo de sistemas de bombeo, es un lenguaje poco utilizado y por lo mismo muy poca gente tiene conocimientos para realizar gráficos con este lenguaje, esto me llevo a buscar algún curso en el cual pudiese aprender a utilizar la sección gráfica de turbo pascal. encontrando que solamente se imparte este curso en el centro de cómputo académico universitario y en la Facultad de Ingeniería Civil de esta misma Universidad, pero para el tiempo en que yo requerí de tomar el curso, el centro de computo académico universitario estaba a mitad de cursos, por lo cual tuve que esperar a que en la Facultad de Ingeniería iniciaran cursos.

Después de un mes de espera el curso de dicha facultad fue suspendido pues no se recibió el número mínimo de inscripciones



para poder impartir el curso, así que una vez agotadas las posibilidades de tomar el curso busqué a alguien que me diera clases particulares para poder graficar con este lenguaje.

Una vez que aprendí a graficar con turbo pascal se me presentó nuevamente el problema de la capacidad de memoria de la máquina, esto es, dado a que la máquina debía mantener en memoria el sistema operativo (DOS), turbo pascal, turbo pascal gráfico y el programa de análisis de sistemas de bombeo, los 512 Kb de memoria de la máquina resultaban insuficientes. lo cual generaba que la gráfica del sistema no fuera mostrada en pantalla, para corregir este error fue necesario ampliar la memoria de la máquina de 512 a 640 Kb de memoria.

El último problema relacionado con el programa de sistemas de bombeo, lo tuve cuando en la sección de análisis de resultados intente imprimir la gráfica del sistema analizado, esto se me dificultó debido a el tipo de monitor.

Para poder resolver correctamente los problemas anteriores me fue necesario tener conocimientos de computación. como lo son el sistema operativo (DOS), el lenguaje de programación turbo pascal, utilerías, también conocimientos de como está configurada la computadora, por ejemplo la cantidad de pixels que existen en un monitor TTL con tarjeta gráfica hércules, la configuración que debe tener una impresora para recibir información gráfica, etc.

Todos estos conocimientos de computación me sirvieron como herramienta para la aplicación de una area especifica de la

licenciatura en Ingeniería Química, que es el flujo de fluidos y algunos otros conocimientos propios de la carrera, como lo es la termodinámica, etc.

Es oportuno señalar que así como el presente trabajo se desarrolló para poder analizar diversos sistemas de bombeo utilizando líquidos Newtonianos, sería conveniente desarrollar un programa similar en el cual se puedan analizar sistemas que utilicen líquidos no-Newtonianos, con lo cual se podría tener una perspectiva más amplia de los sistemas de bombeo tanto para quienes imparten la materia como para quienes la estudian. Esto debido a la rapidez de cálculo que ofrecen las computadoras personales actuales, porque por ejemplo para efectuar el análisis de los ocho casos presentados en la sección de análisis de resultados, del presente trabajo de tesis, se consumió entre 60 y 70 minutos, lo cual es un ahorro de tiempo considerable.

Uno de los puntos más importantes y que en mi opinión se cumplió, al momento de iniciar el desarrollo del programa para computador personal, fue que dicho trabajo pudiera ser utilizado por quienes estudian el flujo de fluidos, para tener una visión más profunda de los efectos que se tienen sobre un sistema al cambiar alguna de las variables de ese sistema, como puede ser la altura de un tanque, la presión de un tanque, el líquido manejado, etc., y también con el programa darle a la materia de flujo de fluidos un enfoque más objetivo.

## APENDICE A

### Banco de datos de fluidos y sus propiedades.

Un fluido es aquella substancia que debido a la poca cohesión intermolecular carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene.

Los fluidos pueden ser Newtonianos si tienen viscosidad constante y esta es función de la temperatura, o no Newtonianos si tienen viscosidad no constante y es afectada por la temperatura y por un esfuerzo cortante.

Un esfuerzo cortante se define como la fuerza ocasionada por la fricción entre dos capas contiguas por unidad de área.

La viscosidad es la resistencia que un fluido ofrece al corte, depende de las fuerzas de cohesión y rapidez de la transferencia de cantidad de movimiento de moléculas. La viscosidad puede considerarse como la fricción interna de un fluido tendiente a reducir el flujo.

