

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE DE SELECCIÓN  
DE BOMBAS CENTRIFUGAS PARA LA EMPRESA MANTENIMIENTOS  
TÉCNICOS INTEGRALES LTDA.

LAURA MELISSA PÉREZ MENDOZA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2016

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE DE SELECCIÓN  
DE BOMBAS CENTRIFUGAS PARA LA EMPRESA MANTENIMIENTOS  
TÉCNICOS INTEGRALES LTDA.

LAURA MELISSA PÉREZ MENDOZA

Trabajo de Grado para optar por el título de

Ingeniero Mecánico

Director

DAVID ALFREDO FUENTES DÍAZ

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2016

*Te dedico este triunfo madre,  
que has estado junto a mí estos duros años.*

*A tí amor de mí vida,  
por atravesar conmigo este camino colmado de obstáculos.*

*A todos aquellos que me dieron la mano, les digo gracias.*

*Hoy culmino este sueño.....  
.....juntos lo hicimos posible.*

*Mi más sincero agradecimiento al profesor David Alfredo  
Fuentes,  
quien con su paciencia, conocimiento y dedicación  
hizo posible el desarrollo de este proyecto.  
Al Ingeniero Richard Alexander Cedeño,  
por su apoyo y buenos consejos.  
A la Universidad Industrial de Santander,  
Por contribuir en mi formación.  
A todo ustedes gracias por hacer este sueño realidad.*

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	20
3. OBJETIVOS.....	24
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	24
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	24
4. MARCO TEÓRICO DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS.....	26
4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS.....	26
4.2 COMPONENTES DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA.....	26
4.2.1 Cubierta o carcasa.....	27
4.2.2 Impulsor o rodete.....	27
4.2.3 Difusor.....	31
4.2.4 Eje.....	33
4.2.5 Prensa estopa.....	34
4.2.6 Cojinetes.....	34
4.3 TIPOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS.....	34
4.4 CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.....	36
4.4.1 Carga estática de la bomba.....	37
4.4.2 Diferencia de presiones.....	38

4.4.3	Carga de fricción.....	38
4.4.4	Pérdidas a la entrada y la salida.....	38
4.4.5	Carga debido a la velocidad.....	39
4.5	CARGA TOTAL.....	39
4.5.1	Pérdidas por longitud de la tubería.....	40
4.6	CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BOMBA.....	44
4.6.1	Curva Altura-Caudal (H-Q).....	45
4.6.2	Curva Potencia-Caudal (P-Q).....	46
4.6.3	Curva Rendimiento-Caudal ( $\eta$ -Q).....	47
4.7	PUNTO DE OPERACIÓN DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.....	48
5.	DESARROLLO DEL SOFTWARE.....	49
5.1	MÓDULO DE BASE DE DATOS.....	49
5.1.1	Modelamiento de las gráficas (H-Q).....	50
5.1.2	Modelamiento de las gráficas (P-Q).....	55
5.2	MÓDULO DE SELECCIÓN.....	57
5.3	MÓDULO HIDRÁULICO.....	59
5.3.1	Cálculo de la Bomba Centrifuga.....	59
6.	FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA.....	91
6.1	FUNCIONAMIENTO “MÓDULO DE SELECCIÓN”.....	91
6.2	FUNCIONAMIENTO “MÓDULO HIDRÁULICO”.....	94
6.3	FUNCIONAMIENTO “ADMINISTRACIÓN”.....	107

7. CONCLUSIONES .....	112
BIBLIOGRAFÍA .....	114
ANEXOS .....	115

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cuarto de máquinas.....	18
Figura 2. Software de selección de personal.....	20
Figura 3. Portada catálogos Pedrollo.....	21
Figura 4. Ejemplo de curva de una bomba Hidromac.....	22
Figura 5. Impulsor de flujo axial.....	28
Figura 6. Impulsor de flujo radial.....	28
Figura 7. Impulsor de flujo mixto.....	29
Figura 8. Impulsor cerrado de admisión simple con alabes derechos.....	29
Figura 9. Impulsor cerrado de doble admisión.....	30
Figura 10. Impulsor de alabes Francis.....	30
Figura 11. Impulsores cerrado (a), abierto (b) y semi-abierto (c).....	31
Figura 12. Recorrido del fluido en la carcasa.....	32
Figura 13. Carcasa con difusores tipo turbina.....	32
Figura 14. Conexión del eje al rodete.....	33
Figura 15. Bomba centrífuga horizontal.....	35
Figura 16. Bombas centrífugas verticales.....	35
Figura 17. Carga estática.....	37
Figura 18. Corte Reducción.....	44
Figura 19. Curva característica de una bomba centrífuga.....	45
Figura 20. Curva H-Q.....	46
Figura 21. Curva (P-Q).....	47

Figura 22. Punto de Operación del sistema. ....	48
Figura 23. Modelamiento con Engauge. ....	51
Figura 24. Sección de la tabla arrojada por Engauge. ....	52
Figura 25. Ecuación suministrada por CurveExpert. ....	53
Figura 26. Grafica de la referencia AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A.....	53
Figura 28. Grafica P-Q para un impulsor de 178 mm. ....	56
Figura 29. Rango de alturas.....	58
Figura 30. Ejemplo grafico de la curva de potencia y caudal. ....	59
Figura 31. Plano hidráulico. ....	60
Figura 32. Numeración de tramos y nodos del detalle. ....	64
Figura 33. Nodo 38. ....	65
Figura 34. Nodo 35. ....	65
Figura 35. Detalle del piso acotado.....	68
Figura 36. Distinción de tramos y nodos en la montante. ....	77
Figura 37. Dirección del flujo a través del nodo 31. ....	78
Figura 38. Dirección del flujo a través del nodo 30. ....	78
Figura 39. Módulo de Selección.....	91
Figura 40. Consultar gráficas. ....	92
Figura 41. Resultados de la consulta.....	92
Figura 42. Resultado en detalle. ....	93
Figura 43. Módulo Hidráulico. ....	94
Figura 44. Crear una nueva torre.....	96
Figura 45. Agregar un nuevo líquido.....	97

Figura 46. Agregar un nuevo material de la tubería.....	97
Figura 47. Agregar un piso.....	98
Figura 48. Crear un nuevo piso.....	99
Figura 49. Agregar un tramo. ....	100
Figura 50. Agregar un tramo de la montante. ....	101
Figura 51. Agregar la succión. ....	103
Figura 52. Agregar los pisos inferiores. ....	104
Figura 53. Documentación de los pisos inferiores. ....	105
Figuras 54. Resultados parciales del software.....	106
Figura 55. Resultado final. ....	107
Figura 56. Tabla de base de datos. ....	108
Figura 57. Editar una curva existente. ....	109
Figura 58. Agregar una nueva Curva.....	110
Figura 59. Agregar un nuevo Catálogo. ....	111

## ANEXOS

Estos anexos se ubican en la carpeta “ANEXOS”, la cual se encuentra adjunta al CD-ROM.

Anexo A. Catálogo Hidromac .....

Anexo B. Catálogo Pedrollo.....

## RESUMEN

**TITULO:** DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE DE SELECCIÓN DE BOMBAS CENTRIFUGAS PARA LA EMPRESA MANTENIMIENTOS TÉCNICOS INTEGRALES LTDA.<sup>1</sup>

**AUTOR:** LAURA MELISSA PÉREZ MENDOZA.<sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVE:** SOFTWARE, SELECCIÓN, BOMBAS, CENTRIFUGAS.

### DESCRIPCIÓN:

Este proyecto se fundamenta en la necesidad de la empresa Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. de disminuir los tiempos empleados para seleccionar una bomba centrífuga, esta debe cumplir con ciertas especificaciones mínimas, para poder ser presentada en una licitación que satisfaga la necesidades del cliente.

El problema radica en la diversidad de bombas que existen para suplir estas necesidades, en ocasiones hay varias bombas centrífugas que cumplen con estos parámetros, sin embargo, entran en juego otras variables como precio y calidad las cuales dependen del proveedor. El objetivo de este proyecto es que el ingeniero encargado de realizar la licitación, minimice el tiempo empleado en buscar las curvas de los distintos proveedores que cumplen con estas especificaciones, y pueda centrarse en los demás factores importantes. Para esto se creó un software de selección de bombas centrífugas el cual se desarrolló usando un Framework llamado "Bootstrap" y una interfaz basada en PHP y Javascript, el programa está compuesto por varios módulos y una base de datos creada en MySQL, que contiene las curvas ofrecidas por algunos proveedores de la empresa Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda., los módulos le permitirán al usuario no solo ingresar las especificaciones otorgadas por el cliente para encontrar la curva que se ajuste a sus necesidades, sino también verificar los cálculos realizados para obtener dichas especificaciones y así ofrecer al cliente un servicio integral.

---

<sup>1</sup> Proyecto de grado.

<sup>2</sup> Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, Director: Ingeniero David Alfredo Fuentes Díaz.

## ABSTRACT

**TITLE:** DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A CENTRIFUGAL PUMPS SELECTION SOFTWARE FOR THE COMPANY MANTENIMIENTOS TÉCNICOS INTEGRALES LTDA.<sup>3</sup>

**AUTHOR:** LAURA MELISSA PÉREZ MENDOZA.<sup>4</sup>

**KEYWORDS:** SOFTWARE, SELECTION, PUMPS, CENTRIFUGAL.

### DESCRIPTION:

This project is based on the necessity of the company Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. to decreasing the used times to select a centrifugal pump, which has to fill certain minimal specifications, in order to present it on a bidding that satisfice the client's needs.

The problem lies on the existing pumps diversity to fill those needs, occasionally, there are many centrifugal pumps which complies with these parameters, however, there are other variables such as price and quality and it depends on the supplier. The objective of this project is that the responsible engineer for doing the bidding, minimize the time that he usually uses to search the different curves of the suppliers and complies with the client's specifications, and he can concentrate on the other important factors, in order to solve this problem a centrifugal pumps selection software was created, which was developed using a framework called "Bootstrap", an interface based on PHP and Javascript. The program is designed with some modules and a data base created on MySQL, which includes the curves offered by some of the company suppliers, therefore the modules allow to the user not just to enter the specifications granted by the customer to find the curve which adjust to the client's needs, but also to verify the calculations made by the them to obtain those specifications and offer the buyer a complete service.

---

<sup>3</sup> Bachelor Thesis.

<sup>4</sup> Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Mechanical Engineering School, Director: David Alfredo Fuentes Díaz.

## INTRODUCCIÓN

La empresa Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. es una empresa creada en 2009 con el fin de comercializar, instalar y mantener equipos hidráulicos y de tratamiento de aguas en el sector residencial y recreacional. Su misión es ofrecer a sus clientes un servicio integral, a través de la cotización de equipos que cumplan con las necesidades requeridas por el consumidor, estas propuestas deben ser entregadas en un espacio de tiempo reducido, para ser analizada por el cliente y de esta manera tomar una decisión.

Por esta razón es muy importante que la selección de los equipos hidráulicos se realice de manera eficiente. Sin embargo, es importante anotar que la empresa Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. tiene diversos proveedores, como Hidromac, Barnes, Pedrollo, IHM entre otros, cada uno con sus propias propuestas de equipos que cumplen con los parámetros suministrados por el cliente. Para realizar una cotización adecuada se deben buscar las bombas de cada distribuidor que cumplen con las especificaciones y luego filtrar la búsqueda por calidad, disponibilidad y precios. Este proceso lleva tiempo debido a la cantidad de opciones que se presentan. Por esta razón, al encargado de presentar las licitaciones de la empresa Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. le toma suficiente tiempo concretar una propuesta, lo que extiende los tiempos de entrega y, en ocasiones, impide la presentación de dichas propuestas.

Este proyecto de grado tiene como propósito la creación de un software que, mediante herramientas computarizadas, permita la organización, clasificación y selección de bombas centrifugas y que, a su vez, contribuya con la

disminución de los tiempos de presentación de dichas propuestas y favorezca la imagen de la empresa debido a su cumplimiento.

Para cumplir con el objetivo principal de este proyecto se debe hacer un recorrido a través de la mecánica de fluidos buscando las herramientas necesarias para llevarlo a cabo. Conceptos básicos como la altura dinámica de la bomba y su relación con las pérdidas del sistema, así como conocer cuál es razón de estas pérdidas en dicho sistema; son preguntas esenciales que deben responderse para poder desarrollar de manera adecuada y precisa este proyecto.

Es importante anotar que este proyecto pretende hacer una relación tangible y efectiva entre la teoría y la práctica y que procurará mantener un equilibrio que nutra el trabajo y dinamice los procesos que se requieren. Es en este punto donde cobran relevancia los manuales y catálogos de bombas centrífugas proporcionadas por los proveedores puesto que son ellos mismos, en calidad de constructores de las mismas, quienes mejor conocen los productos. En estos catálogos se encuentran todas las especificaciones y detalles que se deben tener en cuenta de cada bomba, por ejemplo, que para una misma bomba centrífuga se tienen distintos diámetros de rotor, que girando a las mismas revoluciones por minuto pueden ofrecer distintas alturas dinámicas. Estas especificaciones se consiguen mediante experimentos realizados con cada equipo y, aunque a simple vista, parecen ofrecer lo mismo, cada una de las empresas distribuidoras tiene sus propios diseños que las hacen únicas y que pueden influir en determinado momento en la decisión sobre cuál de todas escoger.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. es una empresa dedicada principalmente al suministro e instalación de equipos de bombeo, tales como sistemas de presión constante, contraincendios, filtros para piscinas y jacuzzis como los observados en la figura 1.; en pocos años esta empresa ha logrado trabajar no solo en Bucaramanga, también en la ciudad de Barrancabermeja con grandes constructoras, como Urbanas S.A, Marval S.A, Grinco S.A.S entre otras. Por esta razón, sus estándares de calidad deben ser elevados, no solo para cubrir las necesidades de cada uno de sus clientes, también para poder competir frente a empresas con mayor experiencia en el mercado.

Figura 1. Cuarto de máquinas.



Fuente: base de datos Manintegrales Ltda.

Para cumplir con su oferta de negocio, Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. recurre a diversos proveedores con extensos inventarios, quienes

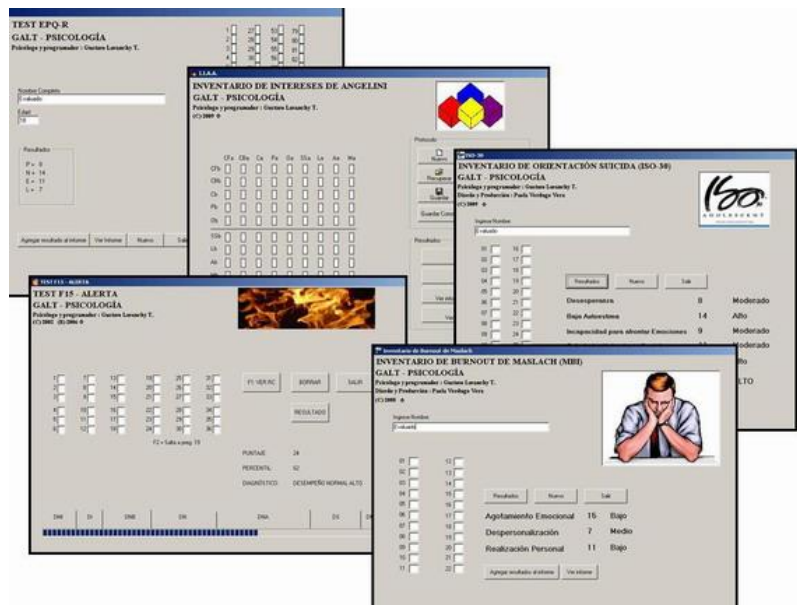
presentan una larga lista de opciones que podrían cumplir con las especificaciones del proyecto, lo que se convierte en un amplio portafolio de alternativas para revisar, analizar y seleccionar.

Después de realizar un estudio interno, la firma Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. encontró que a un Ingeniero con 20 años de experiencia, le toma en promedio de 3 a 6 horas proponer una licitación; la anterior comprende la selección de los equipos que cumplan con las especificaciones otorgadas por el cliente, accesorios necesarios para realizar el montaje y el diseño del cuarto de máquinas optimizando espacios. Para un Ingeniero recién egresado, sin experiencia o con muy poca en el campo, esta tarea tomaría mucho más. Asimismo se efectuó un análisis de las licitaciones pérdidas y se encontró que muchas de estas oportunidades fueron desperdiciadas por no ser entregadas puntualmente o por errores cometidos por falta de tiempo. Ya que para Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. las ventas e instalación de equipos son su principal ingreso, es imperativo no solo ampliar la cobertura de licitaciones enviadas, también reducir los errores cometidos en las mismas, para así, poder tener una mayor competitividad con respecto a sus contrapartes y a su vez disminuir las pérdidas económicas para la empresa.

## 2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

En la sociedad actual, donde las tecnologías computacionales marcan la diferencia, donde el objetivo de todas las empresas no solo es mejorar su competitividad para poder mantenerse firmes, sino también llegar a ser la número uno, existen nuevas ideas que sobresalen a la hora de ahorrar tiempos, disminuir costos y de ampliar márgenes de ganancia. Algunas de las estrategias utilizadas para ayudar a la disminución de tiempos es organizarse digitalmente, evitando grandes estantes llenos de papeles, libros, hojas de vida, catálogos, manuales y hojas de vida de máquinas, entre otros. Una opción para evitar esto son los programas informáticos. En la figura 2 se muestra un ejemplo.

Figura 2. Software de selección de personal.



Fuente: Gestión de personas y Clientes.

El área de desempeño de la empresa Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. es la cotización, venta, instalación, y mantenimiento en su mayoría de bombas centrífugas, para cumplir con esto la empresa maneja varios proveedores quienes poseen catálogos, como se muestra en la figura 3, con múltiples opciones las cuales son renovadas permanentemente. Estos catálogos contienen diferentes curvas, especificaciones, cuidados, entre otros elementos importantes. Esta información es almacenada de forma digital en el mejor de los casos, pero la mayoría de las veces se hace de forma física, ocupando espacio y haciendo ineficiente la búsqueda y selección del producto más adecuado para el cliente.

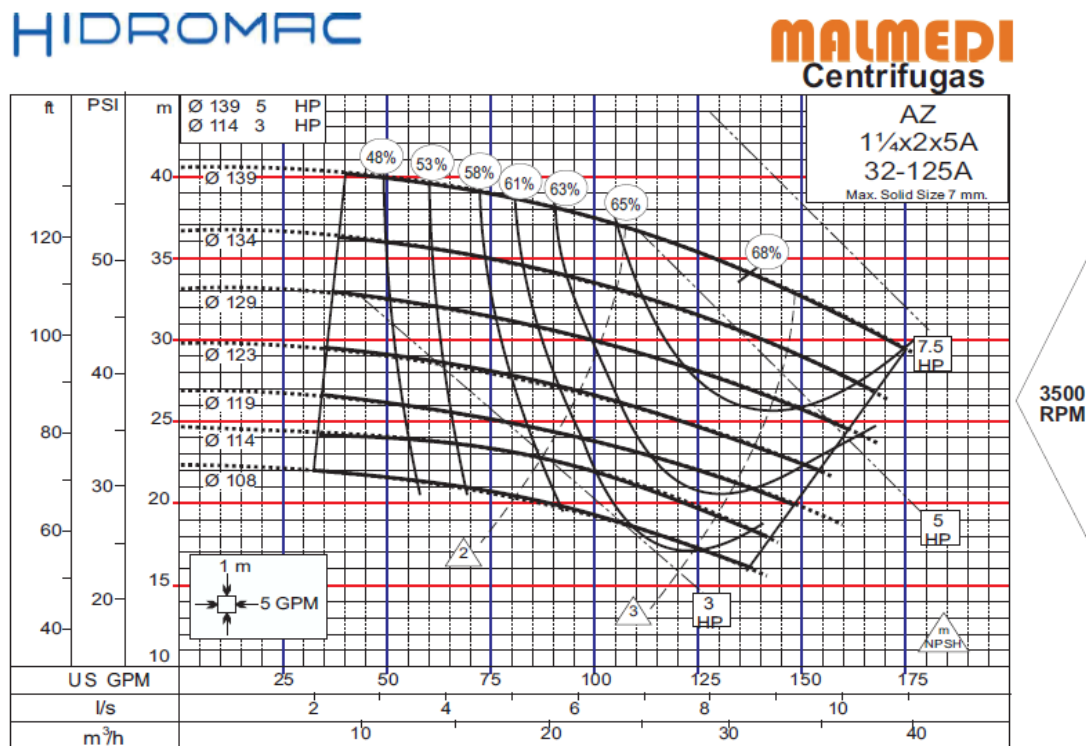
Figura 3. Portada catálogos Pedrollo



Fuente: CATÁLOGO, Pedrollo. Edición Actualizada. Italia: 2014, 364 p.

Debido a esto, Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. se ve en la necesidad de implementar un software de selección, con capacidad de almacenar una gran cantidad de datos como referencias de bombas, curvas, dimensiones y especificaciones entregadas por sus proveedores, como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Ejemplo de curva de una bomba Hidromac.



Fuente: MALMEDI, Hidromac. Novena Edición. Barranquilla: 2014, 948 p.

Este software debe tomar los parámetros suministrados por el cliente y buscar en la base de datos las curvas que mejor cumplan con dichas necesidades,

dejando al ingeniero solo la decisión más importante: cual se implementará teniendo en cuenta su criterio personal. Otro de los inconvenientes observados por Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. es que los clientes no siempre suministran la información correcta mediante la cual se pueda determinar una solución a sus necesidades, ya sea porque se encuentran mal asesorados, o simplemente porque hubo un error a la hora de hacer los cálculos. Este software permitirá corroborar los cálculos suministrados por el cliente, y de esta manera, brindar un servicio integral que permita la satisfacción a la hora de entregar el producto en funcionamiento.

