

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONDUCCION HIDRAULICA
SOMETIDA A 43 PSIG DE PRESION Y 82 L/S DE
CAPACIDAD PARA IRRIGAR 95 HECTAREAS DE CULTIVO
DE CAÑA DE AZUCAR. FUNDO OLMOS - AGROLMOS S.A -
LA LIBERTAD”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN ENERGÍA**

VILMA EMYLIN RETAMOZO MOLINA

JORGE RENE RUIZ ARANA

**Callao, Noviembre 2017
PERÚ**

DEDICATORIA

A mis padres y mis hermanas
por darme su amor, comprensión
y aliento en este arduo camino.

A Dios por darme la determinación y
fuerza para seguir adelante.

Jorge R. Ruiz Arana

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad
de ser mejor cada día.

A mis padres por su amor y apoyo
incondicional, y a mis hermanos
por hacer que mis días sean
caóticamente hermosos.

Vilma E. Retamozo Molina

AGRADECIMIENTO

Quiero dedicar estas líneas a todas esas personas que contribuyeron y estuvieron presentes en la elaboración de esta tesis que marcará una etapa más en mi vida profesional.

En especial a mi compañera de tesis Vilma Retamozo con quien siempre encontré un gran apoyo y complemento para culminar con esta gran labor.

A mis profesores por compartir su sabiduría.

A mis compañeros por aligerar el camino con su buena predisposición.

A todos y cada uno de ustedes muchas gracias y que Dios los bendiga.

Jorge R. Ruiz Arana

AGRADECIMIENTO

Primero agradecer a la Universidad Nacional del Callao, mi alma mater en la que pude ser testigo que con mucho esfuerzo y persistencia podemos lograr objetivos individuales y colectivos.

A mis maestros por cooperar en esta etapa muy importante de mi vida, por su paciencia y brindarnos las enseñanzas que hoy las reflejamos en nuestros labores profesionales diarios.

A todos mis compañeros con quienes recorrimos este gran camino de nuestras vidas, con triunfos y fracasos descubrimos que todo se puede lograr.

Por último y el más importante, mi amigo y compañero en esta etapa profesional Jorge Ruiz por compartir sus conocimientos y ser parte de este tarea que logramos juntos.

Vilma E. Retamozo Molina

INDICE

TABLAS DE CONTENIDO.....	3
INDICE DE FIGURAS.....	3
INDICE DE TABLAS.....	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	6
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.1. Identificación del Problema.....	8
1.2. Formulación del Problema.....	9
1.3. Objetivos de la Investigación.....	10
1.4. Justificación.....	11
1.5. Importancia.....	12
II. MARCO TEÓRICO	13
2.1. Antecedentes del estudio.....	13
2.2. Marco conceptual.....	19
2.2.1. Pozos profundos para captación de agua	19
2.2.2. Bombas centrifugas.....	33
2.2.3. Motores eléctricos	45
2.2.4. Tuberías hidráulicas	47
2.2.5. Accesorios y dispositivos de protección	55
2.2.6. Diseño del sistema hidráulico.....	69
2.2.7. Sistemas de riego.....	71
2.3. Definición de términos básicos.....	85

III.	VARIABLES E HIPÓTESIS.....	87
3.1.	Variables de la investigación.....	87
3.2.	Operacionalización de variables.....	88
3.3.	Hipótesis General e hipótesis específicas.....	89
IV.	METODOLOGIA	90
4.1.	Tipo de investigación.....	90
4.2.	Diseño de la investigación:.....	91
4.3.	Población y muestra.....	133
4.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	134
4.5.	Procedimiento de recolección de datos.....	136
4.6.	Procedimiento estadístico y análisis de datos.....	137
V.	RESULTADOS.....	138
VI.	DISCUSION DE RESULTADOS	142
VII.	CONCLUSIONES	145
VIII.	RECOMENDACIONES	147
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	149
	ANEXOS.....	152

