

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Proyecto técnico previo a la obtención del título de:
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE SUCCIÓN Y FILTRACIÓN
DE 8000 m³/DÍA, PARA PURIFICAR EL AGUA EN LA COMUNIDAD DE
TUNSHI EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.**

**AUTOR:
DIEGO FRANCISCO DOMÍNGUEZ VALENCIA**

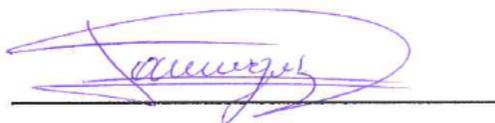
**TUTOR:
CARLOS IVÁN MALDONADO DÁVILA**

Quito, marzo de 2020

CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR

Yo, Diego Francisco Domínguez Valencia, con cédula de identidad N° 172557492-3, expreso mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud que soy el autor del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE SUCCIÓN Y FILTRACIÓN DE 8000 m³/DÍA, PARA PURIFICAR EL AGUA EN LA COMUNIDAD DE TUNSHI EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.”, mismo que fue desarrollado para la obtención del título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la misma facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor, me reservo el derecho moral de la obra antes citada. Suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Diego Francisco Domínguez Valencia

CI: 172557492-3

Quito, marzo del 2020.

DECLARATORIA DE COAUTORIA

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE SUCCIÓN Y FILTRACIÓN DE 8000 m³/DÍA, PARA PURIFICAR EL AGUA EN LA COMUNIDAD DE TUNSHI EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”, realizado por Diego Francisco Domínguez Valencia, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.



Carlos Iván Maldonado Dávila
C.I.: 1711156073

Quito, marzo del 2020.

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mis padres y hermanos, que con su apoyo incondicional han sabido guiarme por el mejor camino para poder llegar a cumplir con mis metas personales. De igual manera a mi querida abuelita, que en paz descanse, que con su cariño siempre afectuoso me supo enseñar valores indispensables para mi vida.

A toda mi familia y amigos, que siempre han aportado con su conocimiento y sabiduría para poder culminar esta etapa tan importante como es la carrera universitaria.

Diego

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por haberme dado la vida y la salud, por haberme acompañado y guiado como estudiante y por darme la paciencia para afrontar los problemas que se presentaron en el camino.

A mis padres y hermanos por estar conmigo y brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

Al Ingeniero Carlos Maldonado, MSc. quien fue un apoyo fundamental en la culminación de esta Trabajo de Titulación, siempre presto a ayudar desde el primer momento.

Finalmente, a todos mis amigos, que siempre estuvieron listos para ayudar y ser un apoyo en lo que fuese necesario... A todos muchas gracias por esa amistad sincera que siempre tuvimos.

Diego

ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR	i
DECLARATORIA DE COAUTORIA.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I	1
BOMBAS CENTRÍFUGAS, SISTEMAS DE SUCCIÓN, SISTEMAS DE FILTRACIÓN ..	1
1.1 Bomba centrífuga.....	1
1.1.1 Elementos de la bomba centrífuga	3
1.1.2 Campos de aplicación	6
1.1.3 Teoría del impulsor	7
1.2 Parámetros de bombas centrífugas.....	8
1.2.1 Altura efectiva de bombeo	8
1.2.2 Amplitud de velocidad	9
1.2.3 Amplitud de presión.....	9
1.2.4 Potencia de bombeo	9
1.2.5 Volumen.....	9
1.2.6 Eficiencia volumétrica	10
1.2.7 Eficiencia mecánica	10
1.2.8 Eficiencia total	10
1.2.9 Altura neta de succión positiva (n.p.s.h.)	10
1.2.10 Curva característica de la bomba	12
1.3 Punto de operación de la bomba centrífuga	13
1.3.1 Caudal variable	13
1.3.2 Caudal constante	14
1.4 Cavitación	15
1.4.1 Causas de cavitación	16
1.5 Sistemas de succión	16

1.5.1	Ensayo de bombeo	16
1.6	Sistemas de filtración.....	18
1.6.1	Funcionalidad.....	18
1.6.2	Tipos de filtros	18
CAPÍTULO II.....		20
PROCESO DE SELECCIÓN		20
2.1	Proceso de selección de bomba centrífuga.....	20
2.1.1	Cálculos de presión	22
2.1.2	Evaluación de bombas	23
2.1.3	Selección de bombas	24
2.2	Cálculo para un sistema de bombeo.....	25
2.2.1	Tubería de descarga	26
2.2.2	Tubería de succión	28
2.2.3	Carga dinámica total de la bomba.....	30
2.2.4	Potencia de la bomba	35
2.2.5	Determinar el npsh del sistema	36
2.3	Selección de una bomba centrífuga	38
2.4	Alternativas de bombas y filtros	40
2.4.1	Bombas	40
2.4.2	Filtros	43
CAPÍTULO III.....		46
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUCCIÓN Y FILTRACIÓN		46
3.1	Sistema de succión.....	46
3.1.1	Diseño	46
3.2	Sistema de filtración	52
3.3	Simulación del sistema.....	55
3.3.1	Pérdidas de energía	57
3.3.2	Rendimiento	58
CAPÍTULO IV.....		60
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COSTOS		60
4.1	Análisis de resultados	60
4.2	Costos.....	65
CONCLUSIONES		68
RECOMENDACIONES.....		69
REFERENCIAS.....		70

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CLASIFICACIÓN DE BOMBAS, SE CONSIDERA LA TABLA MÁS COMPLETA, YA QUE SE USARÁ DEL LIBRO “HYDRAULIC INSTITUTE”, EN SU ÚLTIMA EDICIÓN. EL MENCIONADO INSTITUTO TIENE COMO MIEMBROS A MÁS DE CINCUENTA COMPAÑÍAS FABRICANTES DE EQUIPOS DE BOMBEO EN EL MUNDO ENTERO. [2]..XIII	
FIGURA 2. ESQUEMA BOMBA CENTRÍFUGA. [5]	2
FIGURA 3. PARTES DE BOMBA CENTRÍFUGA. [7]	3
FIGURA 4. DESPIECE DE UNA BOMBA HORIZONTAL CENTRIFUGA DONDE SE OBSERVA DOS RODETES COLOCADOS EN SERIE.	4
FIGURA 5. TIPOS DE RODETES O IMPULSORES. [8]	4
FIGURA 6. DETALLE DE UN RODETE CERRADO. A) DESMONTADOS; B) APERTURAS POR DONDE ENTRA EL AGUA. [8]	5
FIGURA 7. DIFUSOR. A) DE VOLUTA; B) DE TURBINA. [8]	6
FIGURA 8. VELOCIDADES Y ÁNGULOS DEL IMPULSOR. [2]	7
FIGURA 9. ALTURA EFECTIVA DE BOMBAS. [7]	8
FIGURA 10. ALTURA EFECTIVA DE BOMBAS. [10]	11
FIGURA 11. ALTURA EFECTIVA DE BOMBAS. [10]	12
FIGURA 12. CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA CENTRIFUGA. [7]	13
FIGURA 13. CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA CENTRIFUGA CON CAUDAL VARIABLE. [7]	14
FIGURA 14. CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA CENTRIFUGA CON CAUDAL CONSTANTE. [7]	14
FIGURA 15. ESQUEMA DE UN POZO ENTUBADO. [12]	17
FIGURA 16. FLUJOGRAMA PROCESO DE SELECCIÓN DE BOMBA CENTRIFUGA. ELABORADO POR DOMÍNGUEZ DIEGO.	21
FIGURA 17. CURVA DEL SISTEMA. [15]	23
FIGURA 18. ESQUEMA DE UNA INSTALACIÓN DE BOMBEO. [16]	24
FIGURA 19. DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE BOMBEO. ELABORADO POR DOMÍNGUEZ DIEGO.	26
FIGURA 20. TABLA DE DISTRIBUIDOR GRUPO VEMACERO, C.A. [18]	29
FIGURA 21. DIAGRAMA DE MOODY. [10]	33
FIGURA 22 CURVAS DE PERFORMANCE. [20]	39

FIGURA 23. TABLA DE DIMENSIONES. [20]	39
FIGURA 24. DISEÑO BOMBA CENTRIFUGA CON DIMENSIONES CORRESPONDIENTES.	47
FIGURA 25. DISEÑO BOMBA CENTRIFUGA CORTE INTERNO LATERAL.	47
FIGURA 26. DISEÑO DE TOBERA DE REDUCCIÓN.	48
FIGURA 27. A) BRIDA DE SOLDADURA 10 PLG; B) DISEÑO DE TUBERÍA DE SUCCIÓN... 49	49
FIGURA 28. DISEÑO DE TOBERA DE AMPLIACIÓN. ELABORADO POR: DIEGO DOMÍNGUEZ	50
FIGURA 29. A) BRIDA DE SOLDADURA 8 PLG; B) DISEÑO DE TUBERÍA DE DESCARGA. .	50
FIGURA 30. SISTEMA DE SUCCIÓN.	51
FIGURA 31. SISTEMA DE FILTRACIÓN.	52
FIGURA 32. DISEÑO DE ENSAMBLE DEL SISTEMA FILTRACIÓN.	53
FIGURA 33. DISEÑO COMPLETO DEL SISTEMA DE SUCCIÓN Y FILTRACIÓN.	54
FIGURA 34. DISEÑO COMPLETO DEL SISTEMA DE SUCCIÓN Y FILTRACIÓN.	55
FIGURA 35. PRIMER INTERVENCIÓN EN SIMULACIÓN DEL FLUIDO. FUENTE: SOLIDWORKS	61
FIGURA 36. ALTURA DE LA BOMBA EN FUNCIÓN DEL CAUDAL.	62
FIGURA 37. POTENCIA DE LA BOMBA EN FUNCIÓN DEL CAUDAL.....	63
FIGURA 38. RENDIMIENTO DE LA BOMBA EN FUNCIÓN DEL CAUDAL.	63

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA FLUIDOS EN TUBERÍAS. [17]	27
TABLA 2 RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES	32
TABLA 3 ACCESORIOS DEL SISTEMA DE BOMBEO. [10].....	34
TABLA 4 RESULTADO DE CÁLCULOS OBTENIDOS	38
TABLA 5 COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE PROVEEDORES DE BOMBAS.....	42
TABLA 6 FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA A 800 RPM.	64
TABLA 7 DATOS PARA OBTENER KL.	64
TABLA 8 CÁLCULOS REALIZADOS PRODUCTO DE LA SIMULACIÓN Y VALOR ESTIMADO DE KL.	65
TABLA 9 RESULTADOS OBTENIDOS PRODUCTO DE LA SIMULACIÓN Y VALOR ESTIMADO DE KL	65
TABLA 10 TABLA DE PRESUPUESTOS DE CONSUMO A INVERTIR EN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN.....	66

RESUMEN

En este proyecto de tesis expone el diseño y simulación de un sistema de succión y filtración de agua, consiste en el modelo diseñado por tuberías y una bomba centrífuga que tiene dos tuberías principales. La tubería de succión y la de desfogue, cada una tiene su diámetro determinado por el cual circula el fluido a calcular. Por lo que con estos puntos se puede llegar a obtener una purificación del 95 % de agua, logrando cumplir con la meta propuesta.

Existen condiciones donde desperdicios son arrastrados por el líquido a la succión de la bomba, a medida que estos aumentan, la capacidad de la bomba para suministrar energía al fluido es imperfecta hasta llegar a un punto donde el deterioro se vuelve muy drástico, denominado punto de inflexión en la caída de presión.

La simulación está basada en las leyes de conservación de un fluido en movimiento. La mayoría de las simulaciones están sujetas a la Ecuación de Euler que el software presenta. Donde se tiene en cuenta varios parámetros como la presión al inicio del sistema, la velocidad de succión, entre otros, para que se pueda realizar una simulación sin obtener errores al momento de simular.

Al finalizar la simulación del sistema se logra obtener datos importantes con los cuales se realiza el análisis de resultados, comparando con los datos obtenidos por medio de cálculos, se logra obtener una variación de resultados. Por lo que se puede determinar que se tiene una simulación en estables condiciones.

Palabras clave: Bomba centrífuga, sistema de bombeo, sistema de filtración.

ABSTRACT

In this thesis project he exposes the design and simulation of a water suction and filtration system, it consists of the model designed by pipes and a centrifugal pump that has two main pipes. The suction and the vent pipe, each one has its determined diameter through which the fluid to be calculated circulates. So with these points you can get a purification of 95% water, managing to meet the proposed goal.

There are conditions where the gas is carried by the liquid to the suction of the pump, as the fraction of gas increases, the capacity of the pump to supply energy to the fluid is imperfect until it reaches a point where the deterioration becomes very drastic , called the turning point in the pressure drop.

The simulation is based on the conservation laws of a moving fluid. Most simulations are subject to the Euler equation that the software presents. Where several parameters are taken into account such as the pressure at the beginning of the system, the suction speed, among others, so that a simulation can be performed without obtaining errors at the time of simulation.

At the end of the simulation of the system it is possible to obtain important data with which the analysis of results is performed, comparing with the data obtained through calculations, a variation of results is obtained. So it can be determined that you have a simulation in stable condition.

Keywords: Centrifugal pump, pumping system, filtration system.

INTRODUCCIÓN

Al momento de hablar de máquinas hidráulicas o también conocidas como bombas, se tiene como idea los problemas que existen en la industria como en la agricultura, que se muestran al momento de transportar líquidos por los distintos sistemas de tuberías teniendo que resolver problemas de presiones, alturas o desniveles. Se conocen dos grupos fundamentales:

- Desplazamiento positivo
- Efecto centrífugo

El funcionamiento de las bombas de desplazamiento positivo transporta una cierta cantidad de volumen de un fluido, desde la aspiración hasta la impulsión con un aumento de la presión.

Las bombas de mayor trascendencia por su amplia aplicación y su eficiencia son las de efecto centrífugo. Su funcionamiento de alta velocidad permite un mayor accionamiento directo por motores eléctricos, tamaño y peso reducido, seguridad de marcha y servicio, teniendo un número mínimo de elementos de desgaste. Su gran difusión y empleo se consigue gracias a estos factores decisivos. [1]

A partir de, Zubicaray et al. [2] ,existe una gran variedad de tipos de bombas que existen y si a ello se le agrega los diferentes tipos de materiales de construcción, tamaños para el manejo de costos, también las presiones que es una variable indispensable y los diferentes líquidos a manejar, podremos saber la importancia de esta máquina, a partir de estas características se observa la Figura 1 donde se presenta la siguiente clasificación:

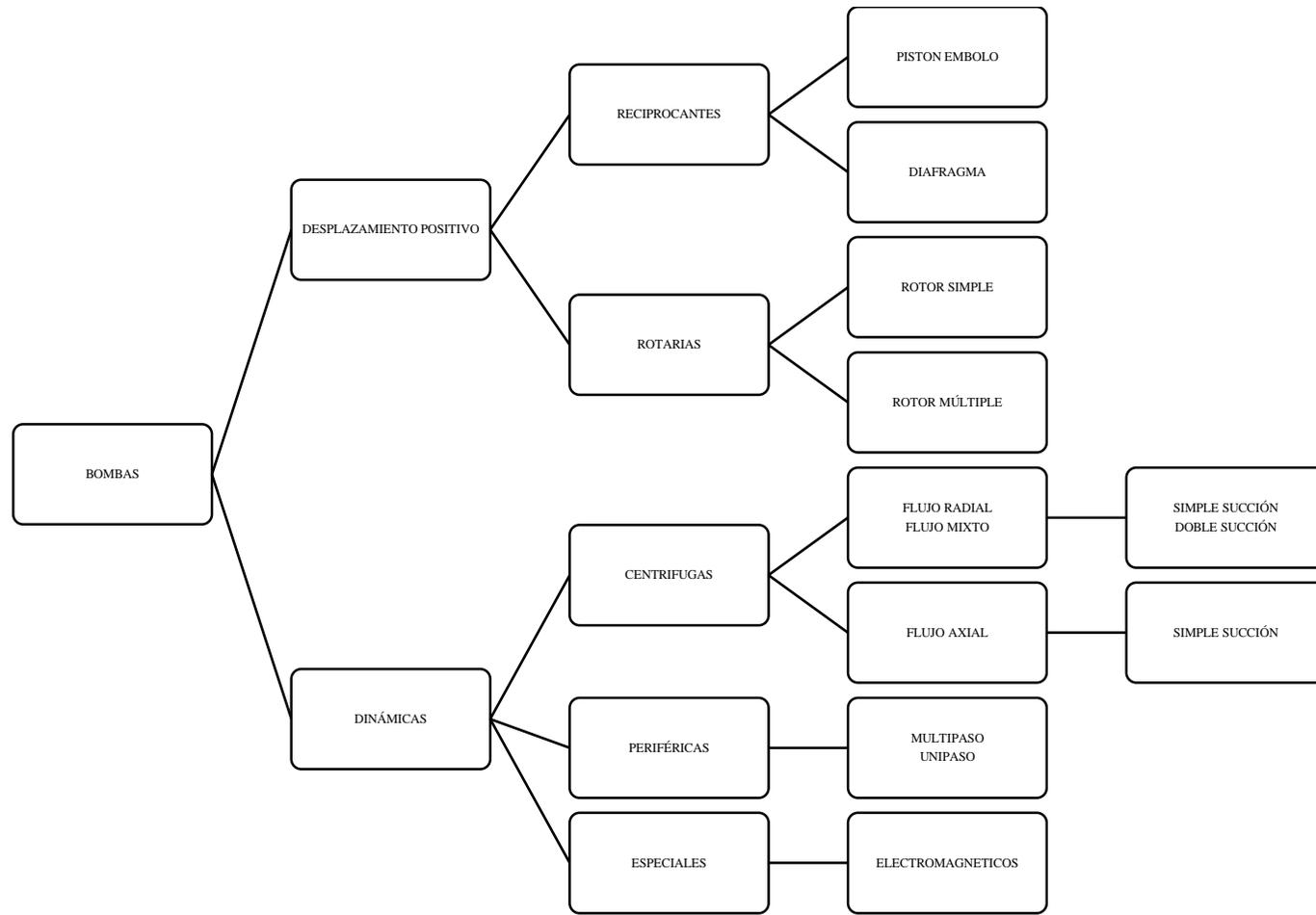


Figura 1. Clasificación de bombas, se considera la tabla más completa, ya que se usará del libro “Hydraulic Institute”, en su última edición. El mencionado instituto tiene como miembros a más de cincuenta compañías fabricantes de equipos de bombeo en el mundo entero. [2]

El objetivo general consiste en diseñar y simular un sistema de succión y filtración de 8000 m³/día, para purificar el agua en la Comunidad de Tunshi en la Provincia de Chimborazo.

Los objetivos específicos son:

- Evaluar conceptos relevantes sobre las diferentes bombas centrifugas, sistemas de succión y filtración.
- Seleccionar la mejor opción de bombeo y filtración, para el diseño del sistema de purificación de agua.
- Diseñar el sistema de succión y filtración de 8000 m³/día.
- Verificar por medio del software Flow simulation en Solidworks que el diseño del sistema sea el más eficiente (pérdidas de energía y rendimiento), del sistema de la bomba de succión.

CAPÍTULO I

BOMBAS CENTRÍFUGAS, SISTEMAS DE SUCCIÓN, SISTEMAS DE FILTRACIÓN

1.1 Bomba centrífuga

La bomba centrífuga o rotodinámica, transforma la energía mecánica en hidráulica. Su principal objetivo es mover gran volumen de líquido por dos niveles diferentes, en otras palabras, transforman lo mecánico en hidráulico. Existe diferentes clases de bombas centrífuga, su característica principal es la transformación de energía, esto depende del elemento móvil llamado impulsor, turbina o rodete el mismo que gira dentro del elemento estático conocido como cuerpo o carcasa de la bomba. El cuerpo y el impulsor tienen un orificio para el traspaso del líquido. [3]

El funcionamiento de una bomba centrífuga consiste, en que el líquido entra axialmente por la tubería de aspiración hasta el centro del rodete que trabaja por medio de un motor, logrando así un brusco cambio de dirección, pasando a radial o axial, provocando aceleración y trabajo. [4]

Los álabes del rodete hacen que las partículas de líquido entren a un rápido movimiento de rotación proyectándose hacia el exterior debido a la fuerza centrífuga, de esta manera abandonan a gran velocidad el rodete hacia la voluta, según la distancia del eje aumenta su presión en el impulsor, como se puede observar en la Figura 2. La reacción entre este y el rodete sometido al movimiento de rotación se produce por la elevación del líquido; se transforma parte de la energía dinámica en la carcasa que se adquiere en el rodete, en energía de presión, lanzando los filetes líquidos contra las paredes del cuerpo de bomba y expulsados por la tubería de impulsión. [4]

La carcasa tiene forma de caracol, entre el rodete y la carcasa hay una mínima separación en la parte superior; aumenta la separación hasta que las partículas líquidas se relacionan frente a la abertura de impulsión; existen bombas que a la salida del rodete tienen una directriz de alabes las cuales guían al líquido hacia la salida del impulsor antes de ingresar en la voluta. [4]

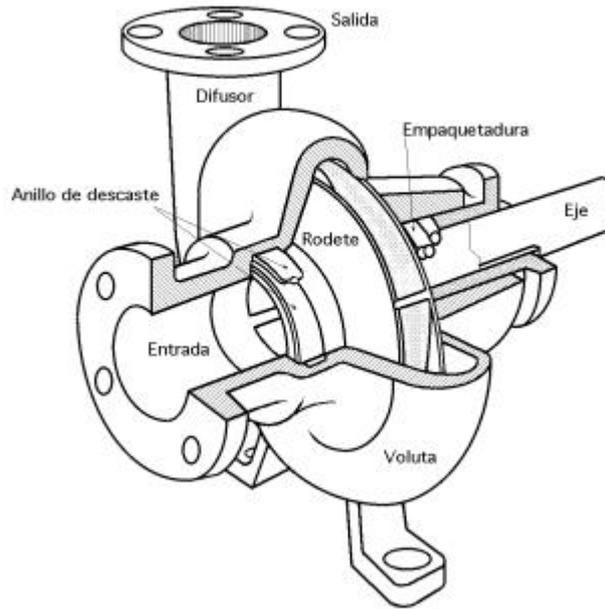


Figura 2. Esquema Bomba Centrífuga. [5]

Para distintos caudales existen bombas centrífugas, que varían entre 1 L/min hasta 106 L/min, de altura de hasta más de 100 metros, de varios Watts hasta MW. El rendimiento más alto puede ser de hasta 90 % y la curva de potencia aumentara con el caudal. [6]

La altura manométrica (HB) es aplicable a la acción centrífuga en el interior del rodete que recibe el fluido. El rodete contiene un cierto número de álabes, se encuentran curvados en dirección contraria al sentido de giro, los cuales determinan la dirección de y relativa en su interior y la velocidad absoluta. [6]

Las bombas centrífugas tienen las siguientes características:

- Están formadas por un eje y uno o más rodetes.
- Están conformadas por una carcasa.
- Elementos de cierre.
- Por la acción de la fuerza centrífuga se aumenta la energía del fluido.
- Es adaptable a trabajos y a velocidades altas.
- En el eje de rotación del alabe o rodete
- El líquido se expulsa perpendicularmente al eje de rotación del álabe.
- En varios rotores en serie se pueden emplear bombas de alta presión.