Como se puede observar, el objetivo de este software es permitirle a la empresa Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. realizar una tarea de horas en minutos, al revisar una mayor cantidad de posibilidades en un menor tiempo, comparado con la situación actual, permitiendo disminuir el personal dedicado a esta tarea, otorgándole precisión y calidad a sus propuestas, dando así el primer paso para mejorar sus ventas y poco a poco introducirse en el mercado de manera sólida.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander, al desarrollar una herramienta tecnológica que permita el almacenamiento de la información y aporte una solución eficiente a la demora en los tiempos al momento de realizar una selección de bombas centrifugas.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Catalogar y reorganizar la información presente en los catálogos de bombas centrifugas para, posteriormente, ser almacenada en una base de datos, la cual se creará usando un motor llamado MySQL, que permite un manejo eficiente de las mismas.
- Desarrollar un software usando un Framework llamado “Bootstrap” y su interfaz de usuario se realizará basada en PHP y Javascript. El programa deberá contener al menos los siguientes módulos, esenciales para permitir la selección de bombas centrifugas:
  - ✓ **Módulo de Selección:** Permitirá la creación de un nuevo proyecto de selección de bombas centrifugas, utilizando los siguientes datos suministrados por el usuario: caudal y altura. Este módulo se encargará de todos los cálculos.
  - ✓ **Modulo Hidráulico:** Realizará, de acuerdo a los datos suministrados (presión, altura, material de la tubería, número y tipo de accesorios), la curva del sistema, que podrá ser comparada con los datos suministrados por el cliente.

- ✓ **Módulo de Base de Datos:** Contendrá toda la información sobre las curvas de las bombas centrífugas, con especificaciones como el caudal, altura de la bomba, diámetro del rotor, la potencia, la eficiencia, las rpm y el NPSH requerido.
  
- Implementar este software en la empresa Manintegrales Ltda., mediante la capacitación a sus empleados acerca de las diferentes herramientas manejadas por el sistema y su adecuado tratamiento para su correcto desempeño.

## **4. MARCO TÉORICO DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS**

Comúnmente se piensa que el bombeo se refiere a la presión que se le adiciona a un fluido, sin embargo, lo que se imprime a éste es energía, la cual permite el transporte del fluido normalmente a través de una tubería. Para llevar a cabo este trabajo las bombas centrifugas requieren de algunas partes importantes un rotor o impulsor, una cámara o cubierta que permita confinar el fluido, un eje y las chumaceras. Una de las ventajas de las bombas centrífugas es su capacidad de proporcionar un flujo sostenido a presiones uniformes sin variaciones de la misma.

### **4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS**

- La principal característica de las bombas centrífugas es su capacidad de convertir la energía producida por un motor, primero en energía cinética y luego en energía de presión.
- La eficiencia de estas bombas es buena, pero comienza a disminuir a medida que la viscosidad del líquido aumenta.
- Estas bombas poseen la máxima flexibilidad posible, al desarrollar una presión máxima en cualquier condición de operación siempre y cuando el caudal sea controlado.

### **4.2 COMPONENTES DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA**

A continuación, se enumerarán las partes más importantes de una bomba centrífuga, con su respectiva función.

**4.2.1 Cubierta o carcasa.** La función de la cubierta de la bomba es la de transformar la energía cinética en energía de presión, debido una pequeña reducción en la velocidad la cual se lleva a cabo mediante un ligero aumento en el área por la cual se dirige el fluido.

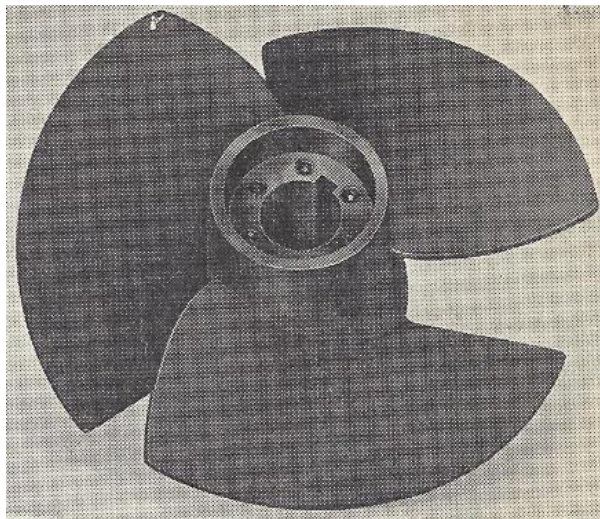
**4.2.2 Impulsor o rodete.** Se puede considerar como el corazón de la bomba, éste transforma la energía mecánica de rotación en energía cinética dándole al fluido mayor velocidad.

El líquido entra axialmente a la tubería de aspiración hasta llegar al centro del impulsor, el cual es accionado por el motor, produciendo un cambio brusco de dirección de sentido axial a radial, adquiriendo una aceleración y absorbiendo trabajo

Existen varias clasificaciones para los impulsores, la principal es según la dirección del flujo con respecto al eje de rotación, pero también según el diseño de la entrada de agua, según la forma y modelado de sus alabes o según su diseño mecánico.

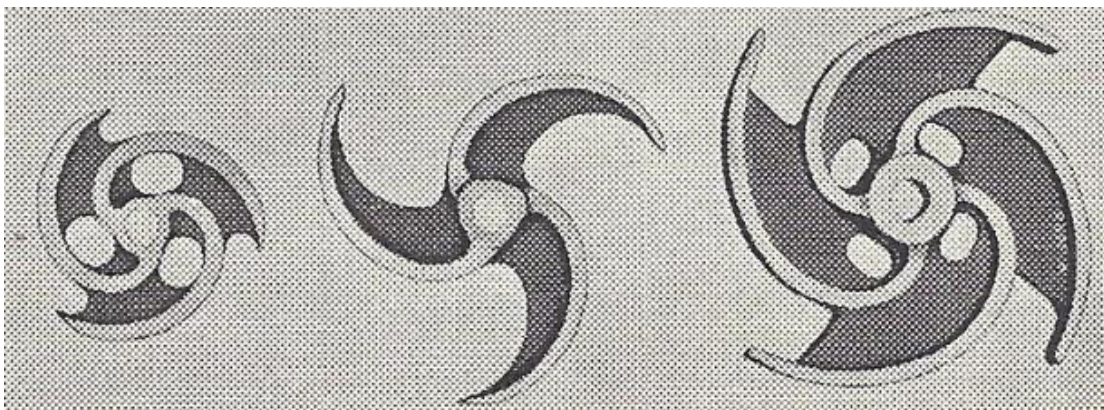
Según la dirección del flujo con respecto al eje de rotación los impulsores se pueden clasificar en impulsores de flujo axial, flujo radial y flujo mixto como se puede ver en las figuras 5, 6, y 7 respectivamente.

Figura 5. Impulsor de flujo axial.



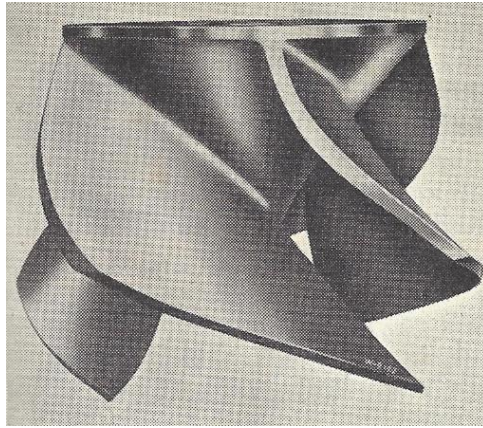
Fuente: KARASSIK, Igor J.: CARTER, Roy; BERUMEN, Alberto. Bombas centrífugas; Selección, operación y mantenimiento. México: Continental, 1966, 560 p.

Figura 6. Impulsor de flujo radial.



Fuente: KARASSIK, Igor J.: CARTER, Roy; BERUMEN, Alberto. Bombas centrífugas; Selección, operación y mantenimiento. México: Continental, 1966, 560 p.

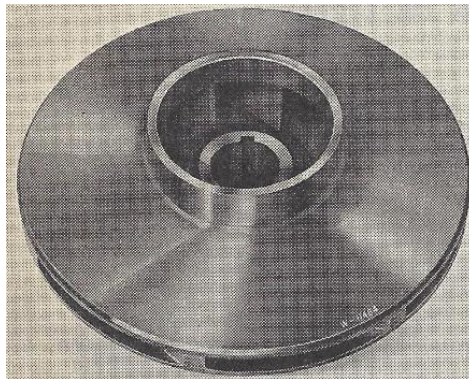
Figura 7. Impulsor de flujo mixto.



Fuente: KARASSIK, Igor J.: CARTER, Roy; BERUMEN, Alberto. Bombas centrífugas; Selección, operación y mantenimiento. México: Continental, 1966, 560 p.

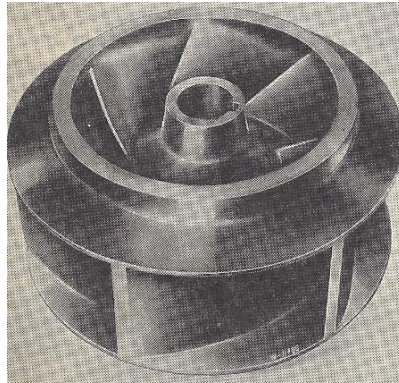
Según el diseño de la entrada de agua los impulsores se pueden clasificar en impulsores de admisión simple (ver figura 8) o impulsores de doble admisión (ver figura 9).

Figura 8. Impulsor cerrado de admisión simple con alabes derechos.



Fuente: KARASSIK, Igor J.: CARTER, Roy; BERUMEN, Alberto. Bombas centrífugas; Selección, operación y mantenimiento. México: Continental, 1966, 560 p.

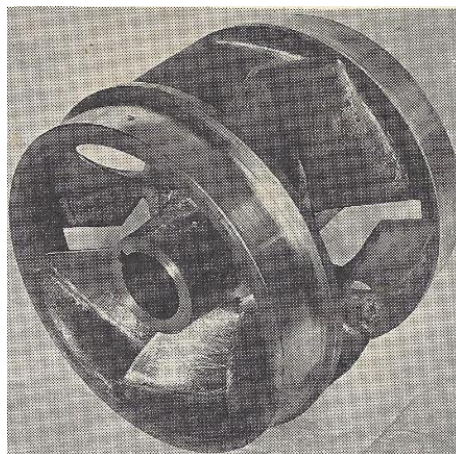
Figura 9. Impulsor cerrado de doble admisión.



Fuente: KARASSIK, Igor J.: CARTER, Roy; BERUMEN, Alberto. Bombas centrifugas; Selección, operación y mantenimiento. México: Continental, 1966, 560 p.

Según la forma y modelado de sus alabes se puede decir que se clasifican en impulsores de alabes derechos como se ilustró en la figura 8, impulsores de alabes Francis, figura 10, impulsores de flujo mixto como el mostrado en la figura 7, y propulsor o impulsor de flujo axial como el de la figura 5.

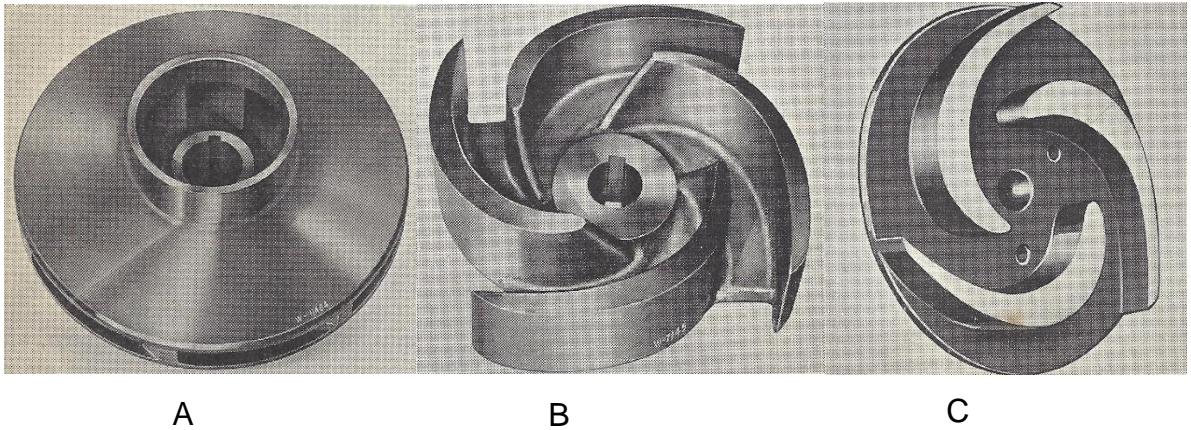
Figura 10. Impulsor de alabes Francis.



Fuente: KARASSIK, Igor J.: CARTER, Roy; BERUMEN, Alberto. Bombas centrifugas; Selección, operación y mantenimiento. México: Continental, 1966, 560 p.

Según el diseño mecánico del rotor también se pueden clasificar como cerrados (a), abiertos (b) y semi-abiertos (c) como se muestra en la figura 11.

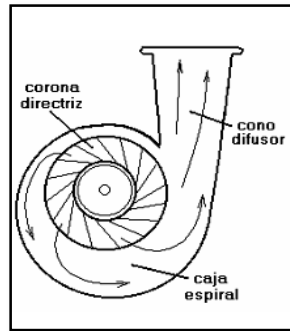
Figura 11. Impulsor cerrado (a), abierto (b) y semi-abierto (c)



Fuente: KARASSIK, Igor J.; CARTER, Roy; BERUMEN, Alberto. Bombas centrifugas; Selección, operación y mantenimiento. México: Continental, 1966, 560 p.

**4.2.3 Difusor.** Tanto el difusor como el rotor se encuentran ubicados dentro de la carcasa, su función es contribuir a la transformación de la energía cinética en energía de presión, disminuyendo la velocidad a medida del fluido que pasa entre sus alabes a través de la sección de mayor área como se muestra en la figura 12.

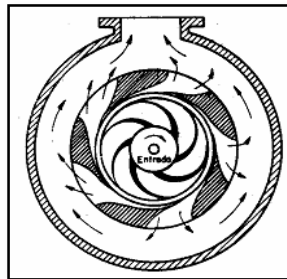
Figura 12. Recorrido del fluido en la carcasa.



Fuente: SALAS, A. F., SALAS, A. F., Urrestarazu, L. P. tutorial\_04. Retrieved España, 2016, from ocvus.

Existen dos tipos diferentes de difusores los cuales dependen de la disposición y de la forma de la bomba, uno es el difusor de voluta como el que se encuentra en la figura 12, en este difusor la carcasa en forma de caracol rodea el impulsor permitiendo que el área de flujo aumente a medida que se acerca a la tubería de descarga; el otro es un difusor de turbina como el que se dispone en la figura 13, la carcasa consta de difusores fijos que se disponen de tal forma que el área recorrida por el flujo aumente progresivamente a medida que se acerca a la descarga.

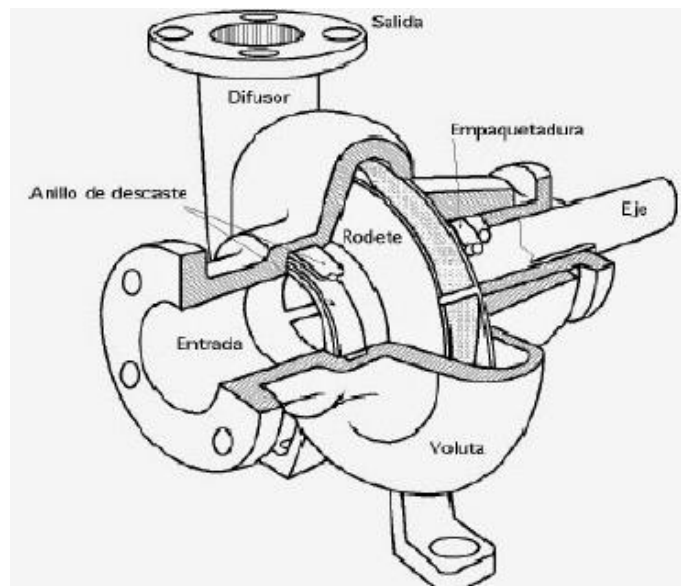
Figura 13. Carcasa con difusores tipo turbina.



Fuente: SALAS, A. F., SALAS, A. F., Urrestarazu, L. P. tutorial\_04. Retrieved España, 2016, from ocvus.

**4.2.4 Eje.** Su función es la de transmitir los torques o momentos de flexión presentes al momento de arrancar y durante la operación de la bomba, este se encuentra fijo al rodete permitiéndole recibir la fuerza transmitida por el motor como se puede apreciar en la figura 14.

Figura 14. Conexión del eje al rodete.



Fuente: SALAS, A. F., SALAS, A. F., Urrestarazu, L. P. tutorial\_04. Retrieved España, 2016, from ocvus.

Del buen diseño del eje depende el correcto funcionamiento de la bomba así como también al vida útil de la misma, debe tenerse en cuenta el peso de las partes, el torque que será aplicado, las fuerzas hidráulicas involucradas tanto axiales como radiales, las distancias existentes entre los apoyos, la máxima desviación y la velocidad crítica.

**4.2.5 Prensa estopa.** Estos conforman una parte muy importante de la bomba ya que su función principal es evitar el escurrimiento en el punto en el que el eje atraviesa el eje de la bomba, aunque dependiendo de la disposición de esta también puede evitar la entrada de aire a la misma.

**4.2.6 Cojinetes.** La función de los cojinetes es mantener el eje o el rodete correctamente alineados con las partes que no se encuentran en movimiento mientras se encuentran bajo cargas radiales o transversales, es decir, son los que mantiene el balance entre las partes de la bomba.

Dependiendo de su función hay dos tipos de cojinetes, los de empuje que son los que ubican al rotor axialmente, y los de alineación que se encargan de situar radialmente el rotor.

### **4.3 TIPOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS.**

Existen varios tipos diferentes de bombas centrífugas dependiendo del número de rodets que tenga pueden ser:

- **Simples:** Son aquellas que poseen un solo rodete.
- **Múltiples:** Con múltiples impulsores los cuales se colocan en serie.

También según la disposición de su eje de giro pueden ser bombas horizontales o verticales:

- **Horizontales:** El motor y la bomba se encuentran a la misma altura como se muestra en la figura 15, este tipo de bomba se utiliza para trabajado en seco, es decir, que no se encuentra sumergida. Deben ser cebadas antes de la puesta en marcha.

Figura 15. Bomba centrífuga horizontal.



Fuente: MALMEDI, Hidromac. Novena Edición. Barranquilla: 2014, 948 p.

- **Verticales:** Estas bombas tiene el motor casi siempre en la parte superior como se muestra en la figura 16, debido a esto es posible trabajarlas sumergidas en el líquido a bombear.

Figura 16. Bombas centrífugas verticales.



Fuente: CATÁLOGO, Pearl. Catálogo de bombas. Miami: 2013, 24 p.

#### **4.4 CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.**

Existen dos cosas muy importantes que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar una bomba centrífuga para determinada operación, la primera es la capacidad que se desea, es decir, el caudal (GPM) y la carga hidráulica a la cual será sometida dicha bomba mientras entrega el flujo deseado.

La carga hidráulica corresponderá a la altura de elevación, la cual no es más que la suma de la energía cinética y potencial del fluido con el fin de transportarlo de un lugar a otro, esta energía se produce en respuesta al trabajo necesario para transportar el líquido a través de una tubería hacia un nivel más alto.

En algunos catálogos incluidos en los anexos A y B se pueden encontrar que la carga hidráulica es expresada en unidades de distancia (m), o en unidades de presión (PSI), esto se debe a que una columna de agua 0.704 metros de altura puede producir una presión de 1 PSI en su base, así que cualquier presión calculada en PSI puede transformarse en una presión equivalente en metros de agua.

La función de una bomba centrífuga es convertir la energía mecánica producida por el rotor al girar, en energía potencial requerida para suplir determinado caudal.

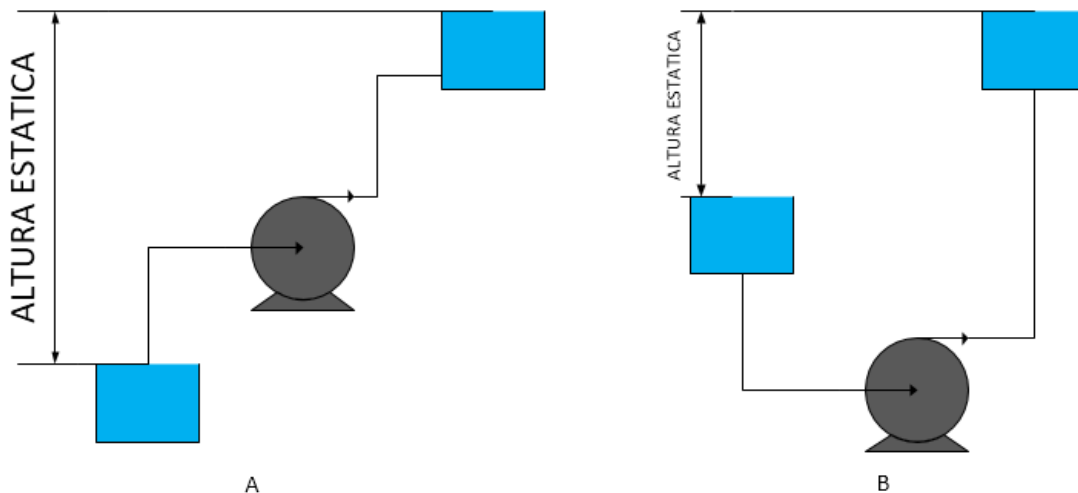
Se debe tener en cuenta que las alturas de elevación se pueden medir de distintas formas, en metros de elevación de líquido, en unidades de presión o en centímetros de mercurio, al medir en unidades de presión se debe aclarar si se está trabajando con presiones absolutas o presiones manométricas, debido a que la presión absoluta es la suma de la presión manométrica y la presión atmosférica, así que depende por consiguiente de la altitud, también se debe considerar que la presión en cualquier parte del sistema no debe superar la presión de vapor del líquido transportado, ya que podrían generarse

burbujas perjudiciales para la vida útil de la bomba.