La densidad es la masa de una substancia contenida en la unidad de volúmen, la densidad de los líquidos por ser incompresibles, es independiente de la presión por tanto es función exclusivamente de la temperatura del líquido.

En el presente trabajo se obtienen, tanto la viscosidad como la densidad respectivamente a partir de las siguientes ecuaciones

que son función de la temperatura del líquido.

$$\text{LOG (VIS)} = (\text{VISB}) * ( (1/T) - (1/\text{VISTO}) )$$

en donde:

T es la temperatura del líquido en grados Kelvin

VISB y VISTO son constantes

VIS es la viscosidad del líquido en centipoises

En el punto uno del programa principal se menciona que el usuario puede ingresar las constantes de cualquier líquido que no se encuentre en este banco de datos, estos son preguntados secuencialmente comenzando por el nombre del fluido, y así sucesivamente. Al llegar a preguntar las constantes características para el cálculo de la viscosidad el programa pregunta por la constante "A" y por la constante "B", en este caso se refiere a las constantes que aquí llamo VISB y VISTO respectivamente.

$$D = \left( \frac{P_c * M}{T_c} \right) * \left( \left( \frac{0.0653}{0.773} \right) - (0.09 * T_r) \right)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c}$$

En donde:

T<sub>c</sub> es la temperatura crítica

T es la temperatura del líquido en Kelvin

- Tr es la temperatura reducida  
 Pc es la presión crítica, absoluta en atmósferas  
 Zc es la compresibilidad crítica  
 M es el peso moléculat  
 D es la densidad del líquido en g/ml

Las ecuaciones de densidad y viscosidad tiene un rango de validez de -20 a 150 grados C.

Los nombres de los fluidos, las constantes críticas, las constantes para la ecuación de viscosidad, y sus números clave se detallan en la siguiente tabla, en donde:

- C es el número clave  
 NF es el nombre del fluido  
 PM es el peso molecular  
 Tc es la temperatura crítica en Kelvin  
 Pc es la presión crítica en atmósferas  
 Zc es la compresibilidad crítica  
 VISB es una constante  
 VISTO es una constante

C	NF	PM	Tc	Pc	Zc	VISB	VISTO
1	AGUA	18.015	647.3	217.6	0.229	558.25	283.16
2	DIOXIDO DE NITROGENO	46.006	431.4	100	0.480	406.20	230.21
3	TETRACLORURO DE CARBON	153.823	556.4	45	0.272	540.15	290.84
4	NITROMETANO	61.04	588	62.3	0.224	452.50	261.21

C	NF	PM	Tc	Pc	Zc	VISB	VISTO
5	CLOROFORMO	119.378	536.4	54	0.293	394.81	246.5
6	METANOL	32.042	512.6	79.9	0.224	555.30	240.64
7	ACETONITRILLO	41.053	548	47.7	0.184	334.91	210.05
8	ETANOL	46.069	516.2	63	0.248	686.64	300.88
9	ACETONA	58.08	508.1	46.4	0.232	367.25	209.68
10	1-PROPANOL	60.096	536.7	51	0.253	951.04	327.83
11	ISOPROPANOL	60.096	508.3	47	0.248	1139.7	323.44
12	N-BUTANOL	74.123	562.9	43.6	0.259	984.54	341.12
13	2-BUTANOL	74.123	536	41.4	0.252	1441.7	331.5
14	ISOBUTANOL	74.123	547.7	42.4	0.257	1199.1	343.84
15	TERBUTANOL	74.123	506.2	39.2	0.259	972.10	363.38
16	PENTANO	72.151	469.6	33.3	0.262	313.66	182.48
17	ACETALDEIDO	44.054	461	55	0.22	368.7	192.82
18	N-HEXANO	86.178	507.4	29.3	0.26	362.79	207.09
19	ACIDO ACETICO	60.052	594.4	57.1	0.2	600.94	306.21
20	METIL ETIL ETER	60.096	437.8	43.4	0.267	303.82	171.66
21	1-HEPTENO	98.189	537.2	28	0.28	368.69	214.32
22	N-HEPTANO	100.205	540.2	27	0.263	436.73	232.53
23	N-OCTANO	114.232	568.8	24.5	0.259	473.7	251.71
24	VINIL ACETATO	86.091	525	43	0.26	457.89	235.35
25	BENCENO	78.114	562.1	48.3	0.271	545.64	265.24
26	2-ETILHEXANOL	131.231	613	27.2	0.267	1798	351.17
27	CICLEHEXANO	84.162	553.4	40.2	0.273	653.62	290.84
28	DIISOPROPIL ETER	102.177	500	28.4	0.267	410.58	219.67
29	1-DECANOL	158.285	700	22	0.23	1481.8	380

## APENDICE B

Banco de datos de tubería de acero comercial.