- El difusor tiene un canal en espiral, en las bombas de baja presión.
- La acción del rotor es en gran medida radial cuando los flujos son bajos y tienen altas presiones.
- La dirección de flujo en el interior de la bomba es paralela al eje del rotor cuando los flujos son más elevados y su presión de salida es menor.
- Las bombas centrífugas no son auto aspirantes y requieren de cebado previo al funcionamiento.

1.1.1 Elementos de la bomba centrífuga

Existe una gran variedad de elementos que conforman una bomba centrífuga las cuales se presenta en la Figura 3.

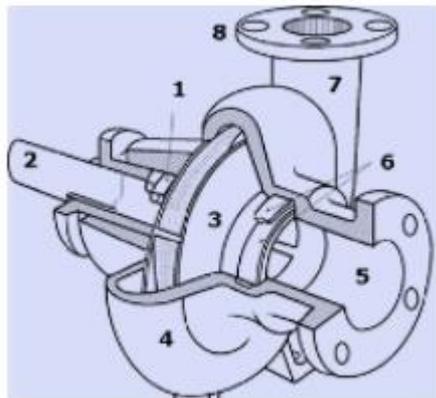


Figura 3. Partes de bomba centrífuga. [7]

1. Empaque
2. Eje
3. Rodete
4. Voluta
5. Entrada
6. Anillo de desgaste
7. Difusor
8. Flecha

Se tiene tres elementos principales, los cuales son:

1.1.1.1 Rodete o impulsor

Es un elemento móvil, constituido por alabes divergentes enlazados al eje, que recoge energía del exterior por un motor; se puede observar en la Figura 3. [8]

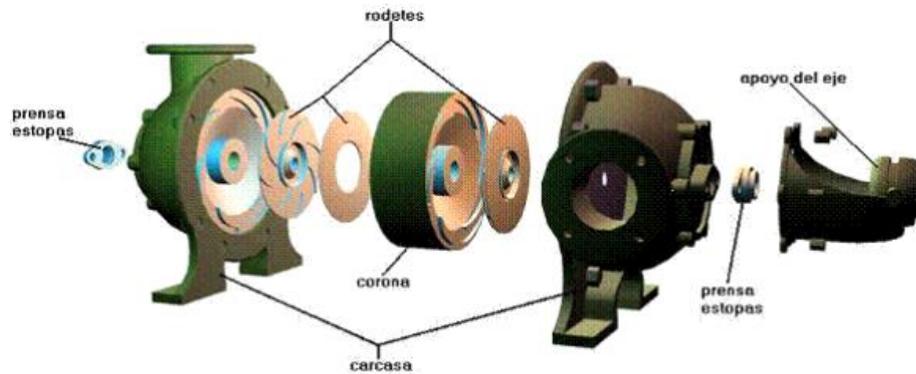


Figura 4. Despiece de una bomba horizontal centrifuga donde se observa dos rodetes colocados en serie.

Los rodetes pueden ser abiertos, cerrados o semiabiertos; según los alabes estén sueltos o unidos al disco o a los discos. [8]

- Abiertos: Permiten el paso de impurezas cuando están sueltos, sin embargo, tienen poca eficiencia.
- Cerrados: Se encuentran unidos lateralmente a dos discos Figura 5. Se cierran con mayor facilidad, y tienen mayor rendimiento.
- Semiabiertas: tienen características intermedias entre abiertos y cerrados cuando están unidos a un disco.

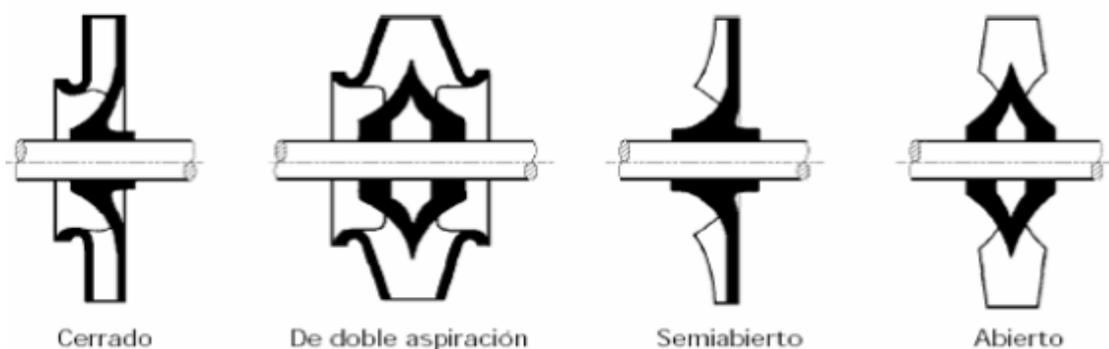


Figura 5. Tipos de rodetes o impulsores. [8]

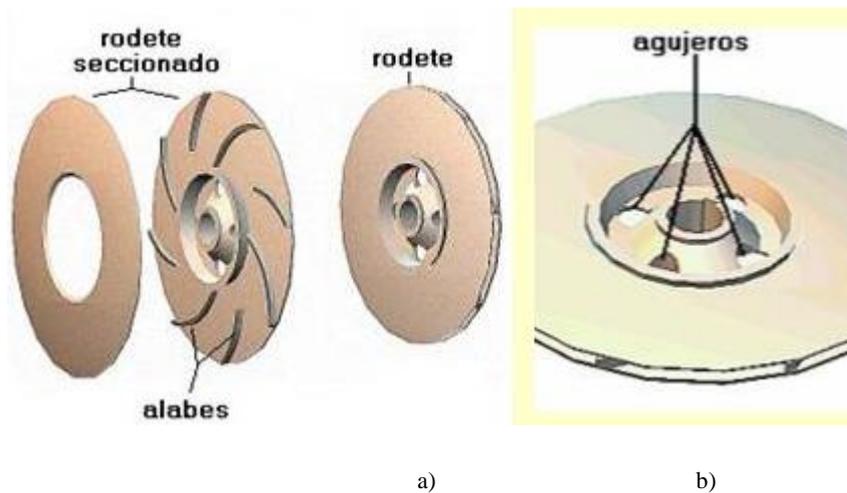


Figura 6. Detalle de un rodete cerrado. a) desmontados; b) aperturas por donde entra el agua. [8]

1.1.1.2 Difusor

El rodete junto con el difusor, están encerrados o en la cámara, denominada carcasa o cuerpo de la bomba. Como se puede observar en la Figura 3. [8]

El difusor está formado por alabes fijos divergentes, que, al aumentar la sección de la carcasa, la velocidad del agua ira reduciéndose lo que contribuye a transformar la energía cinética en energía de presión, mejorando el rendimiento del agua. [8]

Según la disposición y la forma, las bombas centrífugas, tiene dos alternativas:

- De voluta: Cuando la forma de la carcasa es de caracol rodea al impulsor y así el área de flujo de agua va aumentando gradualmente hacia la tubería de descarga (Figura 7 a).
- De Turbina: Cuando la carcasa va equipada de difusores fijos dispuestos, en este caso el área de flujo se amplía paulatinamente hacia la salida (Figura 3 y Figura 7 b).

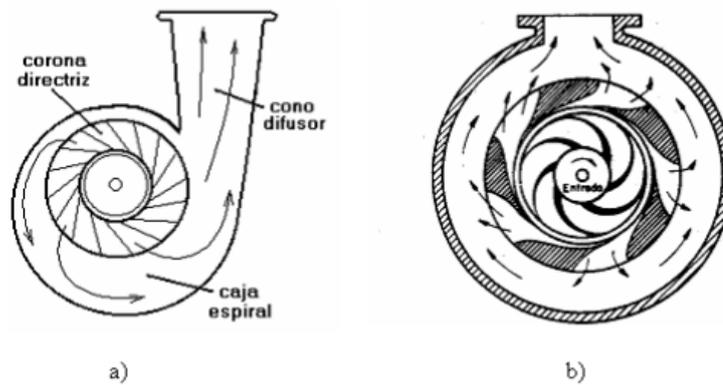


Figura 7. Difusor. a) de Voluta; b) de Turbina. [8]

1.1.1.3 Eje

El eje de la bomba tiene forma de barra de sección circular no uniforme que se fija de una manera rígida al impulsor, de esta manera transmitiéndole la fuerza del motor, se puede observar en la Figura 2. [8]

La clasificación de las bombas centrífugas para agua se dividen según la posición del eje de las bombas de eje vertical y horizontal.

Las bombas centrífugas para agua se clasifican atendiendo a la posición del eje en bombas de eje horizontal y bombas de eje vertical.

1.1.2 Campos de aplicación

Las bombas centrífugas son las bombas que más se aplican en diversas industrias, en las que destacan:

- Industria alimenticia: Saborizantes, aceites, grasas, pasta de tomate, cremas, vegetales trozados, mermeladas, mayonesa, chocolate, levadura, etc.
- Industria de cosméticos: Cremas y lociones, tintes y alcoholes, aceites, etc.
- Industria farmacéutica: Pastas, jarabes, extractos, emulsiones. Bebidas: leche, cerveza, aguardientes, concentrados de fruta, jugos, etc.

1.1.3 Teoría del impulsor

La teoría del impulsor trata de los componentes de la velocidad del flujo, el cual se lo maneja por el procedimiento gráfico en el que intervienen vectores (Figura 8), de tal forma que el diagrama vectorial es triangular se lo denomina el triángulo de velocidades. [2]

Estos triángulos se los puede desarrollar para cualquier tipo o punto de la trayectoria del flujo a través del impulsor, pero usualmente de una manera práctica se lo realiza a la entrada y salida del flujo. [2] Los vectores se expresan de la siguiente manera:

- u : velocidad periférica del impulsor.
- w : velocidad relativa del flujo.
- c : velocidad absoluta del flujo.

La velocidad relativa se considera con respecto al impulsor y la absoluta, con respecto a la carcasa, la velocidad absoluta es siempre igual a la suma vectorial de la relativa y la circunferencial. Por lo general las velocidades llevan subíndices 1 o 2, dependiendo sea a la entrada o a la salida del impulsor. [2]

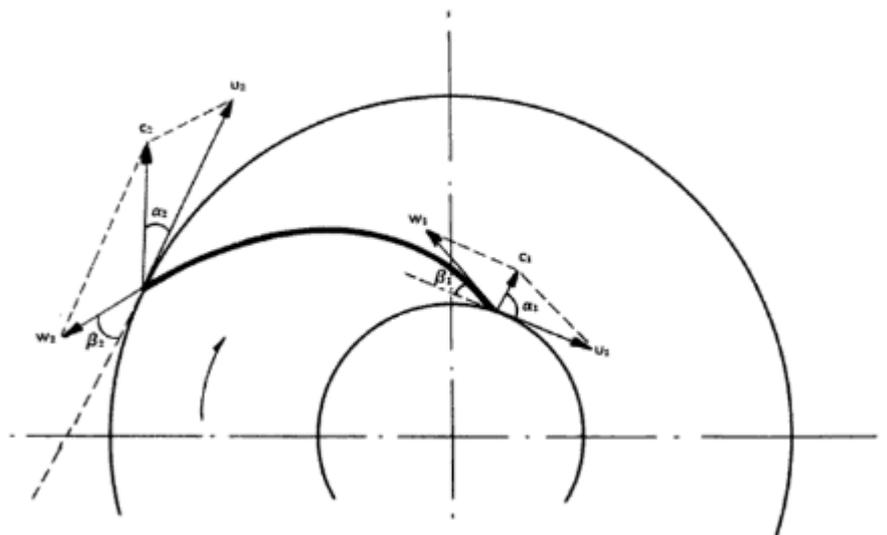


Figura 8. Velocidades y ángulos del impulsor. [2]

Todas las velocidades se considerarán como velocidades promedio para las secciones normales a la dirección del flujo [9] . Por medio de aproximaciones hechas en los estudios teóricos y diseños prácticos, la velocidad periférica u se podrá calcular con la siguiente ecuación:

$$u = \frac{\pi D}{12} \times r.p.s. = \frac{D \times r.p.m.}{229} \text{ (pies / seg)} \quad (1)$$

en el cual D es el diámetro del círculo en pulgadas. [2]

1.2 Parámetros de bombas centrífugas

1.2.1 Altura efectiva de bombeo

La altura efectiva de bombeo como se indica en la Figura 9, es conocida como la resistencia al flujo del fluido, para que este líquido pueda fluir por completo a través por el sistema de bombeo, la bomba debe vencer la resistencia de este. [7]

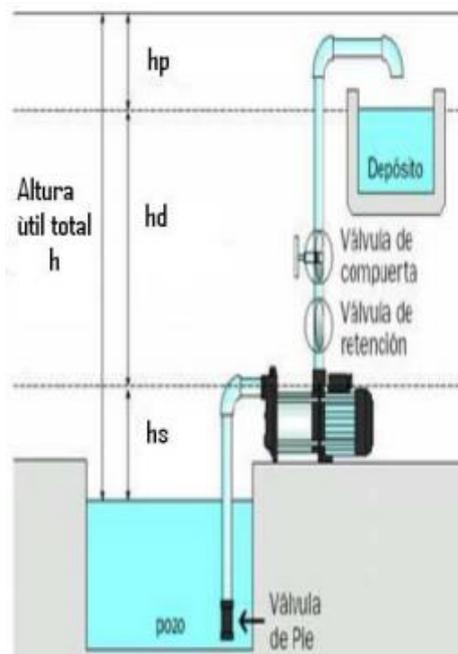


Figura 9. Altura efectiva de bombas. [7]

Donde:

h : Altura útil total a vencer de una bomba. [m]

h_p : Altura de pérdidas. [m]

hd: Altura estática de descarga. [*m*]

hs: Altura estática de succión. [*m*]

1.2.2 Amplitud de velocidad

Están condicionados a la entrada y el soporte de la carga permite que la bomba trabaje de una manera satisfactoria.

1.2.3 Amplitud de presión

Es el límite máximo de presión en donde la bomba puede trabajar adecuadamente.
[*N/m²*]

1.2.4 Potencia de bombeo

La potencia de bombeo es suministrada por la bomba hacia el fluido que la atraviesa y depende de la altura efectiva de bombeo. La potencia suministrada en el eje de la bomba va a hacer mayor a la potencia, esto se da gracias a las pérdidas que da la bomba, hay tres tipos de pérdidas:

a. Pérdidas hidráulicas

Se produce debido a estrangulamientos, cambios de dirección, fricción, entre otros.

b. Pérdidas mecánicas

Se produce debido al rozamiento entre elementos mecánicos.

c. Potencias volumétricas

Se produce debido a corrientes secundarias, regreso de fluido, falta de hermeticidad, entre otros.

1.2.5 Volumen

Es la cantidad de fluido que la bomba entrega a la presión de operación. [*m³/s*]

1.2.6 Eficiencia volumétrica

Se determina por medio de la relación entre el volumen teórico de salida y el volumen real a cualquier presión asignada.

1.2.7 Eficiencia mecánica

Se determina por medio de la relación entre el caballaje teórico a la entrada, es necesario para un volumen específico en una presión específica y el caballaje real a la entrada necesario para el volumen específico a la presión específica.

1.2.8 Eficiencia total

Se puede determinar mediante el producto entre la eficiencia volumétrica y mecánica.

1.2.9 Altura neta de succión positiva (n.p.s.h.)

Todas las bombas requieren una altura neta de succión positiva. El NPSH es aquella presión necesaria sobre la presión de vapor fluido a bombearse para que la bomba o el sistema trabaje de una manera correcta sin presencia del fenómeno de la cavitación, ya que la cavitación es un problema muy frecuente en el transporte de fluidos por bombas. Los fabricantes prueban con cada diseño para determinar el nivel de presión de succión que se necesita y así poder reportar los resultados, como la carga de succión positiva neta requerida ($NPSH_R$), de la bomba en cada condición de capacidad de operación o flujo volumétrico y la carga total sobre la bomba.

En consecuencia, la carga de succión neta positiva disponible debe ser mayor que la requerida.

$$(NPSH_D) > (NPSH_R)$$

1.2.9.1 Cálculo de $npsH_d$

Para realizar el cálculo de $NPSH_D$ dependerá de la presión de vapor del fluido que se bombea, de las pérdidas de energía en el tubo de succión, de la ubicación de almacenamiento del fluido y de la presión que se va a aplicar a este, se expresa de la siguiente manera:

$$NPSH_D = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \quad (2)$$

Donde:

h_{sp} : Carga de presión estática absoluta sobre el fluido en el almacenamiento, se expresa

en metros de líquido. $h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma} [m]$

P_{sp} : Presión estática absoluta sobre el fluido en el depósito. $\left[\frac{N}{m^2} \right]$

h_s : Diferencia entre la elevación desde el nivel del fluido en el depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba. $[m]$

** Si la bomba se encuentra debajo del depósito, h_s es positiva.

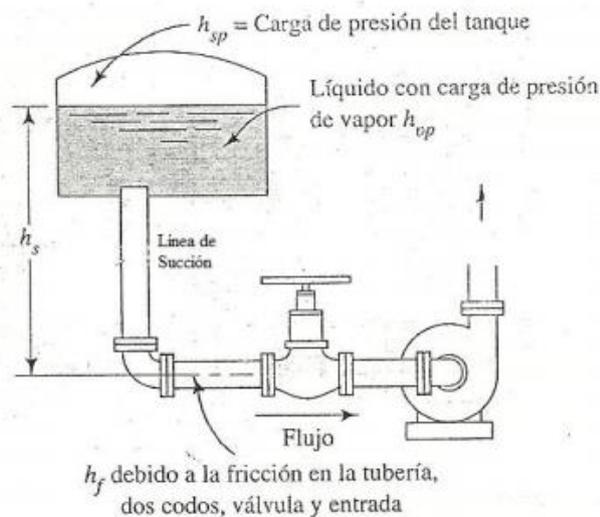


Figura 10. Altura efectiva de bombas. [10]

** Si la bomba se encuentra arriba del depósito, h_s es negativa.

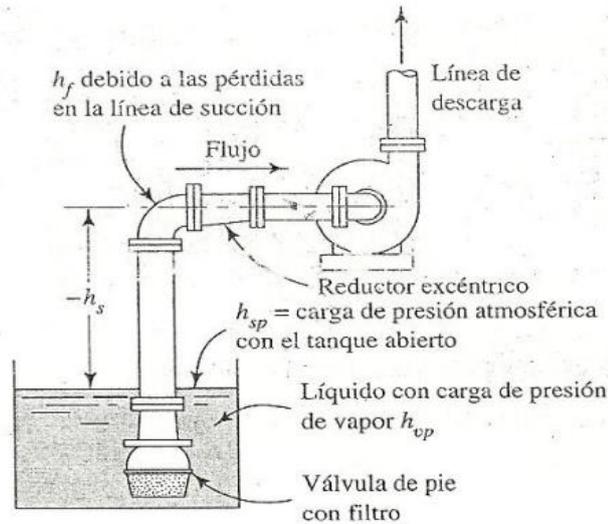


Figura 11. Altura efectiva de bombas. [10]

h_{vp} : Carga de presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.

1.2.10 Curva característica de la bomba

Para obtener las curvas características de las bombas centrífugas, teniendo los datos de la placa de la bomba, se tiene que consultar en la información técnica o en los catálogos de los fabricantes, estas curvas se relacionan las variables que intervienen en el funcionamiento de esta.

Las curvas características de las bombas muestran datos similares del fabricante y en general incluyen:

- Curva de carga vs caudal.
- Curva de NPSH vs caudal.
- Curva de eficiencia vs caudal.
- Curva de potencia vs caudal.

Al momento de no contar con la respectiva información técnica del fabricante la cual se desea evaluar, se puede utilizar curvas de referencia que manejen características similares de la bomba, como son: tipo de impulsor, velocidad, diámetro, tamaño, entre otros.

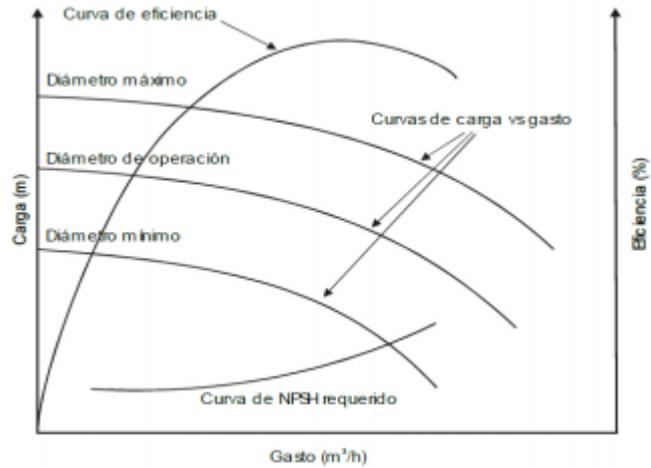


Figura 12. Curva característica de la bomba centrífuga. [7]

En la Figura 12 se observan las curvas de funcionamiento, la correlación que hay entre caudal y altura, NPSH, el rendimiento, la potencia que se absorbe en el eje de la bomba, etc. Señalan el comportamiento de la bomba centrífuga y son fundamentales para la elección de una bomba. [11]

1.3 Punto de operación de la bomba centrífuga

1.3.1 Caudal variable

Por lo general los sistemas de bombeo requieren caudal variable, lo cual significa que la bomba trabajara con diferentes puntos de operación, lo que hace referencia a carga y caudal.

En cada punto de operación se puede determinar el NPSH requerido y la eficiencia de la bomba centrífuga. (Figura 13)

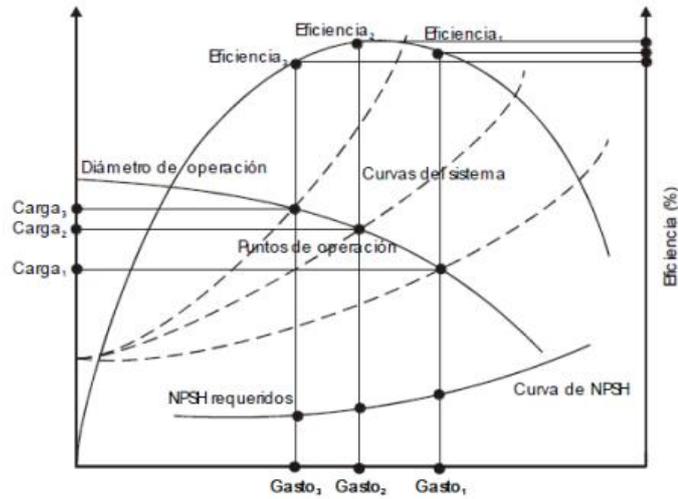


Figura 13. Curva característica de la bomba centrífuga con caudal variable. [7]

1.3.2 Caudal constante

Debe la carga precisa del sistema de bombeo coincidir con la carga generada por la misma para obtener el punto de operación. En la Figura 13 se puede observar en la intersección de la curva CARGA vs CAUDAL el punto de operación. Trazando una línea horizontal y vertical que pasen por el mismo punto, se obtienen los valores del caudal, carga, NPSH requerido y eficiencia.