La altura de elevación del sistema es la altura a la cual se desea llegar por medio de la bomba centrífuga. También se denomina como la carga total del sistema contra la que debe operar la bomba, esta carga está compuesta por cinco cargas distintas que serán explicadas a continuación.

**4.4.1 Carga estática de la bomba.** La carga estática de la bomba está definida entre la superficie de succión y la superficie de descarga como se muestra en la figura 17.

Figura 17. Carga estática.



Fuente: Autor.

Entonces se puede decir que la carga estática total es la diferencia de alturas entre el nivel del líquido de descarga y el nivel del líquido de succión.

Si alguno de los dos niveles, el de succión o el de descarga, se encuentra a una presión distinta a la atmosférica, ésta puede considerarse como parte de

la carga estática, así como también si la succión se encuentra por encima de la línea del centro de la bomba como se muestra en la figura 17b.

**4.4.2 Diferencia de presiones.** La diferencia de presiones existentes en el líquido también es un factor que influye en la carga total del sistema, y se relaciona a ella mediante la siguiente Ec.(1).

$$h_p = \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} \quad (1)$$

Donde  $h_p$  es la carga debido a la diferencia de presiones entre el punto 1 y el punto 2,  $P_1$  y  $P_2$  corresponden a las presiones en cada uno de los puntos y  $\gamma$  representa el peso específico del líquido transportado el cual se asume constante cuando el fluido es incompresible.

**4.4.3 Carga de fricción.** Es la carga usualmente en metros, necesaria para vencer las pérdidas de fricción causadas al momento de fluir el líquido a través de una tubería, incluyendo los accesorios, ésta depende del tipo de material de la tubería, de la cantidad de flujo que pasa a través de la misma así como también de la cantidad de accesorios utilizados, la longitud de la tubería y las características del líquido bombeado.

**4.4.4 Pérdidas a la entrada y la salida.** Estas pérdidas pueden tomarse en cuenta como pérdidas a parte de las de fricción, o pueden ser incluidas en estas, esto depende del criterio del ingeniero. La magnitud de estas pérdidas depende del diseño de la entrada y salida de la tubería, estas pérdidas pueden disminuirse asegurándose que la boca tenga una forma acampanada.

**4.4.5 Carga debido a la velocidad.** Esta carga corresponde a la energía cinética del líquido en cualquier punto de la tubería. Esta carga se puede expresar como se muestra en la Ec. (2).

$$h_v = \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

Donde  $h_v$  corresponde a la elevación o carga debido a la velocidad,  $V$  se refiere a la velocidad a la cual fluye el líquido,  $g$  corresponde a la fuerza de gravedad.

#### **4.5 CARGA TOTAL.**

La carga total de una bomba centrífuga es la energía suministrada al líquido por la bomba, es decir, la diferencia entre la carga de succión y la carga de descarga, surgiendo así la ecuación de Bernoulli, la cual se construye a partir de los parámetros mencionados anteriormente y se muestra en la Ec. (3).

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1}{2g} + z_1 - h_f + h_B = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2}{2g} + z_2 \quad (3)$$

Donde los términos con subíndice 1 corresponden a la carga de succión y los términos con subíndice 2 corresponden a la carga de descarga.

Así mismo  $h_f$  corresponde a las pérdidas por fricción de la tubería, en la cual se tendrá en cuenta las pérdidas a la entrada y a la salida, y  $h_B$  se refiere a la carga total de la bomba.

Como se documentó anteriormente las pérdidas por fricción  $h_f$  es la suma de las pérdidas causadas tanto por cada uno de los accesorios de la tubería, como por la longitud de la misma, a continuación se ilustrará la manera de calcular estas pérdidas para poder hallar la carga total.

**4.5.1 Pérdidas por longitud de la tubería.** Al seleccionar cualquier bomba centrífuga se deben tener en cuenta las pérdidas en la altura debido a la fricción ocasionada por la tubería, existen diversas maneras de calcular estas pérdidas como son las fórmulas de Williams y Hanzen, pero en este caso se explicara solo la fórmula de Darcy para el flujo de agua a través de tubería nueva de acero o hierro forjado, ésta mostrada en la Ec. (4) puede ser utilizada para materiales como latón y cobre estirado ya que su pérdida sería un poco menor.

$$h_f = f \left[ \left( \frac{L}{D_i} \right) \left( \frac{V^2}{2g} \right) \right] \quad (4)$$

Donde:

$h_f$  son las pérdidas por fricción.

$L$ = longitud de la tubería.

$D_i$ = diámetro interior de la tubería.

$V$ = velocidad.

$g$ = aceleración debido a la gravedad.

$f$ = factor de conversión dependiendo de la rugosidad relativa de la tubería, la velocidad del líquido, el tamaño de la tubería y la viscosidad del líquido.

Para el cálculo del  $f$  se debe tener en cuenta si el Reynolds ( $Re$ ) mostrado en la Ec. (5) corresponde a régimen laminar o turbulento. Para el caso del régimen laminar se debe aplicar la Ec. (6).

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (5)$$

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (6)$$

Si el régimen es turbulento se aplica la siguiente Ec. (7).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \times \text{Ln} \left( \frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \times \sqrt{f}} \right) \quad (7)$$

**4.5.2 Pérdidas por fricción en válvulas y accesorios.** Cuando el líquido fluye a través de válvulas, codos, tes, acoples entre otros accesorios existen ciertas pérdidas por fricción, estas pérdidas pueden ser calculadas según la Ec (8).

$$h_f = K \left( \frac{V^2}{2g} \right) \quad (8)$$

Donde:

$h_f$  es el valor de las pérdidas debido al accesorio.

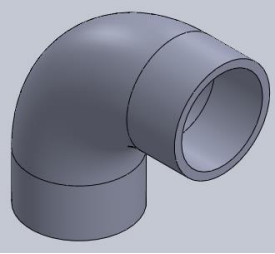
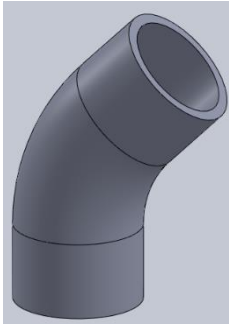
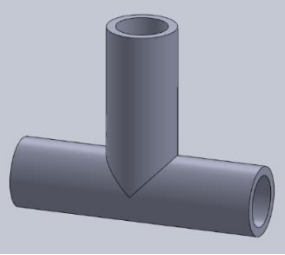
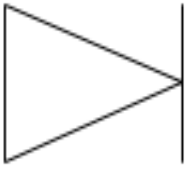
$K$ =constante dependiendo del tipo de accesorio (codo, te, acople, reducción, etc.).

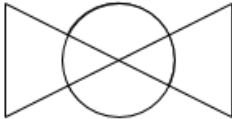
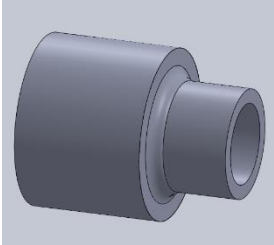
$V$ = velocidad.

$g$ = aceleración debido a la gravedad.

Los valores de  $K$  más comunes para válvulas, codos, reducciones entre otros accesorios se presentarán a continuación de la tabla 1, junto con la fuente de las fórmulas.

Tabla 1. Fórmulas de K para los accesorios.

	ACCESORIO	FORMULA	FUENTE
	Codo de 90°	$K = 30 \times f_t$	Libro de Crane
	Codo 45°	$K = 16 \times f_t$	Libro de Crane
	Te	$K = 60 \times f_t$	Libro de Crane
	Válvula de Retención	$K = 100 \times f_t$	Libro de Crane

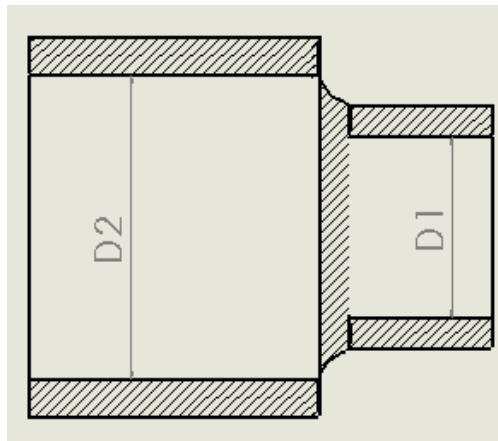
	<p>Válvula de Bola</p>	$K = 340 \times f_t$	<p>Libro de Crane</p>
	<p>Reducción</p>	$K = \frac{0.5 \times (1 - \beta^2) \times \sqrt{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}}{\beta^4}$	<p>Libro de Crane</p>

En el caso de las reducciones se deben tener en cuenta parámetros diferentes como el  $\beta$ , el cual se encuentra definido por los diámetros de la reducción en la Ec. (9).

$$\beta = \frac{d_1}{d_2} \tag{9}$$

Teniendo en cuenta que el subíndice 1 define las dimensiones para el diámetro menor, y el subíndice 2 define las dimensiones para el diámetro mayor. Para el caso de  $\theta$  se entiende que representa el ángulo formado en consecuencia al cambio de diámetro, como se muestra en la figura 18.

Figura 18. Corte Reducción.

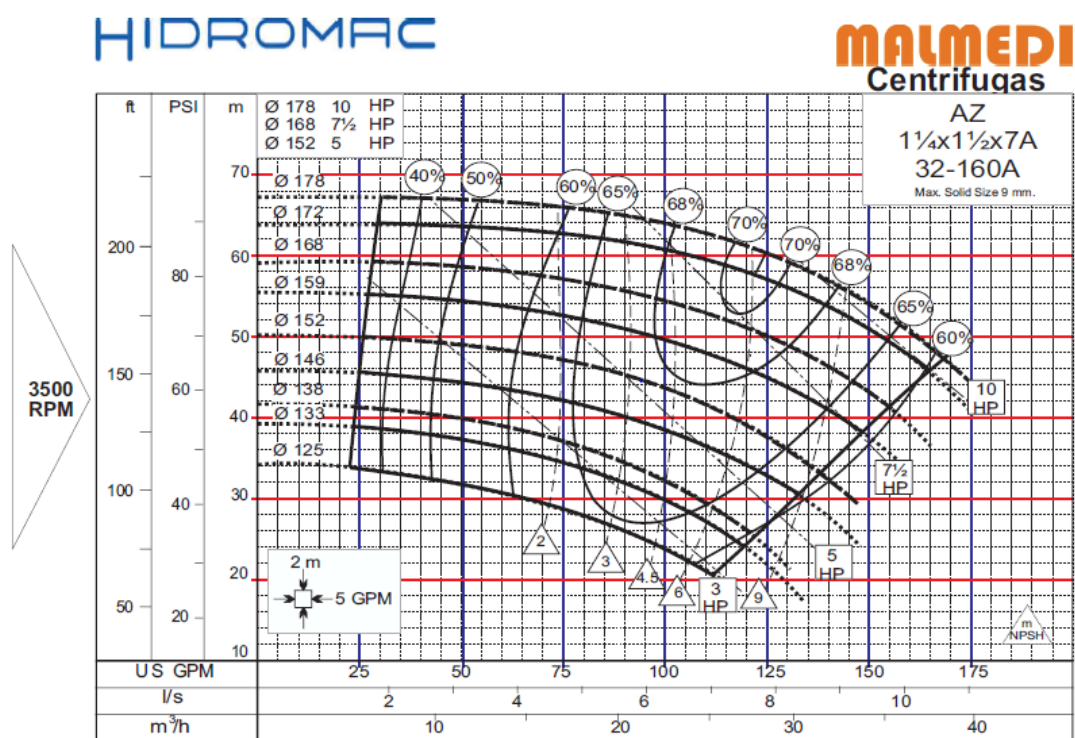


Fuente: Autor.

#### 4.6 CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BOMBA.

Debido a que las bombas centrifugas poseen características variables es importante poder graficarlas para tener una idea de la relación carga-caudal, además de la eficiencia y la potencia de cada una, por esta razón los proveedores de bombas centrifugas mediante pruebas de laboratorio elaboran curvas características de cada una de sus bombas a una velocidad de rotación determinada (N), como se muestra en la figura 19, para tener una idea de su comportamiento y así poder elegir la que más se ajuste a las necesidades del cliente.

Figura 19. Curva característica de una bomba centrífuga.



Fuente: MALMEDI, Hidromac. Novena Edición. Barranquilla: 2014, 948 p.

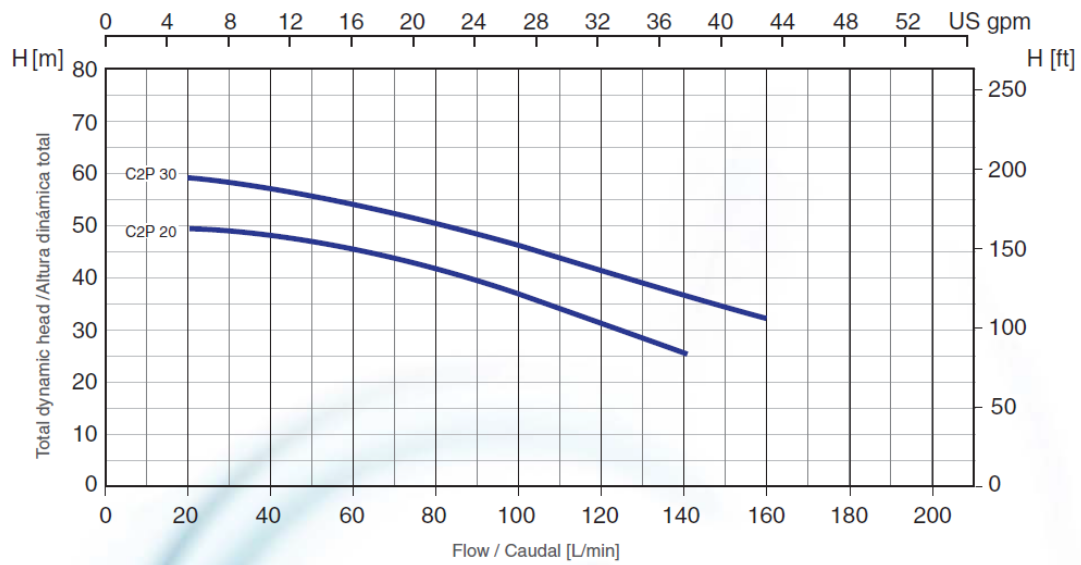
Como se puede observar en la figura 19 se modela para una sola bomba centrífuga con 9 diferentes diámetros de impulsor, el comportamiento de la altura con respecto al caudal, así como también la eficiencia, la potencia y su respectivo NPSH Disponible.

**4.6.1 Curva Altura-Caudal (H-Q).** Esta curva se obtiene experimentalmente midiendo el cambio de presión entre la succión y la descarga, a su vez con ayuda de una válvula reguladora ubicada en la tubería de impulsión se controla el caudal que se desea enviar.

El experimento comienza hallando el punto de “shut off” de la bomba, el cual es desarrollado por la bomba cuando el caudal es de “cero”. Luego por medio

de la válvula reguladora se varía el caudal y se documentan cada uno de los puntos, es decir, para cada cambio de caudal que se realiza, cual es el cambio en la presión y de esta forma se obtiene la curva que se observa en la figura 20.

Figura 20. Curva H-Q.



Fuente: CATÁLOGO, Pearl. Catálogo de bombas. Miami: 2013, 24 p.

Como se puede observar la curva que se muestra en la figura 20 es una parábola que se puede modelar mediante la Ec. (10).

$$H = AQ^2 + BQ + C \quad (10)$$

**4.6.2 Curva Potencia-Caudal (P-Q).** La potencia hidráulica, es decir, la potencia suministrada por el eje que conecta al motor con el impulsor, se puede hallar mediante la Ec. 11.

$$P_h = \gamma \times h \times Q \quad (11)$$

Donde:

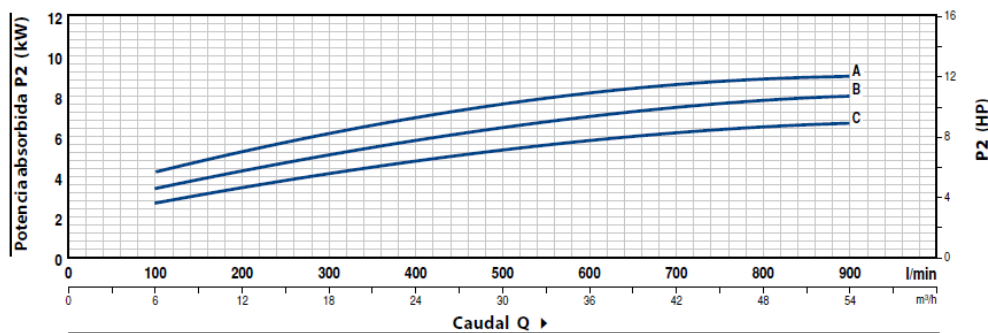
$\gamma$ = Peso específico.

$h$ = Altura manométrica total.

$Q$ = Caudal.

Esta relación da como resultado la gráfica que se muestra en la figura 21.

Figura 21. Curva (P-Q).



Fuente: CATÁLOGO, Pedrollo. Edición Actualizada. Italia: 2014, 364 p.

**4.6.3 Curva Rendimiento-Caudal ( $\eta$ -Q).** El rendimiento de la bomba se puede expresar como la relación entre la potencia hidráulica y la potencia consumida como se muestra en la Ec. (12).

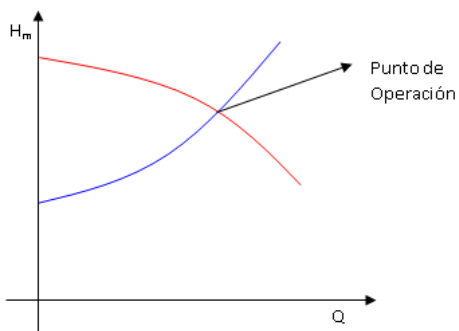
$$\eta = \frac{P_h}{P} \quad (12)$$

El rendimiento de una bomba es nulo para un caudal mínimo y un caudal máximo, sin embargo, esta alcanza su máxima eficiencia en el caudal nominal, punto para el cual la bomba fue diseñada.

#### 4.7 PUNTO DE OPERACIÓN DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.

Se define como el punto de operación la intersección entre la curva de resistencia del sistema (Azul), el cual está dado por las condiciones del sistema tales como la altura a la que se quiere llegar, las pérdidas de los accesorios, las pérdidas por la longitud de la tubería, entre otros, y la curva característica de la bomba (Roja), como se muestra en la figura 22.

Figura 22. Punto de Operación del sistema.



Fuente: Autor.

## **5. DESARROLLO DEL SOFTWARE.**

El software estará compuesto de tres módulos: el Módulo de Base de Datos, el Módulo de Selección y el Módulo Hidráulico.

El primer paso para comenzar a desarrollar el software fue seleccionar los motores y herramientas que se utilizarían para la base de datos y la interfaz del software. Con ayuda de un ingeniero de sistemas se llegó a la conclusión de que las mejores opciones serían realizar la base de datos con MySQL, utilizar el lenguaje de programación PHP y JavaScript y el Framework Bootstrap. Teniendo claro esto, se comenzó a trabajar en la base de datos, la cual almacenará toda la información que el programa requiere. Después se construyó el Módulo de Selección y, posteriormente, el Módulo Hidráulico. Para este último se realizará el cálculo completo necesario para la selección de una bomba centrífuga dirigido a uno de los proyectos antiguos de Manintegrales Ltda. con el fin de corroborar que la información proporcionada por el software es la correcta.

### **5.1 MÓDULO DE BASE DE DATOS.**

La base de datos no solo contendrá la información necesaria para trabajar el software. Esta podrá ser actualizada en cualquier momento, ya sea para modificar la base ya existente o para ampliarla de acuerdo a la demanda del mercado.

Para la construcción de esta se relacionó y organizó la información presente en los catálogos de Hidromac y Pedrollo debido a que son los más usados, teniendo en cuenta solo las curvas más utilizadas recientemente y, posteriormente, se comenzaron a modelar cada una de las gráficas mediante ecuaciones para poder almacenarlas en la base de datos.

Con ayuda de la empresa Manintegrales Ltda. se llegó a la conclusión de que las curvas que se adjuntarían a la base de datos serían la mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 2. Curvas que integrarán las base de datos.