Matriz de consistencia

Otros necesarios para respaldo de la investigación

TABLAS DE CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2. 2 : DIAGRAMA CLASIFICACION DE POZOS PROFUNDOS PARAEXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRANEA	21
FIGURA 2. 3: CLASIFICACION DE POZOS DE ACUERDO AL DISEÑO CONSTRUCTIVO	26
FIGURA 2. 4: CARACTERISTICAS DE UN POZO TELESCOPICO DONDE SE PUEDE OBSERVAR LA CAMISA Y UNIDAD DE FILTRADO	29
FIGURA 2. 5: UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	31
FIGURA 2. 6: CLASIFICACION DE BOMBAS SEGÚN ADMISION DE FLUJO .	40
FIGURA 2. 7: CLASIFICACION DE BOMBAS SEGÚN TIPO DE IMPULSOR ...	41
FIGURA 2. 8:CURVAS CARACTERISTICAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS....	42
FIGURA 2. 9: CURVA CABEZAL VS CAPACIDAD PARA DIFERENTES DIAMETROS DE IMPULSOR	43
FIGURA 2. 10: CURVA CABEZAL VS CAPACIDAD PARA DIFERENTES DIAMETROS DE IMPULSOR	44
FIGURA 2. 11: CURVA CABEZAL VS CAPACIDAD PARA DIFERENTES DIAMETROS DE IMPULSOR	44
FIGURA 2. 12: CURVA CABEZAL VS CAPACIDAD PARA DIFERENTES DIAMETROS DE IMPULSOR	45
FIGURA 2. 13: MOTOR ELECTRICO VERTICAL DE HEJE SOLIDO Y EJE HUECO	46
FIGURA 2. 14: CURVA CABEZAL VS CAPACIDAD PARA DIFERENTES DIAMETROS DE IMPULSO.....	54
FIGURA 2. 15: ACCESORIOS Y DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN	55
FIGURA 2. 16: ACCESORIOS PARA UNION DE TUBERIAS	56
FIGURA 2. 17: UNION DE TUBERIAS MEDIANTE BRIDAS.....	57
FIGURA 2. 18: JUNTA TIPO DRESSER PARA TUBERIAS	58
FIGURA 2. 19: PARTES DE UNA VALVULA.....	59
FIGURA 2. 20: VALVULA VENTOSA – ELIMINADORA DE AIRE	61
FIGURA 2. 21: VALVULA COMPUERTA.....	62

FIGURA 2. 22: VALVULA CHECK TIPO SWING.....	63
FIGURA 2. 23: VALVULA ANTICIPADORA DE ONDAS	64
FIGURA 2. 24: ESQUEMA RECOMENDADO PARA INSTALACION DE BOMBA TIPO VTP	66
FIGURA 2. 25: DIAGRAMA DE ESQUEMAS EQUIVALENTES PARA ACCESORIOS Y DISPOSITIVOS	68
FIGURA 2. 26: CURVA DEL SISTEMA Y DE BOMBA	70
FIGURA 2. 27: PUNTO DE OPERACIÓN DENTRO DE LA CURVA	71
FIGURA 2. 28: DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL TIPO DE RIEGO.....	72
FIGURA 2. 29: DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL TIPO DE RIEGO.....	74
FIGURA 2. 30: RIEGO POR ASPERSION AUTOPROPULSADO – PIVOTE	78
FIGURA 2. 31: CICLO FENOLOGICODE LA CAÑA DE AZUCAR	81
FIGURA 2. 32: CICLO FENOLOGICODE LA CAÑA DE AZUCAR	84
FIGURA 4. 1: ETAPAS Y SUB-ETAPAS DE LA INVESTIGACION.....	93
FIGURA 4. 2: ESQUEMA DE TRONCAL DE DESCARGA	99
FIGURA 4. 3: DIAMETROS COMERCIALES DE TUBERIA PVC	100
FIGURA 4. 4: RANGOS DE PRESIÓN PARA MANOMETROS.....	101
FIGURA 4. 5: MEDIDAS DISONIBLES PARA JUNTAS DE EXPANSION	102
FIGURA 4. 6: MEDIDAS DISONIBLES PARA VALVULA CHECK	102
FIGURA 4. 7: MEDIDAS DISPONIBLES PARA CAUDALIMETRO.....	103
FIGURA 4. 8: MEDIDAS DISONIBLES PARA VALVULA COMPUERTA.....	104
FIGURA 4. 9: MODO DE INSTALACION DE UNA VALVULA SUPRESORA DE PULSOS.....	104
FIGURA 4. 10: DIAGRAMA DE MODDY	108
FIGURA 4. 11: DIAGRAMA DEL SISTEMA DE CONDUCCION HIDRAULICA	115
FIGURA 4. 12: CURVA DEL SISTEMA CON DATOS TABULADOS	120
FIGURA 4. 13: DATOS DE INGRESO PARA SELECCIÓN DE BOMBA	124
FIGURA 4. 14: CURVA HIDRAULICA DE LA BOMBA VTP.....	125
FIGURA 4. 15: SELECCIÓN DEL MOTOR ELECTRICO VERTICAL	132
FIGURA 4. 16: INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	135