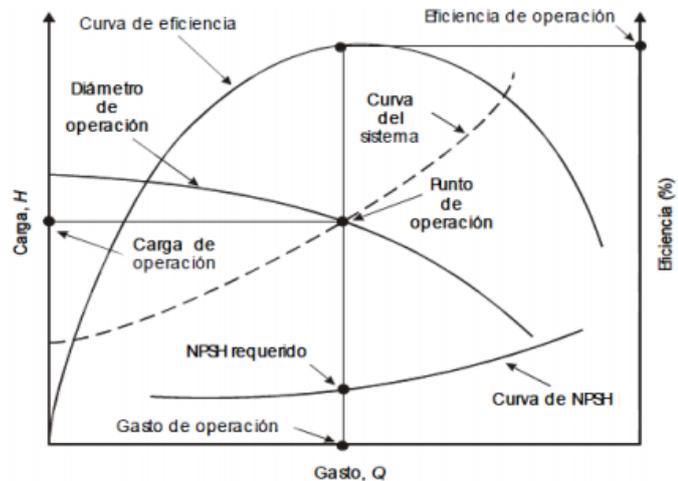


Figura 14. Curva característica de la bomba centrífuga con caudal constante. [7]

1.4 Cavitación

La cavitación explica que cuando un líquido que se encuentra en movimiento y tiene un rozamiento con una superficie, produce una caída de presión local, que hasta se puede llegar a la presión de vaporización del líquido, a la temperatura que este el líquido. Se producirán burbujas de vapor, las mismas que se transportan a áreas de presión elevada y colapsan.

La implosión realiza que el fluido choque con la superficie causando ondas de presión que viajan por el líquido a disiparse en la corriente de este. Por lo general el material se debilita metalúrgicamente y comienza la etapa de erosión que daña la superficie y provoca que se transforme en zonas de elevadas pérdidas de presión y por defecto de mayor foco de formación de burbujas de vapor, si la zona donde chocan las ondas de presión son las mismas.

La cavitación se puede determinar de la siguiente manera:

$$Ca = \frac{P - P_v}{\frac{d \cdot v^2}{2}} \quad (3)$$

Donde:

Ca : Número de cavitación

d : densidad (densidad del agua = 1000kg/m³)

v : Velocidad

P : Presión

P_v : Presión de vapor

1.4.1 Causas de cavitación

Las causas que se van a mencionar tienden a producirse en el interior de la bomba a la entrada del rodete, este fenómeno de cavitación puede realizar la rápida destrucción del rodete.

- Longitud demasiado alta para la succión.
- Exceso de accesorios y curvaturas en la succión.
- Altura demasiado alta para la succión.
- Diámetro de la tubería de succión muy pequeño.
- Perdidas secundarias elevadas en la succión.

1.5 Sistemas de succión

Como en toda la región agropecuaria del Ecuador, tenemos por fuente principal a el agua. Ya que sin el agua no podríamos sembrar o tener un ganado, entre otros, y así eliminando la fuente económica principal de esta región.

Al hablar de sistemas de succión podemos comparar con los métodos de bombeo de agua, se sobreentiende que, si no tenemos un foco principal de agua como la de un río, antiguamente se realizaba pozos de explotación de las aguas subterráneas las cuales se perforaban a mano con pico y pala.

Hoy en día, a partir del siglo XX, con el desarrollo tecnológico nos permiten extraer agua subterránea de profundidades considerables, así como también, succionar agua de focos principales como ríos o lagunas.

1.5.1 Ensayo de bombeo

Después de haber realizado una obra de la captación de aguas y este haya encontrado el acuífero, es justamente necesario comprobar si el caudal que necesitamos obtener es suficiente para satisfacer las necesidades específicas en el estudio previo, de manera que con el transcurso del tiempo se mantenga de una manera constante.

La realización del ensayo de bombeo sigue una metodología de trabajo, que va de la mano con la toma de datos, para una interpretación técnica calificada, así como de un buen conocimiento de las características geológicas e hidrológicas de la zona. Existen

varios métodos para la ejecución, pero la más simple consiste en bombear agua de un pozo, a un caudal, primeramente, de una manera constante y después variablemente, tomando mediciones simultáneamente a la variación del nivel del agua en el pozo, si es un río o laguna, es de muy poca efectividad realizar la medición del nivel de agua. [12]

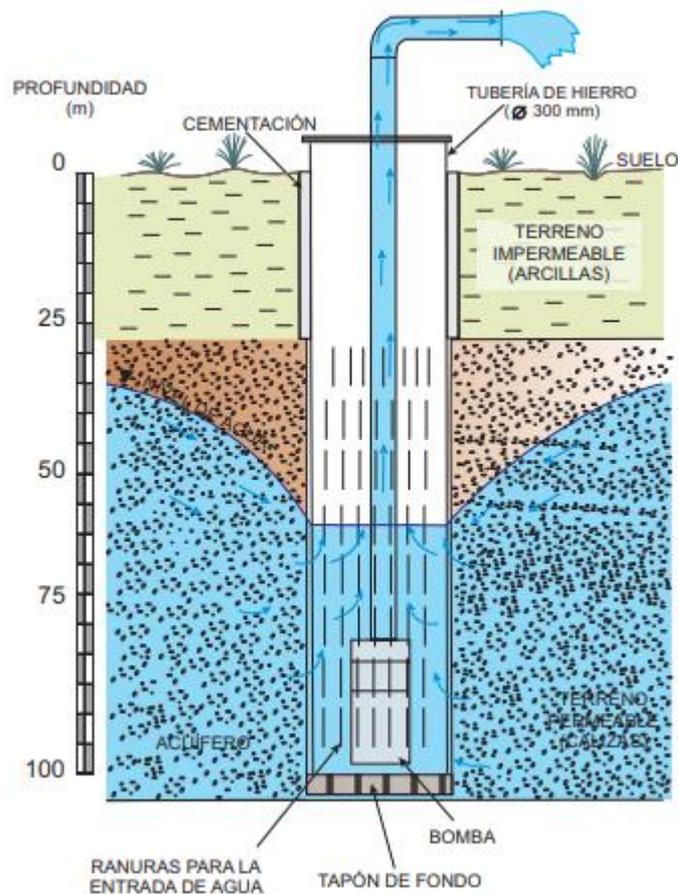


Figura 15. Esquema de un pozo entubado. [12]

Siempre el sistema de succión dependerá de la calidad de la construcción del pozo y del equipo utilizado (Figura 15). Por parte de esto, da lugar a importantes variaciones en el caudal que se puede obtener en el ensayo de la bomba. Si la obra es de pésima calidad, se puede tener un pozo perforado sobre un buen asentamiento acuífero, pero de resultado negativo durante el ensayo. [12]

Después de obtener todos los resultados durante el ensayo, se puede calcular el caudal de extracción y el lugar más adecuado para la colocación de la bomba.

A partir de esta información se puede obtener de dos maneras diferentes el agua, ya que en la comunidad de Tunshi tenemos las dos opciones, las cuales son:

- Extracción por medio de pozos.
- Extracción de agua por medio del río.

Mediante las varias visitas a la comunidad de Tunshi, se proyecta realizar la extracción o succión de agua por parte medio del río, ya que hay una mayor cantidad de agua constante y tiene un menor costo de realización.

1.6 Sistemas de filtración

El agua es la fuente principal de vida para el ser humano, así como también para el resto de los seres vivos en nuestro planeta. Existen diferentes fuentes que abastecen a la población en general, como podemos encontrarlas de lluvias, de aguas superficiales o de aguas subterráneas. Por lo general el agua que se trata para consumo humano, animal, entre otros es de origen superficial. [13]

1.6.1 Funcionalidad

Los filtros en general tienen la capacidad de evitar el paso o filtrar contaminantes que existen dentro del agua, como: metales pesados, exceso de sales, sustancias tóxicas entre otras. Lo que se obtiene como resultado final, es la obtención de agua con una gran calidad para el respectivo uso cotidiano.

1.6.2 Tipos de filtros

Por lo general se acostumbra a denominar filtros de agua a todo aquellos equipos y sistemas que hacen que el agua sea consumible, lo cierto es que existen dos clases de filtros de agua y el otro en purificadores o sistemas de purificación. Por lo que se muestra los principales tipos de filtros:

- Filtro de ósmosis inversa.
- Filtro de carbón activado.
- Filtros cerámicos.
- Sistemas de destilación.

El carbón activado produce una porosidad artificial capaz de atraer y atrapar las moléculas de aguas adecuadas, evitando consumirlas. Por lo general este tipo de filtro son complementarios para mejorar el sistema de filtración.

El carbón activado es el purificante más usado por el ser humano por su efectividad, ya que es un carbón poroso que atrapa compuestos orgánicos principalmente, presentes en un gas o líquido.

CAPÍTULO II

PROCESO DE SELECCIÓN

Para escoger cualquier tipo de bomba centrífuga primero se va a empezar con el proceso de selección para poder saber qué características se necesita para los diferentes aspectos en los que va a funcionar la bomba, como la bomba va dirigida al sistema de succión de agua, para un mejor riego o uso del mismo en la Comunidad de Tunshi en la provincia de Chimborazo, se reconoce en qué lugar va a estar localizada para una mejor instalación de la bomba para un óptimo funcionamiento del sistema.

2.1 Proceso de selección de bomba centrífuga

La selección de la bomba correcta depende principalmente de la aplicación con la que se va a trabajar. Se debe conocer el escenario o condición en la que trabajara la bomba, para a continuación poder buscar un proveedor que pueda satisfacer la demanda a la que se exige. Para completar el diseño hidrodinámico de una bomba centrífuga no se conoce una teoría específica que nos ayuda de una manera sencilla o fácil.

Para definir la capacidad y presión se necesita en el sistema esté construido con un gráfico llamado curva de sistema. Esta la proporciona el proveedor de la bomba e intentará acoplarla con una curva de una bomba que cumpla las necesidades tanto como sea posible. [14]

Al momento de seleccionar una bomba centrífuga se debe conocer varios aspectos importantes como son:

- Caudal
- Altura manométrica a vencer por la bomba o pérdida de presión del sistema.
- Valor del $NPSH_D$.

Para seleccionar una bomba se puede seguir el siguiente diagrama de flujo:

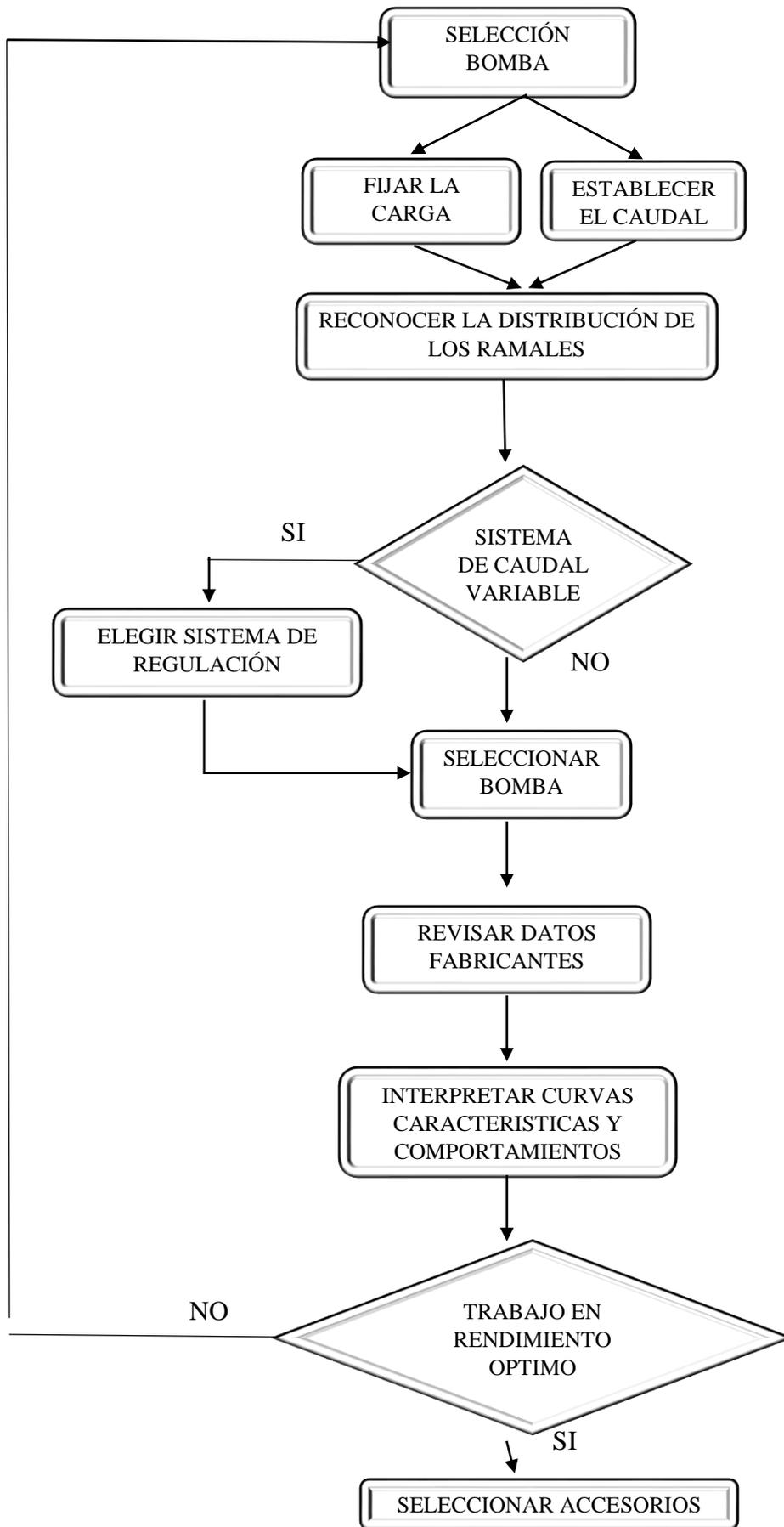


Figura 16. Flujograma proceso de selección de bomba centrífuga. Elaborado por Domínguez Diego.

Se tiene que decidir la capacidad de caudal que necesita el sistema, para la Comunidad de Tunshi la capacidad volumétrica necesaria es de 8000 [m³/día] por lo que generalizando se llega a una capacidad de 333.33 [m³/h] pero tenemos que hacer la capacidad llegue a un máximo de 350 [m³/h] para un uso más eficiente de la bomba centrífuga. Se tiene que considerar si esta capacidad variará el trabajo durante el proceso.

Para cumplir con un vapor cambiante de una bomba se necesita una presión constante con capacidades variables. Al modificar la capacidad de la bomba centrífuga cambiará también la presión. Pero una bomba de desplazamiento positivo es diferente, se obtiene una capacidad constante independientemente de la presión.

Se calcula la presión para poder transmitir a diferentes capacidades a donde se necesite.

- Superará las resistencias de fricción en accesorios, tuberías, válvulas, entre otros, que puedan estar en el sistema.
- Alcanzar la altura máxima estática que el fluido necesite llegar.
- La altura de presión si es necesario alcanzar la presión del objeto donde se descargará.

2.1.1 Cálculos de presión

La presión en la succión como en la descargar son fundamentales para realizar el cálculo de una bomba centrífuga. Para satisfacer con la altura total que produce la bomba para cumplir con el rendimiento adecuado del sistema se debe sustraer la altura de succión de la altura de descarga. Para comprender los cálculos se maneja las curvas del sistema como se muestra un ejemplo en la Figura 16.

Existen una variedad de elementos que cambian la altura de la bomba durante su operación. Los datos que se obtienen se trazan sobre una serie de coordenadas en la nombrada curva del sistema. La bomba no va a operar en un punto único se calcula el rango en las varias capacidades y alturas a la que se espera encontrar la bomba. [15]

Al realizar cálculos no se previene que la tubería por lo general no es nueva, ni los diámetros internos son precisos, y gráficamente no se muestra corrosión y solidos

acumulados en tuberías, válvulas, entre otros. Esto demuestra que no es una ciencia exacta.

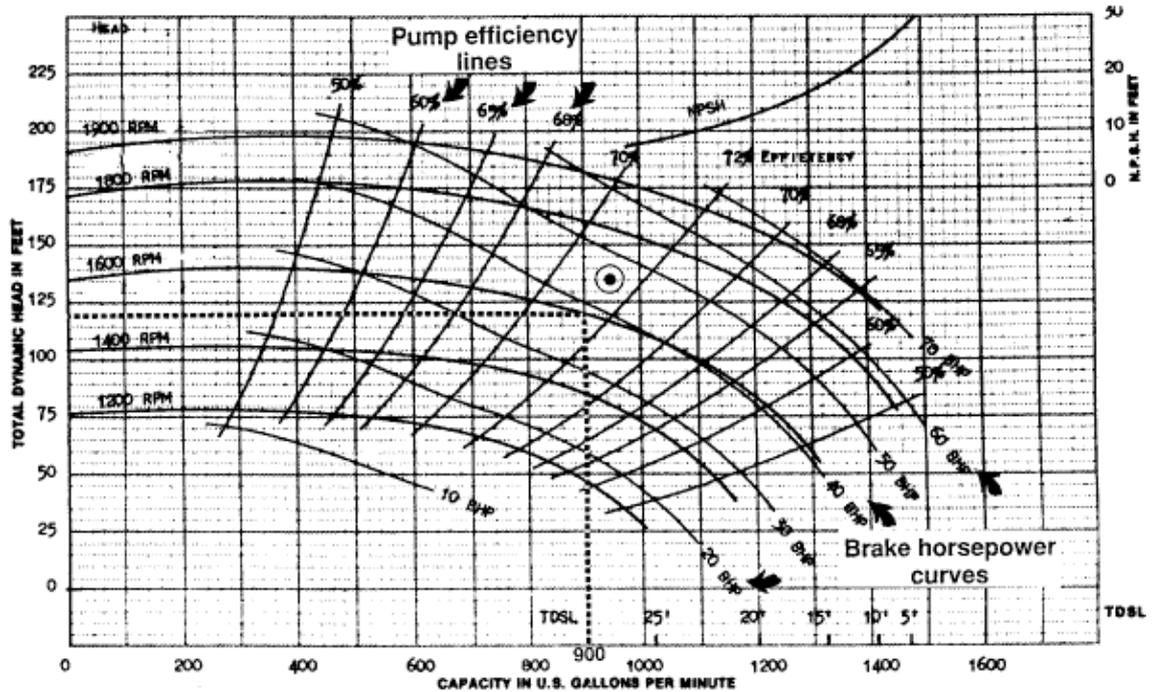


Figura 17. Curva del sistema. [15]

Por el comportamiento no conocido o que pueda suceder durante el trabajo del sistema se añade un factor de seguridad que pueda estabilizar el sistema. Los factores de seguridad originan un consumo superior al necesitado en las bombas, por lo que este cálculo es mucho más detallado. Estos cálculos son implementados por medio de un dibujo en la curva del sistema, la que representa el funcionamiento de la bomba en la aplicación a la que va a ser sometida.

2.1.2 Evaluación de bombas

El proveedor de una bomba tiene información exacta para poder escoger la bomba de tamaño correcta. Para poder seleccionar la bomba adecuada se tiene que seguir las siguientes recomendaciones:

- Se conoce que la bomba va a trabajar con 350 [m³/h], están son capacidades elevadas, se puede escoger un diseño de succión doble con un impulsor ancho, dos bombas en paralelo o una bomba de alta velocidad.

- La bomba realizará un trabajo de veinticuatro horas al día, siete días a la semana, se tiene que abrir y cerrar válvulas, y no se necesita de una bomba para trabajos pesados.
- Se debería usar una bomba centrífuga simple, esta elimina varios problemas de sellado que se puede experimentar. Como también por la altura que debe producir la bomba.
- El sistema no genera temperaturas superiores a los 100 °C, por lo que no existe problemas de expansión térmica.
- Se requiere una bomba centrífuga con carcasa circular ya que se necesita para una altura no tan elevada, pero para una capacidad alta.
- Existen bombas de diferentes normas como con la ANSI, API, DIN, VDMA o ISO, las cuales son actualmente normas con las que se trabaja. Mas adelante se escogerá la que represente más ventajas.

2.1.3 Selección de bombas

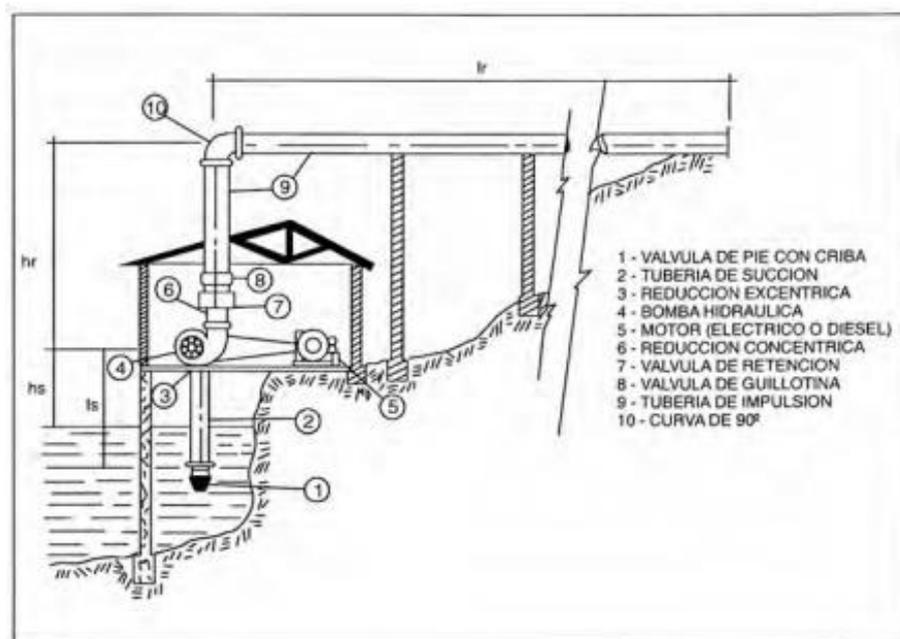


Figura 18. Esquema de una instalación de bombeo. [16]

De acuerdo al problema planteado, se tiene que la bomba debe trabajar con un caudal de 8000 [m³/día] esto quiere decir que se va a trabajar de una manera constante, no obstante, para un mejor cálculo o manejo de unidades se requiere transformar de días a horas.

Por lo que se obtiene:

$$Q = 8000 \frac{m^3}{día} \quad (4)$$

Entonces:

$$Q = \frac{8000m^3}{día} * \frac{1día}{24horas}$$

$$Q = 333.33 \left[\frac{m^3}{hora} \right]$$

Se tiene definido la cantidad de caudal necesario para el que se va a trabajar. Para una mejor eficiencia ya que no los diámetros de la bomba son muy grandes se va a trabajar

con dos bombas en paralelo por lo tanto se tiene un caudal de $Q = 175 \left[\frac{m^3}{hora} \right]$.

2.2 Cálculo para un sistema de bombeo

Para realizar los cálculos referentes para la selección de una bomba centrífuga, se tiene en cuenta los datos que se trabajó, como dato principal el caudal, la altura geométrica, la altura de descarga, la altura de succión.

Como dato importante es recomendable realizar los cálculos para un sistema en paralelo, ya que para el caudal que se va a emplear no se tiene tuberías a disposición, entonces, se realizará un diseño de bombas en paralelo. Por lo tanto, el caudal se dividirá para dos bombas resultando un caudal $Q = 175$ [m³/h].

Lo primero que se plantea es el gráfico de diseño del sistema en un plano general (Figura 19).