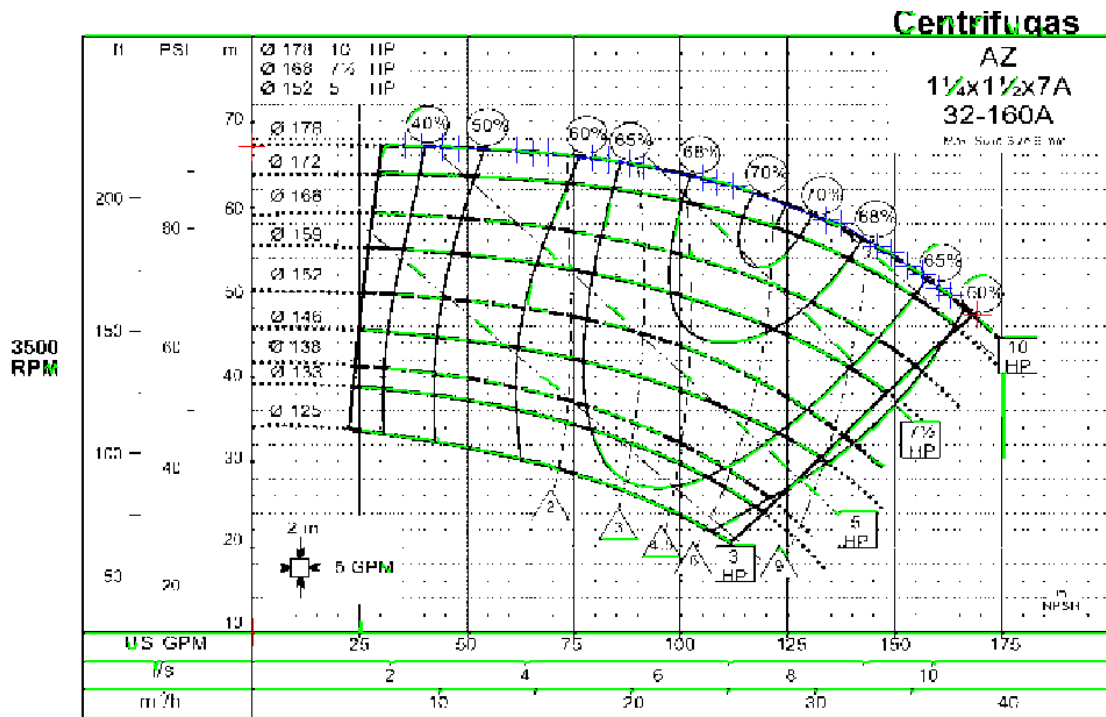
			Número de Curvas	
CATALOGO	REFERENCIA	RPM	(H-Q)	(P-Q)
Hidromac	AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	3500	9	9
Hidromac	AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	1750	5	5
Hidromac	AZ 1 1/2x2x9A 40-200A	3500	8	8
Hidromac	AZ 1 1/2x2x9A 40-200A	1750	4	4
Hidromac	AZ 1 1/2x2x9A 40-250A	3500	5	5
Hidromac	AZ 1 1/2x2x9A 40-250A	1750	5	5
Pedrollo	CP 700	3450	3	3
Pedrollo	CP 750	3450	3	3

**5.1.1 Modelamiento de las gráficas (H-Q).** Para representar las curvas de altura vs. caudal en una ecuación se siguieron los siguientes pasos:

Utilizando el programa “Enguage” se diseñó una tabla de datos correspondientes a cada curva de la siguiente forma:

Se importó la imagen del catálogo correspondiente a la gráfica que se deseaba modelar; se localizaron exactamente tres puntos —el origen, el punto de shut off y el punto de caudal máximo— de la bomba (puntos rojos en la figura 23) y se localizó el contorno del segmento a seguir mediante los puntos azules.

Figura 23. Modelamiento con Enguage.



Fuente: Autor.

Posteriormente, “Enguage” arrojó la tabla de datos correspondiente al de diámetro 178 [mm]. Una parte de esta tabla se muestra en la figura 24.

Figura 24. Sección de la tabla arrojada por Enguage.

	1	2
1	Name:	Curve1
2	Units:	Graph
3	FuncArea	821.722
4	PolyArea	66.9636
5	X	Y
6		
	15.511	13.1377
7	16.9524	13.2316
8	20.3788	13.2275
9	22.1828	13.1775
10	23.9862	13.1753

Fuente: Autor.

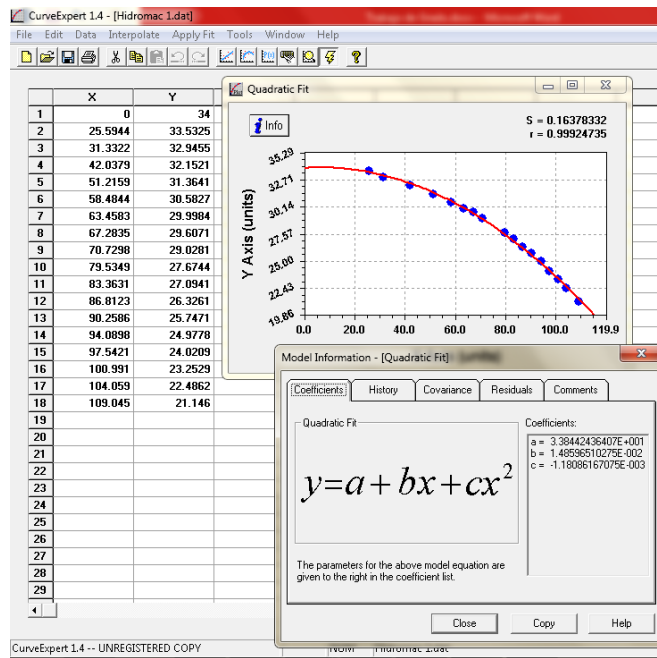
A continuación, se depuran los datos, eliminando puntos repetidos y minimizando la cantidad de datos y luego se pasa esta nueva tabla al programa “CurveExpert”, cuya función es encontrar la ecuación que se ajusta a la serie de datos dados, como se muestra en la figura 25.

CurveExpert proyecta la ecuación cuadrática que más se ajusta a la serie presentada a través de un cuadro emergente. Esta se agrega a una hoja de Excel, donde se organizará la base de datos graficando cada una de las ecuaciones para verificar que la réplica de ellas es suficientemente precisa, como se muestra en la figura 26.

Este proceso se repite con cada una de las curvas de las distintas referencias mencionadas en la tabla 2.

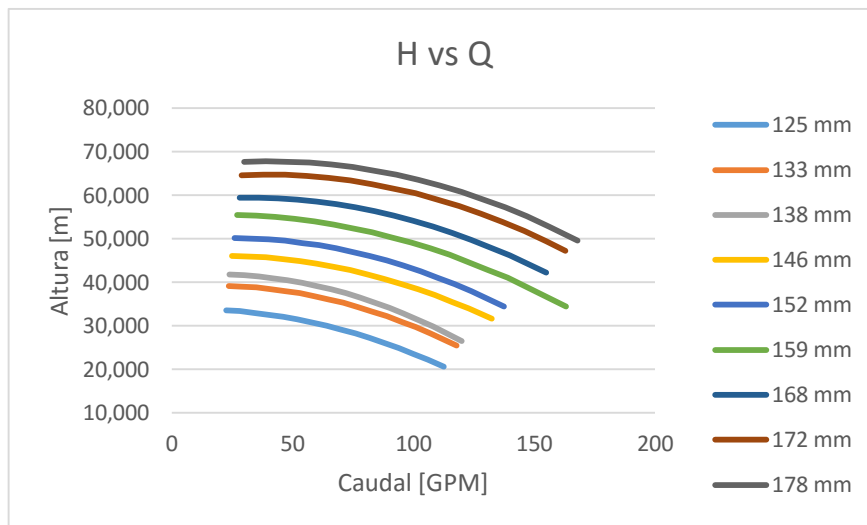
Luego se organizaron todos los datos en una tabla especificando la referencia, el catalogo, el diámetro del rotor, el caudal máximo y mínimo y la ecuación como se muestra en la tabla 3.

Figura 25. Ecuación suministrada por CurveExpert.



Fuente: Autor.

Figura 26. Grafica de la referencia AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A



Fuente: Autor.

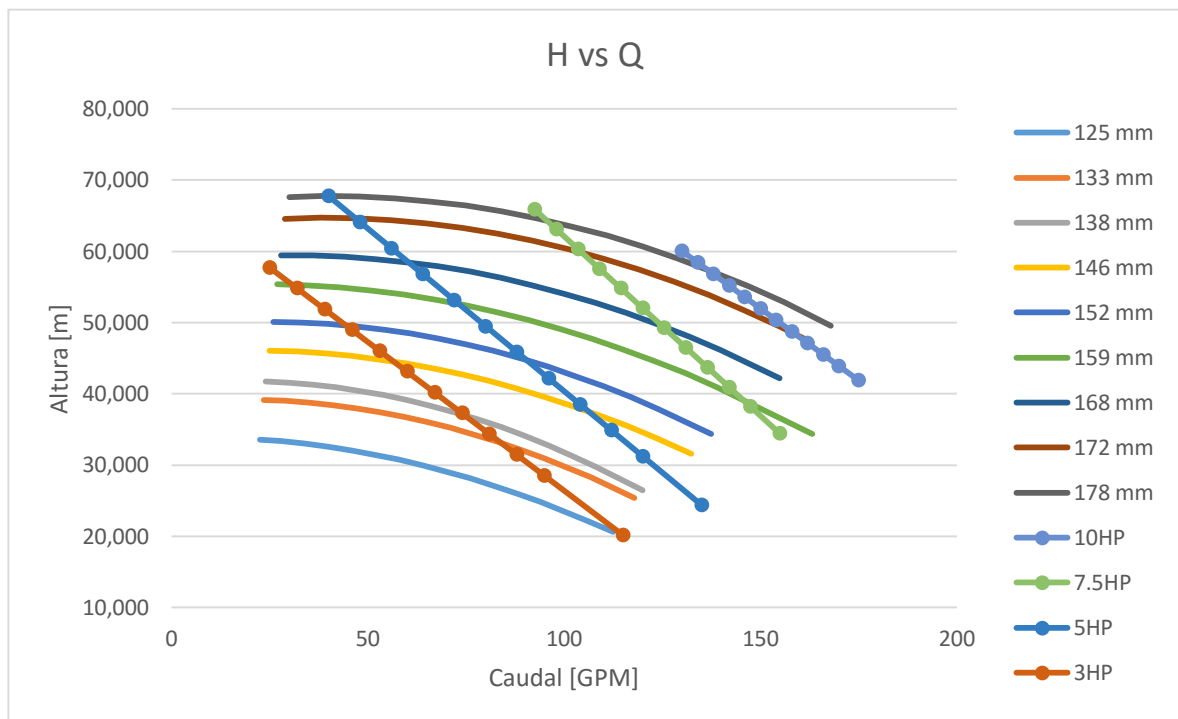
Tabla 3. Información correspondiente a cada referencia.

	Referencia	Catalogo	RPM	Diámetro (mm)	A	B	C	Qmin	Qmax
1	AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	Hidromac	3500	125	33,844	0,0149	-0,00118	22,50	112,5
2	AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	Hidromac	3500	133	38,855	0,0441	-0,00134	23,5	118
3	AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	Hidromac	3500	138	41,425	0,0481	-0,00144	24,5	120
4	AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	Hidromac	3500	146	45,645	0,0448	-0,00114	25	132,5
5	AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	Hidromac	3500	152	49,438	0,0581	-0,00122	26	137,5
6	AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	Hidromac	3500	159	54,938	0,0443	-0,00104	27	147
7	AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	Hidromac	3500	168	58,352	0,0689	-0,00112	28	155
8	AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	Hidromac	3500	172	62,913	0,0899	-0,00114	29	163
9	AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	Hidromac	3500	178	65,925	0,0900	-0,00112	30	168

**5.1.2 Modelamiento de las gráficas (P-Q).** Para la elaboración de las curvas de potencia vs. caudal se emplearon los mismos programas y el procedimiento explicado anteriormente, con algunas modificaciones presentadas a continuación.

Primero se hallaron por medio del “Engauge” y “CurveExpert” las gráficas de la potencia pero en función de la altura manométrica y del caudal como se muestra en la figura 27.

Figura 27. Curva de la bomba y de la potencia.

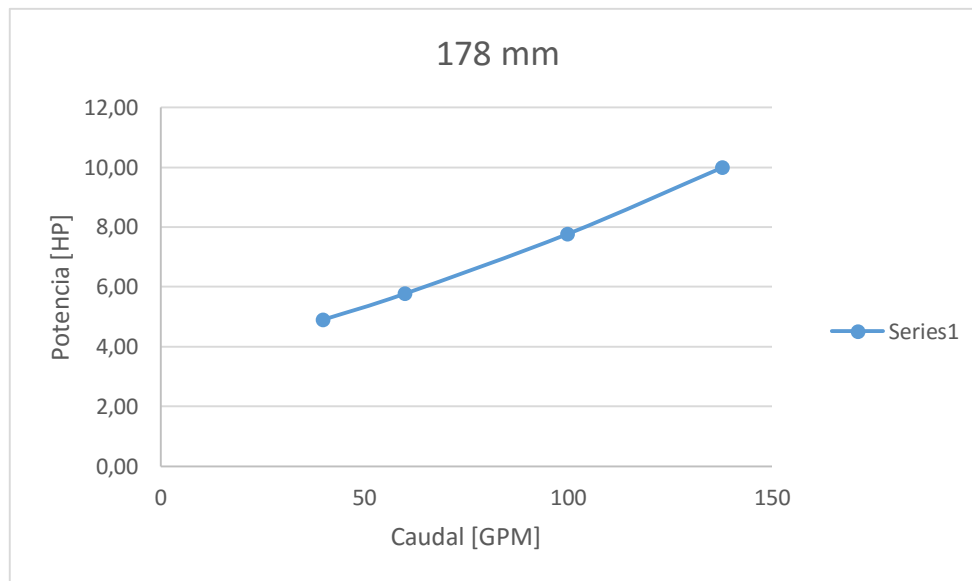


Fuente: Autor.

Posteriormente, se prosigió a hallar los puntos de intersección de cada una de las curvas de potencia con cada una de las curvas H-Q, para así encontrar la gráfica de potencia vs. caudal para cada uno de los diferentes diámetros de

impulsor, buscar mediante el “CurveExpert” su ecuación correspondiente y graficarlos como se muestra en la figura 28, la cual, al igual que la gráfica de H-Q, fue modelada mediante una ecuación cuadrática de la forma  $P=aQ^2+bQ+c$ .

Figura 28. Grafica P-Q para un impulsor de 178 mm.



Fuente: Autor.

Este proceso se realizó solo para las curvas correspondientes al catálogo de Hidromac, debido a que el catálogo de Pedrollo ya documentaba las gráficas P-Q de cada una de sus bombas. Por lo tanto, no se necesitó encontrar los puntos de intersección entre estas, sino determinar directamente la ecuación de cada una.

## 5.2 MÓDULO DE SELECCIÓN.

La función de este módulo es condensar la información que se encuentra documentada en la base de datos. Permitirá ingresar los parámetros del problema proporcionados por el cliente, es decir, altura y caudal, y buscará en el banco de datos si hay una bomba que se ajuste a las variables. Esa búsqueda se explicará a continuación con un ejemplo.

Se tienen los siguientes parámetros de caudal y altura:  $H=75\text{ m}$  y  $Q=210\text{ GPM}$ , este módulo filtrará la información usando el modelo de ecuación empleado para construir la base datos, es decir,  $H=a+bQ+cQ^2$ .

El siguiente paso será reemplazar el caudal proporcionado en la cada una de las fórmulas que se encuentran en la base de datos. Cada una de estas ecuaciones tiene un valor distinto para  $A$ ,  $B$  y  $C$ , por lo tanto se obtendrán nuevas alturas para cada una de las ecuaciones documentadas.

$$H_{Nueva} = A + 210B + 44100C$$

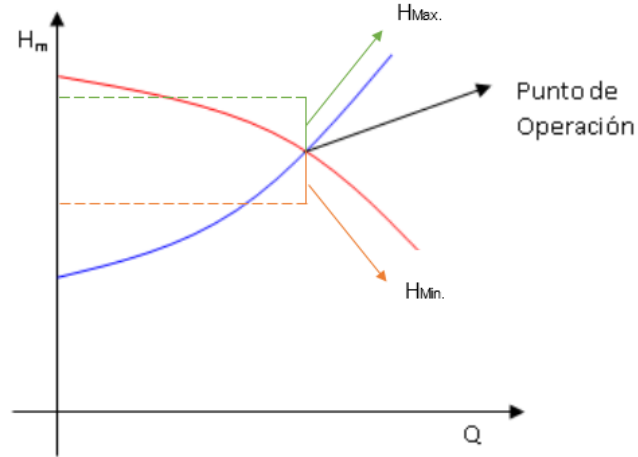
Luego se tomará la altura proporcionada por el cliente, es decir,  $H=75\text{ m}$  y se utilizará para hallar un  $H_{maximo}$  y un  $H_{Minimo}$  de la siguiente manera:

$$H_{Minimo} = H \times (1 - 10\%)$$

$$H_{Maximo} = H \times (1 + 10\%)$$

Este procedimiento se realiza debido a que, obviamente, si se trata de encontrar el valor exacto, ninguna de las ecuaciones concordaría. Este porcentaje permite buscar el  $H$  en un rango y no en un valor específico como se muestra en la figura 29.

Figura 29. Rango de alturas.



Fuente: Autor.

$$H_{Minimo} = 75 \times (1 - 10\%)$$

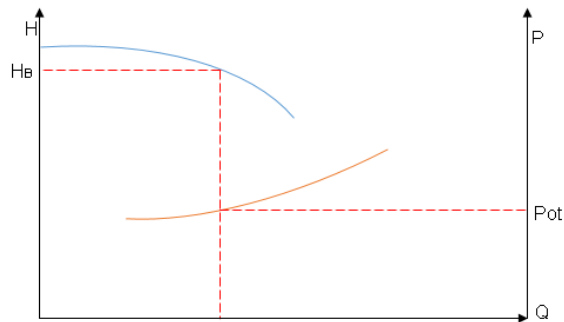
$$H_{Minimo} = 67.5 [m]$$

$$H_{Maximo} = 75 \times (1 + 10\%)$$

$$H_{Maximo} = 82.5 [m]$$

Teniendo las nuevas alturas se compararán las  $H_{Nueva}$  halladas con cada una de las ecuaciones de la base de datos, para ver cuáles de ellas coinciden con el rango de  $H_{Minimo}$  y  $H_{Maximo}$ , y, posteriormente, cuando haya encontrado las gráficas que cumplen con esta condición, trazará una línea vertical que permitirá al usuario hallar la potencia correspondiente a este punto, como se muestra en la figura 30.

Figura 30. Ejemplo grafico de la curva de potencia y caudal.



Fuente: Autor.

Como se puede apreciar en la figura 30, la línea azul corresponde a la curva de la bomba, la línea naranja corresponde a la curva de la potencia que necesita esta bomba y la línea roja vertical corresponde al caudal de 210 GPM, mostrando la altura correspondiente y la potencia que necesita para dicha altura.

### 5.3 MÓDULO HIDRÁULICO.

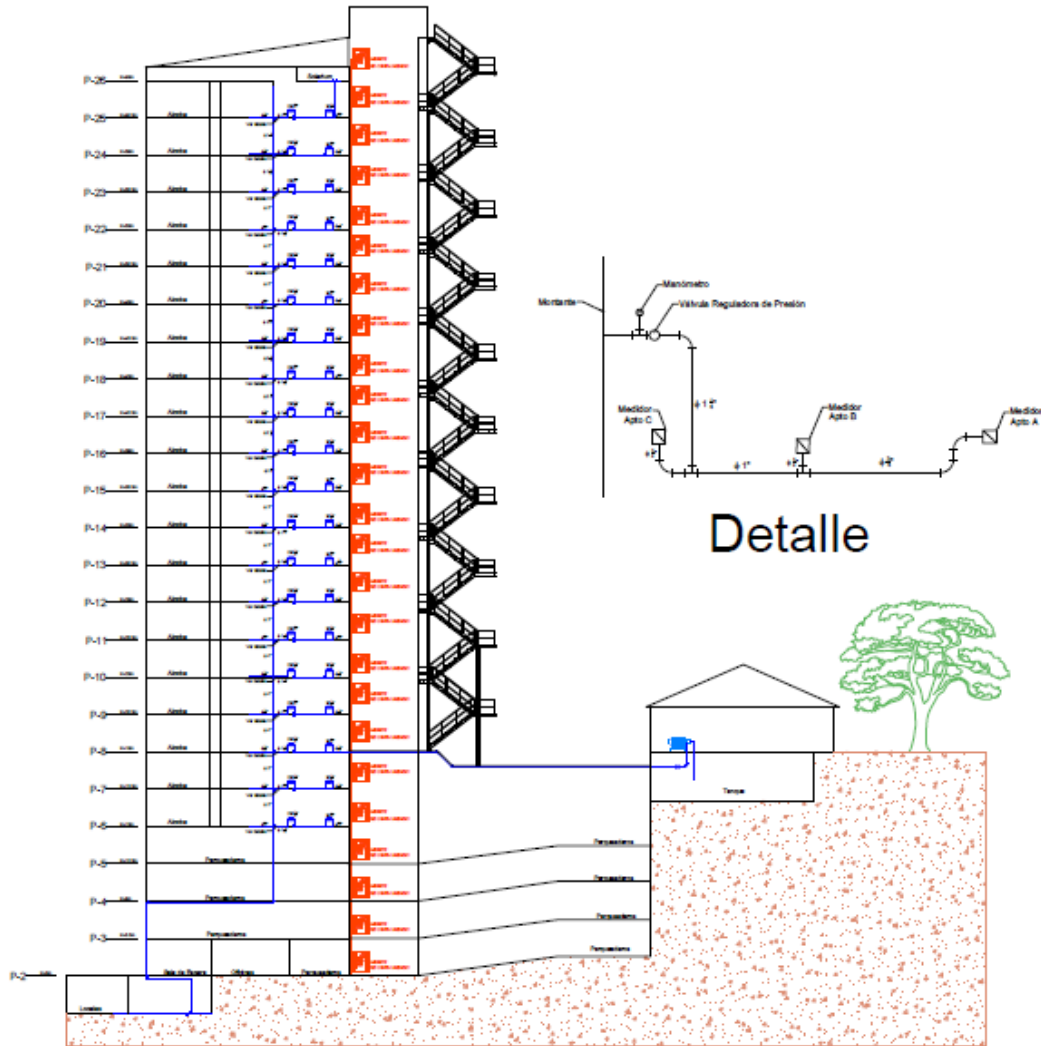
Para el desarrollo de este módulo primero se tuvo que realizar en su totalidad el ejercicio de cálculo de una bomba centrífuga para uno de los proyectos al que Manintegrales Ltda. presentó su licitación con el fin de corroborar el correcto funcionamiento en la programación del software.