En el presente trabajo únicamente se ha incluido información sobre tuberías de acero comercial con cédula 40, misma que se detalla a continuación:

Clave	Diámetro	Diámetro	Diámetro	Area Transversal
	Nominal	Externo	Interno	Interna
	(pulg)	(pulg)	(pulg)	(pulg cuadradas)
1	0.123	0.405	0.269	0.057
2	0.250	0.540	0.364	0.104
3	0.375	0.675	0.493	0.191
4	0.500	0.109	0.622	0.304
5	0.750	1.050	0.824	0.533
6	1.00	1.315	1.049	0.864
7	1.25	1.660	1.380	1.495
8	1.50	1.900	1.610	2.036
9	2.00	2.375	2.067	3.355
10	2.50	2.875	2.469	4.788
11	3.00	3.500	3.068	7.393
12	3.50	4.000	3.548	9.886
13	4.00	4.500	4.026	12.730
14	5.00	5.563	5.047	20.006
15	6.00	6.625	6.065	28.891

Clave	Diámetro Nominal (pulg)	Diámetro Externo (pulg)	Diámetro Interno (pulg)	Area Transversal Interna (pulg cuadradas)
16	8.00	8.625	7.981	50.027
17	10.00	10.75	10.02	78.855
18	12.00	12.75	11.938	11.93
19	14.00	14.00	13.124	135.28
20	16.00	16.00	15.00	176.72
21	18.00	18.00	16.876	223.68
22	20.00	20.00	18.814	278.00
23	24.00	24.00	22.626	402.07

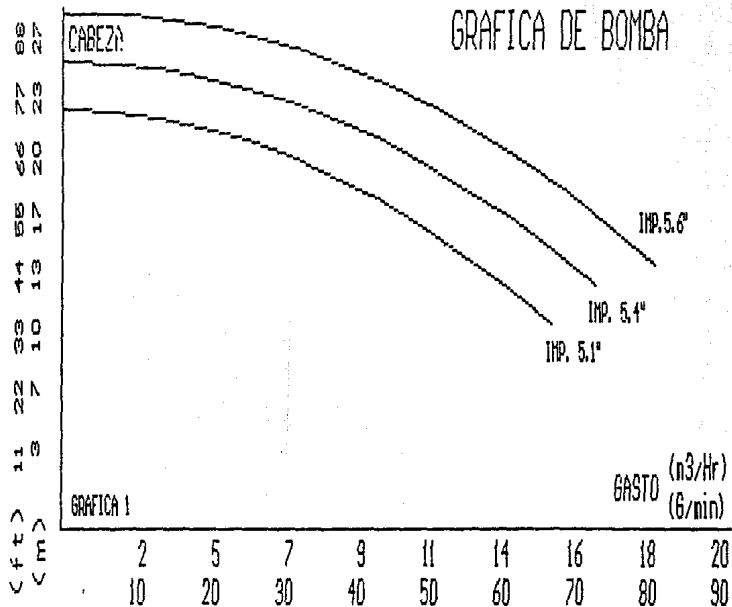
Clave	Diámetro Nominal (cm)	Diámetro Externo (cm)	Diámetro Interno (cm)	Area Transversal Interna (cm cuadrados)
1	0.318	1.029	0.683	0.368
2	0.635	1.372	0.925	0.671
3	0.953	1.715	1.252	1.232
4	1.270	2.134	1.580	1.961
5	1.905	2.667	2.093	3.439
6	2.540	3.340	2.664	5.574
7	3.175	4.216	3.505	9.645
8	3.81	4.826	4.089	13.135
9	5.08	6.033	5.250	21.645
10	6.35	7.303	6.271	30.890
11	7.62	8.890	7.793	47.697