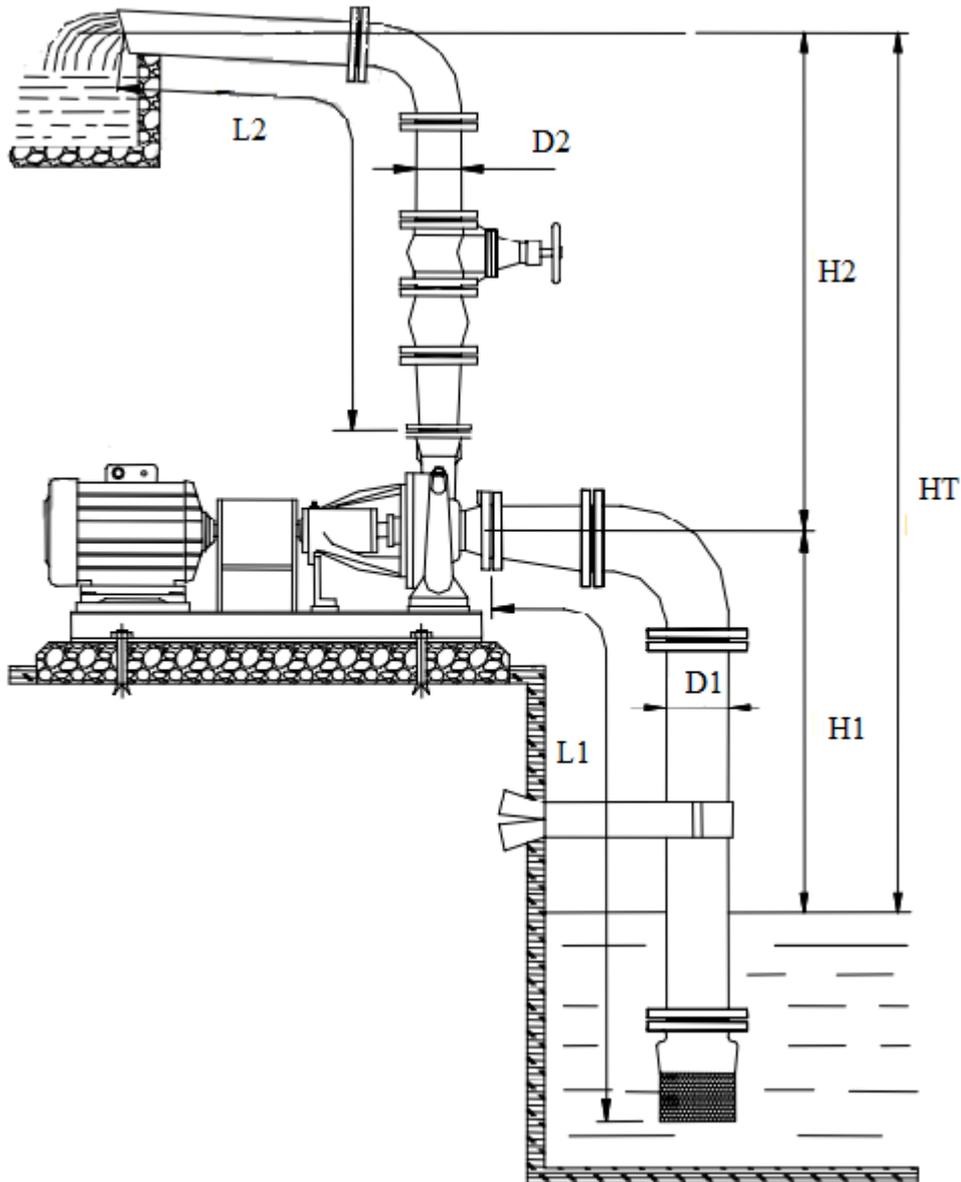


Figura 19. Diseño de una instalación de bombeo. Elaborado por Domínguez Diego.

Entonces se realiza los siguientes cálculos con $Q = 175 \text{ [m}^3 / \text{hr}]$

2.2.1 Tubería de descarga

Para trabajar con diámetros menores se necesita altas velocidades, así reduciendo los costos, pero elevando pérdidas de carga y por consecuencia existe un gasto elevado de energía.

Para el diseño de tuberías es muy importante la velocidad a la que debe llegar el fluido por el interior de la tubería. En caso de que la circulación isoterma del fluido sea

incomprensible la velocidad se determina por el diámetro de la sección interna de conducción y por medio del caudal, para evitar un deterioro del tratamiento mecánico inadecuado, cada fluido no debe sobrepasar un valor máximo. Los valores aproximados se expresan en la Tabla 1, estos van a depender del fluido que se trate.

Tabla 1 Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías. [17]

Fluido	Tipo de flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 - 30

Los valores en la tabla son los más comunes en la práctica, sin embargo, para tanques elevados cuando el flujo es por gravedad las más utilizadas son las velocidades bajas. [17]

Conocemos que la velocidad recomendada para agua está entre 0.5 y 2 [m/s], por lo que se tomara para el cálculo del diámetro de descarga $v=1.5$ [m/s].

Entonces tenemos:

$$Q = v * A \tag{5}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (6)$$

Donde v es la velocidad y A el área de la sección de la tubería. Despejamos las ecuaciones 5 y 6, así obteniendo la ecuación del diámetro de la tubería. Y se obtiene:

$$D_x = \left(\frac{4 \times Q}{v \times \pi} \right)^{0.5} \quad (7)$$

Entonces reemplazando los datos obtenidos en la ecuación 7, se obtiene el diámetro interno:

$$D_2 = \left(\frac{4 \times 175}{1.5 \times \pi} \right)^{0.5}$$

$$D_2 = 203.13 \text{ [mm]}$$

Se tiene que verificar en la tabla del distribuidor si existe este diámetro interior o aproximar a un diámetro comercial, como se ve en la Figura 21, se conoce que el diámetro exterior es de 219 [mm] por lo que tenemos que restar el espesor de 5.3 [mm] teniendo como resultado 213.7 [mm] de diámetro interior. Se observa y se tiene tuberías de acero al carbono con 8 [in] con una presión de 5 [bar].

2.2.2 Tubería de succión

Se maneja de una manera similar, ya que necesitamos asumir una velocidad, diferentes autores nos recomiendan utilizar una velocidad entre 0.5 a 1 [m/s], para el sistema se usará una velocidad de 0.5 [m/s]. La cual es una velocidad usual para dimensionar tuberías de succión.

Se conoce los datos ya previamente dichos y se reemplaza en la ecuación 7, por lo tanto, se tiene que:

$$D_1 = \left(\frac{4 \times 175}{0.5 \times \pi} \right)^{0.5}$$

$$D_1 = 351.79 \text{ [mm]}$$

La tubería de succión debe tener un diámetro mayor que al diámetro de descarga, lo que se refleja en los datos obtenidos. Se refleja con una tubería de 10 [pulg].

Para la selección de la tubería de succión y descarga se considera la siguiente Tabla:

Diámetro Nominal NPS		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA			
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m	Grado A		Grado B	
										psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2
8	200	8.625	219,1	0.188	4.78	-	-	16.94	25.26	780	55	920	65
				0.203	5.16	-	-	18.26	27.22	850	60	1000	70
				0.219	5.56	-	-	19.66	29.28	910	64	1070	75
				0.250	6.35	-	20	22.36	33.31	1040	73	1220	86
				0.277	7.04	-	30	24.70	36.81	1160	82	1350	95
				0.312	7.92	-	-	27.70	41.24	1300	91	1520	107
				0.322	8.18	STD	40	28.55	42.55	1340	94	1570	110
				0.344	8.74	-	-	30.42	45.34	1440	101	1680	118
				0.375	9.52	-	-	33.04	49.20	1570	110	1830	129
				0.406	10.31	-	60	35.64	53.08	1700	120	2000	141
				0.438	11.13	-	-	38.30	57.08	1830	129	2130	150
				0.500	12.70	XS	80	43.39	64.64	2090	147	2430	171
				0.594	15.09	-	100	50.95	75.92	2500	176	2800	197
				0.719	18.26	-	120	60.71	90.44	2800	197	2800	197
				0.812	20.62	-	140	67.76	100.92	2800	197	2800	197
				0.875	22.22	XXS	-	72.42	107.88	2800	197	2800	197
0.906	23.01	-	160	74.69	111.27	2800	197	2800	197				
10	250	10.750	273,0	0.188	4.78	-	-	21.21	31.62	630	44	730	51
				0.203	5.16	-	-	22.87	34.08	680	48	800	56
				0.219	5.56	-	-	24.63	36.67	730	51	860	60
				0.250	6.35	-	20	28.04	41.75	840	59	980	69
				0.279	7.09	-	-	31.20	46.49	930	65	1090	77
				0.307	7.80	-	30	34.24	51.01	1030	72	1200	84
				0.344	8.74	-	-	38.23	56.96	1150	81	1340	94
				0.365	9.27	STD	40	40.48	60.29	1220	86	1430	101
				0.438	11.13	-	-	48.19	71.87	1470	103	1710	120
				0.500	12.70	XS	60	54.71	81.52	1670	117	1950	137
				0.594	15.09	-	80	64.43	95.97	1990	140	2320	163
				0.719	18.26	-	100	77.03	114.70	2410	169	2800	197
				0.844	21.44	-	120	89.29	133.00	2800	197	2800	197
				1.000	25.40	XXS	140	104.13	155.09	2800	197	2800	197
				1.125	28.57	-	160	115.65	172.21	2800	197	2800	197

Figura 20. Tabla de distribuidor Grupo Vemacero, C.A. [18]

En la Figura 20 se encuentra lo que es tuberías al carbono, estas tuberías al carbono son perfectas para el trabajo con agua. Los tubos de acero con costura son utilizados transportar fluidos y líquidos como agua, vapor y gas. En cualquier tipo de condiciones, ya que tiene innumerables propiedades que le hace ideal para diversas aplicaciones. En comparación con el PVC son mucho más resistentes y menos costosa que el acero inoxidable. Y fundamentalmente poseen una alta resistencia a la presión. [19]

2.2.3 Carga dinámica total de la bomba

Se usa la ecuación de fluidos incomprensibles de Bernoulli.

$$\Delta H = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 - \frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + \text{pérdidas} \quad (8)$$

Se considera que las presiones son cero, ya que son iguales a la presión atmosférica. Las velocidades igualmente serán cero ya que consideramos que estará tranquila.

Entonces la altura de la bomba será la sumatoria de la altura geodésica más la altura de pérdidas de tuberías. Como ya se conoce la altura geodésica que equivale a $H_G = 50$ [m].

Se conoce que la pérdida total de la bomba se generaliza de la siguiente ecuación:

$$H_{BOMBA} = H_{GEODESICA} + H_{PERDIDAS_EN_TUBERIAS} \quad (9)$$

Se entiende que la altura en pérdidas de tuberías son las pérdidas primarias y secundarias. Para el bombeo de líquidos incomprensibles se maneja la ecuación de Darcy para pérdidas primarias y para pérdidas secundarias es la sumatoria de todos los accesorios como son las válvulas, codos, entre otros.

2.2.3.1 Cálculo de pérdidas primarias

Se requiere calcular el coeficiente de fricción, representado con la letra f , de la siguiente ecuación:

$$f = \lambda \left(\frac{Re}{\varepsilon / D} \right) \quad (10)$$

Lo que se necesita encontrar es el número de Reynolds y el cociente de la división de la rugosidad absoluta del material entre el diámetro y la oblicuan. El número de Reynolds viene representado en la siguiente ecuación:

$$Re = \rho \frac{v * D_H}{\mu} \quad (11)$$

Donde:

$\rho = 992$ [kg/m³]. Densidad del agua a 20 °C.

$v = 1.5$ [m/s]. Velocidad

$D_H = 203$ [mm] = 0.203 [m]. Diámetro de la tubería.

$\mu = 1008 \times 10^{-6}$ [kg/m-s]. Viscosidad dinámica a 20 °C.

Por lo que reemplazando los valores en la ecuación 11, se obtiene:

$$Re = 992 \frac{1.5 * 0.203}{1008 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 299666$$

Con el número de Reynolds se conoce que el fluido se encuentra en Flujo Turbulento.

Ya que es $Re > 10000$. [10]

Para obtener el coeficiente de rugosidad del material se ingresa de la Tabla 2. Como se conoce el material es de acero al carbono por lo que se maneja la opción de “tubos estirados de acero”.

Tabla 2 Rugosidad absoluta de materiales

Material	ε [mm]	Material	ε [mm]
Plástico (PE, PVC)	0.0015	Fundición asfaltada	0.06-0.18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0.01	Fundición	0.12-0.60
Tubos estirados de acero	0.0024	Acero comercial y soldado	0.03-0.09
Tubos de latón o cobre	0.0015	Hierro forjado	0.06-0.24
Fundición revestida de cemento	0.0024	Hierro galvanizado	0.03-0.09
Fundición con revestimiento bituminoso	0.0024	Madera	0.18-0.90
Fundición centrifugada	0.003	Hormigón	0.3-3.0

Elaborado por: Diego Domínguez

Con el coeficiente de rugosidad absoluta del material $\varepsilon = 0.0024$ [mm], se divide para el diámetro hidráulico. Se obtiene el siguiente valor:

$$\frac{\varepsilon}{Dh} = \frac{0.0024}{203} = 1.1822 \times 10^{-6}$$

Se puede calcular dos métodos el coeficiente de fricción, por medio del diagrama de Moody y por la ecuación general, la cual expresa de una manera más exacta el coeficiente de fricción. Se expresa de la siguiente manera:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left[\frac{1}{3.7 * D / \varepsilon} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right] \right)^2} \quad (12)$$

Por lo que reemplazando los valores se obtiene:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left[\frac{1}{3.7 * 135321.6596} + \frac{5.74}{299666^{0.9}} \right] \right)^2} \quad f = \frac{0.25}{17.2841} = 0.01446$$

Se tiene el valor de $f = 0.01446$. Para comprobar se realiza por el método de diagrama de Moody, que se ingresa con los valores ya encontrados con anterioridad.

Moody Diagram

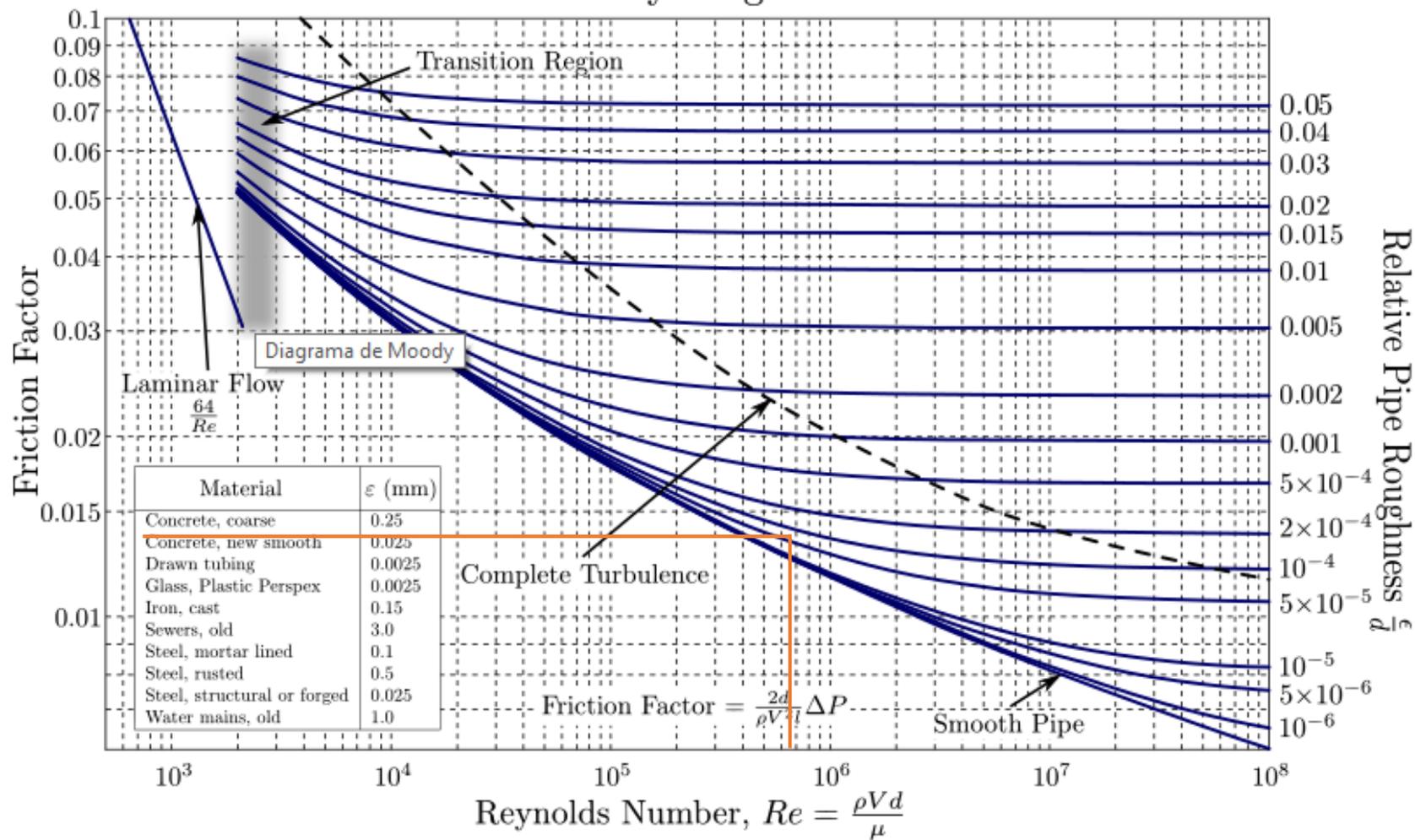


Figura 21. Diagrama de Moody. [10]

Se concluye que el valor de $f =$ es de 0.014.

Ya obtenido los datos calculados para encontrar las pérdidas primarias, se tiene en cuenta que $L_1 = 3$ [m] y $L_2 = 45$ [m]; por lo que se encuentra una longitud total de $L = 48$ [m].

Para el cálculo de las perdidas primarias se tiene que:

$$H_f = \frac{f * L * v^2}{2 * g * D} \quad (13)$$

$$H_f = \frac{0.01446 * 48 * 1.5^2}{2 * 9.8 * 0.203}$$

$$H_f = 0.3925 \text{ [m]}$$

2.2.3.2 Cálculo de pérdidas secundarias

Para el cálculo secundario se necesita conocer sobre los accesorios que se va a usar en el sistema de bombeo, por lo que se expresa en la siguiente Tabla.

Tabla 3 Accesorios del sistema de bombeo. [10]

Accesorio	Cantidad	k	Total
Codo 90 °	3	0.75	2.25
Tobera reducción	de 1	0.2	0.2
Tobera ampliación	de 1	2.5	2.5

Según la Tabla 3, se trabaja con un valor total de $k = 6.7$; por lo que se reemplaza en la Ecuación:

$$h_f = \sum k \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (14)$$

$$h_f = 4.95 * \left(\frac{1.5^2}{2 * 9.8} \right)$$

$$h_f = 0.568[m]$$

Entonces la pérdida en la tubería es la suma de las dos pérdidas primarias y secundarias, por lo que:

$$H = H_f + h_f \quad (15)$$

$$H = 0.393 + 0.568$$

$$H = 0.96 [m]$$

Es una pérdida bastante ínfima, ya que la tubería es de acero tiene una rugosidad bastante baja o bastante liso. También ya que se considera una velocidad prudente tanto para la descarga y la succión, esta velocidad se considera también para que se facilite el cálculo a un diámetro económico. Ya que las pérdidas están directamente en función de la velocidad, si la velocidad es mayor las pérdidas también tienden a ser elevadas.

Para el cálculo de pérdidas de la bomba se reemplaza en la ecuación 9, y obtenemos:

$$H_{BOMBA} = 50 + 0.961$$

$$H_{BOMBA} = 50.961 [m]$$

2.2.4 Potencia de la bomba

La potencia de la bomba es un dato muy importante para la selección de esta, y se expresa de la siguiente manera:

$$P = \frac{H_B * \rho * g * Q}{\eta}$$

(16)

Al ser una bomba nueva, se maneja con una eficiencia del 70 a 80 %.

Reemplazando los valores en la ecuación 16:

$$P = \frac{50.961 * 992 * 9.8 * 0.0486}{0.7}$$

$$P = 34396 [W] \approx 34.39 [kW]$$

La bomba va a ser accionada por un motor eléctrico, y esta potencia esta expresada de la siguiente forma:

$$P_m = \frac{P_B}{\eta_m} \quad (17)$$

La eficiencia de transmisión mecánica por lo general tiene un valor del 90 %, ya que la bomba es nueva. Reemplazando los valores en la ecuación 17 se obtiene:

$$P_m = \frac{34.39}{0.9} = 38.21 [kW]$$

Entonces el motor va a funcionar con una potencia de 40 kW para un motor estándar, es decir que el motor va a tener una medida de 54 HP.

2.2.5 Determinar el npsH del sistema

El NPSH determina si la bomba funciona adecuadamente con la tubería de succión o va a estar cavitando, el NPSH disponible de la bomba debe ser siempre mayor al NPSH requerido, el NPSH requerido nos dará el fabricante de la bomba.

El NPSH disponible se representa de la siguiente manera:

$$NPSH_D = \frac{0.7(P_s - P_v)}{G.E.} - z - h \quad (18)$$

Se conoce los valores siguientes:

$P_s = 14.7$ [PSI] presión atmosférica o presión de superficie.

$P_v = 0.2563$ [PSI] presión de vapor del agua, se encuentra a una $T = 15.5$ ° C, a temperatura ambiente.

G.E. = 1 gravedad específico del agua.

$z = 0.5$ [m] altura de succión.

$h = H_f + h_f$ pérdidas primaria y secundarias.

Para el cálculo del NPSH se usa la velocidad de succión de $v = 0.5$ [m/s], para esto se usará las ecuaciones 13 y 14, para el cálculo de las pérdidas primarias y secundarias respectivamente.

- Pérdida primaria

$$H_f = \frac{0.01446 * 48 * 0.5^2}{2 * 9.8 * 0.203}$$

$$H_f = 0.0436 \text{ [m]}$$

- Pérdida secundaria

$$h_f = (0.75 + 2.5) \left(\frac{0.5^2}{2 * 9.8} \right)$$

$$h_f = 0.0414 \text{ [m]}$$

Entonces, tenemos que $h = 0.085$ [m], por lo que, teniendo todos los valores correspondientes, reemplazamos en la ecuación 18.

$$NPSH_D = \frac{0.7(14.7 - 0.2563)}{1} - 0.5 - 0.085$$

$$NPSH_D = 9.52 \text{ [m]}$$

El $NPSH_D$ calculado debe ser mayor al $NPSH_R$ (fabricante), si es menor se necesita variar la longitud de succión, se debería minorar o aumentar el diámetro de la tubería.

2.3 Selección de una bomba centrífuga

Teniendo los datos de caudal y altura manométrica de la bomba, estos datos son primordiales para poder seleccionar una bomba. Adicionalmente tenemos la potencia del motor y el NPSH_D.

$$Q = 175 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

$$H_B = 51.62 \text{ [m]}$$

Con los datos obtenidos se dirige a la Figura 22 de curvas del proveedor de bombas.

En la Tabla 4 se encuentra los resultados más relevantes obtenidos por medio de los cálculos realizados.