**5.3.1 Cálculo de la Bomba Centrífuga.** Para estos cálculos se tuvo en cuenta toda la teoría previamente documentada y, a continuación, se explicará en detalle su desarrollo.

Lo primero que se halló —con la ayuda del plano hidráulico que se muestra en la figura 31— es el caudal necesario para suplir el complejo de apartamentos,

este está compuesto de dos torres de 60 apartamentos, cada una los cuales se distribuyen en 3 apartamentos por piso. Adicional a esto, hay 10 oficinas y 11 locales dispuestos en el complejo.

Figura 31. Plano hidráulico.



Fuente: Autor.

Para el cálculo del caudal se debe obtener el total de servicios del complejo, entendiéndose por servicio cada lavamanos, inodoro, regadera, lavaplatos,

etc. que se encuentre en el complejo, el cual se utilizará para obtener un factor documentado en la tabla 4 y se usará de la siguiente forma:

Tabla 4. Factores-Número de Servicios.

Tipo de edificio	Hasta 30	31-75	76-150	151-300	301-600	601-1000	Más de 1000
Edificios de Aptos.	0,55	0,41	0,33	0,28	0,25	0,24	0,23
Hoteles	0,80	0,60	0,48	0,42	0,36	0,35	0,34
Hospitales	0,90	0,75	0,63	0,54	0,45	0,40	0,38
Colegios	1,20	0,90	0,75	0,63	0,52	0	0

Fuente: BARNES de Colombia, Manual práctico. Bogotá D.C 46 p.

Tabla 5. Número total de apartamentos, locales y oficinas en el complejo.

SECTOR	NÚMERO
Apartamentos	120
Oficinas	10
Locales	11

En la tabla 5 se presenta el número total de apartamentos, locales y oficinas en el complejo, con esta se calcula el número total de servicios que cada uno de los anteriores tiene. Con ayuda de las tablas 4 y 5 se calculó el número de servicios totales en apartamentos del complejo de la siguiente manera:

Duchas por Apto: 2

Número de Aptos por complejo: 120

$$\text{Servicios / Complejo} = 2 \times 120 = 240$$

Se realiza este mismo procedimiento para todos los demás servicios, tanto de apartamentos como de oficinas y locales, obteniendo los resultados que se

muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Servicios totales en apartamentos.

TIPO DE ESPACIO	SERVICIOS POR ESPACIO	CANTIDAD	SERVICIOS POR COMPEJO	TOTAL SERVICIOS
<b>APARTAMENTOS</b>	Duchas por Apto:	2	Duchas por Complejo:	240
	Lavamanos por Apto:	2	Lavamanos por Complejo:	240
	Sanitarios por Apto:	2	Sanitarios por Complejo:	240
	Lavaplatos por Apto:	1	Lavaplatos por Complejo:	120
	Lavadora por Apto:	1	Lavadoras por Complejo:	120
	Lavadero por Apto:	1	Lavaderos por Complejo:	120
	<b>TOTAL DE SERVICIOS POR APARTAMENTOS EN EL COMPLEJO:</b>			
<b>OFICINAS</b>	Lavamanos por Oficina:	1	Lavamanos por Complejo:	10
	Sanitarios por Oficina:	1	Sanitarios por Complejo:	10
	<b>TOTAL DE SERVICIOS POR OFICINAS EN EL COMPLEJO:</b>			
<b>LOCALES</b>	Lavamanos por Local:	1	Lavamanos por Complejo:	11
	Sanitarios por Local:	1	Sanitarios por Complejo:	11
	<b>TOTAL DE SERVICIOS POR LOCALES EN EL COMPLEJO:</b>			

Cuando ya se tienen el número total de servicios para cada uno de los espacios se calcula el caudal de cada uno de la siguiente forma:

- Para los apartamentos:

$$Q = Factor \times \#servicios$$

$$Q = 0.23 \times 1080$$

$$Q = 248 [GPM]$$

El factor de 0.23 se obtiene de la tabla 4 cruzando el número de servicios totales hallados anteriormente con el tipo de instalación necesaria, esta se encuentra resaltada con celeste. Para las oficinas y locales presentados posteriormente se realiza la misma operación, y el factor correspondiente se encuentra resaltado en la tabla 4 con amarillo.

- Para las oficinas:

$$Q = Factor \times \#servicios \qquad Q = 0.55 \times 20 \qquad Q = 11 [GPM]$$

- Para los locales:

$$Q = Factor \times \#servicios \qquad Q = 0.55 \times 22 \qquad Q = 12 [GPM]$$

Sumando los caudales se obtiene el caudal de la bomba:

$$Q_{Bomba} = 248 + 12 + 11 \qquad Q_{Bomba} = 271 [GPM]$$

Posteriormente, se calcula el caudal necesario en cada apartamento, oficina y local de la siguiente manera:

$$Q_{Apto} = \frac{Q}{NumeroAptos} \qquad Q_{Apto} = \frac{248}{120} \times 0.00006039 \qquad Q_{Apto} = 0.00013 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

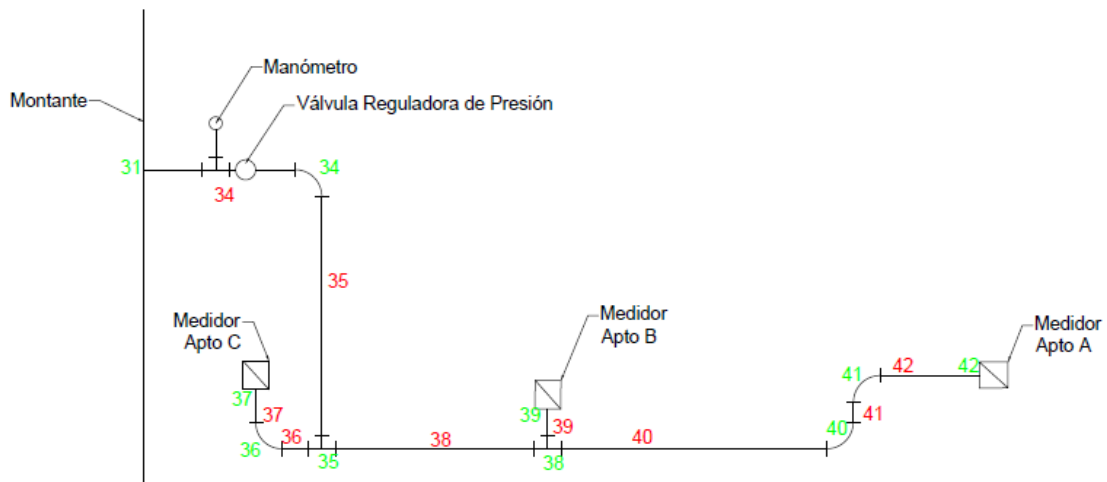
$$Q_{Ofic.} = \frac{Q}{NumeroOficinas} \qquad Q_{Ofic.} = \frac{11}{10} \times 0.00006039 \qquad Q_{Ofic.} = 0.000070 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$Q_{Local} = \frac{Q}{NumeroLocales} \qquad Q_{Local} = \frac{12}{11} \times 0.00006039 \qquad Q_{local} = 0.000070 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

Ahora se debe comenzar a desarrollar el ejercicio desde el interior, es decir, lo primero que se debe tener en cuenta es que se necesita la velocidad en cada tramo de tubería para poder hallar las pérdidas en cada uno de ellos. Como se

conoce el diámetro de la tubería en todo el sistema mediante el plano hidráulico, ahora solo se necesita saber el caudal en cada trayecto y con esto se cumplirá el primer objetivo. Con ayuda del detalle extraído del plano hidráulico se mostrará paso a paso el procedimiento seguido para computar esta primera parte. Primero se deben numerar los tramos y nodos que se tienen como se muestra en la figura 32.

Figura 32. Numeración de tramos y nodos del detalle.



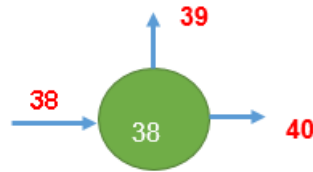
Fuente: Autor.

En la figura 32 se puede observar que los números verdes corresponden a los nodos y los rojos a los tramos. Primero, para los tramos y nodos 36, 37, 39, 40, 41 y 42 se mantiene el caudal necesario para suplir un apartamento, es decir,  $0.00013 \text{ m/s}^2$ . Para los otros se realizan las siguientes operaciones.

- Nodo 38.

El caudal para el nodo 38 corresponde al caudal que sale hacia el tramo 39 más el que sale hacia el tramo 40, como se muestra en la figura 33.

Figura 33. Nodo 38.



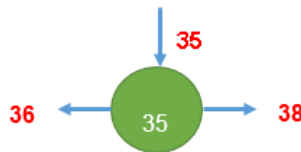
Fuente: Autor.

$$Q_{38} = Q_{39} + Q_{40} \quad Q_{38} = 0.00013 + 0.00013 \quad Q_{38} = 0.00026 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

- Nodo 35.

El caudal que debe pasar por el nodo 35 es igual a la suma de los caudales que van por el tramo 36 y 38 como se muestra en la figura 34.

Figura 34. Nodo 35.



Fuente: Autor.

$$Q_{35} = Q_{36} + Q_{38} \quad Q_{35} = 0.00013 + 0.00026 \quad Q_{35} = 0.00039 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

Las velocidades para cada tramo se hallan de la siguiente manera.

- Tramo 42.

$$Q_{42} = 0.00013 \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad D_{42} = \frac{3}{4} \quad A_{42} = \frac{\pi \times 0.0191^2}{4} \quad A_{42} = 2.87 \times 10^{-4} m^2$$

$$V_{42} = \frac{Q_{42}}{A_{42}} \quad V_{42} = \frac{0.00013}{2.87 \times 10^{-4}} \quad V_{42} = 0.45 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Las velocidades correspondientes a los demás tramos fueron hallados de la misma manera que en el caso anterior. En las tablas 7 y 8 se muestran los resultados de los caudales y las velocidades para cada uno de los tramos y nodos respectivamente. Este es el caudal que debe desviarse en cada piso. A continuación, se deben hallar los caudales y las velocidades.

Tabla 7. Resultados en los tramos.

TRAMOS	DIAMETRO [m]	ÁREA [m]	CAUDAL [m <sup>3</sup> /s]	VELOCIDAD [m/s]	DELTA Z
34	0,0318	0,000794	0,00038	0,49	0
35	0,0318	0,000794	0,00038	0,49	2,215
36	0,0191	0,000287	0,00013	0,45	0
37	0,0191	0,000287	0,00013	0,45	-0,375
38	0,0254	0,000507	0,00025	0,51	0
39	0,0191	0,000287	0,00013	0,45	-0,375
40	0,0191	0,000287	0,00013	0,45	0
41	0,0191	0,000287	0,00013	0,45	-0,375
42	0,0191	0,000287	0,00013	0,45	0

Tabla 8. Resultados de los nodos.

NODOS	DIAMETRO [m]	ÁREA [m]	CAUDAL [m <sup>3</sup> /s]	VELOCIDAD [m/s]
31	0,0318	0,000794	0,00038	0,49
34	0,0318	0,000794	0,00038	0,49
35	0,0254	0,000507	0,00038	0,77
36	0,0191	0,000287	0,00013	0,45
37	0,0191	0,000287	0,00013	0,45
38	0,0191	0,000287	0,00025	0,91
39	0,0191	0,000287	0,00013	0,45
40	0,0191	0,000287	0,00013	0,45
41	0,0191	0,000287	0,00013	0,45
42	0,0191	0,000287	0,00013	0,45

Una vez calculadas las velocidades de todos los tramos y nodos, se puede proceder a calcular las pérdidas de cada uno de ellos, ya sea por la longitud de la tubería o por los accesorios.

Las pérdidas se calcularon dividiéndolas. Unas pertenecen a los tramos y otras a los nodos. Por ejemplo, las pérdidas en los nodos son las generadas por codos, tes o medidores y las pérdidas en los tramos están generadas por la longitud, las reducciones, manómetros y válvulas.

A continuación, se mostrará el cálculo de las pérdidas en los nodos y tramos 42 y 41 ilustrados en el detalle de la figura 35. Los demás cálculos se realizarán de la misma forma.

Se comenzará desde adentro hacia afuera, es decir, desde el apartamento A y se irá avanzando hacia la montante. Como se puede observar en la figura 36 en el nodo 42 se tiene un medidor, seguidamente en el tramo 42 solo se tiene las pérdidas por longitud, en el nodo 41 se generan pérdidas por un codo de 90° y en el tramo 41 se puede observar que solo existen pérdidas debido a la longitud de la tubería. Entonces, se hallarán las pérdidas para estos accesorios a continuación.

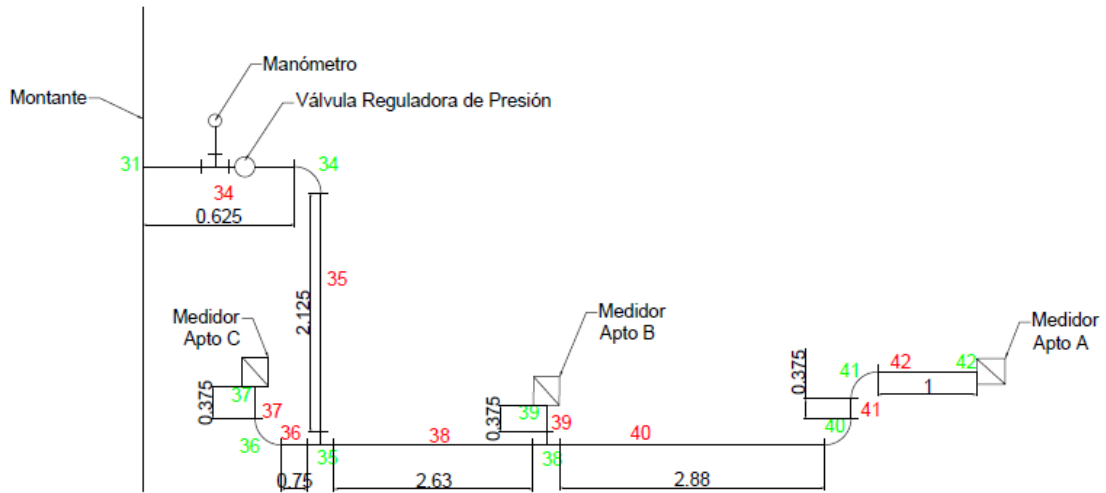
De las tablas 9 y 10 se deben tener en cuenta las velocidades de los nodos 41 y 42 y de los tramos 41 y 42, ya que se necesitarán para los cálculos. También se debe tener en cuenta la rugosidad del material, en este caso PVC, que tiene un valor de 0.0000015 m.

Para el nodo 42 se tiene:

- Medidor de ½”.

Las pérdidas de carga en el medidor se hallarán teniendo en cuenta el tamaño del mismo. Según este, se proporcionará un caudal nominal. Estos valores se encuentran en la tabla 9.

Figura 35. Detalle del piso acotado.



Fuente: Autor

Tabla 9. Caudal nominal en contadores.

Diámetro Medidor [in]	Caudal Nominal [LPS]
1/2"	0.84
3/4"	1.40
1"	1.96

$$h_f = \left[ \frac{Q_d}{Q_N} \right]^2 \times 10$$

En donde:

$Q_d$ =Caudal de diseño que circula por la tubería.

$Q_N$ =Caudal nominal según el tamaño de medidor.

$H_f$ = Pérdidas en mca.

Hay que tener en cuenta algo muy importante: el valor de las pérdidas debe ser menor de 10, si no es menor de 10 mca el medidor no cumple.

$$h_f = \left[ \frac{0.00013}{0.00080} \right]^2 \times 10 \quad h_f = 0.264 [mca]$$

Para el tramo 42 se tiene:

- Pérdidas por longitud de tubería.

Para hallar estas pérdidas lo primero que se debe hacer es comprobar que tipo de régimen es, laminar o turbulento. Para esto, se calcula el Reynolds teniendo en cuenta que la viscosidad del agua a 24[°C] y 101325[Pa] es aproximadamente 0.0008905 [kg/m\*s].

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} \quad Re = \frac{1000 \times 0.45 \times 0.0191}{0.0008905} \quad Re = 9732$$

Debido a que el Re supera los 4000 se puede asegurar que pertenece a régimen turbulento, y se usa la ecuación de Colebrook para determinar el factor de fricción adimensional de Darcy ( $f$ ), necesario para determinar las pérdidas por longitud de la tubería.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \times \ln \left[ \left( \frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.7} \right) + \left( \frac{2.51}{Re \times \sqrt{f}} \right) \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \times \ln \left[ \left( \frac{\frac{0.0000015}{0.0191}}{3.7} \right) + \left( \frac{2.51}{9732 \times \sqrt{f}} \right) \right] \quad f = 0.0320$$

Ahora, aplicando la ecuación de Darcy, se obtienen las pérdidas debido a la longitud de la tubería.

$$h_f = f \left[ \left( \frac{L}{D_i} \right) \left( \frac{V^2}{2g} \right) \right] \quad h_f = 0.0320 \left[ \left( \frac{1}{0.0191} \right) \left( \frac{0.45^2}{2 \times 9.81} \right) \right] \quad h_f = 0.0175 [m]$$

Para el nodo 41 se tiene:

- Codo de 90°.

$$K = 30 \times f_t \quad \text{Libro de Crane}$$

Ahora se calculará  $f_t$  de la siguiente manera:

$$f_t = \left[ \frac{\frac{1}{86}}{\ln \left( \frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.7} \right)} \right]^2$$

Esta fórmula cumple para cualquier tipo de accesorio.

Si se tiene para el nodo 41 un diámetro de ¾" y, además, la rugosidad de 0.0000015 metros, se obtiene el valor de K para los codos de 90°.

$$K = 30 \times \left[ \frac{\frac{1}{86}}{\ln \left( \frac{0.0000015}{\frac{0.0191}{3.7}} \right)} \right]^2 \quad K = 0.0000350$$

Ahora se halla la pérdida equivalente a este accesorio, así:

$$h_f = K \times \frac{V^2}{2g} \quad h_f = 0.0000350 \times \frac{0.45^2}{2 \times 9.81} \quad h_f = 3.68 \times 10^{-7} [m]$$

Para el tramo 41 se tiene:

En el tramo 41 solo se tiene pérdidas por longitud que se calculan de la misma manera que para el tramo 42.

$$\text{Re} = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} \quad \text{Re} = \frac{1000 \times 0.45 \times 0.0191}{0.0008905} \quad \text{Re} = 9732$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \times \ln \left[ \left( \frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.7} \right) + \left( \frac{2.51}{\text{Re} \times \sqrt{f}} \right) \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \times \ln \left[ \left( \frac{\frac{0.0000015}{0.0191}}{3.7} \right) + \left( \frac{2.51}{9732 \times \sqrt{f}} \right) \right] \quad f = 0.0320$$

$$h_f = f \left[ \left( \frac{L}{D_i} \right) \left( \frac{V^2}{2g} \right) \right] \quad h_f = 0.0320 \left[ \left( \frac{0.375}{0.0191} \right) \left( \frac{0.45^2}{2 \times 9.81} \right) \right] \quad h_f = 0.0065 [m]$$

Para el tramo 35 y el nodo 35 se tienen algunos accesorios distintos como una te en el nodo 35 y una reducción en el tramo 35. Los cálculos de las pérdidas para estos accesorios se mostrarán a continuación:

Para el nodo 35 se tiene:

- Te.

$$K = 60 \times f_t$$

Usando la Ecuación anterior para calcular  $f_t$  y el diámetro de 1" se obtiene la K.

$$K = 60 \times \left[ \frac{\frac{1}{86}}{\ln \left( \frac{0.0000015}{\frac{0.0254}{3.7}} \right)} \right]^2 \quad K = 0.000067$$

Ahora se halla la pérdida equivalente para la te de la siguiente forma:

$$h_f = K \times \frac{V^2}{2g} \quad h_f = 0.000067 \times \frac{0.77^2}{2 \times 9.81} \quad h_f = 2.01 \times 10^{-6} [m]$$

Para el tramo 35 se tiene:

- Reducción de 1" a 1 ¼".

$$K = \frac{0.5 \times (1 - \beta^2) \times \sqrt{\sin \left( \frac{\theta}{2} \right)}}{\beta^4}$$

Donde  $\theta=180^\circ$  y  $\beta$  tiene la siguiente relación.

$\beta = \frac{d_1}{d_2}$  Entendiendo que el subíndice 1 corresponde al diámetro menor, es decir, en este caso 1" y el subíndice 2 se refiere al diámetro mayor, es decir, 1 ¼". También se debe tener en cuenta que el valor de  $\theta$  debe estar en radianes.

Reemplazando estos valores en la anterior ecuación se encuentra el valor de  $K$ .

$$K = \frac{0.5 \times \left[ 1 - \left( \frac{0.0254}{0.0318} \right)^2 \right] \times \sqrt{\sin\left(\frac{\pi}{2}\right)}}{\left( \frac{0.0254}{0.0318} \right)^4} \quad K = 0.439$$

Con el valor de la constante hallado se procede a encontrar las pérdidas siguiendo el proceso explicado anteriormente para los demás accesorios.

$$h_f = 0.0054[m]$$

Para el tramo 34 mostrado en la figura 36 se tienen una válvula reguladora de presión y un manómetro. Para estos accesorios las pérdidas se hallan de la siguiente forma.