INDICE DE TABLAS

TABLA 2. 1: CLASIFICACION DE ZONAS SEGÚN ESTUDIO ANA EN EL VALLE DE OLMOS.....	32
TABLA 2. 2: VELOCIDADES RECOMENDADAS	51
TABLA 4. 1: VELOCIDADES RECOMENDADAS EN TUBERIAS	94
TABLA 4. 2: COMPARACION D EMATERIALES TERMOPLASTICOS.....	96
TABLA 4. 3: DIAMETROS COMERCIALES DE TUBERIA PVC	97
TABLA 4. 4: LONGITUDES EQUIVALENTES EN ACCESORIOS.....	111
TABLA 4. 5: PERDIDAS DE CARGA EN VALVULAS Y DISPOSITIVOS	113
TABLA 4. 6: PRESION ATMOSFERICA A DIFERENTES ALTITUDES.....	117
TABLA 4. 7: PRESION DE VAPORIZACIÓN DEL AGUA	118
TABLA 4. 8: DATOS TABULADOS.....	120
TABLA 4. 9: CUADRO DE COMPARACION ECONOMICA.....	121
TABLA 4. 10: CUADRO COMPARATIVO ENTRE BOMBAS DE POZO.....	122
TABLA 4. 11: CUADRO DE PERDIDAS EN FT PARA 100 FT DE COLUMNA	127
TABLA 4. 12: CUADRO DE ANALISIS DEL AGUA	128
TABLA 4. 13: CUADRO COMPARATIVO PARA TIPOS DE ARRANQUE	130
TABLA 4. 14: PRESUPUESTO TENTATIVO PARA LA INPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	133
TABLA 5. 1: RESULTADO DE PARAMETROS HIDRAULICOS CALCULADOS	138
TABLA 5. 2: CARACTERISTICAS DE TUBERIA Y DISPOSITIVOS.....	139
TABLA 5. 3: CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE BOMBEO	140
TABLA 5. 4: CARACTERISTICAS DEL MOTOR ELECTRICO	141

RESUMEN

Con la apertura del Proyecto Especial de Irrigación e Hidroenergético de Olmos, departamento de Lambayeque, se están instalando nuevas plantas agroindustriales una de ellas AGROLMOS S.A la cual forma parte del Grupo Gloria, teniendo como principal actividad productiva el cultivo de caña de azúcar para su posterior refinado.

Para conseguir un buen riego es necesario; una red de distribución de agua que está formada por conducciones cerradas que llevan el agua a presión hasta los aspersores que se encuentran en la tubería de desplazamiento del pivote y un equipo de bombeo adecuado para sustraer el agua disponible en el manto freático y generar la presión necesaria para la red de distribución de agua.

El presente proyecto de tesis fue elaborado a través de una investigación del tipo tecnológica llegando solo a un nivel aplicada y con un diseño no experimental, para esto se utilizaron fichas técnicas, planos, informes, pozímetros y entre otros, con el objetivo de diseñar una red de distribución hidráulica para satisfacer la carga y capacidad del pivote.

Como resultado de la investigación obtuvimos el correcto diseño del sistema de conducción hidráulica, concluyendo que la selección y cálculo de sus componentes son fundamentales para un riego eficiente de la caña de azúcar.

Palabras Claves: Sistema de conducción hidráulica, irrigación, Olmos-Lambayeque.