Tabla 4 Resultado de cálculos obtenidos

Caudal [m ³ /hora]	Tubería de descarga		Tubería de succión		Perdida primaria Hf [m]	Perdida secundaria hf [m]	H bomba [m]
	Diámetro interno [in]	Presión [bar]	Velocidad [m/s]	Diámetro [in]			
175	8	5	0,5	10	0,3925	0,5687	50,961
Potencia bomba [kW]	Presión atmosférica [psi]	Presión vapor agua [psi]	Temperatura [° C]	Hf [m]	hf [m]	NPSH _D [m]	Eficiencia [%]
34,39	14,7	0,2563	15,5	0,0436	0,0414	9,52	87.42

Elaborado por: Diego Domínguez

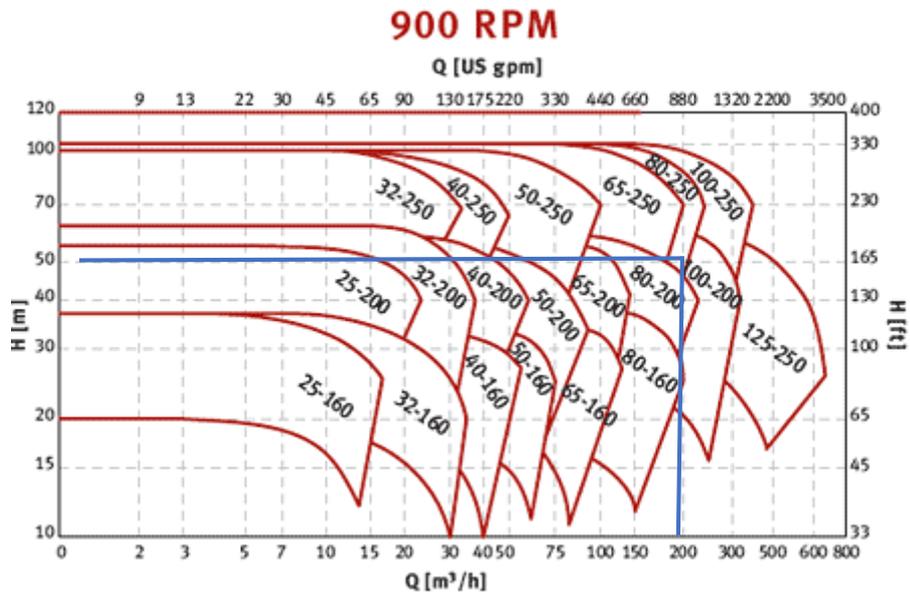


Figura 22 Curvas de performance. [20]

Entonces se encuentra una bomba de un tamaño 65-250, con el cual nos dirigimos a la Figura 8 para hacer la selección adecuado.

TAMAÑO	DIMENSIONES DE LAS BRIDAS		DIMENSIONES DE LA BOMBA					DIMENSIONES DE LAS PATAS					DIMENSIONES DEL EJE				
	Succión	Descarga	a	f	h ₁	h ₂	X*	m ₁	m ₂	n ₁	n ₂	s	d	u	v	l	q**
25-160	1"	1"	65	285	112	160	40	100	70	220	180	12	22	6	32	48	24
25-200	1 1/2"	1"	80	360	160	180	50	100	70	240	190	12	24	8	40	50	30
32-160	2"	1 1/2"	80	360	132	160	50	100	70	240	190	14	24	8	40	50	30
32-200					160	180											
32-250	2 1/2"	1 1/2"	80	360	180	225	50	100	70	240	190	14	24	8	40	50	30
40-160					132	160											
40-200	2 1/2"	1 1/2"	100	360	160	180	50	100	70	265	212	14	24	8	40	50	30
40-250					180	225											
40-315	2 1/2"	2"	128	470	200	253	100	100	70	265	212	14	32	10	70	80	40
50-160					180	225											
50-200	2 1/2"	2"	100	360	160	200	50	100	70	265	212	14	24	8	40	50	30
50-250					180	225											
50-315	3"	2"	125	470	225	280	100	130	95	320	250	14	32	10	70	80	40
65-160					160	200											
65-200	3"	2 1/2"	100	360	180	225	50	125	95	320	250	14	24	8	40	50	30
65-250					200	250											
65-315	3"	2 1/2"	125	470	225	280	140	160	120	400	315	18	32	10	70	80	40
65-400					250	355											
80-160	4"	3"	125	360	180	225	50	125	95	320	250	14	24	8	40	50	30
80-200					250	315											
80-250	4"	3"	125	470	200	280	140	160	120	400	315	18	32	10	70	80	40
80-315					250	315											
80-400	5"	4"	140	530	280	355	140	200	150	500	400	22	42	12	60	110	50
100-200					200	280											
100-250	5"	4"	140	470	200	280	140	160	120	400	315	18	32	10	70	80	40
100-315					250	315											
100-400	6"	5"	140	530	280	355	140	200	150	500	400	22	42	12	60	110	50
125-250					200	280											
125-315	6"	5"	140	470	250	355	140	200	150	500	400	22	42	12	60	110	50
125-400					315	400											
150-315	8"	6"	160	530	280	400	140	200	150	550	450	22	42	12	60	110	50
150-400					315	450											

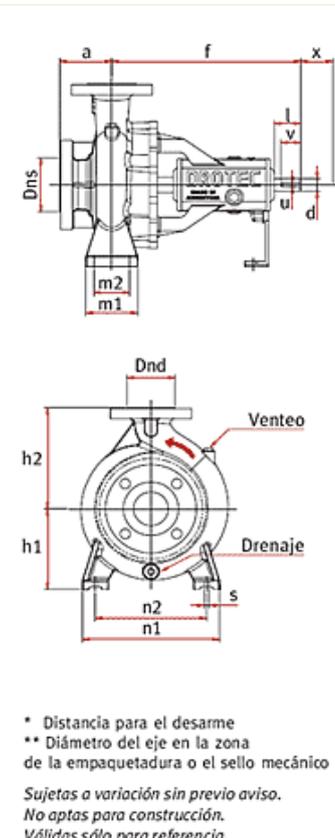


Figura 23. Tabla de dimensiones. [20]

En la Figura 23 se obtiene todos los datos pertinentes a las dimensiones de la bomba adecuada para el uso del sistema.

2.4 Alternativas de bombas y filtros

2.4.1 Bombas

Para poder llevar a cabo la selección de bombas, se tiene que tener en cuenta a los proveedores como son VOGT, FRANKLIN ELECTRIC, entre otros. Tomando en cuenta a estos dos como los principales distribuidores en el Ecuador. Para un posterior traslado a Tunshi en Chimborazo.

Se conoce que para la sección de la bomba se va a trabajar en paralelo para abarcar más efectividad ya que las bombas trabajaran con motores, por lo que mientras exista algún inconveniente en uno de los dos motores o se de mantenimiento al mismo, el otro seguirá trabajando de manera normal, así abasteciendo de manera constante de agua a la Comunidad.

Después de realizar los cálculos pertinentes, se obtuvo datos necesarios con los que se trabajara. Los siguientes datos son los más importantes para la selección de la bomba:

$$Q = 175 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

$$\text{NPSH}_D = 9.52 \text{ [m]}$$

$$H_G = 50 \text{ [m]}$$

Con estos datos, se procede a realizar la selección de la mejor bomba, comparando con los diferentes proveedores, considerando que se debe superar los valores obtenidos para un mejor rendimiento del sistema.

En VOGT se maneja la serie MD y MDE 50 Hz, ya que maneja el rango que se estableció anteriormente. [21]

GRUNDFOS tiene una alta variedad de equipos, se escoge la bomba DMX igualmente trabaja en un rango apropiado para la comparación del sistema. [22]

En Franklin Electric, se considera la bomba sumergible tipo sewage serie gp. Como característica principal es que remueve las aguas con desechos, maneja un sistema de trituradora. [23]

Se realizará una tabla comparando a estos tres proveedores para escoger la mejor bomba, para tener una mejor percepción del diseño a realizar.

Tabla 5 Comparación de características de proveedores de bombas

Proveedor	VOGT		FRANKLIN ELECTRIC		GRUNDFOS	
Bomba	Bomba Centrífuga serie MD-MDE		Bomba Centrífuga serie GP		Bomba Centrífuga serie DMX	
Características	Capacidad Q [m ³ /hora]	Altura manométrica [m]	Capacidad Q [m ³ /hora]	Altura manométrica [m]	Capacidad Q [m ³ /hora]	Altura manométrica [m]
Max	500	120	130	45	224	60
A usar	175	50	---	---	175	50
Min	40	10	0	0	0	0
NPSH _D	Dentro del rango		No cumple		Dentro del rango	

Elaborado por: Diego Domínguez

Después de analizar todos los datos de cada uno de los proveedores, se escoge tres características principales para comparar entre sí, que son capacidad, altura manométrica y NPSH_D. Después del respectivo análisis se concluye que la empresa VOGT y GRUNDFOS, manejan las bombas centrífugas de series MD-MDE y DMX respectivamente. Las cuales entran en el rango de funcionamiento que se va a diseñar. Pero por mayor factibilidad se usa las características de la bomba VOGT de serie MD-MDE, ya que esta bomba es apta para el manejo de líquidos viscosos con alto contenido de partículas y ligeramente abrasivas.

2.4.2 Filtros

Para un mejor manejo del sistema de filtración se trabaja con dos clases de filtración, en primer lugar, con tres mallas para eliminar partículas de dimensiones relativamente voluminosas, con la cual se evita piedras o basura del río entren a la tubería de succión.

Como se conoce en el sector rural ecuatoriano menos del 50% de la población tiene acceso al agua potable en estos sectores el agua empleada para el consumo humano generalmente proviene de lagos, de un río o de un ojo de agua. En el caso de la comunidad de Tunshi, el agua proviene del río Chambo, el agua de estas fuentes, aunque puede ser cristalinas no es de buena calidad porque puede contener bacterias y virus perjudiciales para la salud.

Para purificar el agua de fuentes naturales por lo general se utiliza cloro, pero este requiere medidas cuidadosas para su utilización.

Después del proceso de succión del agua se maneja el sistema de carbón activado para purificar o eliminar impurezas. Los contaminantes suelen ser de bajo peso molecular, típicamente presentes en aguas de pozo o de río, por lo que el carbón debe tener una alta microporosidad. En primer lugar, los carbones de concha de coca cumplen con esta condición y posteriormente lo minerales bituminosos. [24]

Este sistema de filtración permite obtener agua purificada empleando carbón activado con propiedades biosidas, es decir con la capacidad de eliminar cualquier microorganismo, la capacidad de absorber contaminantes de una solución es semejante a una esponja, es usado para tratamientos de aguas ya que permiten la remoción de olor y sabor. El carbón activado por sí solo no actúa como desinfectante, pero al impregnarlo con poli yoduros varios átomos de yodo enlazados este adquiere propiedades fuertemente biosidas, entonces, esta combinación es capaz de desinfectar el agua, aprovechando las propiedades de absorción que tiene el carbón y la acción desinfectante del yodo. [25]

Este proceso de carbón activado con biosida combina la filtración y desinfección en un solo paso. La ventaja del tratamiento de carbón activado es que no presenta químicos residuales como los trihalometanos, químicos cancerígenos que se producen cuando se adiciona cloro al agua, además, no necesita una dosificación periódica de un desinfectante ni tampoco un personal especializado que opere el proceso.

Los estudios en laboratorios muestran que con 1 kg de carbón activado biosida se pueden desinfectar 2000 litros de agua contaminada con una alta carga de microorganismos, después del tratamiento no se encuentra ningún microorganismo patógeno o no patógeno en el agua filtrada y al mismo tiempo se eliminan los coliformes microorganismos que producen graves enfermedades. [26]

Este proceso se lo realiza de una manera fácil y sencilla, en un barril, dentro del recipiente se coloca cuatro capas, la primera con rocas como soporte; la segunda capa con carbón activado que detiene cualquier residuo químico; la tercera con carbón activado biosida que desinfecta o elimina a los microorganismos presentes en el agua; y una cuarta capa de arena que retiene sólidos en suspensión y algunos microorganismos que gracias a una delgada película bacteriana que se forma en la parte superior donde el filtro entra en funcionamiento.

El costo del agua potable con biosida es ligeramente mayor a la que se logra con la adición del cloro, pero con el carbón activado biosida la desinfección se realiza en el momento que se necesita el agua y además no se requiere tuberías o grandes plantas donde se realice el tratamiento. Los filtros que emplean carbón activado biosida permiten obtener agua pura en cualquier momento y en cualquier lugar.

Los costos de producción de agua purificada por este método bajan significativamente al reutilizar el carbón activado.

Las aplicaciones para el carbón activado biosida son innumerables, estos filtros se pueden utilizar donde el agua que se consume viene de un lago, río, ojo de agua u otra fuente de agua cristalina, pero de cuestionable calidad respecto a bacterias, virus y protozoarios. Además, en plantas embotelladoras o de alimentos donde se requiere

agua microbiológicamente pura y sin residuos químicos como el cloro o trihalometanos.

El único inconveniente del carbón activado es el manejo de este, ya que no se regenera automáticamente, pasado un tiempo deja de filtrar correctamente. Pero hay que tener en cuenta que el uso del carbón activado siempre tendrá muchas más ventajas que desventajas, ya que mejora la calidad del agua en sabor, olor y calidad biológica. [27]

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUCCIÓN Y FILTRACIÓN

Para el proceso de diseño se tiene en cuenta el programa con el cual se va a trabajar, anteriormente se explicó que el software tiene como nombre SOLIDWORKS con el cual se trabaja todo el contexto de diseño de ambos sistemas, tanto como el sistema de succión y filtración.

Primero se realiza el diseño del sistema de succión, lo cual se maneja con el sistema de la bomba centrífuga, ya anteriormente calculada.

3.1 Sistema de succión

Para el diseño de succión se debe tomar en cuenta muchos aspectos importantes como son los parámetros que se trabaja para un funcionamiento correcto de la bomba. Teniendo en cuenta los diferentes puntos se inicia con el proceso de diseño en el software mencionado con anterioridad.

3.1.1 Diseño

Teniendo en cuenta que es una bomba seleccionada, la bomba centrífuga es un elemento estándar, lo cual se recoge los datos del Capítulo II en la Figura 22.

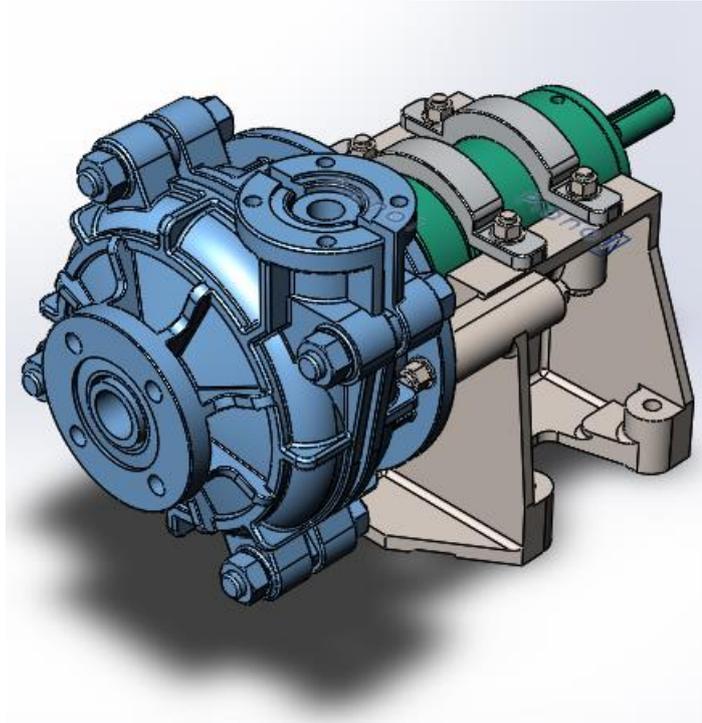


Figura 24. Diseño bomba centrífuga con dimensiones correspondientes.

Elaborado por: Diego Domínguez

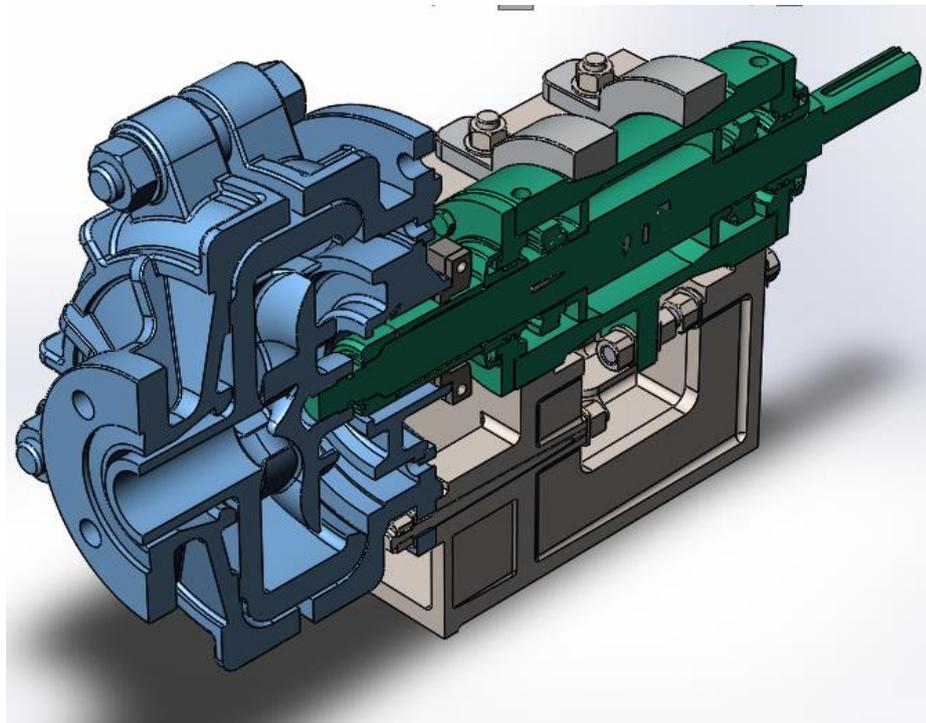


Figura 25. Diseño bomba centrífuga corte interno lateral.

Se debe tener en cuenta que se tiene un sistema de succión en paralelo por lo cual al momento de diseñar las respectivas tuberías será el costo elevado para un funcionamiento adecuado del sistema.

Para el diseño de las tuberías se considera la tubería de succión y la tubería de descarga, realiza con las medidas especificadas anteriormente para tener un mejor caudal y de esta manera cumplir con el caudal requerido (Tabla 4), para tener en consideración la tubería de succión será de 10 pulg. Al momento de realizar la tubería de succión se debe tomar en cuenta que se necesita una válvula de pie con canastilla para poder tener una mejor succión del agua.

3.1.1.1 Tubería de succión

Se realiza el diseño de la boca de succión primeramente ya que este tiene una reducción para que se acople en el canal de succión de la bomba. En la Figura 26 se muestra el acople para que pueda soportar una tubería de 10 plg de absorción de caudal.

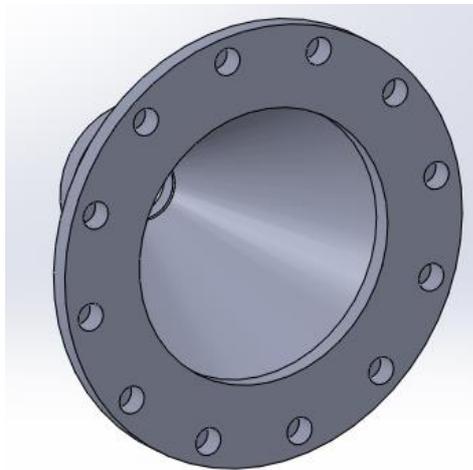


Figura 26. Diseño de tobera de reducción.

De tal manera se diseña la tubería de succión de 10 pulg como se muestra en la Figura 27, con su respectivo codo a 90 ° para una menor pérdida de energía. En la Figura 27 ya se muestra el acople de la tubería con su respectiva brida de soldadura, ya cargada en el programa.

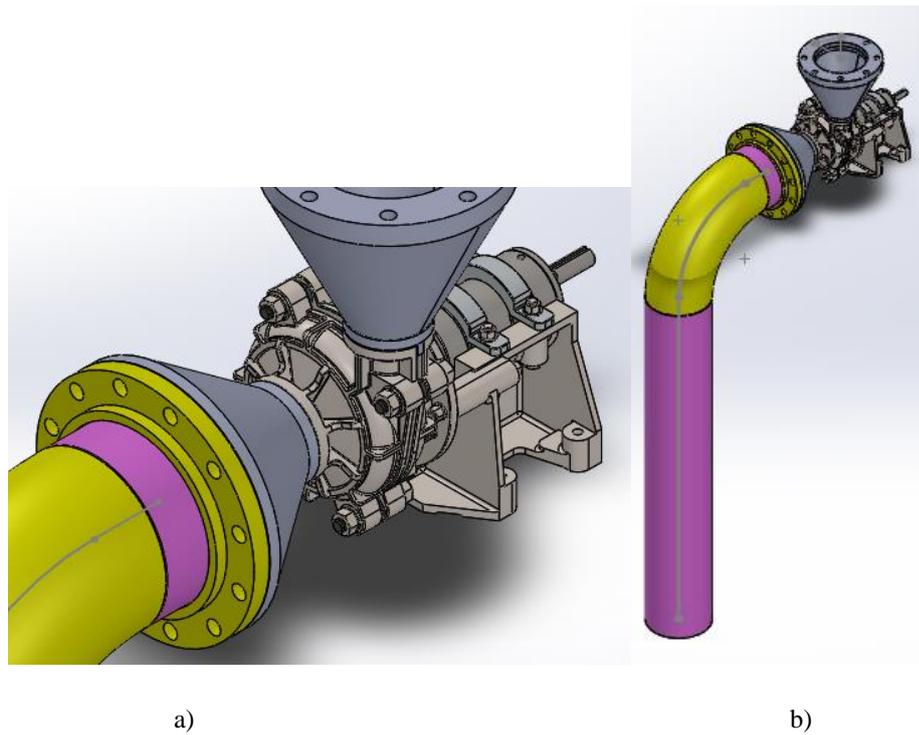


Figura 27. a) Brida de soldadura 10 plg; b) Diseño de tubería de succión.

3.1.1.2 Tubería de descarga

Se realiza el diseño de la boca de descarga cuya función será de realizar la ampliación del sistema de tubería al momento de descargar el fluido desde la bomba. Como se lo muestra en la Figura 28.

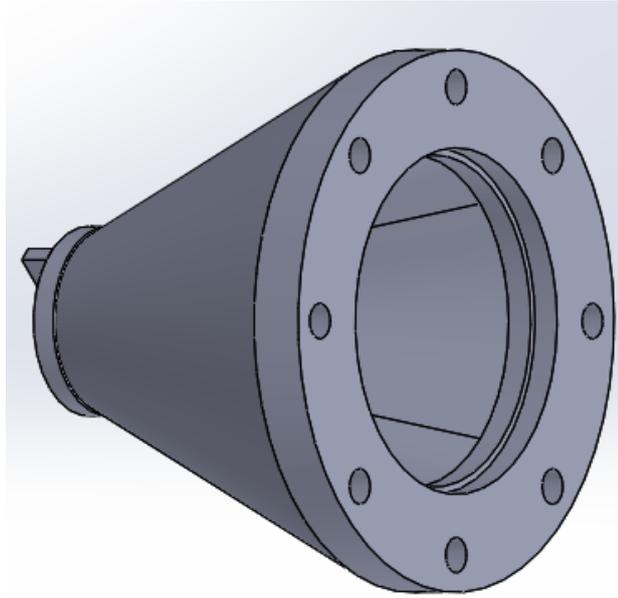


Figura 28. Diseño de tobera de ampliación. Elaborado por: Diego Domínguez

En el grupo de descarga se tiene de igual manera la brida de soldadura con una adaptación para la tubería de 8 pulg. Como se muestra en la Figura 30, se tiene la brida de soldadura y la tubería correspondiente.