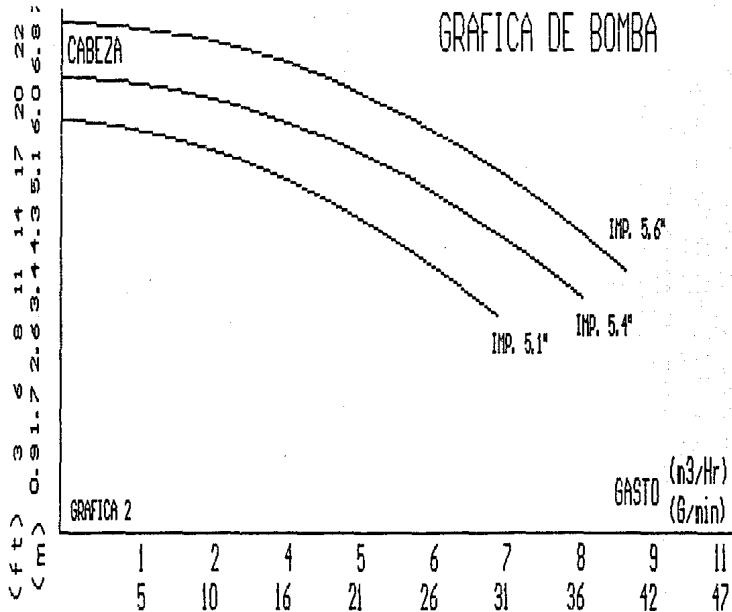


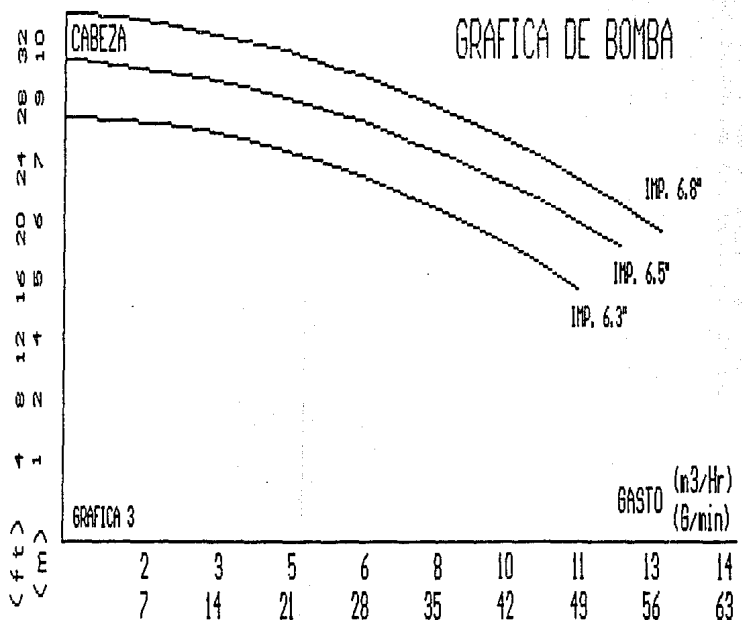
Clave	Diámetro Nominal (cm)	Diámetro Externo (cm)	Diámetro Interno (cm)	Area Transversal Interna (cm cuadrados)
12	8.89	10.160	9.012	63.781
13	10.16	11.430	10.226	82.129
14	12.70	14.130	12.819	129.071
15	15.24	16.828	15.405	186.393
16	20.32	21.908	20.272	322.754
17	25.40	27.305	25.451	508.741
18	30.48	32.385	30.323	722.128
19	35.56	35.56	33.335	872.772
20	40.64	40.64	38.100	1140.127
21	45.72	45.72	42.865	1443.094
22	50.80	50.80	47.788	1793.545
23	60.96	60.96	57.470	2593.995

## APENDICE C

Gráficas características de bombas.