- Válvula reguladora de presión.

Para hallar la constante perteneciente a la válvula reguladora de presión se halla de la siguiente forma:

$$K = 340 \times f_t \qquad K = 340 \times \left[ \frac{\frac{1}{86}}{\ln \left( \frac{0.0000015}{\frac{0.0318}{3.7}} \right)} \right]^2 \qquad K = 0.00036$$

De la misma manera, con el valor de  $K$  se puede hallar la pérdida equivalente a este accesorio, el cual tiene un valor de:

$$h_f = 0.0000045 [m]$$

En la tabla 10 se mostrarán los resultados de las constantes calculadas correspondientes a las reducciones presentes en el piso, estas servirán para determinar las pérdidas en el mismo.

Tabla 10. Resultados de las constantes correspondientes a las reducciones de cada piso.

Reducciones	$\theta$	$\beta$	K	
1"-¾"	3,142	0,750	0,691	Aptos
1"-¾"	3,142	0,750	0,691	Aptos
1 ¼"-1"	3,142	0,800	0,439	Aptos

En las tablas 11 y 12 se consignaron los resultados de las pérdidas en los nodos y los tramos respectivamente halladas para el último piso y los datos necesarios para encontrarlos.

Tabla 11. Resultados de las pérdidas en los nodos en el último piso.

NODOS	DIAMETRO [m]	ÁREA [m]	CAUDAL [m <sup>3</sup> /s]	VELOCIDAD [m/s]
31	0,0318	0,000794	0,00039	0,49
34	0,0318	0,000794	0,00039	0,49
35	0,0254	0,000507	0,00039	0,77
36	0,0191	0,000287	0,00013	0,45
37	0,0191	0,000287	0,00013	0,45
38	0,0191	0,000287	0,00026	0,91
39	0,0191	0,000287	0,00013	0,45
40	0,0191	0,000287	0,00013	0,45
41	0,0191	0,000287	0,00013	0,45
42	0,0191	0,000287	0,00013	0,45

NODOS	CODOS DE 90		TE		MEDIDORES	TOTAL
	K	hf	K	hf	hf	
31	0	0	0	0	0	0
34	0,0000319	0,00000039	0	0	0	0,00000039
35	0,0000332	0,0000010	0,000066	0,0000020	0	0,0000030
36	0,0000350	0,00000037	0	0	0	0,00000037
37	0	0	0	0	0,264	0,264
38	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0,0000701	0,00000074	0,264	0,264
40	0,0000350	0,000000368	0	0	0	0,00000037
41	0,0000350	0,000000368	0	0	0	0,00000037
42	0	0	0	0	0,264	0,264

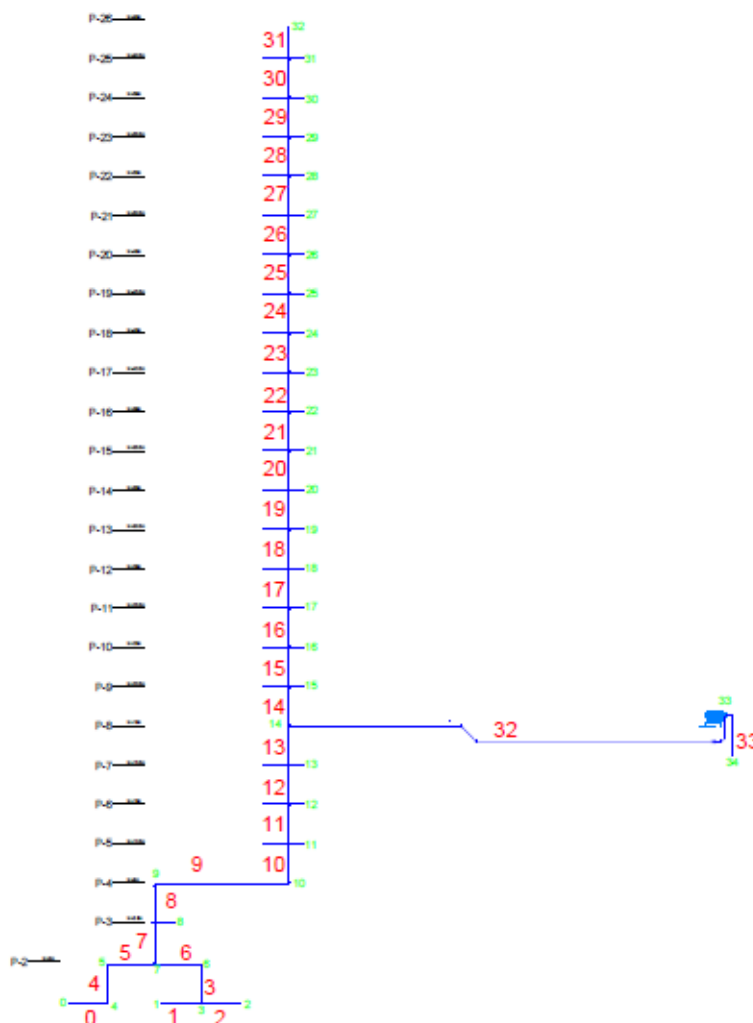
Tabla 12. Resultado de las pérdidas en los tramos en el último piso.

TRAMOS	DIAMETRO [m]	CAUDAL [m <sup>3</sup> /s]	VELOCIDAD [m/s]	LONGITUD [m]	Longitud	
					hf	REYNOLDS
34	0,0318	0,00039	0,49	0,625	0,0066	17535
35	0,0318	0,00039	0,49	2,125	0,0224	17535
36	0,0191	0,00013	0,45	0,75	0,0131	9732
37	0,0191	0,00013	0,45	0,375	0,0065	9732
38	0,0254	0,00026	0,51	2,63	0,0397	14636
39	0,0191	0,00013	0,45	0,375	0,0065	9732
40	0,0191	0,00013	0,45	2,88	0,0503	9732
41	0,0191	0,00013	0,45	0,375	0,0065	9732
42	0,0191	0,00013	0,45	1	0,0175	9732

TRAMOS	REDUCCIONES		MANOMETROS	VÁLVULAS		TOTAL
	K	hf	hf	K	hf	
34	0	0	0,0102	0,0003619	0,00000445	0,017
35	0,439	0,0054	0	0	0	0,028
36	0,691	0,0073	0	0	0	0,020
37	0	0,0000	0	0	0	0,007
38	0,691	0,0093	0	0	0	0,049
39	0	0,0000	0	0	0	0,007
40	0	0,0000	0	0	0	0,050
41	0	0,0000	0	0	0	0,007
42	0	0,0000	0	0	0	0,017

Terminadas de calcular las pérdidas del último piso, se pasa a hallar los caudales y las velocidades de la montante. En la figura 36 se puede observar la numeración de los nodos en color verde y de los tramos en color rojo de la montante.

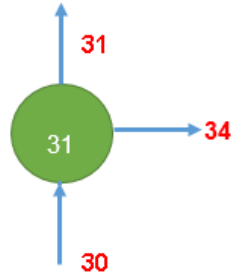
Figura 36. Distinción de tramos y nodos en la montante.



Fuente: Autor.

En la figura 37 se puede observar el flujo que pasa por el nodo 31, para poder hallar el caudal que debe seguir a través de la montante.

Figura 37. Dirección del flujo a través del nodo 31.

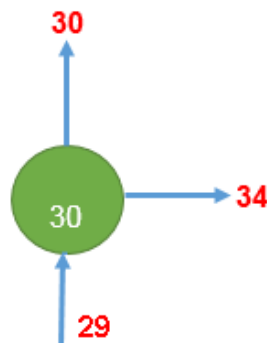


Fuente: Autor.

En la figura 37 se observa el nodo 31, según ley de la conservación de masa se por el tramo 31 se tiene un caudal de  $0.000015 [GPM]$  y por el tramo 34 se tiene un caudal de  $0.00038$  el caudal que debe pasar por el nodo 30 debe ser igual a:  $Q_{30} = 0.00038 + 0.000015$ , por lo tanto el caudal del nodo 30 es de  $Q_{30} = 0.00039 [GPM]$ .

Para el nodo 30 el caudal se halla con ayuda de la figura 38 de la siguiente manera.

Figura 38. Dirección del flujo a través del nodo 30.



Fuente: Autor.

El caudal que debe ir por el tramo 29 es la suma de los caudales que van por el tramo 30 y 34, recordando que el caudal de 34 es el que debe desviarse en cada tramo para suplir los apartamentos.

$$Q_{29} = Q_{30} + Q_{34} \quad Q_{29} = 0.00039 + 0.00038 \quad Q_{29} = 0.00078 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

Para hallar la velocidad que pasa por el tramo 29 y 30 se procede de la siguiente manera:

$$D_{29} = 0.0381[m] \quad A_{29} = \frac{\pi \times 0.0381^2}{4} \quad A_{29} = 0.00114[m^2]$$

$$v_{29} = \frac{Q_{29}}{A_{29}} \quad v_{29} = \frac{0.00078}{0.00114} \quad v_{29} = 0.68 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$D_{30} = 0.0318[m] \quad A_{30} = \frac{\pi \times 0.0318^2}{4} \quad A_{30} = 0.000794[m^2]$$

$$v_{30} = \frac{Q_{30}}{A_{30}} \quad v_{30} = \frac{0.00039}{0.000794} \quad v_{30} = 0.49 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

En las tablas 13 y 14 se mostrarán respectivamente los valores de los diámetros, áreas, caudales y velocidades correspondientes a los tramos y nodos de la montante.

Tabla 13. Resultados de la velocidad en cada tramo.

TRAMOS	DIAMETRO [m]	ÁREA [m]	CAUDAL [m <sup>3</sup> /s]	VELOCIDAD [m/s]	DELTA Z
0	0,0191	0,000287	0,00035	1,22	0
1	0,0127	0,000127	0,00014	1,11	0
2	0,0191	0,000287	0,00014	0,49	0
3	0,0191	0,000287	0,00028	0,98	-3
4	0,0191	0,000287	0,00035	1,22	-3
5	0,0318	0,000794	0,00035	0,44	0
6	0,0191	0,000287	0,00028	0,98	0
7	0,0381	0,001140	0,00063	0,55	-2,5
8	0,0381	0,001140	0,00063	0,55	-2,5
9	0,0381	0,001140	0,00063	0,55	0
10	0,0381	0,001140	0,00063	0,55	-2,5
11	0,0381	0,001140	0,00063	0,55	-2,5
12	0,0508	0,002027	0,0010	0,50	-2,5
13	0,0508	0,002027	0,0014	0,68	-2,5
14	0,102	0,008171	0,0070	0,86	2,5
15	0,102	0,008171	0,0062	0,76	2,5
16	0,102	0,008171	0,0059	0,72	2,5
17	0,0762	0,004560	0,0055	1,20	2,5
18	0,0762	0,004560	0,0051	1,11	2,5
19	0,0762	0,004560	0,0047	1,03	2,5
20	0,0762	0,004560	0,0043	0,94	2,5
21	0,0635	0,003167	0,0039	1,23	2,5
22	0,0635	0,003167	0,0035	1,11	2,5
23	0,0635	0,003167	0,0031	0,99	2,5
24	0,0635	0,003167	0,0027	0,86	2,5
25	0,0635	0,003167	0,0023	0,74	2,5
26	0,0508	0,002027	0,0020	0,96	2,5
27	0,0508	0,002027	0,0016	0,77	2,5
28	0,0508	0,002027	0,0012	0,58	2,5
29	0,0381	0,001140	0,00078	0,68	2,5
30	0,0318	0,000794	0,00039	0,49	2,5
31	0,0191	0,000287	0,000015	0,05	2,5
32	0,102	0,00817	0,017	2,08	1
33	0,152	0,0181	0,017	0,94	2,6

Tabla 14. Resultados de la velocidad en cada nodo.

NODOS	DIAMETRO [m]	ÁREA [m]	CAUDAL [m <sup>3</sup> /s]	VELOCIDAD [m/s]
0	0,0191	0,000287	0,00035	1,22
1	0,0127	0,000127	0,00014	1,11
2	0,0191	0,000287	0,00014	0,49
3	0,0191	0,000287	0,00028	0,98
4	0,0191	0,000287	0,00035	1,22
5	0,0318	0,000794	0,00035	0,44
6	0,0318	0,000794	0,00028	0,35
7	0,0191	0,00029	0,00063	2,20
8	0,0381	0,00114	0,00063	0,55
9	0,0381	0,00114	0,00063	0,55
10	0,0381	0,00114	0,00063	0,55
11	0,0381	0,00114	0,00063	0,55
12	0,0508	0,00203	0,0010	0,50
13	0,0508	0,00203	0,0014	0,68
14	0,102	0,00817	0,0070	0,86
15	0,102	0,00817	0,0066	0,81
16	0,102	0,00817	0,0062	0,76
17	0,102	0,00817	0,0059	0,72
18	0,0762	0,00456	0,0055	1,20
19	0,0762	0,00456	0,0051	1,11
20	0,0762	0,00456	0,0047	1,03
21	0,0762	0,00456	0,0043	0,94
22	0,0381	0,00114	0,0039	3,42
23	0,0381	0,00114	0,0035	3,08
24	0,0381	0,00114	0,0031	2,74
25	0,0381	0,00114	0,0027	2,39
26	0,0381	0,00114	0,0023	2,05
27	0,0508	0,00203	0,0020	0,96
28	0,0508	0,00203	0,0016	0,77
29	0,0508	0,00203	0,0012	0,58
30	0,0381	0,00114	0,00078	0,68
31	0,0318	0,000794	0,00039	0,49
32	0,0191	0,000287	0,000015	0,05
33	0,102	0,0082	0,017	2,08
34	0,152	0,0181	0,017	0,94

Después de haber hallado todas las velocidades de todos los tramos y los nodos de la montante, se procede a calcular las pérdidas de cada uno de ellos. Con ayuda de la figura 36 se identificarán nuevamente los tramos, los nodos y los accesorios que existen en cada uno de ellos. Se mostrarán los cálculos usados para hallar las pérdidas del tramo 32 ya que es ahí donde se encuentran los accesorios que aún no se han explicado. Los demás se calculan de la misma manera que se hizo para el último piso.

Para el tramo 32 se hallan las pérdidas de la siguiente manera.

- Codos de 45°.

$$K = 16 \times f_t \quad K = 2 \times 16 \times \left[ \frac{\frac{1}{86}}{\ln \left( \frac{0.0000015}{\frac{0.102}{3.7}} \right)} \right]^2 \quad K = 2.8 \times 10^{-5}$$

Se multiplica por dos, ya que se tienen dos codos de 45°. La pérdida para estos codos es de:

$$h_f = 6.17 \times 10^{-6}$$

Posteriormente, se procede a calcular la válvula de retención que se encuentra también en el tramo 32.

- Válvula de retención.

$$K = 100 \times f_t \quad K = 100 \times \left[ \frac{\frac{1}{86}}{\ln \left( \frac{0.0000015}{\frac{0.102}{3.7}} \right)} \right]^2 \quad K = 8.74 \times 10^{-5}$$

Y sus pérdidas son de:

$$h_f = 1.93 \times 10^{-5}$$

Los demás valores se tabulan con respecto a las fórmulas anteriormente presentadas y los resultados de las pérdidas en los nodos y los tramos se documentaron en las tablas 15 y 16 respectivamente.

Tabla 15. Resultados de las pérdidas en los nodos.

NODOS	CODOS DE 90		TE		MEDIDORES	TOTAL
	K	hf	K	hf	hf	
	0	0	0	0	1,91	
0	0	0	0	0	0,31	0,31
1	0	0	0,0000757	0,000004712	0	0,0000047
2	0	0	0	0	0,31	0,31
3	0,0000350	0,00000171	0	0	0	0,0000017
4	0,0000350	0,00000266	0	0	0	0,0000027
5	0	0	0,0000639	0,00000063	0	0,00000063
6	0,0000319	0,000000202	0	0	0	0,00000020
7	0	0	0	0	0	0
8	0,0000309	0,000000481	0	0	0	0,00000048
9	0,0000309	0,000000481	0	0	0	0,00000048
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,0000619	0,00000096	0	0,00000096
12	0	0	0,0000589	0,00000074	0	0,00000074
13	0	0	0,0000589	0,00000139	0	0,0000014
14	0	0	0,0000525	0,00000197	0	0,000002
15	0	0	0,0000525	0,00000176	0	0,0000018
16	0	0	0,0000525	0,00000156	0	0,0000016
17	0	0	0,0000525	0,00000137	0	0,0000014
18	0	0	0,0000550	0,00000402	0	0,0000040
19	0	0	0,0000550	0,00000347	0	0,0000035
20	0	0	0,0000550	0,00000295	0	0,0000030
21	0	0	0,0000550	0,00000248	0	0,0000025
22	0	0	0,0000619	0,00003690	0	0,000037
23	0	0	0,0000619	0,00002989	0	0,000030
24	0	0	0,0000619	0,00002362	0	0,000024

25	0	0	0,0000619	0,00001808	0	0,000018
26	0	0	0,0000619	0,00001328	0	0,000013
27	0	0	0,0000589	0,00000278	0	0,0000028
28	0	0	0,0000589	0,00000178	0	0,0000018
29	0	0	0,0000589	0,00000100	0	0,0000010
30	0	0	0,0000619	0,00000148	0	0,0000015
31	0	0	0,0000639	0,00000078	0	0,00000078
32	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0

Tabla 16. Resultados de las pérdidas en los tramos.

TRAMOS	Longitud		REDUCCIONES		CODOS DE 45		CODOS DE 90		VÁLVULAS		TOTAL
	hf	Re	K	hf	K	hf	K	hf	K	hf	
0	0,66	26201	0	0	0	0	0	0	0	0	0,66
1	0,43	15762	1,406	0,088	0	0	0	0	0	0	0,52
2	0,050	10480	0	0	0	0	0	0	0	0	0,050
3	0,20	20960	2,469	0,12	0	0	0	0	0	0	0,32
4	0,30	26201	0	0	0	0	0	0	0	0	0,30
5	0,051	15737	0	0	0	0	0	0	0	0	0,051
6	0,17	20960	2,469	0,12	0	0	0	0	0	0	0,29
7	0,026	23642	0,3168	0,0049	0	0	0	0	0	0	0,031
8	0,026	23642	0	0	0	0	0	0	0	0	0,026
9	0,096	23642	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10
10	0,026	23642	0	0	0	0	0	0	0	0	0,026
11	0,026	23642	0,691	0,011	0	0	0	0	0	0	0,037
12	0,015	28286	0	0	0	0	0	0	0	0	0,015
13	0,026	38841	6,000	0,14	0	0	0	0	0	0	0,17
14	0,017	98404	0	0	0	0	0	0	0	0	0,017
15	0,014	87470	0	0	0	0	0	0	0	0	0,014
16	0,012	82003	0	0	0	0	0	0	0	0	0,012
17	0,047	102450	0,69	0,051	0	0	0	0	0	0	0,10
18	0,037	95133	0	0	0	0	0	0	0	0	0,037
19	0,033	87815	0	0	0	0	0	0	0	0	0,033
20	0,028	80497	0	0	0	0	0	0	0	0	0,028

21	0,046	87815	0,32	0,024	0	0	0	0	0	0	0,071
22	0,046	79033	0	0	0	0	0	0	0	0	0,046
23	0,037	70252	0	0	0	0	0	0	0	0	0,037
24	0,029	61470	0	0	0	0	0	0	0	0	0,029
25	0,022	52689	0	0	0	0	0	0	0	0	0,022
26	0,046	54884	0,44	0,021	0	0	0	0	0	0	0,066
27	0,030	43907	0	0	0	0	0	0	0	0	0,030
28	0,018	32931	0	0	0	0	0	0	0	0	0,018
29	0,033	29272	0,69	0,016	0	0	0	0	0	0	0,049
30	0,021	17535	2,00	0,025	0	0	0	0	0	0	0,045
31	0,00	1123	2,47	0,00034	0	0	0	0	0,00040	0,000000055	0,00076
32	1,27	238300	0	0	0,000028	0,0000062	0,000026	0,0000058	0,000087	0,000019	1,27
33	0,012	159912	0	0	0	0	0	0	0	0	0,012

Habiendo hallado las pérdidas en cada tramo y nodo, se puede proceder a hallar la presión en cada uno de los mismos. Para esto se aplica la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 - h_f = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

La primera presión que se calculó fue la presión del tramo 31: se dejó una presión remanente de 1 [mca] en el nodo 32 y de ahí se procedió a calcular el resto de presiones.

Para el tramo 31 se tiene una presión de salida de 1 [mca], es decir, la presión correspondiente al nodo 32, y tiene una presión de entrada que corresponde a la presión del nodo 31, la cual se desea hallar. Todos los demás datos se tienen, así que se procede a hallar dicha presión.

$$H_{31} + \frac{V_{31}^2}{2g} + z_{31} - h_f = H_{32} + \frac{V_{32}^2}{2g} + z_{32} \qquad H_{31} = H_{32} + \Delta v + \Delta z + h_f$$

De la tabla 13 se obtienen las velocidades y el delta z y las pérdidas se consiguen de las tablas 15 y 16.

$$\Delta v = \frac{V_{32}^2}{2 \times g} - \frac{V_{31}^2}{2 \times g} \qquad \Delta v = \frac{0.05^2}{2 \times 9.81} - \frac{0.49^2}{2 \times 9.81} \qquad \Delta v = -0.0012 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$\Delta H = z_{32} - z_{31} \qquad \Delta H = 63 - 60.5$$

$$\Delta H = 2.5 [m]$$

$$H_{31} = 1 - 0.012 + 2.5 + 0.00076 \qquad H_{31} = 3.4 [m]$$

Esta presión de  $H_{31}$  es tanto la presión de entrada al tramo 31 como la presión de salida del tramo 30. De esta manera se halla la presión de entrada al tramo 30 y así sucesivamente con todos los tramos. Los resultados de las presiones de entrada y salida se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Resultados de las presiones en cada tramo de la montante.