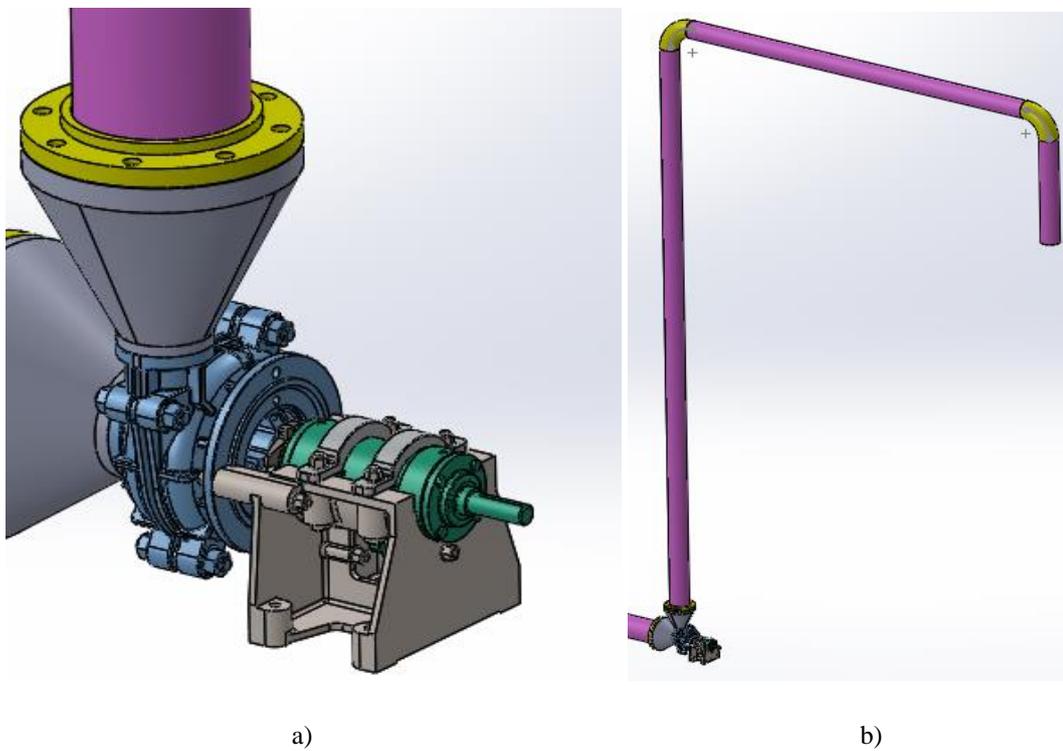


Figura 29. a) Brida de soldadura 8 plg; b) Diseño de tubería de descarga.

Se puede observar en la Figura 29 como está diseñada el sistema de succión y descarga en conjunto, lo que se define en la bomba centrífuga, la tubería de succión y la tubería de descarga. En la Figura 29 b).

Como se plantea desde un inicio el sistema en conjunto trabaja con dos bombas en paralelo, por lo que para obtener el caudal que se presenta se duplica las cantidades para obtener el proceso de una manera correcta. Entonces se obtiene dos bombas centrífugas, dos tuberías de 8 y 10 pulgadas, de igual manera las toberas para las dimensiones respectivas. De igual manera se trabaja con la misma disposición para el sistema de filtración ya que se realiza el diseño para dos tanques que maneja la filtración del carbón activado. Por lo que se obtiene una gran cantidad de agua predispuesta al uso humano, con una purificación estimada de 95 %.

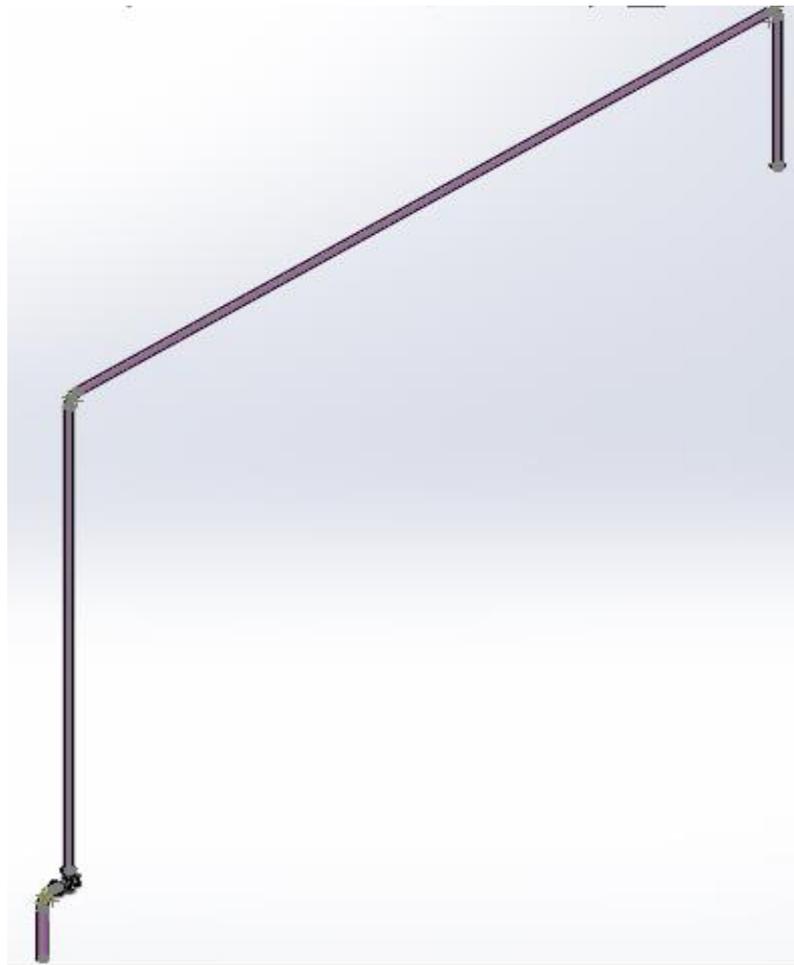


Figura 30. Sistema de succión.

Elaborado por: Diego Domínguez

En la Figura 30 se ilustra el sistema conociendo como es la posición de cada uno de los elementos.

3.2 Sistema de filtración

Para el diseño del sistema se debe tomar en cuenta el proceso de filtración que se seleccionó anteriormente, como muy bien conocemos el carbón activado es el mejor proceso que se pudo seleccionar. Para el diseño de este sistema será de forma cilíndrica. Se debe tener en consideración que 1 Kilo de carbón activado tendrá la capacidad de filtración de 2000 litros.

Por lo que tendremos un cilindro de una capacidad de almacenamiento de 2 sacos de carbón activado de 25kg cada uno.

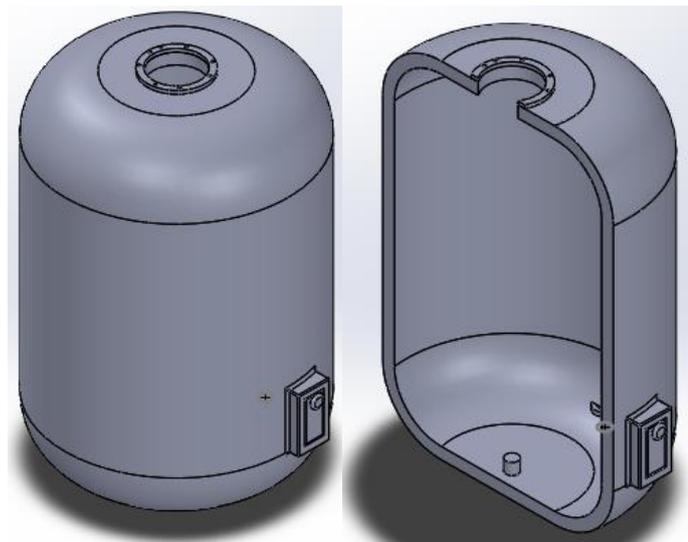


Figura 31. Sistema de filtración.

Elaborado por: Diego Domínguez

En el diseño del sistema se tiene una línea de desfogue que será la salida del agua purificada por medio de una salida de una tubería de 2 pulg. Para poder dar el servicio del agua purificada.

Para finalizar el diseño del sistema se muestra el ultimo diseño de todo el sistema. En la Figura 32 se demuestra lo anterior mencionado.

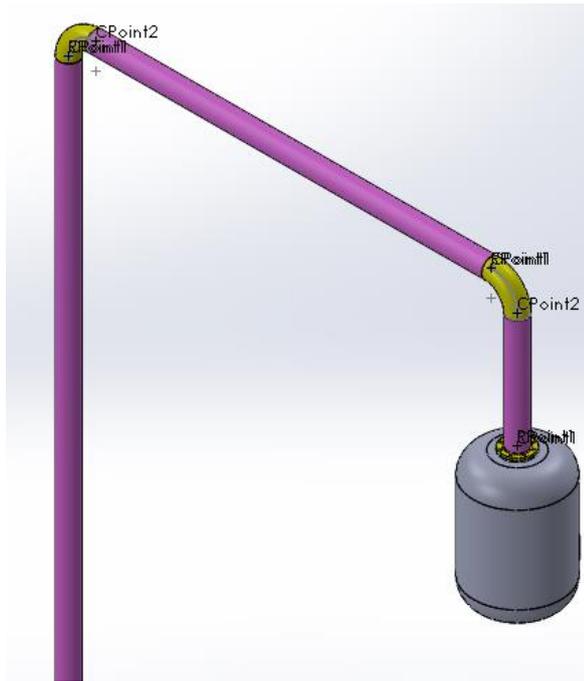


Figura 32. Diseño de ensamble del sistema filtración.
Elaborado por: Diego Domínguez

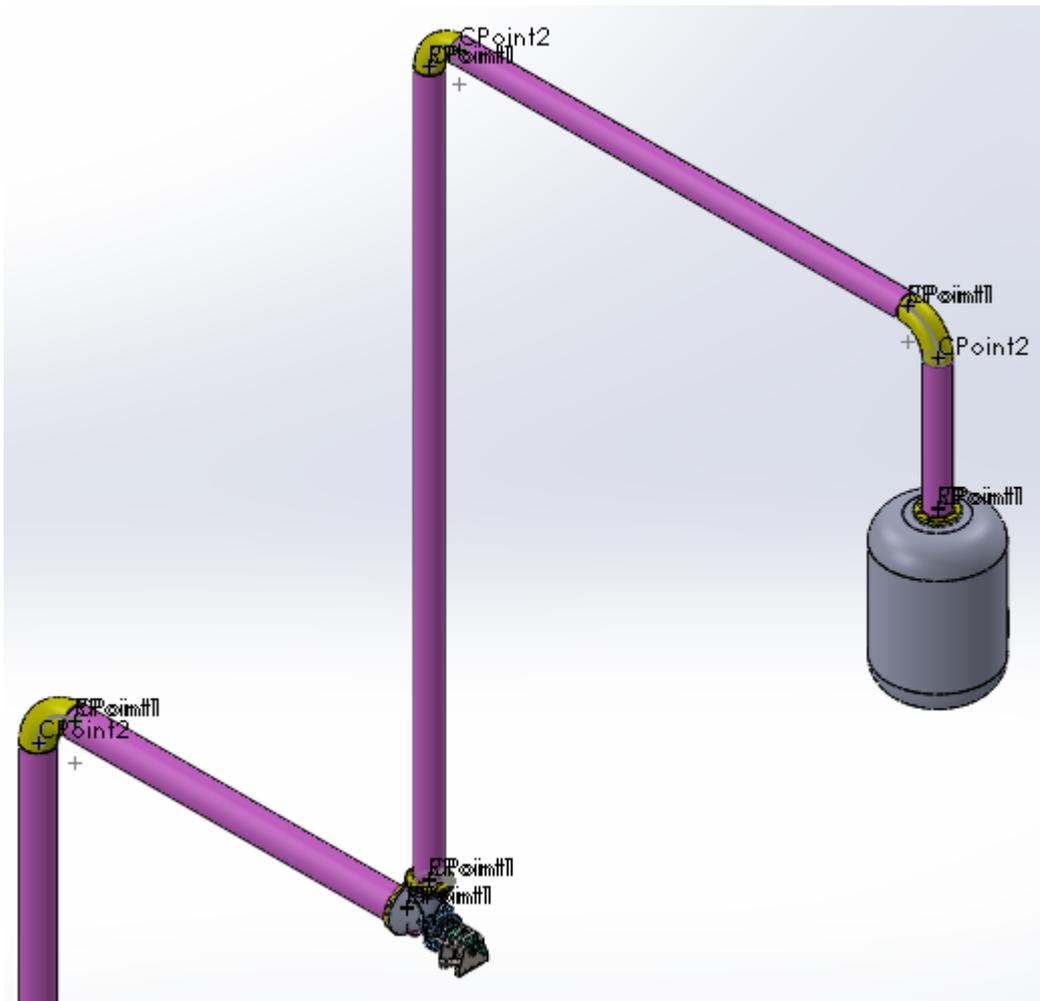


Figura 33. Diseño completo del sistema de succión y filtración.

Elaborado: Diego Domínguez

En la Figura 32 y 33, de igual manera que en la Figura 32, se maneja el diseño del sistema de una manera a escala para poder ver de una mejor manera el trabajo de diseño. Para empezar con la simulación el diseño se debe modificar a medidas específicas para poder obtener resultados reales y evitar presentar datos inexactos. Por lo que se cambia las cotas en el diseño y se representara como en la Figura 33. Que se muestra a continuación.

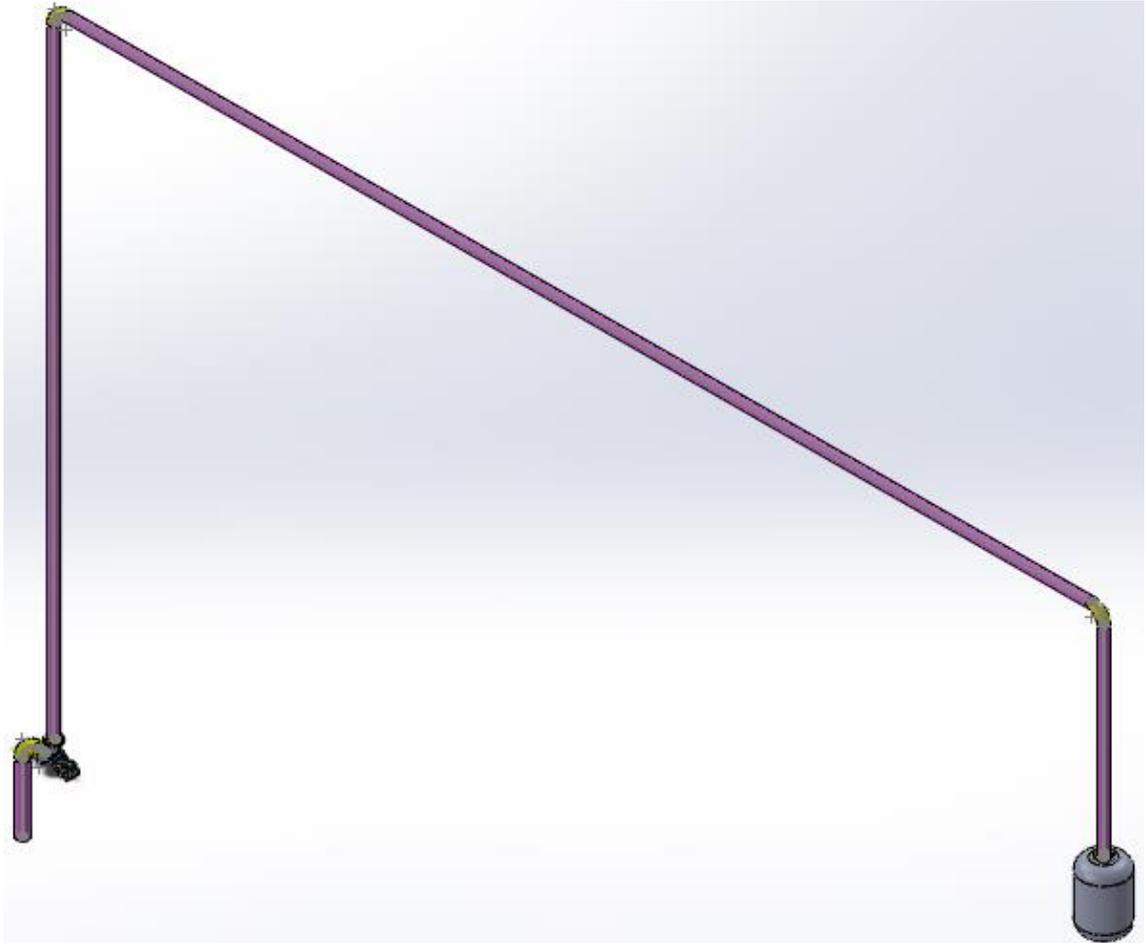


Figura 34. Diseño completo del sistema de succión y filtración.

Elaborado por: Diego Domínguez

En la figura 34 se observa cómo está realizado el diseño de todo el sistema en conjunto. Se debe tener en cuenta que todo el diseño debe estar realizado las relaciones específicas para que al momento de realizar la simulación no encontremos errores y evitar cualquier mal planteamiento que se realiza al diseñar.

3.3 Simulación del sistema

Se reconoce por medio de la simulación tanto como las pérdidas de energías, así también el rendimiento que se determina en el software. Con estos datos podremos determinar los puntos de falencia del sistema como también las virtudes o correcciones a realizar, para tener un sistema en el mejor estado posible. Para en un futuro poder construirlo y darle el mejor uso posible para el cual fue diseñado.

El siguiente flujograma expresa los pasos para poder desarrollar la simulación y obtener un análisis eficiente.



Elaborado por: Diego Domínguez

Para el desarrollo del sistema se inicia con la configuración del simulador, para que nos entregue los datos más reales posibles, se indica la configuración detallada del programa con el cual se realiza la simulación.

Para poder obtener resultados eficientes debemos ingresar los datos que se va a calcular en el ensamblaje del sistema en Solidworks, en el programa se detalla como WIZARD a los pasos que se detalla a continuación.

Al empezar con la configuración debemos dar un nombre al proyecto (Anexo 1); continuamente se procede a escoger las unidades con las que se trabaja para este diseño se escoge las unidades S.I. y de la misma manera los parámetros con los que se va a realizar la simulación (Anexo 2); al finalizar con el proceso de selección de parámetros, se escoge el tipo de análisis para poder verificar si es de manera externa o interna y verificar si las cavidades está completamente cerradas (Anexo 3); se procede

a escoger el fluido como en esta simulación se escoge como fluido agua, de la misma manera se escoge el tipo de fluido como en este caso es turbulento, se escoge fluido turbulento y la cavitación que procederá (Anexo 4); para culminar se ingresa los parámetros de iniciación del sistema como son presión, temperatura y velocidad de ingreso del fluido, especificando las coordenadas de ingreso (Anexo 5).

Al finalizar el ingreso de los datos en WIZARD de Flow simulation, procede automáticamente el mismo software a realizar el dominio computacional, donde se desarrolla la simulación (Anexo 6). A su vez, se escoge la cara por donde entra el fluido y por donde tiene la apertura de salida. Al momento de finalizar este proceso, se procede a realizar el mallado del sistema y al mismo tiempo el programa empieza a realizar los cálculos predeterminados en el sistema. (Anexo 7).

Al finalizar con la solución del sistema y observado las 2585 interacciones, se procede a escoger la sección por donde va a ingresar el fluido y a su vez por donde va a salir el fluido.

3.3.1 Pérdidas de energía

La pérdida de energía en un sistema de fluidos para un flujo turbulento del mismo en tuberías es más conveniente usar la ley de Darcy para determinar la pérdida de energía debido a la fricción. No se puede calcular f por un simple cálculo, como se realiza con el flujo laminar, porque el flujo turbulento no conforma de movimientos regulares y predecibles. Es un flujo que cambia constantemente. Por lo que se determina datos experimentales para los valores de f .

El número adimensional f depende de factores, también adimensionales, como el número de Reynolds y la rugosidad relativa del conducto. La rugosidad es variable debido a la corrosión de los tubos después de que este ha estado en servicio durante algún tiempo o por formación de depósitos sobre la pared de la tubería.

Uno de los métodos más extensamente empleados para evaluar el factor de fricción hace uso del diagrama de Moody, como se lo expresa en la Figura 21.

También se presenta pérdida de energía cuando hay codos, dilatación o contracción o a través de una válvula.

Generalmente son representados en términos de un coeficiente de resistencia, K , los valores experimentales de pérdidas de energía, de la siguiente forma: $hL = K (v^2/2g)$. Los ensayos demuestran que el coeficiente de pérdida K depende tanto del tamaño de los dos conductos como de la magnitud de la velocidad del fluido, ya sea para una dilatación súbita o una contracción súbita.

El valor del coeficiente de fricción en válvulas o juntas se obtiene con la fórmula:

$$K = (Le/d)ft$$

Al observar en la Figura 35, se muestra la pérdida de energía en la simulación. Donde entra en contacto el fluido con las superficies de los codos como se expresó con anterioridad.

3.3.2 Rendimiento

Al determinar la potencia que debe comunicarse al fluido, se aplica un balance de energía mecánica entre dos puntos (1 y 2). Referente a la ecuación de Bernoulli (ecuación 18) de donde se deriva el valor de W ; energía por unidad de masa (J/kg) que precisa el líquido. La potencia que debe suministrar la bomba al fluido se calcula mediante la ecuación $P=mW$ (W) sin embargo, hay una pérdida al comunicar el motor eléctrico energía a las partes móviles y asimismo el motor no aprovecha toda la energía que consume del sistema, ya que la potencia real que consume la bomba será mayor porque al comunicar esta energía al fluido en las partes móviles de la bomba se pierde energía.

Nos interesa para calcular la potencia real de la bomba, que los fabricantes proporcionen los rendimientos totales de las bombas. Pero es frecuente que el fabricante de bombas proporcione únicamente el rendimiento de la bomba, por lo que se puede acoplar diferentes motores. Sin embargo, el fabricante nos ofrece el rendimiento mecánico e hidráulico.

Se observa en la simulación el concepto de pérdida de energía en la bomba, al momento de realizar este análisis se necesita calcular la potencia real de la bomba, por lo cual se necesita la potencia teórica y el rendimiento total. Con lo que conlleva calcular la energía que atrae el fluido y la energía que consume el motor, para poder satisfacer lo mencionado con anterioridad.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COSTOS

Para el manejo de simulación por software se tiene que conocer en detalle cual es el objetivo que se tiene planteado obtener a través de la simulación, para poder tener mejores detalles de los resultados. Lo que se plantea en este sistema conocer son las pérdidas de energía y el rendimiento, por lo que se maneja la toma de resultados con Fluid simulation. Al momento de hablar de simulación se tiene en cuenta que es recoger todos los datos para poder reconocer más detallado las virtudes y falencias del diseño a crear o a construir. Reflejando resultados contundentes que se pueda usar para la creación de un sistema general en perfectas condiciones.

4.1 Análisis de resultados

Con el fin de lograr los objetivos planteados al inicio de esta tesis, se vació la información obtenida mediante las varias simulaciones en el software de Solidworks con la aplicación de este, fluidsimulation. Para su análisis e interpretación, se realiza gráficas en el programa Excel, para una mejor comprensión de resultados.

Se presenta los resultados en orden, partiendo de las gráficas de diseño y posteriormente se presentan los resultados relacionados con el conocimiento e interés de particulares.