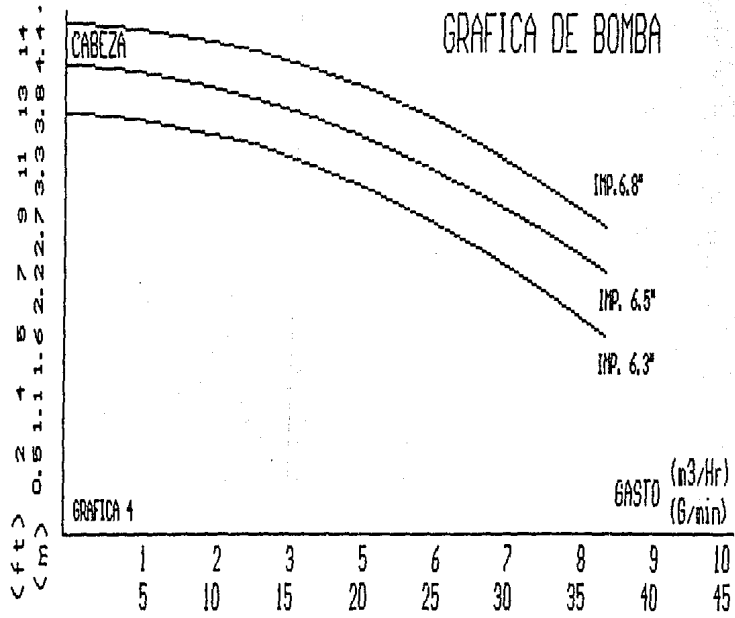


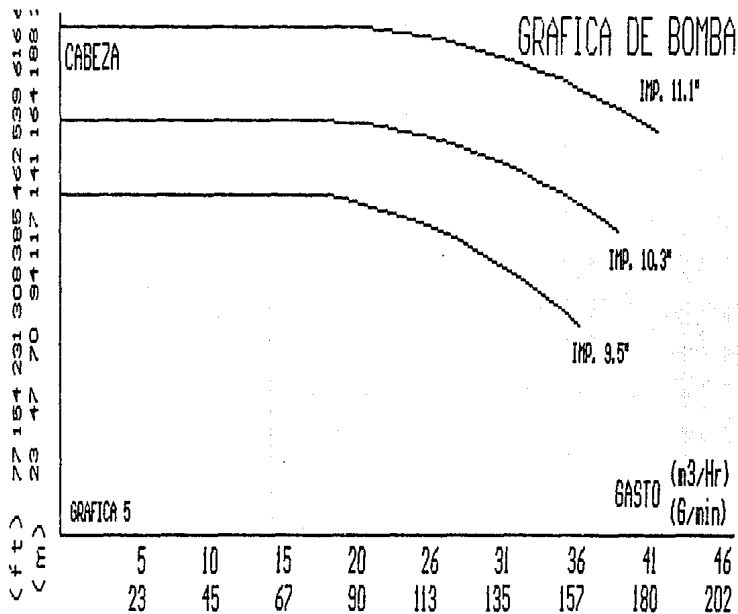


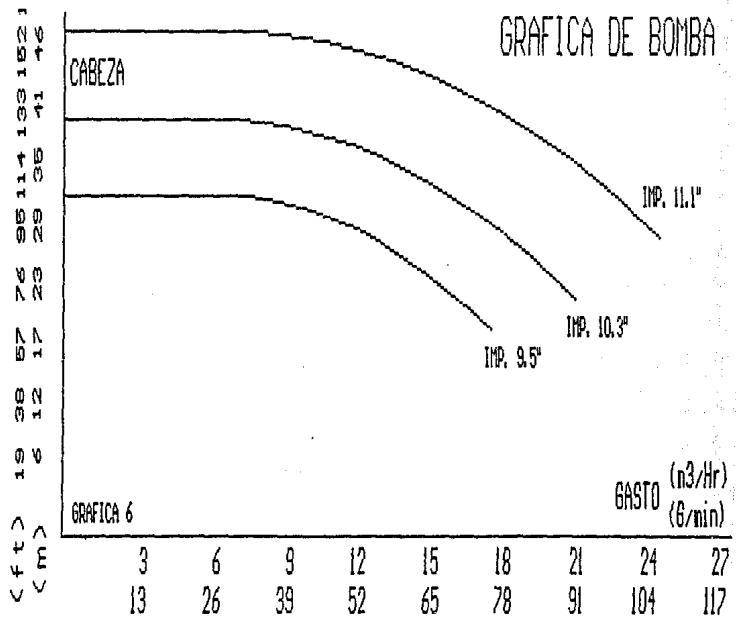


GRAFICA 3

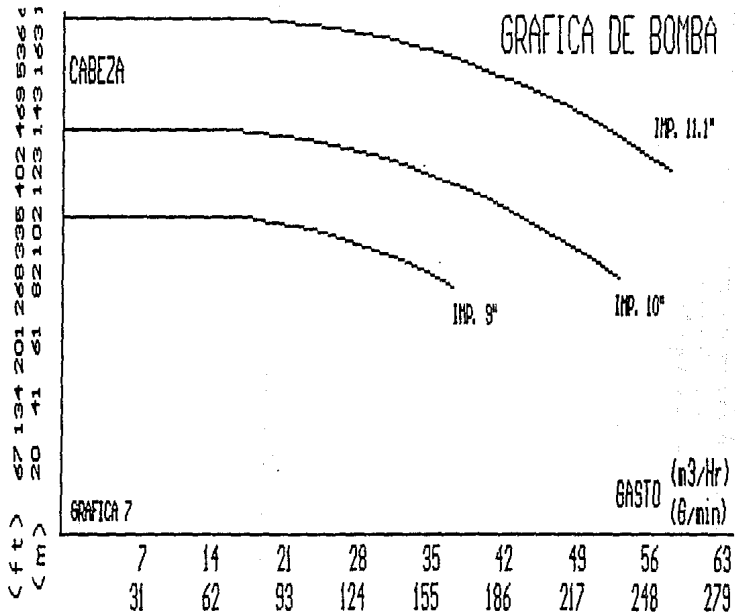
GASTO (m<sup>3</sup>/Hr)  
(G/min)