TRAMOS	DELTA Z	PÉRDIDAS	DELTA V	PRESIÓN S. [mca]	PRESIÓN E. [Pa]
0	0	2,571	-0,014	70	68
1	0	0,826	-0,050	68	67
2	0	0,050	0,037	67	67
3	-3	0,627	0,027	67	63
4	-3	0,297	-0,066	63	60
5	0	0,051	-0,004	60	60
6	0	0,287	0,240	60	59
7	-2,5	0,031	-0,231	59	57
8	-2,5	0,026	0,000	57	54
9	0	0,096	0,000	54	54
10	-2,5	0,026	0,000	54	52
11	-2,5	0,037	-0,003	52	49
12	-2,5	0,015	0,011	49	47
13	-2,5	0,168	0,014	47	44
14	2,5	0,017	-0,004	44	47
15	2,5	0,014	-0,004	42	44
16	2,5	0,012	-0,004	39	42
17	2,5	0,098	0,047	36	39
18	2,5	0,037	-0,010	34	36
19	2,5	0,033	-0,009	31	34
20	2,5	0,028	-0,009	29	31
21	2,5	0,071	0,551	26	29
22	2,5	0,046	-0,113	23	26
23	2,5	0,037	-0,101	21	23
24	2,5	0,029	-0,089	18	21
25	2,5	0,022	-0,078	16	18
26	2,5	0,066	-0,168	14	16
27	2,5	0,030	-0,017	11	14

28	2,5	0,018	-0,013	9	11
29	2,5	0,049	0,007	6	9
30	2,5	0,045	-0,012	3	6
31	2,5	0,00076	-0,012	1	3
32	1	1,270	0,22	47	49
33	2,6	0,012	-0,176	49	0

De la misma manera se hallan las presiones en el último piso, teniendo en cuenta que para el tramo 34 la presión de entrada es la presión de entrada del tramo 31 o la presión de salida del tramo 30. Los resultados se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Resultados de las presiones cada tramo del último piso.

TRAMOS	DELTA H	PÉRDIDAS	DELTA V	PRESIÓN S.[mca]	PRESIÓN E.[mca]
34	0	0,017	0	4	3
35	-2,215	0,028	0	6	4
36	0	0,020	-0,002	6	6
37	0,375	0,271	0,000	6	6
38	0	0,049	0,0011	6	6
39	0,375	0,271	-0,003	6	6
40	0	0,050	-0,003	6	6
41	0,375	0,007	0	5	6
42	0	0,282	0	6	5

Habiendo calculado todas las presiones se procede a hallar la altura dinámica de la bomba por medio de la ecuación de Bernoulli de la siguiente forma.

$$\frac{P_{34}}{\gamma} + \frac{V_{34}^2}{2g} + z_{34} - h_f + h_B = \frac{P_{33}}{\gamma} + \frac{V_{33}^2}{2g} + z_{33}$$

Debido a que el sistema de referencia se toma en el nivel del tanque, se tiene que la  $P_{34}$ ,  $V_{34}$  y  $z_{34}$  son iguales a cero. Así, la fórmula queda de la siguiente

manera:

$$h_B = \frac{P_{33}}{\gamma} + \frac{V_{33}^2}{2g} + z_{33} - h_f$$

En esta ecuación se reemplazan los valores de la velocidad que se encuentran en la tabla 14. Las pérdidas se toman de las tablas 15 y 16 y la altura y la presión se encuentran en la tabla 17.

$$h_B = 49 + \frac{2.08^2}{2 \times 9.81} + 2.6 - 0.012 \qquad h_B = 52[mca]$$

La bomba para proveer al edificio debe tener las siguientes características.

$$H_D = 52[mca]$$

$$Q = 271[GPM]$$

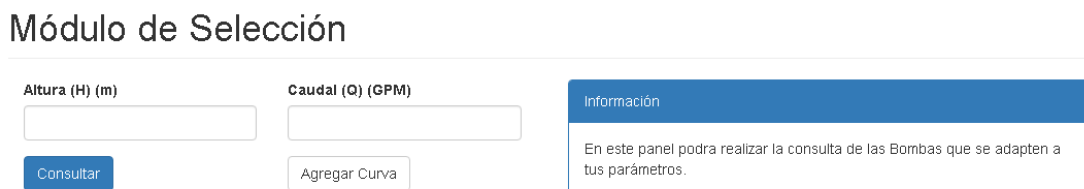
## 6. FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA

En este capítulo se explicará cómo debe operarse apropiadamente cada uno de los módulos del software para obtener los resultados esperados.

### 6.1 FUNCIONAMIENTO “MÓDULO DE SELECCIÓN”.

Para comenzar a utilizar este módulo se debe hacer clic en la pestaña “Módulo de Selección”, que se encuentra en la parte superior izquierda como se muestra en la figura 39, la cual desplegará un menú que pide dos datos: la altura en metros y el caudal en galones por minuto.

Figura 39. Módulo de Selección.



Módulo de Selección

Altura (H) (m)

Caudal (Q) (GPM)

Consultar

Agregar Curva

Información

En este panel podrá realizar la consulta de las Bombas que se adapten a tus parámetros.

Fuente: Autor.

Luego se deben proporcionar los parámetros del problema, es decir, la altura en metros y el caudal en galones por minutos como se ilustra en la figura 40 y pulsar el botón de “Consultar”. En este caso, para mostrar el funcionamiento del software, se realizará un ejercicio de prueba usando una altura de  $H=75$  [m] y un caudal de  $Q=210$  [GPM].

Figura 40. Consultar gráficas.

## Módulo de Selección

<b>Altura (H) (m)</b> <input type="text" value="75"/>	<b>Caudal (Q) (GPM)</b> <input type="text" value="210"/>	<b>Información</b> En este panel podrá realizar la consulta de las Bombas que se adapten a tus parámetros.
<input type="button" value="Consultar"/>	<input type="button" value="Agregar Curva"/>	

Fuente: Autor.

Luego de presionar el botón “Consultar” el programa desplegará un menú de resultados, perteneciente a las gráficas que cumplen con el rango de alturas suministrado por el usuario como se muestra en la figura 41.

Figura 41. Resultados de la consulta.

## Módulo de Selección

<b>Altura (H) (m)</b> <input type="text" value="75"/>	<b>Caudal (Q) (GPM)</b> <input type="text" value="210"/>	<b>Información</b> En este panel podrá realizar la consulta de las Bombas que se adapten a tus parámetros.
<input type="button" value="Consultar"/>	<input type="button" value="Agregar Curva"/>	

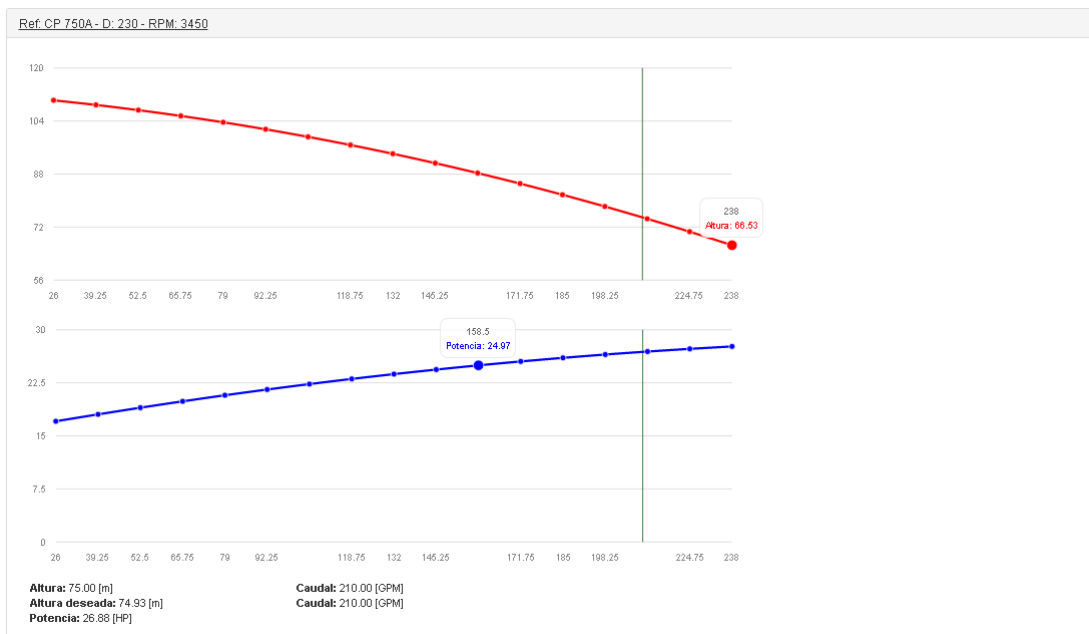
<b>Resultados: 4</b>
Ref: CP 750A - D: 230 - RPM: 3450
Ref: AZ 1 1/2x2x9A 40-200A - D: 208 - RPM: 3500
Ref: AZ 1 1/2x2x9A 40-200A - D: 215 - RPM: 3500
Ref: AZ 1 1/2x2x9A 40-250A - D: 220 - RPM: 3500

Fuente: Autor.

Como se puede observar, para este ejemplo existen cuatro curvas que podrían cumplir los parámetros ingresados de altura y caudal. Para poder ver el detalle

de cada uno de estos, se debe pulsar la referencia que se desea estudiar. Al hacerlo, se desplegará la gráfica mostrada en la figura 42, la cual le revelará al usuario la curva de la bomba, que aparece de color rojo, y seguido se encontrará la curva de la potencia perteneciente a esta bomba en color azul. Adicional a esto se verá una línea verde vertical, la cual corta, primero, el caudal suministrado por el usuario. En este caso de  $210 [GPM]$  y después cortará la altura que proporciona la bomba para este caudal, la cual es de  $H=74.93 [m]$  y, por defecto, cortará también la curva azul, otorgando así la potencia necesaria en el motor, que para este ejemplo viene siendo de  $P=26.88 [HP]$ .

Figura 42. Resultado en detalle.



Fuente: Autor.

Como se puede ver en la figura 42, en el título se puede apreciar no solo la referencia de la bomba, sino también el diámetro del rotor en milímetros y las RPM que para este ejemplo son  $\phi=230 [mm]$  y  $n=3450 [RPM]$ . De la misma

manera, se puede observar que imprime tanto los resultados ingresados como los datos que proporciona la gráfica.

## 6.2 FUNCIONAMIENTO “MÓDULO HIDRÁULICO”.

Este módulo, como se explicó anteriormente, permitirá calcular la bomba que se necesita para suplir los parámetros de cualquier edificio. El funcionamiento de este módulo se explicará con el ejercicio que se realizó en capítulo 6.3.

Lo primero que se debe hacer es escoger el “Módulo Hidráulico” que se encuentra en la segunda línea en la parte superior izquierda de la pantalla justo debajo del “Módulo de Selección”, como se ilustra en la figura 43. Al hacer clic en esta pestaña se mostrará una pantalla que permitirá escoger las preferencias que se necesitan para desarrollar el cálculo.

Figura 43. Módulo Hidráulico.

Sistema

- Módulo de Selección
- Módulo Hidráulico**
- Administración

### Módulo Hidráulico

Proyectos:  Cargar Nuevo Proyecto

(Guardar / Eliminar) Proyecto

Torres  Agregar Torre

Consultar

Fuente: Autor.

Para crear un nuevo proyecto se debe dar clic en el botón “Nuevo proyecto” que se muestra en la figura 43. Para guardar el proyecto en curso se da clic en el botón “Guardar/Eliminar Proyecto”, este permitirá no solo grabar

proyectos sino también borrar proyectos ya existentes.

Lo primero que se debe pensar es si las torres tienen o no la misma distribución. Si la tienen, es decir, si son simétricas, como en este caso, se analiza solo una de las torres. Si no lo son, se deben analizar cada una de las torres por aparte. Para este caso se calculará solo una debido a que son simétricas. Habiendo definido este punto se pulsará el botón “Agregar Torre” que se puede apreciar en la figura 43, el cual desplegará un menú que se puede observar en la figura 44 donde se comenzará a documentar toda la información correspondiente a esta.

El primer dato requerido por el programa es el nombre de la entrada, seguido por los pisos totales en la torre y el tipo de edificio. Esto se utiliza para calcular el caudal, luego se pide el tipo de fluido que se va a transportar, —en este caso agua— esta opción contiene todas las propiedades del agua que se necesitarán. Si se desea agregar un fluido diferente, se debe dar clic en el “+” ubicado a la izquierda de la casilla, este desplegará el menú mostrado en la figura 45 que permitirá al usuario agregar la viscosidad y densidad de un nuevo fluido.

Luego se observa la siguiente casilla con un membrete de “Material”. Este se refiere al material de la tubería, en este caso PVC. Si se desea agregar un material con rugosidad distinta se debe hacer clic en el botón “+” que se encuentra al lado izquierdo de la casilla, el cual desplegará el menú que se ilustra en la figura 46.

Después de esto se puede observar una casilla con el nombre de “Presión [mca]”, esta se refiere a la presión remanente del nodo 32 mencionada en el capítulo anterior. Posteriormente, se encuentran tres botones de check donde se da clic si el complejo tiene apartamentos, oficinas y/o edificios, se documenta el total de cada uno de ellos y los servicios totales que genera cada uno. Esta información se utiliza para calcular el caudal de la bomba. Finalmente, se pulsa el botón “Crear”.

Figura 44. Crear una nueva torre.

## Nueva Torre

---

<b>Nombre</b>	<b>Pisos Totales</b>	<b>Tipo de Edificio</b>
<input type="text" value="Torre"/>	<input type="text" value="26"/>	<input type="text" value="Edificio de Apartam"/>
<b>Líquido</b>	<b>Material</b>	
<input type="text" value="Agua"/>	<input type="text" value="pvc"/>	
<b>Presión (MCA)</b>		
<input type="text" value="1"/>		
<input checked="" type="checkbox"/> Apartamentos		
<b>Cantidad de Apartamentos</b>	<b>Servicios Totales</b>	
<input type="text" value="120"/>	<input type="text" value="1080"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Oficinas		
<b>Cantidad de Oficinas</b>	<b>Servicios Totales</b>	
<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="20"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Locales		
<b>Cantidad de Locales</b>	<b>Servicios Totales</b>	
<input type="text" value="11"/>	<input type="text" value="22"/>	

---

Fuente: Autor.

Figura 45. Agregar un nuevo líquido.

### Nuevo Líquido

---

<b>Nombre</b>	<b>Viscosidad (Kg/m*s)</b>	<b>Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

---

Fuente: Autor.

Figura 46. Agregar un nuevo material de la tubería.

### Nuevo Material

---

<b>Nombre</b>	<b>Rugosidad (m)</b>
<input type="text"/>	<input type="text"/>

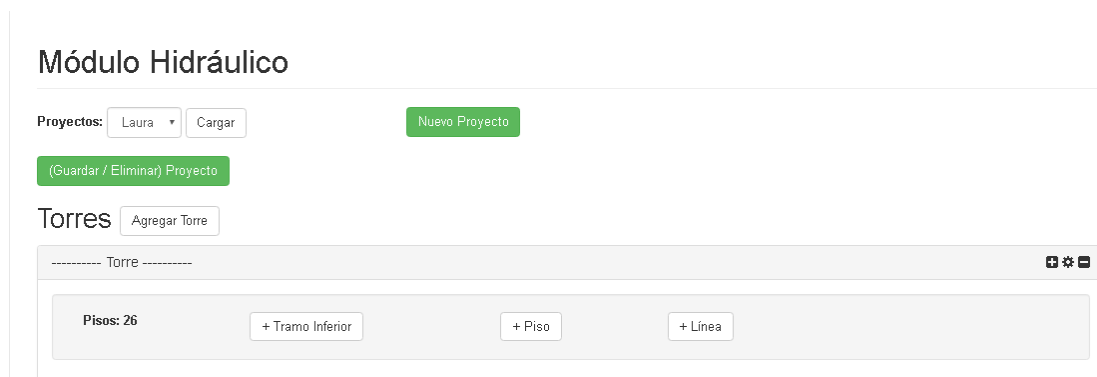
---

Fuente: Autor.

Después de haber creado la torre se debe tener claro lo que se va a calcular. Como se explicó en el capítulo 6 con el ejemplo resuelto, solo se usarán para

el cálculo de las pérdidas el último piso y la montante hasta llegar a la bomba. Definido esto se prosigue a crear el piso que se va a calcular, es decir, el último. Esto se hace dando clic en el botón “+ Piso” como se muestra en la figura 47.

Figura 47. Agregar un piso



Fuente: Autor.

Como también se puede apreciar en la figura 47 en la parte superior derecha de la imagen se observan tres botones “+”, “-” y “⚙️”. Estos permitirán al usuario duplicar una torre ya creada, eliminarla o realizar modificaciones a la torre previamente establecida respectivamente.

Al pulsar el botón “+ Piso” se desplegará el menú observado en la figura 48, donde se documentará qué tipo de recintos existen en el piso —en este caso apartamentos— y cuántos de estos se pueden encontrar en este piso.

Figura 48. Crear un nuevo piso.

### Nuevo Piso

---

**Nombre del Piso**

Apartamentos       Oficinas       Locales

**Tramos**

#	Diametro (m)	Longitud (m)	DeltaH (m)	Accesorios	
---	--------------	--------------	------------	------------	--

**Agregar Accesorios**

Agregar accesorio  Tramo  Cantidad

---

Fuente: Autor.

Para comenzar a calcular las pérdidas correspondientes a la distribución del piso —como se explicó en el capítulo 6—, estas se deben dividir en tramos como se mostró en la figura 32. Luego de identificar el número de tramos que se usarán, se agregan pulsando el botón “Agregar Tramo”, que desplegará un menú como el que se muestra en la figura 49.

Figura 49. Agregar un tramo.

Nuevo Piso

---

Nombre del Piso

Apartamentos
  Oficinas
  Locales

Cantidad de Apartamentos

**Tramos**

#	Diametro (m)	Longitud (m)	DeltaH (m)	Accesorios	Apartamentos	
1	<input type="text" value="0.0191"/>	<input type="text" value="4.25"/>	<input type="text" value="0.0375"/>	2 * Codo de 90° 1 * Medidor ½"	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="✖"/>
2	<input type="text" value="0.0191"/>	<input type="text" value="0.375"/>	<input type="text" value="0.0375"/>	1 * Medidor ½"	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="✖"/>
3	<input type="text" value="0.0254"/>	<input type="text" value="2.63"/>	<input type="text" value="0"/>	1 * Tees	<input type="text" value="2"/>	<input type="button" value="✖"/>
4	<input type="text" value="0.0191"/>	<input type="text" value="1.125"/>	<input type="text" value="0.0375"/>	1 * Medidor ½" 1 * Codo de 90°	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="✖"/>
5	<input type="text" value="0.0318"/>	<input type="text" value="2.75"/>	<input type="text" value="-2.125"/>	1 * Codo de 90° 1 * Manómetros 1 * Válvula de Bola 1 * Tees 1 * Tees	<input type="text" value="3"/>	<input type="button" value="✖"/>

**Agregar Accesorios**

Agregar accesorio  Tramo  Cantidad

Fuente: Autor.

Se ingresarán paso a paso los datos pedidos por el programa en las unidades indicadas, además de agregar los accesorios que se encuentran en cada tramo y el número de apartamentos que se pueden encontrar en la trayectoria

recorrida hasta ese tramo. Se debe tener especial cuidado en ingresar los tramos desde adentro hacia afuera, es decir, desde el primer apartamento y luego ir moviéndose hacia la montante, así el programa reconocerá correctamente en cuáles de los tramos hay reducciones.

Después de haber ingresado el último piso se procede a documentar los datos de la montante pulsando el botón “+ Línea”, que se puede apreciar en la figura 47. Este botón desplegará el menú ilustrado en la figura 50 que permitirá al usuario ingresar la montante por tramos.

Figura 50. Agregar un tramo de la montante.

## Nuevo Piso

<b>Nombre del Piso</b>	<b>Línea Principal</b>	<b>Calculo de Bomba</b>	<b>Succión</b>
<input type="text" value="Tramo 31"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>DeltaH (m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Diametro (m)</b>	
<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text" value="0.0191"/>	
	<small>Altura Útil.</small>		

## Accesorios

<input type="text"/>	<input type="button" value="Agregar Accesorio"/>					
<table border="1"><thead><tr><th>Accesorio</th><th>Cantidad</th><th></th></tr></thead><tbody><tr><td>Tees</td><td><input type="text" value="1"/></td><td><input type="button" value="✖"/></td></tr></tbody></table>	Accesorio	Cantidad		Tees	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="✖"/>
Accesorio	Cantidad					
Tees	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="✖"/>				

Crear

Cancelar

Fuente: Autor.