Al momento de ingresar las características del fluido se empieza a diferencia el fluido a trabajar, como se lo muestra en la siguiente Figura 35.

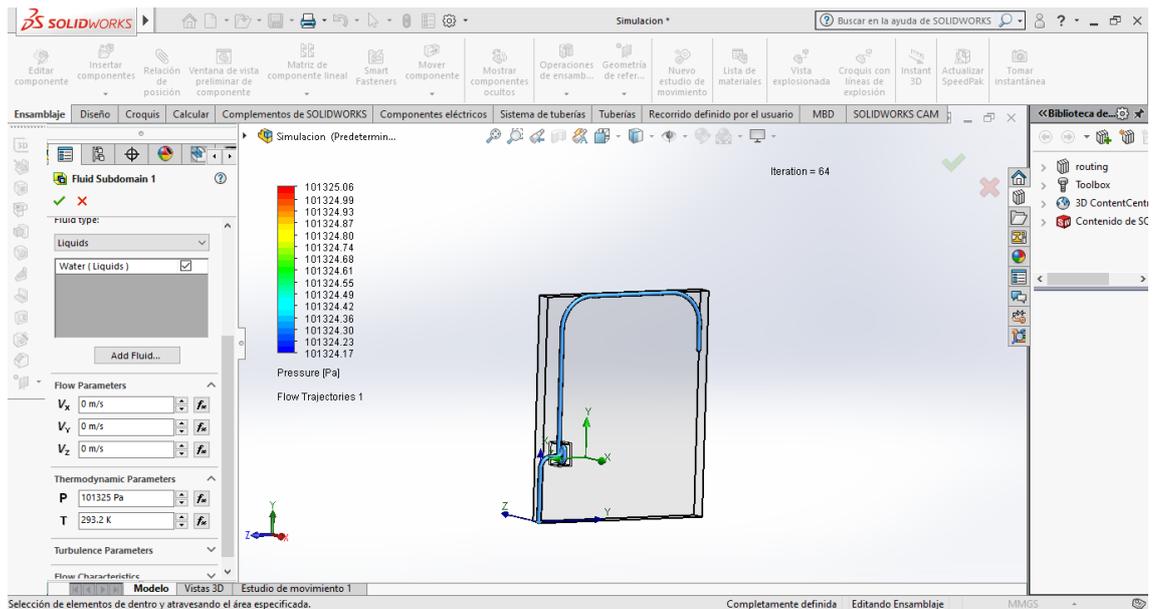


Figura 35. Primer intervención en simulación del fluido. Fuente: SOLIDWORKS

La simulación mediante solidworks es una herramienta muy poderosa y simplifica mucho el trabajo al momento de realizar la simulación de todo el sistema. El módulo de simulation fluid flow de solidworks “entiende” el modelo que se está simulando, es decir, parte de la premisa de que se está estudiando el funcionamiento de una turbina hidráulica axial o una bomba hidráulica radial, por ejemplo.

Ahora bien, este módulo no es capaz de simular una bomba-turbina directamente. Esto se debe precisamente a lo comentado en el párrafo superior. Simular el rodete de la bomba-turbina desde el principio supondría dejar a un lado el módulo de turbomáquinas de solidworks.

Para una solución óptima no sólo es importante el tamaño y la cantidad de elementos de la malla, sino que también hay que tener en cuenta el valor de los residuos. La solución óptima será para el mayor número de elementos y el menor valor máximo de los residuos.

En este caso se optó por generarlo directamente con las herramientas que Solidworks proporciona y posteriormente se generó el mallado.

Con todo ello definido, ya solo quedó definir las condiciones de contorno. Se define tres casos diferentes; la presión total a la entrada y presión estática a la salida, caudal másico a la entrada y presión estática a la salida o presión total a la entrada y caudal másico a la salida. En este caso se fijarán la presión total a la entrada (0 Pa) y el caudal másico a la salida. Al ser el caudal másico, hay que tener en cuenta la densidad del agua. Se fija el agua a 20 °C, cuya densidad es 997 Kg/m³.

Finalmente se tomó un mallado de 164.996 elementos y se fijó un valor máximo de los residuos de, entorno a, 10⁻⁴.

Los resultados obtenidos se resumen en las siguientes gráficas:

Las curvas características se realizan para una bomba completa, pero en este caso estas gráficas solo representan la respuesta del rodete.

En primer lugar, se observa que los resultados de la altura siguen una trayectoria recta decreciente (Figura 36). Como es lógico, las mayores alturas se conseguirán a mayor velocidad y a su vez a menor caudal. Los puntos no representados, generalmente a bajos caudales y altas velocidades, no se muestran debido a errores en las iteraciones del programa, dado que son puntos de difícil convergencia.

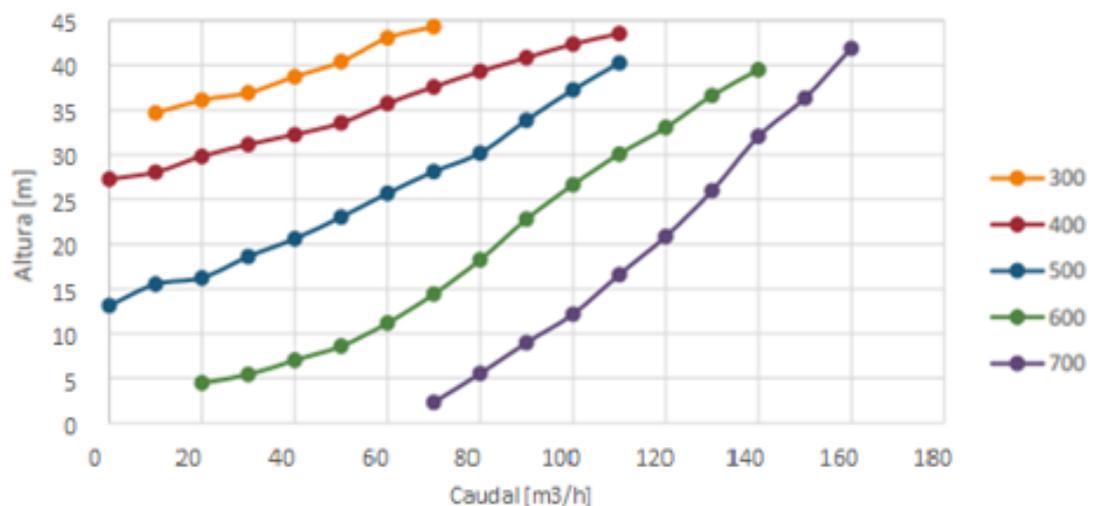


Figura 36. Altura de la bomba en función del caudal.

Elaborado por: Diego Domínguez

Se muestran en la Figura 37, los resultados de la potencia. En la gráfica se puede observar cómo las potencias aumentan a medida que aumenta el caudal hasta un determinado punto, en el que empieza a decrecer.

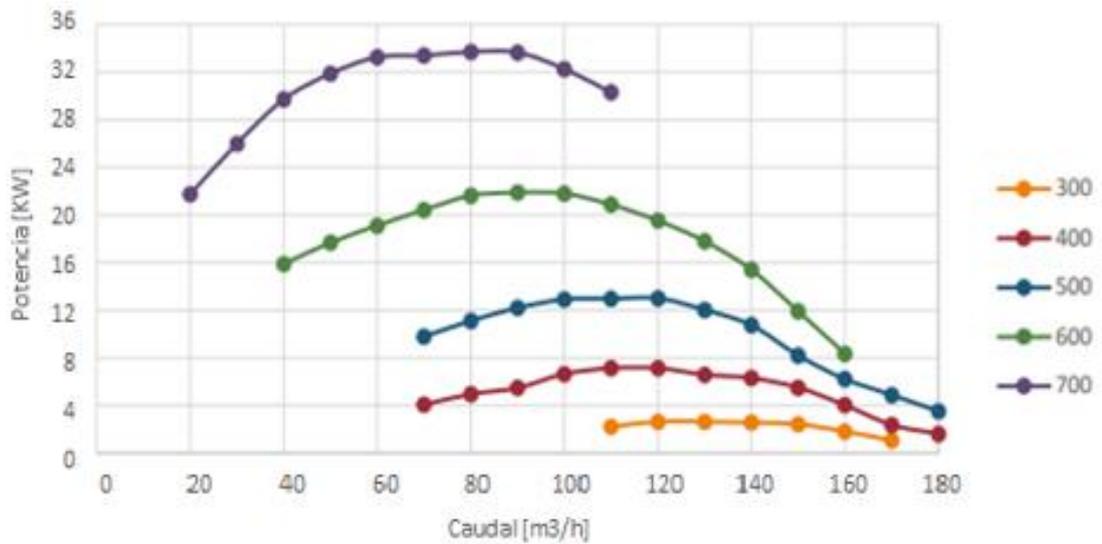


Figura 37. Potencia de la bomba en función del caudal.

Elaborado por: Diego Domínguez

Se muestra la Figura 38 el rendimiento. Se observa como su valor es similar para distintas velocidades a caudales bajos, aumentándose la diferencia a medida que se aumenta el caudal. Para todo el rango de velocidades se comprueba que la eficiencia no llega a superar el umbral del 80%.

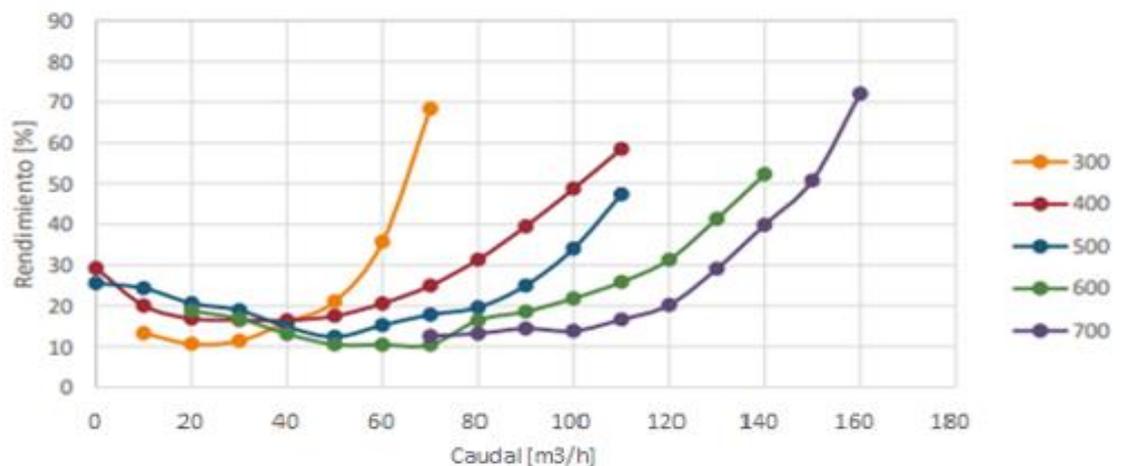


Figura 38. Rendimiento de la bomba en función del caudal.

Elaborado por: Diego Domínguez

Se muestra la tabla de resultados para un punto de funcionamiento a 900 rpm. Como se puede observar la velocidad como la potencia para la bomba, requisito indispensable para el funcionamiento de la máquina.

Tabla 6 Funcionamiento de la bomba a 800 rpm.

	Bomba	Unidades
Velocidad	800	rpm
Caudal	172.23	m ³ /h
Altura	49.29	m
Potencia	31.65	kW
Eficiencia	81.0624	%

Elaborado por: Diego Domínguez

Los resultados descritos son el producto de la resolución de las ecuaciones anteriores discretizadas, en cada volumen de control del sistema. Se detallan en la tabla 6, previo trabajo en hoja de cálculo.

Tabla 7 Datos para obtener KL.

DATOS	
Fluido	Agua
Constante gravitacional	9.8 m/s
Presión de referencia	0 Pa
Temperatura	15 °C
Densidad Viscosidad	1000 Kg/m ³
Diametro de entrada	8x10 ⁻⁴ Pa-s
Diametro de salida	0.254508 m
Longitud de entrada	2.54508 m
Longitud de salida	5.09016 m
Velocidad de entrada	20 m/s

Elaborado por: Diego Domínguez

Tabla 8 Cálculos realizados producto de la simulación y valor estimado de KL.

CÁLCULOS	
Rugosidad	1.18×10^{-7}
Velocidad de entrada	20 m/s
Velocidad de salida	0 m/s
Reynolds	6362700
Intensidad de turbulencia de entrada %	3.21×10^2
Intensidad de turbulencia de salida %	2.36×10^{-1}
Factor de fricción	7.56×10^{-3}
Presión de entrada	1.57×10^6
Presión de salida	1.26×10^6
Pérdidas por fricción entrada	9.00×10^2
Pérdidas por fricción salida	1.80×10^2
Pérdidas totales por fricción	2.70×10^2

Elaborado por: Diego Domínguez

Tabla 9 Resultados obtenidos producto de la simulación y valor estimado de KL

RESULTADOS DE SIMULADOR	
Presión estática total de salida	1.57×10^6
Presión estática total de salida	1.26×10^6
Diferencia presión total	2.90×10^5
Pérdidas totales por fricción.	2.70×10^5
Pérdidas debidas al codo	3.10×10^5
KL	1.54865

Elaborado por: Diego Domínguez

4.2 Costos

Para realizar el costo del sistema en conjunto, debemos reconocer los elementos que se usaron en el mismo para poder realizar una tabla donde se encuentra los valores detallados de cada elemento, y así de la misma manera un valor estimado de todo el sistema. Por lo tanto, se puede verificar si el sistema es viable para la construcción de este. En la siguiente tabla se puede ver detallado los valores de cada uno.

Cabe recalcar que como se necesita una mayor efectiva para el bombeo necesario de agua para que cumpla el sistema lo requerido, todo el equipo será doble.

Como equipo principal se tiene a la bomba centrifuga, de la misma manera el tanque donde se realizará la purificación viene a ser un diseño propio por lo que se ha entregado el diseño a un centro de mecanizado donde se obtuvo la proforma con un precio estimado. Tomando en cuenta que las toberas de ampliación y reducción respectivamente también son un diseño propio tendremos en cuenta que vamos a tener la proforma con los precios de cada uno.

Las tuberías, codos y bridas de 8 y 10 pulgadas ya vienen diseñadas por parte del fabricante, por lo cual ya se obtiene los precios de una manera más rápida y eficaz.

De una manera especificada en la siguiente tabla está ilustrado la palabra (fabricado), lo que se quiere explicar es que estos elementos han sido enviados a una metalmecánica donde se cotiza el diseño para poder tener de una mejor manera el valor exacto en cada uno de estos procesos.

Tabla 10 Tabla de presupuestos de consumo a invertir en proyecto de construcción

Cantidad	Elemento	Medidas	Valor
1	Trabajos de ingeniería		\$ 2000
2	Bomba centrifuga	54 HP	\$ 8645
2	Tanque de purificación (fabricado)		\$ 2500
2	Tobera de ampliación (fabricado)	8 plg	\$ 450
2	Tobera de reducción (fabricado)	10 plg	\$ 450
2	Codos	8 plg	\$ 70
2	Codos	10 plg	\$ 100
2	Bridas (fabricado)	8 plg	\$ 250
2	Bridas (fabricado)	10 plg	\$ 250
1	Tubería de 6 m	8 plg	\$ 15

8	Tubería de 6 m	10 plg	\$ 120
8	Carbón activado	25 kg	\$ 250
		Total:	\$ 15100

Elaborado por: Diego Domínguez

Al momento de interpretar la tabla se debe tener en cuenta que los precios pueden variar dependiendo del proveedor y de la metalmecánica donde se maneje la fabricación de varios elementos ya mencionados.

Los valores ingresados en la Tabla 10 son valores sin IVA, para tener un precio estimado de cuanto es el gasto del proyecto en realizar. En el Anexo 8 se puede observar la proforma de la empresa “Mecánica Industrial Espinoza” donde se encuentra detallado los elementos que se necesita fabricar.

CONCLUSIONES

- Se logro realizar el diseño y simulación del sistema en conjunto, el perfil de presión estática es importante, este muestra la distribución del flujo que tiene lugar en el accesorio, los esfuerzos son aplicados en sus máximos valores en esta región, demostrando fiabilidad en la simulación.
- De acuerdo a la simulación y diseño en el programa, se logró llegar a una eficiencia por parte de la bomba del 80 %, de esta manera alcanzando a llegar a un lumbral permisible para un manejo adecuado de agua.
- El 93 % del diseño del sistema de tuberías ha logrado cumplir con la meta de absorber la cantidad adecuada de agua, para cumplir la meta planteada. El carbón activado cumple con el 89 % de purificación del agua, porque en 1 Kg, purifica 4 o 5 litros de agua, así logrando purificar un 95 % de agua en cada paso de agua.
- Los resultados obtenidos, son importantes en el diseño de sistemas de flujo en los que intervienen diferentes tipos de accesorios y dispositivos como bombas, estranguladores, válvulas, etc., pudiendo utilizar el programa solidworks, para evaluar las caídas de presión y pérdidas por fricción en todos los elementos.

RECOMENDACIONES

- Al momento de usar el simulador, tener en cuenta que para no perder tiempo debe estar completamente sellado la estructura, ya que, si no se encuentra de esta manera, el programa no puede reconocer una superficie abierta y de esta manera no simulara.
- Tener una mínima claridad del manejo del software, ya que, si en algunos puntos no se conoce del tema, se tiende a no avanzar de la manera esperada.
- Saber interpretar los datos obtenidos en el simulador, para no confundirse entre presiones de entrada y salida, etc.

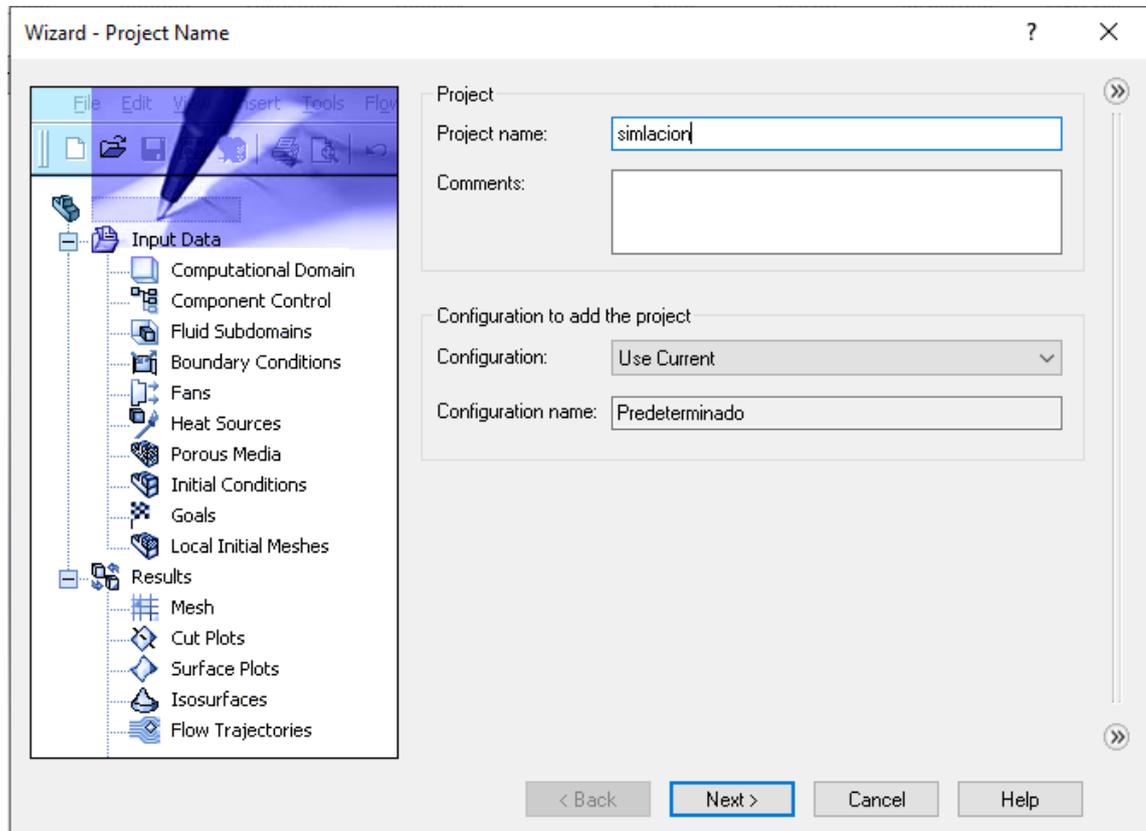
REFERENCIAS

- [1] Bombas Ideal, S. A., Datos Técnicos de Hidráulica BOMBAS, Valencia: Bombas Ideal, S. A., 2016.
- [2] M. Viejo Zubicaray y J. Álvarez Fernández, BOMBAS. Teoría, diseño y aplicaciones., México D.F.: Limusa S. A. de C.V. Grupo Noriega Editores, 2004.
- [3] Lehide Grupos de Presión, «LEHIDE,» Lehide Grupos de Presión S.L., 05 Enero 2015. [En línea]. Available: <https://www.lehide.com/que-es-una-bomba-centrifuga/>. [Último acceso: 10 Abril 2019].
- [4] P. Fernández Díez, BOMBAS CENTRÍFUGAS Y VOLUMÉTRICAS, Cantrabia, 2014.
- [5] A. A. B. Jr., HVAC Equations Data and Rules of Thumb, McGraw Hill, 2006.
- [6] S. de las Heras, Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas, Barcelona: UPCGRAU, 2017.
- [7] V. L. STREETER, Mecánica de Fluidos.9ª Edición., Bogota: Copyright Colombia, 2000.
- [8] A. F. Salas y L. P. Urrestarazu, «Universidad de Sevilla,» OpenCourseWare, 5 Agosto 2008. [En línea]. Available: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%207.%20Bombas/tutorial_05.htm. [Último acceso: 14 Abril 2019].
- [9] Y. Buelvas, M. Mesa, A. Parra y R. Andrade, «BOMBEO EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA (BOMBAS CENTRÍFUGAS),» UCOPress, Berástegui, 2014.
- [10] R. L. Mott, Mecánica de Fluidos, México D.F.: Pearson Educación, 2006.
- [11] L. Wen Guang, «Impeller trimming of an industrial centrifugal viscous oil pump.,» *International Journal of Advance Design and Manufacturing Technology.*, vol. 5, nº 1, pp. 1-10, 2012.
- [12] A. Montesinos Larrosa, «DOS ALTERNATIVAS PARA BOMBLEAR AGUA,» *Energía y tú*, pp. 28-34, 2006.