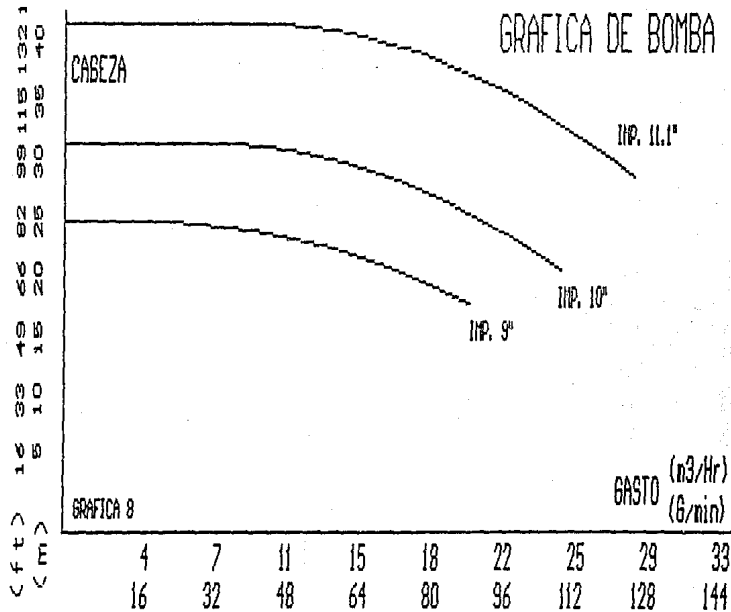


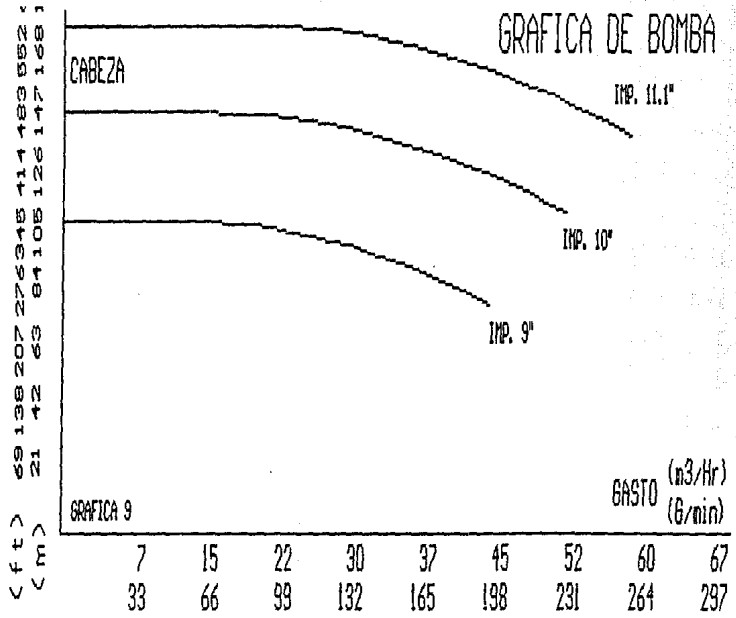


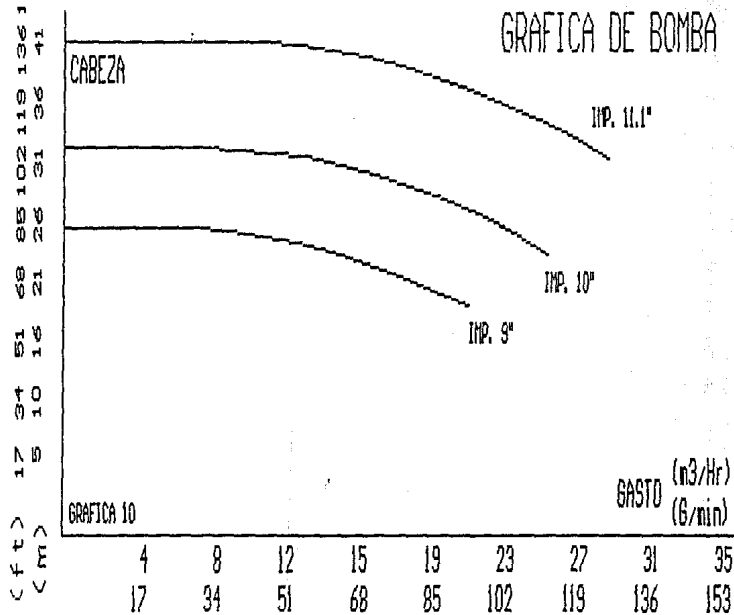


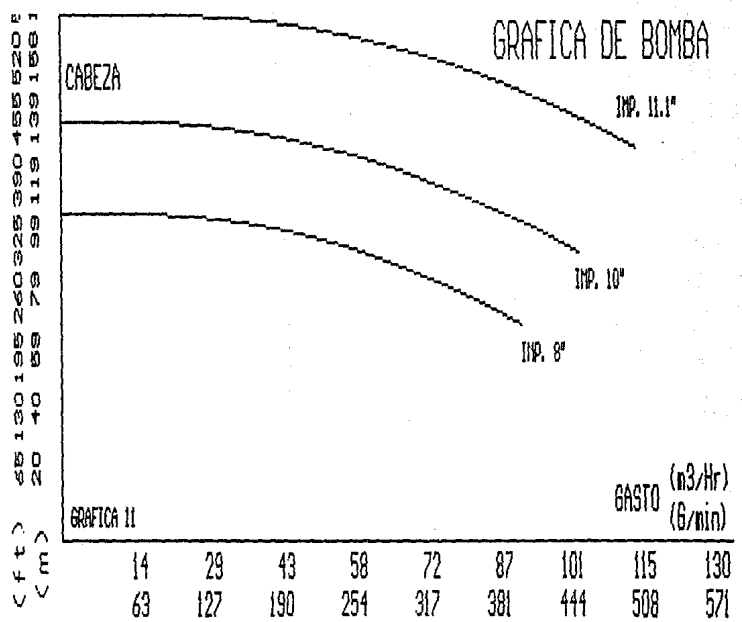


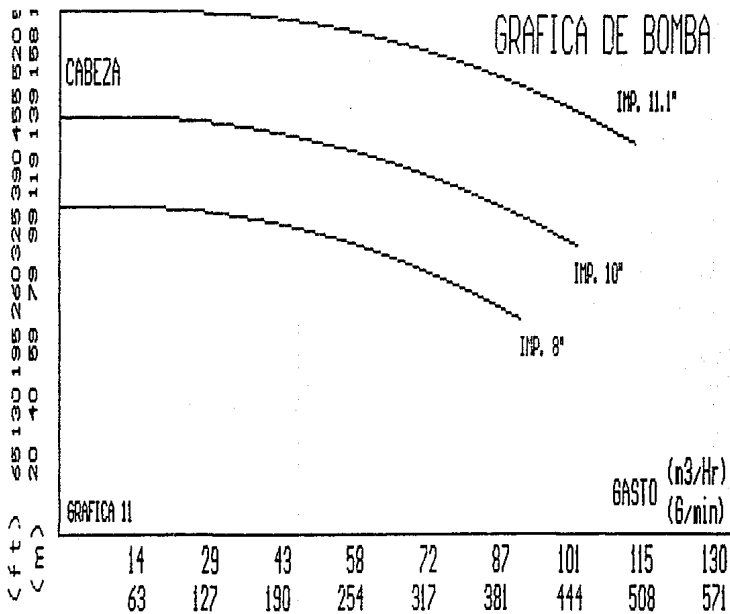


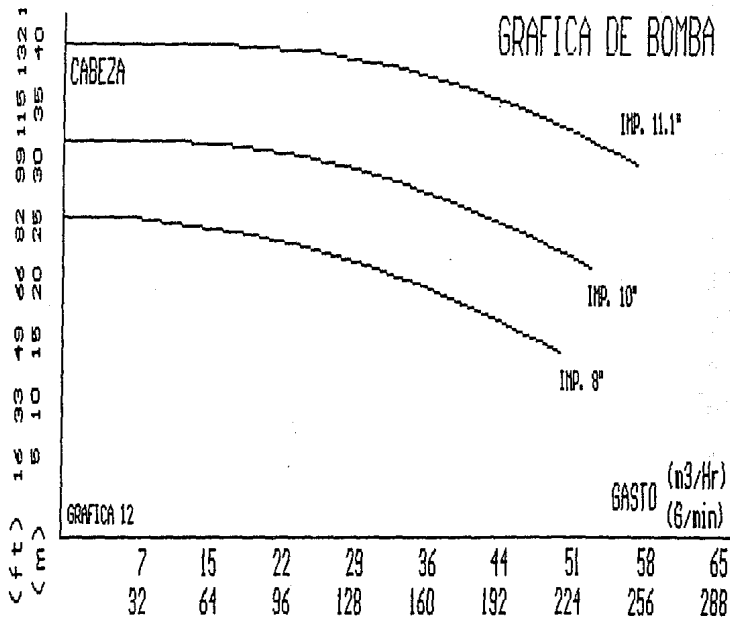












GRAFICA 12

GASTO (m<sup>3</sup>/Hr)  
(G/min)

## BIBLIOGRAFIA.

FLUIDS MOVERS: Pumps, compressors, fans and blowers.

Chemical Engineering magazine

Mc. Graw-Hill Publications

pag 238-261

PUMPS HANDBOOK

Karassik, Krutzsch, Fraser, Messina.