Como se observa en la figura 50, lo primero que pide el programa es el nombre del piso a ingresar. En este caso se le colocó el número del tramo que se estaba ingresando, también pregunta si este tramo pertenece a la línea principal, es decir, si pertenece a la línea de la descarga, para este ejemplo el tramo 32. Como se está ingresando el tramo 33 no se escoge esta opción, luego pregunta si este tramo entrará en el cálculo de la bomba, así que se da clic debido a que los tramos que se están ingresando primero son los del cálculo de la bomba. Como este tramo tampoco pertenece a la succión, tampoco se escoge esta opción. Luego se ingresan los datos de altura, longitud y diámetro, además de los accesorios que tiene este tramo, para esto se hace clic en la en la flecha ubicada debajo del membrete "Accesorios", este desplegará un menú que permitirá al usuario escoger el tipo de accesorio que tiene el tramo. Luego se debe pulsar "Agregar Accesorio", el nuevo accesorio aparecerá en la parte inferior y el programa preguntará al usuario la cantidad de estos que hay en el tramo. Finalizado esto se hará clic en el botón "Crear". De la misma manera se ingresarán todos los tramos teniendo cuidado de ingresarlos en orden descendente, de esta manera el software reconocerá en cuáles tramos se encuentra ubicada una reducción y la calculará.

Al terminar con los pisos se agregarán la descarga y la succión sucesivamente, teniendo cuidado de hacer clic en la parte superior del menú, indicando que pertenecen a la línea principal del edificio, en este caso al tramo 32 y 33. Adicionalmente, al agregar la succión se hará clic en la opción que se encuentra en la parte superior del menú con el título de "Succión", como se muestra en la figura 50. Esto le indicará al programa que este tramo es el último y aplicará las condiciones de referencia para el último nodo.

Figura 51. Agregar la succión.

### Nuevo Piso

Nombre del Piso	Linea Principal	Calculo de Bomba	Succión
<input type="text" value="Tramo 33 (Suc)"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>DeltaH (m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Diametro (m)</b>	
<input type="text" value="2.6"/>	<input type="text" value="2.6"/> <small>Altura Útil.</small>	<input type="text" value="0.152"/>	

### Accesorios

Accesorio	Cantidad	
-----------	----------	--

Fuente: Autor.

Adicionalmente, el software puede calcular las presiones de los pisos que no entran en el cálculo, pero para los cuales es importante saber la presión para poder controlarla. Estos tramos se ingresarán dando clic en el botón “+ Tramo Inferior” que se muestra en la figura 47. Este desplegará un menú como el mostrado en la figura 52.

Figura 52. Agregar los pisos inferiores.

Nuevo Tramo sin Cálculo

---

**Nombre**

Apartamentos       Oficinas       Locales

**Tramos**

#	Diametro (m)	Longitud (m)	DeltaH (m)	Accesorios	
---	--------------	--------------	------------	------------	--

**Agregar Accesorios**

Agregar accesorio  Tramo  Cantidad

---

Fuente: Autor.

Al igual que en los menús anteriores, el programa pedirá el nombre de la nueva entrada, igualmente preguntará si hay apartamentos, oficinas y/o locales en estos pisos. Al dar clic en cada uno de ellos pedirá la cantidad de cada uno de ellos.

Documentado esto se procederá a agregar los pisos, se da clic en el botón "Agregar Tramo" el cual desplegará un menú que le preguntará al usuario los datos de cada piso como se muestra en la figura 53.

Figura 53. Documentación de los pisos inferiores.

Nuevo Tramo sin Cálculo

**Nombre**

Apartamentos       Oficinas       Locales

**Cantidad de Apartamentos**      **Cantidad de Oficinas**      **Cantidad de Locales**

**Tramos**

#	Diametro (m)	Longitud (m)	DeltaH (m)	Accesorios	Apartamentos	Oficinas	Locales	
1	<input type="text" value="0.0508"/>	<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text" value="-2.5"/>		<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="button" value="⊞"/>
2	<input type="text" value="0.0508"/>	<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text" value="-2.5"/>	<input type="text" value="1 * Tees"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="button" value="⊞"/>
3	<input type="text" value="0.0381"/>	<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text" value="-2.5"/>	<input type="text" value="1 * Tees"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="button" value="⊞"/>
4	<input type="text" value="0.0381"/>	<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text" value="-2.5"/>		<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="button" value="⊞"/>
5	<input type="text" value="0.0318"/>	<input type="text" value="9.25"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1 * Codo de 90°"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="button" value="⊞"/>
6	<input type="text" value="0.0381"/>	<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text" value="-2.5"/>	<input type="text" value="1 * Codo de 90°"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="button" value="⊞"/>

Fuente: Autor.

Como se puede muestra parcialmente en la figura 53, se ingresan el diámetro, la altura, la longitud, los accesorios y el número de apartamentos oficinas y locales que se encuentran en cada piso. Por ejemplo, el tramo número 1 corresponde al piso 7, hasta este piso se pueden encontrar 6 apartamentos, 3 en este piso y tres en el piso inferior, 5 oficinas y 4 locales en los pisos inferiores. Luego sigue el tramo 2, el cual corresponde al piso 6, en este piso se encuentran hacia abajo 3 apartamentos correspondientes a ese piso y 5 locales y 4 oficinas en los pisos inferiores. Ingresarlos de esta manera le permite al software contabilizar el caudal que hay en cada tramo. De esta misma forma se ingresan el resto de los pisos. Se debe tener cuidado de

ingresar los pisos de la misma manera que se ha hecho, es decir, de arriba hacia abajo, así el programa logrará distinguir las reducciones en cada uno de los tramos para poder calcularlas.

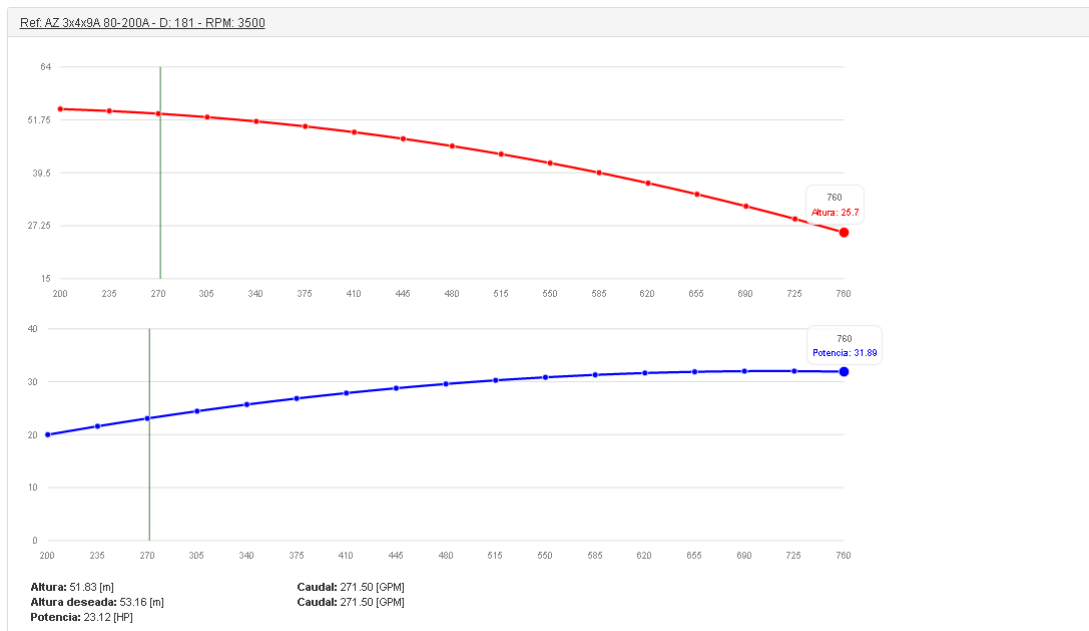
Habiendo ingresado todos los datos se pulsa el botón “Consultar”, ubicado en la parte inferior. El software imprimirá no solo la presión y caudal necesarios en la bomba sino, también, las presiones en cada uno de los pisos, los diámetros, las velocidades y el caudal correspondiente a cada uno, como se muestra en la figura 54. Debajo de los resultados aparecerá la referencia de la gráfica que cumple con los cálculos realizados, para consultarla se debe hacer clic en la referencia la cual desplegará la gráfica que se muestra en la figura 55.

Figuras 54. Resultados parciales del software.

Presiones por Tramo				
Nombre: 25	Presión: 4(MCA)	Caudal: 0.00013(GPM)	Velocidad: 0.45(m/s)	Diámetro: 0.019(m)
Nombre: 25	Presión: 5(MCA)	Caudal: 0.00013(GPM)	Velocidad: 0.45(m/s)	Diámetro: 0.019(m)
Nombre: 25	Presión: 5(MCA)	Caudal: 0.00026(GPM)	Velocidad: 0.51(m/s)	Diámetro: 0.025(m)
Nombre: 25	Presión: 5(MCA)	Caudal: 0.00013(GPM)	Velocidad: 0.45(m/s)	Diámetro: 0.019(m)
Nombre: 25	Presión: 3(MCA)	Caudal: 0.00039(GPM)	Velocidad: 0.49(m/s)	Diámetro: 0.032(m)
Nombre: Tramo 31	Presión: 1(MCA)	Caudal: 0.00039(GPM)	Velocidad: 1.36(m/s)	Diámetro: 0.019(m)
Nombre: Tramo 30	Presión: 4(MCA)	Caudal: 0.00076(GPM)	Velocidad: 0.98(m/s)	Diámetro: 0.032(m)
Nombre: Tramo 29	Presión: 6(MCA)	Caudal: 0.00117(GPM)	Velocidad: 1.03(m/s)	Diámetro: 0.038(m)
Nombre: Tramo 28	Presión: 9(MCA)	Caudal: 0.00156(GPM)	Velocidad: 0.77(m/s)	Diámetro: 0.051(m)
Nombre: Tramo 27	Presión: 11(MCA)	Caudal: 0.00195(GPM)	Velocidad: 0.96(m/s)	Diámetro: 0.051(m)
Nombre: Tramo 26	Presión: 14(MCA)	Caudal: 0.00234(GPM)	Velocidad: 1.15(m/s)	Diámetro: 0.051(m)
Nombre: Tramo 25	Presión: 16(MCA)	Caudal: 0.00273(GPM)	Velocidad: 0.86(m/s)	Diámetro: 0.064(m)
Nombre: Tramo 24	Presión: 19(MCA)	Caudal: 0.00312(GPM)	Velocidad: 0.99(m/s)	Diámetro: 0.064(m)
Nombre: Tramo 23	Presión: 21(MCA)	Caudal: 0.00351(GPM)	Velocidad: 1.11(m/s)	Diámetro: 0.064(m)
Nombre: Tramo 22	Presión: 24(MCA)	Caudal: 0.00390(GPM)	Velocidad: 1.23(m/s)	Diámetro: 0.064(m)
Nombre: Tramo 21	Presión: 26(MCA)	Caudal: 0.00429(GPM)	Velocidad: 1.35(m/s)	Diámetro: 0.064(m)
Nombre: Tramo 20	Presión: 29(MCA)	Caudal: 0.00468(GPM)	Velocidad: 1.03(m/s)	Diámetro: 0.076(m)
Nombre: Tramo 19	Presión: 32(MCA)	Caudal: 0.00507(GPM)	Velocidad: 1.11(m/s)	Diámetro: 0.076(m)
Nombre: Tramo 18	Presión: 34(MCA)	Caudal: 0.00546(GPM)	Velocidad: 1.20(m/s)	Diámetro: 0.076(m)
Nombre: Tramo 17	Presión: 37(MCA)	Caudal: 0.00585(GPM)	Velocidad: 1.28(m/s)	Diámetro: 0.076(m)
Nombre: Tramo 16	Presión: 39(MCA)	Caudal: 0.00624(GPM)	Velocidad: 0.76(m/s)	Diámetro: 0.102(m)
Nombre: Tramo 15	Presión: 42(MCA)	Caudal: 0.00663(GPM)	Velocidad: 0.81(m/s)	Diámetro: 0.102(m)
Nombre: Tramo 14	Presión: 44(MCA)	Caudal: 0.00702(GPM)	Velocidad: 0.86(m/s)	Diámetro: 0.102(m)
Nombre: Tramo 32 (Descarga)	Presión: 46(MCA)	Caudal: 0.01710(GPM)	Velocidad: 2.09(m/s)	Diámetro: 0.102(m)
Nombre: Tramo 33 (Succión)	Presión: 49(MCA)	Caudal: 0.01710(GPM)	Velocidad: 0.94(m/s)	Diámetro: 0.152(m)
Nombre: Pisos Inferiores	Presión: 47(MCA)	Caudal: 0.00141(GPM)	Velocidad: 0.70(m/s)	Diámetro: 0.051(m)
Nombre: Pisos Inferiores	Presión: 49(MCA)	Caudal: 0.00102(GPM)	Velocidad: 0.50(m/s)	Diámetro: 0.051(m)

Fuente: Autor.

Figura 55. Resultado final.



Fuente: Autor.

La figura 55 muestra que la curva coincidente con los resultados encontrados en el módulo hidráulico es la referencia AZ 3x4x9A 80-200A. A esta le corresponde un impulsor de diámetro 181[mm] y rota a una velocidad de 3500[RPM]. Esta curva proporciona un caudal de 271.5 [GPM] a una altura de 53.16 [mca], además necesita una potencia de 23.14 [HP] en el motor. Estos resultados se muestran en la parte inferior de la figura 55.

### 6.3 FUNCIONAMIENTO “ADMINISTRACIÓN”.

La opción “Administración” permite al usuario agregar una curva nueva a la base de datos o modificar una existente, además de permitir el cambio de correo con el cual se ingresa al programa y la contraseña. Al hacer clic en el botón “Administración” aparece la tabla mostrada en la figura 56.











Figura 56. Tabla de base de datos.

Administración

Usuario

Correo  Nueva Contraseña  Repetir Contraseña

Curvas de las bombas

Referencia	Catalogo	RPM	Diametro del Impulsor (mm)	a	b	c	Qmin	Qmax	Potencia a	Potencia b	Potencia c	
AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	Hidromac	3500	125	33.84400	0.01486	-0.00118	22.50	112.50	2.54049	-0.00427	0.00008	 
AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	Hidromac	3500	133	38.85500	0.04400	-0.00134	23.50	118.00	2.37144	0.00097	0.00008	 
AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	Hidromac	3500	138	41.42000	0.04808	-0.00144	24.50	120.00	2.41453	-0.00016	0.00011	 
AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	Hidromac	3500	146	45.84468	0.04476	-0.00114	25.00	132.50	2.57734	-0.00970	0.00031	 
AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A	Hidromac	3500	152	49.43821	0.05806	-0.00122	26.00	137.50	2.43167	-0.00239	0.00034	 

Fuente: Autor.

En la parte superior de la figura 56 se puede observar una casilla con un membrete de “Correo”, donde aparece el correo con el que se está ingresando actualmente al programa, en este caso manintegralesltda@yahoo.es y, justo debajo, un botón verde — “Cambiar correo”, para hacer modificaciones al respecto. De la misma manera, se procede con la contraseña, que se puede ver a lado derecho de la casilla de “Correo”. Para cambiar la contraseña se escribe la nueva contraseña dos veces y luego se pulsa el botón “Cambiar contraseña”.

También se puede observar en la figura 56 una tabla que corresponde a la base de datos perteneciente al software. En esta tabla, que se muestra parcialmente, se buscan los parámetros que se ingresan en el “Módulo de Selección” para arrojar un resultado. Si se desea modificar alguna de las curvas existentes se hace clic en el botón verde que se encuentra a la derecha, en la respectiva curva que se desea modificar; este despliega el menú que se

muestra en la figura 57.

Figura 57. Editar una curva existente.

### Nueva Curva

<b>Referencia</b>	<b>Catálogo</b>	<b>RPM</b>
<input type="text" value="AZ 1 1/4x1 1/2x7A 32-160A"/>	<input type="text" value="Hidromac"/>	<input type="text" value="3500"/>
<b>Diametro del impulsor (mm)</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
<input type="text" value="125"/>	<input type="text" value="33.844"/>	<input type="text" value="0.01486"/>
<b>C</b>	<b>Qmax</b>	<b>Qmin</b>
<input type="text" value="-0.001181"/>	<input type="text" value="112.5"/>	<input type="text" value="22.5"/>
<b>Potencia A</b>	<b>Potencia B</b>	<b>Potencia C</b>
<input type="text" value="2.5404947329"/>	<input type="text" value="-0.00426913982452"/>	<input type="text" value="0.0000818661771571"/>

Fuente: Autor.

En la ventana que se despliega se pueden modificar datos como la referencia de la curva, el catalogo al cual pertenece, las RPM's de la bomba, el diámetro del impulsor, el caudal máximo y mínimo de la curva y las dos curvas, la de la bomba y la de la potencia del motor que necesita esta bomba.

Para modificar la curva de la bomba se debe recordar que esta es de la forma  $H=a+bQ+cQ^2$ , estos son los parámetros de "A", "B", y "C" que se deben modificar. La curva de la potencia tiene la misma forma, es decir,  $P=a+bQ+cQ^2$ , así que los parámetros que se deben modificar son los de "Potencia A", "Potencia B" y "Potencia C". Para eliminar una curva ya existente se debe hacer clic en el botón rojo que se encuentra en la parte derecha de la figura 56.

Si se desea agregar una curva nueva se debe hacer clic en el botón "Agregar Curva" que se muestra en la figura 56, el cual desplegará una ventana que se observa en la figura 58.

Figura 58. Agregar una nueva Curva.

### Nueva Curva

Referencia	Catálogo	RPM
<input type="text"/>	<input type="text" value="+"/>	<input type="text"/>
Diametro del impulsor (mm)	A	B
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
C	Qmax	Qmin
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Potencia A	Potencia B	Potencia C
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Fuente: Autor.

Se ingresa cada uno de los datos requerido por el software: la referencia de la bomba que se desea agregar, el catálogo al que pertenece. Para hacer esto se hace clic en la flecha que despliega un menú con las opciones de catálogos que se tienen. Si se desea agregar un catálogo nuevo se hace clic en el “+” que se encuentra en la parte izquierda de la casilla “Catálogo”, que mostrará la ventana mostrada en la figura 59, la cual permitirá ingresar el nuevo catálogo, pulsando el botón “Crear”.

Después se deben seguir documentando los datos que se muestran en la figura 58, como las RPM's, el diámetro del impulsor en milímetros, los parámetros “A”, “B” y “C” de la curva de la bomba, el caudal máximo y mínimo de la misma, y los parámetros de la potencia “Potencia A”, “Potencia B” y “Potencia C”.

Figura 59. Agregar un nuevo Catálogo.

## Nuevo Catálogo

---

**Nombre**

---

Crear

Cancelar

Fuente: Autor.

## 7. CONCLUSIONES

- Se catalogaron las 84 curvas más utilizadas por la empresa Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda., para la selección de bombas centrifugas, cada una de ellas con su correspondiente diámetro de rotor y velocidad de rotación. Estas curvas se encuentran en un rango de alturas que va desde los 5 mca a los 130 mca, en un rango de caudales de 10 GPM a 400 GPM y en un rango de potencia de  $\frac{1}{4}$  HP a 40 HP, para una variedad de marcas. Con la catalogación de estas curvas se logró una mejor organización de la información correspondiente a la selección de bombas centrifugas, además de mayor dinamismo a la hora de realizar licitaciones.
- Se realizó una herramienta de cálculo utilizando el Framework “Bootstrap” y se desarrolló una interfaz manejada por PHP y Javascript. Mediante estas herramientas se crearon los tres módulos de los cuales está compuesto el programa: una Base de Datos, la cual contiene las curvas catalogadas, el Módulo de Selección, que permite al usuario una búsqueda ágil de una bomba centrifuga que se ajuste a los parámetros proporcionados y un Módulo Hidráulico, que realiza el cálculo hidráulico de las pérdidas presentes en una edificación, y encuentra la bomba centrifuga que se ajuste a dichas condiciones. Adicionalmente se creó una página web para la empresa Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. donde se cargó el programa, permitiendo al usuario acceder desde cualquier lugar. Esta herramienta de cálculo fue probada con proyectos realizados previamente por la empresa, obteniendo resultados favorables que comprueban la precisión y buen funcionamiento del programa.

- Se llevaron a cabo 10 sesiones de capacitación, donde se implementó el programa en tres nuevos proyectos, Rio del Hato, Casa 42 y Baranoa, por parte del personal de la empresa Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. Por medio de estas capacitaciones se logró la realización de tres licitaciones exitosas, debido a la disminución de los tiempos para la selección de las bombas, además de permitir a la empresa un almacenamiento más compacto de la información.
- La eficacia de esta herramienta de cálculo, dio como resultado un aumento en la competitividad de la empresa Mantenimientos Técnicos Integrales Ltda. al tener tiempos de respuesta más cortos, permitiéndole realizar una tarea de horas en minutos.

## BIBLIOGRAFÍA

- BARNES de Colombia, Manual práctico. Bogotá D.C 46 p.
- CACERES CORZO, Julio Cesar; MANTILLA NIETO, German Alonso; HIGUERA NIÑO, Héctor. Software para la selección de bombas centrifugas. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bucaramanga: Universidad Industrial d Santander. Facultad de Físicomecánica. Escuela de Ingeniería Civil.1992. 121 p.
- CATÁLOGO, Pearl. Catálogo de bombas. Miami: 2013, 24 p.
- CATÁLOGO, Pedrollo. Edición Actualizada. Italia: 2014, 364 p.
- CRANE, División de Ingeniería. En válvulas, Accesorios y tuberías. México: McGraw Hill, 215 p.
- KARASSIK, Igor J.; CARTER, Roy; BERUMEN, Alberto. Bombas centrifugas; Selección, operación y mantenimiento. México: Continental, 1966, 560 p.
- MALMEDI, Hidromac. Novena Edición. Barranquilla: 2014, 948 p.
- NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Código Colombiano de fontanería, NTC 1500. Bogotá D.C.: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2004, 101 p.
- SALAS, A. F., SALAS, A. F., Urrestarazu, L. P. tutorial\_04. Retrieved España, 2016, from ocvus.

## **ANEXOS**

ANEXO A.  
Catálogo Hidromac.

ANEXO B.  
Catálogo Pedrollo.