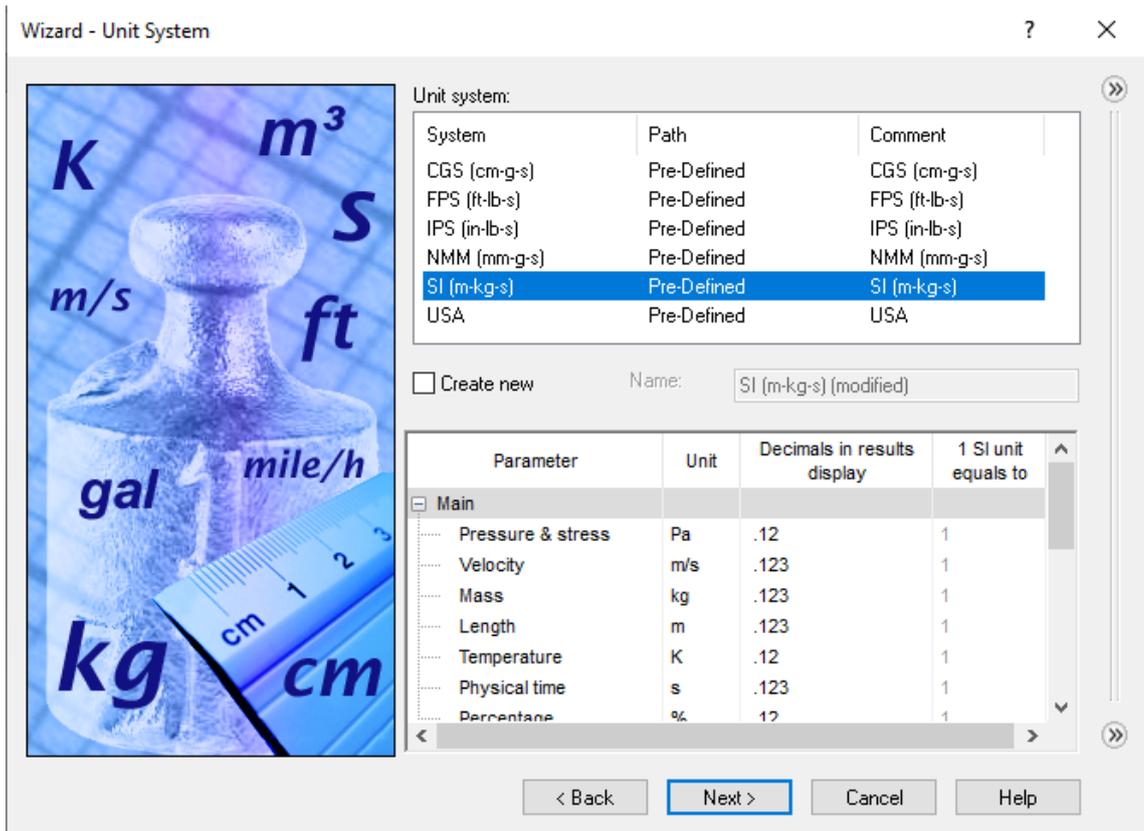
- [13] AGUA SALUD, «AGUA SALUD,» Purificadores de Agua – Aguasalud.es, 23 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://aguasalud.es/filtros-de-agua/>. [Último acceso: 17 Abril 2019].
- [14] Institute, ASHRAE learning, Fundamentals of water system desing, Atlanta: SI Version, 1999.
- [15] Mc Nally Institute, «Instituto McNally,» Mc Mc Nally Institute, 13 Enero 2019. [En línea]. Available: <http://www.mcnallyinstitute.com/index.html>. [Último acceso: 30 Abril 2019].
- [16] C. García, A. Dias y M. Calgaro, Selección de bombas para riego, Montevideo: INIA, 2003.
- [17] W. L. McCabe, J. C. Smith y P. Harriott, Operaciones unitarias en ingeniería química, McGraw-Hill Iberoamericana, 2007.
- [18] GRUPO VERMACERO, C.A., «Vemacero,» Vermacero, 02 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.vemacero.com/Tablas/A53MP.pdf>. [Último acceso: 05 Mayo 2019].
- [19] DINCORSA, «Dincorsa,» 30 Enero 2017. [En línea]. Available: <https://www.dincorsa.com/blog/tipos-aplicaciones-tuberias-acero-carbono/>. [Último acceso: 15 Mayo 2019].
- [20] DROTEC, «Drotec Bombas Industriales,» Drotec C.I. y F. S.R.L., 25 Junio 2008. [En línea]. Available: http://www.drotec.com.ar/folletos_html/bombas-centrifugas-normalizadas-linea-NDQ.html. [Último acceso: 11 Mayo 2019].
- [21] VOGT, «VOGT,» VOGT, 15 04 2019. [En línea]. Available: <http://www.vogt.cl/serie-md-mde/#catalogo-serie-md-mde>. [Último acceso: 12 06 2019].
- [22] GRUNDFOS X, «GRUNDFOS X product center,» GRUNDFOS, 28 12 2018. [En línea]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/catalogue.product%20families.q%26h%20dmx.html?custid=BGE&familycode=DMXFAM&flow=0&head=0&lang=ESP&qcid=591431601&time=1561070797099>. [Último acceso: 12 05 2019].

- [23] Latinamerica water, «FRANKLIN ELECTRIC,» Latinamerica water, 15 01 2019. [En línea]. Available: <https://latinamericawater.blob.core.windows.net/media/39676/serie-gp.pdf>. [Último acceso: 12 06 2019].
- [24] D. Luna, A. González, M. Gordon y N. Martín , «Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco,» *UAM-Iztapalapa*, pp. 39-48, 2007.
- [25] A. Nápoles, Y. Ortiz, M. Viñals, E. Manganelly y E. Acosta, «Purificación de hidrolizado de bagazo de caña de azúcar con carbón activado y resinas de intercambio iónico,» *Ciencia y tecnología alimentaria*, vol. 5, nº 2, pp. 124-128, 2009.
- [26] T. Escobedo, J. Salas y G. Muñoz, «Evaluación de los procesos de purificación de una despachadora de agua potable en la ciudad de Juarez,» *CULC*, vol. 3, nº 13, pp. 17-25, 2006.
- [27] J. Lluís Berdones, «La problemática del tratamiento de agua potable,» *Medicina Naturista*, vol. 2, nº 2, pp. 69-75, 2008.
- [28] A. A. Bell, *HVAC Equations data and rules of Thumb*, MvGraw Hill, 2006.
- [29] PAVCO, «PAVCO,» PAVCO, 02 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://pavco.com.co/manuales-tecnicos>. [Último acceso: 05 Mayo 2019].

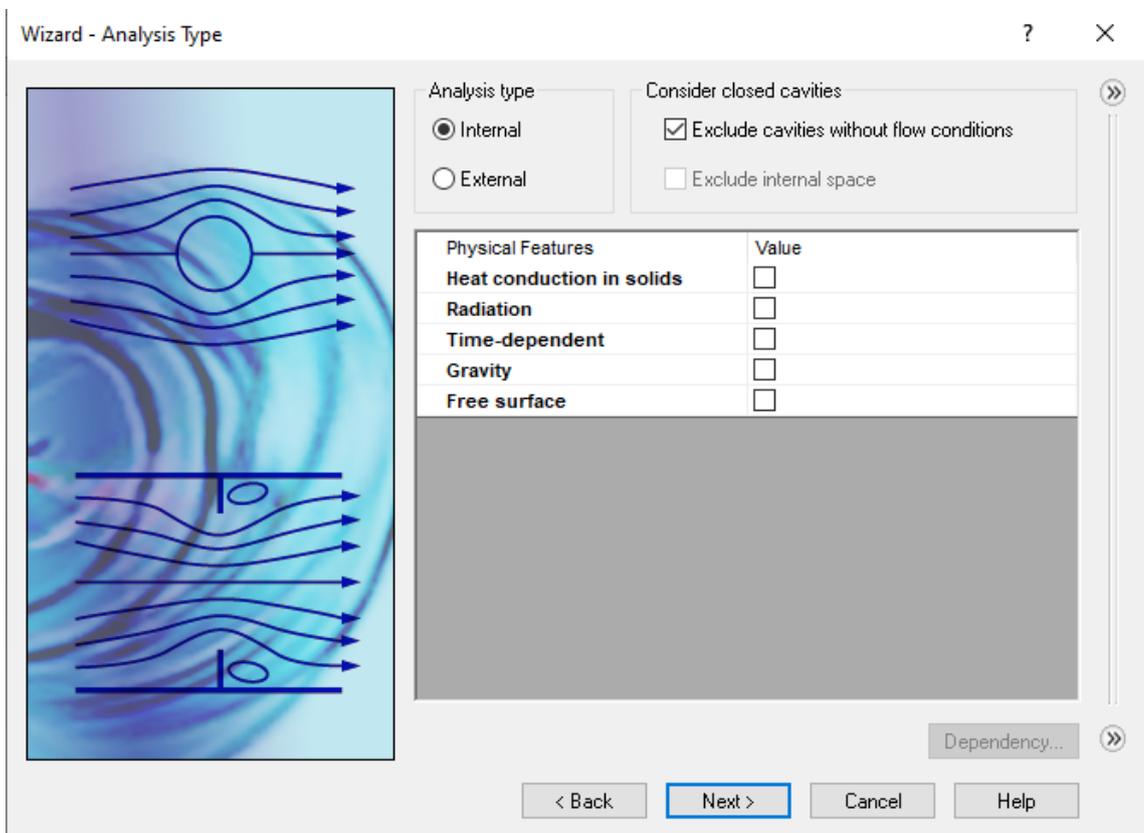
ANEXOS



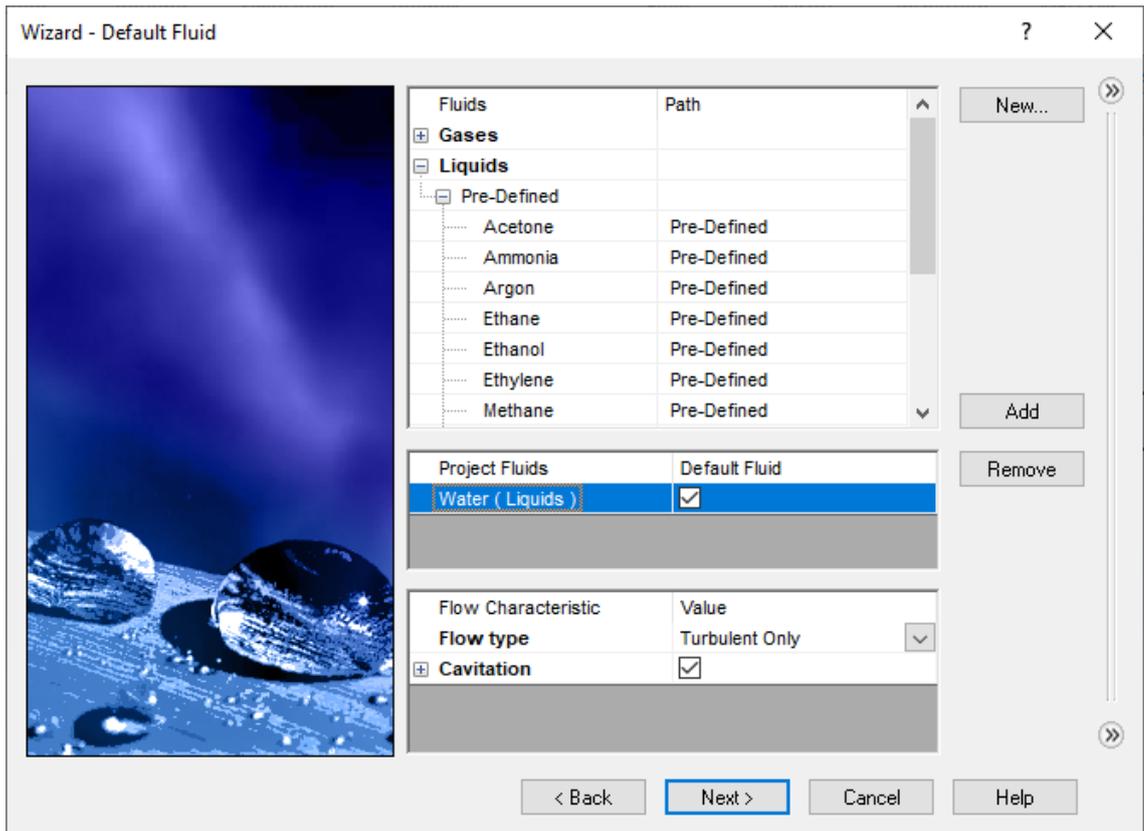
Anexo 1. Inicio de Configuración de WIZARD. Tomado de: SOLIDWORKS



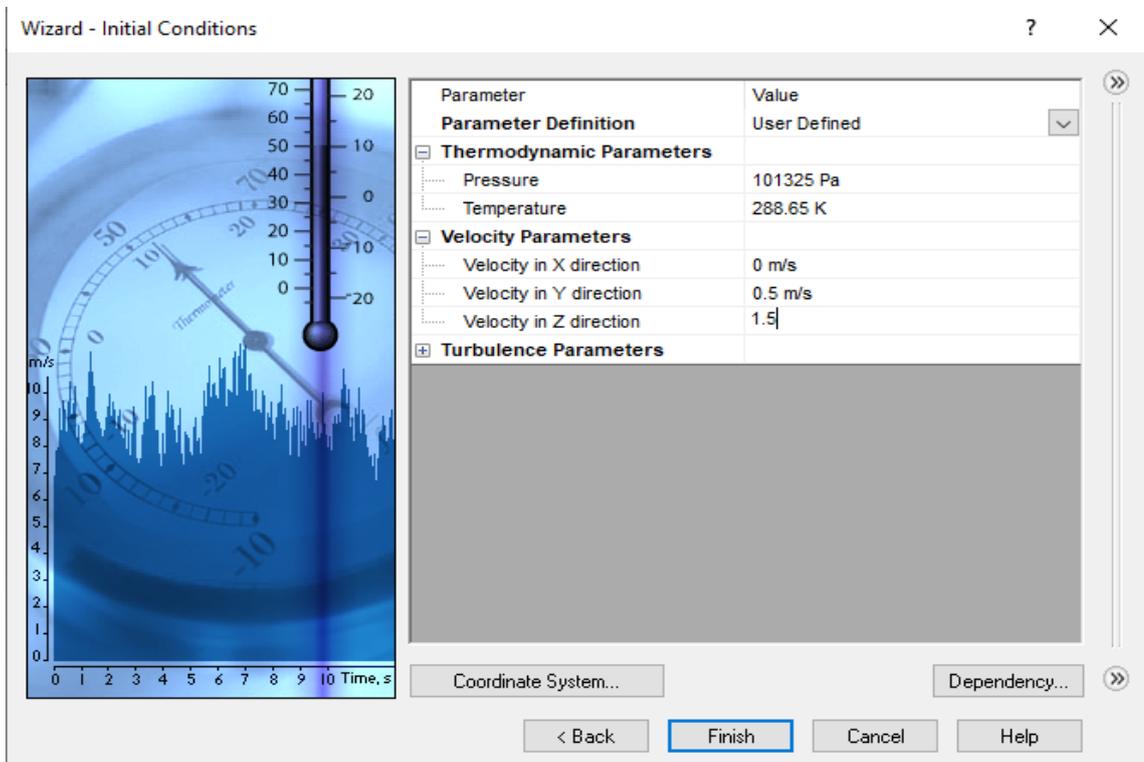
Anexo 2. Selección de unidades y parámetros. Tomado de: SOLIDWORKS



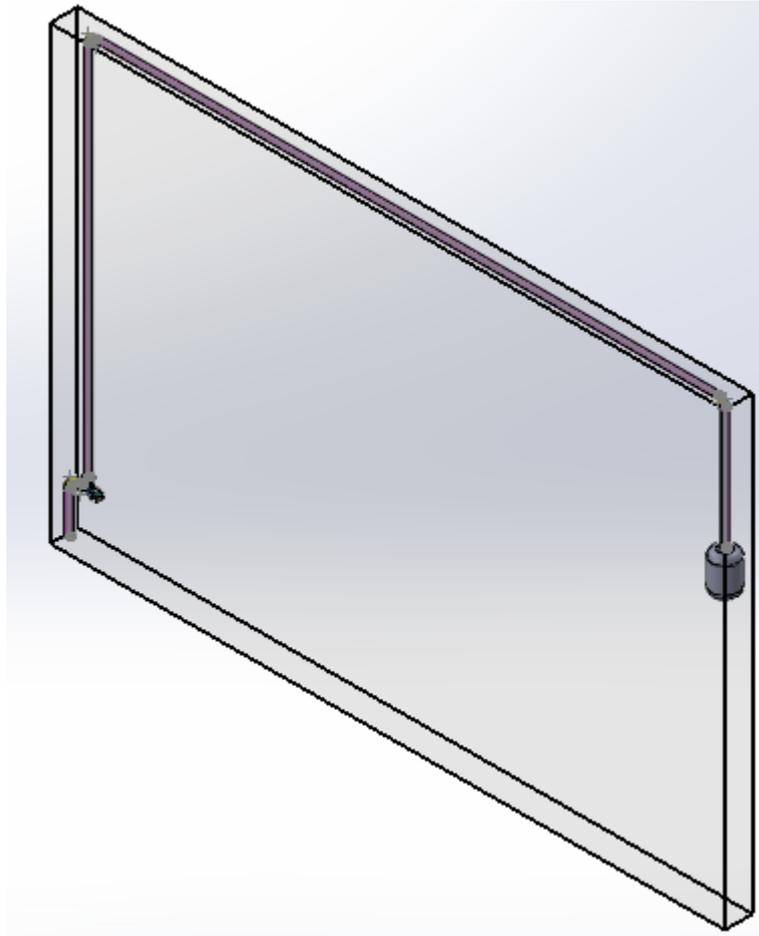
Anexo 3. Selección de tipo de análisis. Tomado de: SOLIDWORKS



Anexo 4. Selección de fluido y características. Tomado de: SOLIDWORKS



Anexo 5. Especificación de parámetros. Tomado de: SOLIDWORKS



Anexo 6. Dominio computacional. Tomado de: SOLIDWORKS

Solver: Simulacion [Predeterminado] (Simulacion esamble.SLDASM)

File Calculation View Insert Window Help

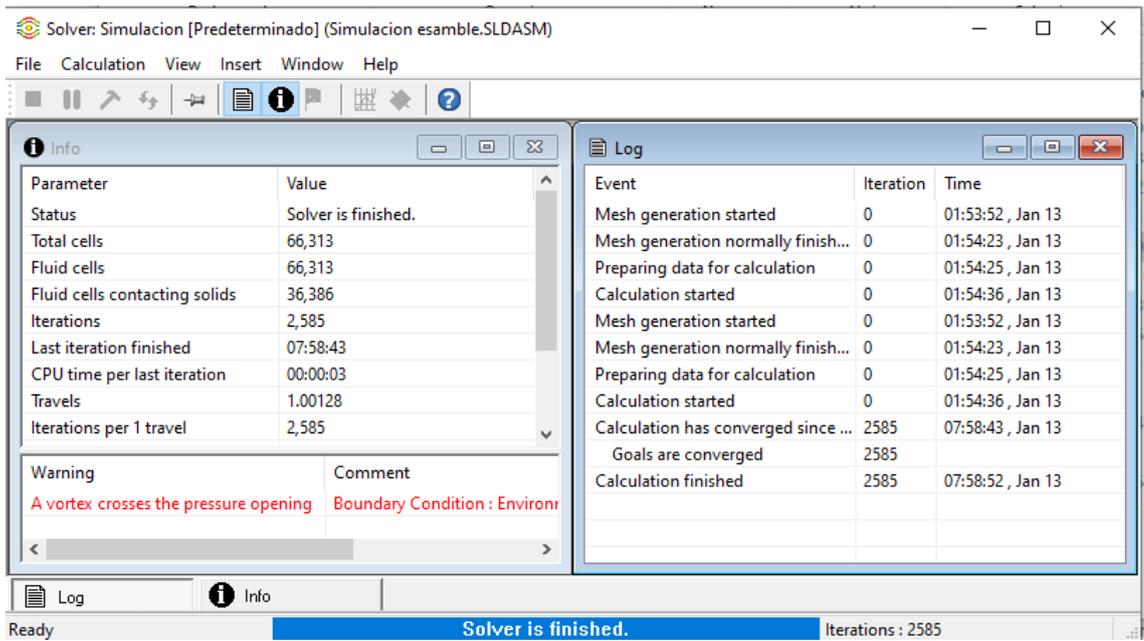
Parameter	Value
Status	Solver is finished.
Total cells	66,761
Fluid cells	66,761
Fluid cells contacting solids	36,172
Iterations	2,580
Last iteration finished	03:38:09
CPU time per last iteration	00:00:03
Travels	1.00101
Iterations per 1 travel	2,580

Event	Iteration	Time
Mesh generation started	0	23:32:01, Jan 15
Mesh generation normally finish...	0	23:32:23, Jan 15
Preparing data for calculation	0	23:32:26, Jan 15
Calculation started	0	23:32:40, Jan 15
Calculation has converged since ...	2580	03:38:09, Jan 16
Goals are converged	2580	
Calculation finished	2580	03:38:18, Jan 16

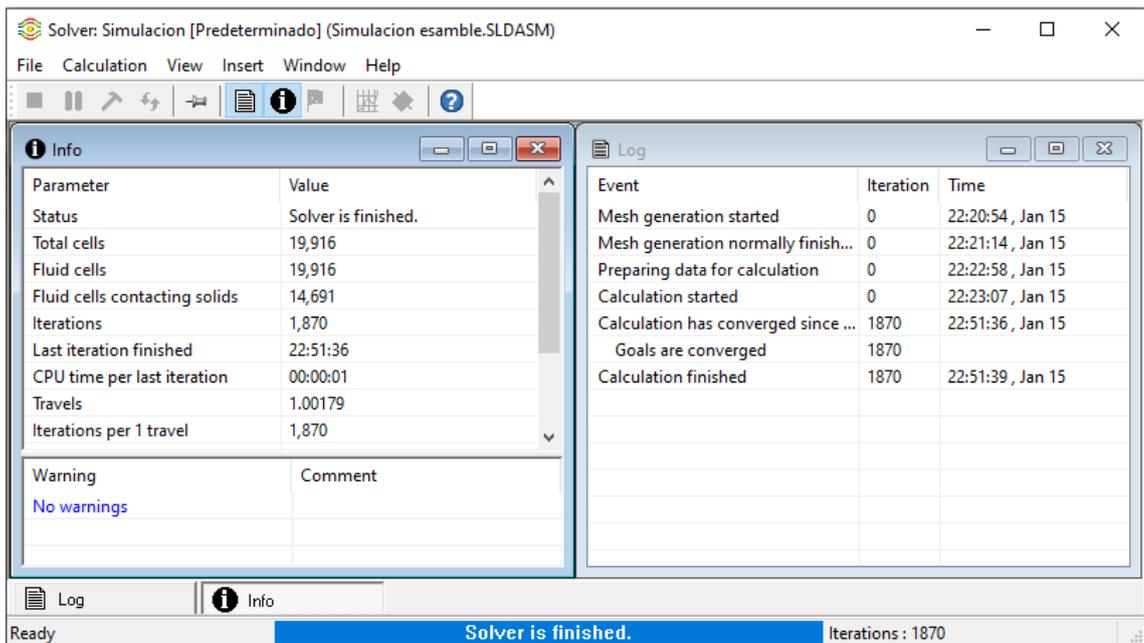
Warning: No warnings

Ready Solver is finished. Iterations : 2580

a)



b)



c)

Anexo 7. Solucionador de simulación a, b, c. Tomado de: SOLIDWORKS

Firma autorizada:	Adicionales	\$0,00
Condiciones de pago a acordar.	Subtotal condescuento	\$3.900,00
Tiempo de entrega: 45 días laborables.	IVA (12%)	\$468,00
Proforma válida por 30 días a partir de la fecha de emisión	TOTAL	\$4.368,00
Página web: www.mec-industrialespinosa.com email: info@mec-industrialespinosa.com Dirección: Andrés Pérez S11-375 y Rafael Arteta (Detrás de la estación del trole "El Recreo")		

Anexo 8. Proforma de elementos a fabricar, Empresa MIE.