Mc. Graw-Hill Book Company

pag 1-1 a 1-4, 3-47 a 3-79, 9-1 a 9-10

INGENIERIA DE PROYECTOS PARA PLANTAS DE PROCESO

H.F. Rase, M.H. Barrow.

C.E.C.S.A.

Octava impresión 1982

capitulo 14

PLANT DESIGN AND ECONOMICS FOR CHEMICAL ENGINEERS

Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus

Mc. Graw-Hill

Tercera edición

DINAMICA DE LOS FLUIDOS

Donal R. F. Halerman

Trillas

FLOW OF FLUIDS

Crane

Crane Co.



MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

Robert Perry, Cecil H. Chilton

Mc. Graw-Hill

Quinta edición

Vol. 1

pag 6-1 a 6-20

OPTIMUM PIPE SIZE SELECTION

Claude B. Nolte.

Gulf Publishing Company

Book Division

pag. 79 a 83

UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING

Mc. Cabe, Smit, Harriott

Fourth Ed.

Mc. Graw-Hill Chemical Engineering Series

pag. 169 a 182

INGENIERIA QUIMICA

Vol. 3 Flujo de Fluidos

Ed. Alhambra

Primera Ed. 1985

pag. 379 a 411

A GUIDE TO CHEMICAL ENGINEERING PROCESS DESIGN AND  
ECONOMICS

Gael D. Ulrich, Jhon Wiley and Sons

pag. 204 a 210