ABSTRACT

With the opening of the Special Irrigation Project and Hydroelectric Department that is located in Lambayeque, district of Olmos, new agroindustrial plants are being installed. One of them Agrolmos S.A which is part of the Gloria Group. The company Agrolmos S.A has as its main objective the cultivation of sugar cane for its subsequent transformation into white, brown and refined sugar.

To get a good irrigation system would be needed; a water distribution network that is formed by closed pipes that carry pressurized water to the sprinklers that are in the pivot's displacement pipe. A suitable pumping equipment to subtract the water available in the water table and generate the necessary pressure for the water distribution network.

The present thesis project was elaborated through a research of the technological type arriving only at an applied level and with a non-experimental design, for this technical data sheets, plans, reports, pozimeters and other measuring devices were used in order to design a hydraulic distribution network to satisfy the load and capacity of the pivot.

Because of the research, we obtained the correct design of the hydraulic conduction system, concluding that the selection and calculation of its components are fundamental for an efficient irrigation of the sugarcane.

Key words: Hydraulic conduction system, irrigation, Olmos-Lambayeque.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del Problema

La empresa AGROLMOS S.A. ubicado en el Distrito de Olmos, región Lambayeque; tuvo la necesidad de contar con una fuente propia de agua para no perjudicar el abastecimiento de agua a la población aledaña; en tal sentido, se diseñó un sistema de conducción hidráulica sometida a presión para irrigar 95 hectáreas de cultivo de caña de azúcar.

Este sistema de riego para caña de azúcar fue compuesto por tres elementos principales: el pozo de donde se extraerá agua del manto freático, el sistema de conducción hidráulica sometida a presión y los elementos de riego tales como el pivote.

Para el diseño se dimensionó y seleccionó un eficiente equipo de bombeo para extracción de las aguas freáticas tomando como referencia la tesis del Ing. Vicente E. Esquit Donit.¹ , un adecuado dimensionamiento de las tuberías hidráulicas según tesis del Ing.

¹ Ing. Vicente Esquit Donis "Análisis técnico-económico de un sistema de riego por pivote central y un módulo de riego por aspersión móvil en cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), en ingenio La Unión S.A., Escuintla. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2004.

Patrocinio Arroyo H². donde indica que las tuberías termoplásticas son las más adecuadas para redes de conducción hidráulica.

Para la selección de dispositivos de protección se tomó como referencia la tesis del Ing. Fernando Cortes Salazar³.

1.2. Formulación del Problema

Problema General

¿Cómo diseñar un sistema de conducción hidráulica sometida a 43 PSIG de presión y 82 l/s de capacidad que permita irrigar 95 hectáreas de cultivo de caña de azúcar del Fundo Olmos de la empresa Agrolmos S.A – La Libertad?

Problemas específicos:

- ¿Cómo determinar el diámetro hidráulico adecuado de tubería que permita minimizar las pérdidas de resistencia del sistema de conducción hidráulica?

² Ing. Patrocinio Arroyo Hernandez, Diseño de sistemas de riego por gravedad con red de tubería de distribución parcelaria a baja presión. Tesis para obtener el grado de maestro en ingeniería (Hidráulica). México, 2008

³ Ing. Fernando Cortes Ing. Salazar. Selección de equipo de bombeo para un sistema de suministro agua.

- ¿En qué medida la selección adecuada de los accesorios y dispositivos de protección garantizaran una correcta operatividad en el sistema de conducción hidráulica?
- ¿En qué medida la selección adecuada del equipo de bombeo garantizará la presión y capacidad requerida por el pivote?

1.3. Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Diseñar un sistema de conducción hidráulica sometida a 43 PSIG de presión y 82 l/s de capacidad mediante un pivote que permita irrigar 95 hectáreas de cultivo de caña de azúcar del fundo Olmos – Agrolmos S.A – La Libertad.

Objetivos específicos:

- Determinar el diámetro hidráulico adecuado de tubería para minimizar las pérdidas de resistencia del sistema de conducción hidráulica
- Seleccionar adecuadamente los accesorios y dispositivos de protección que permitan dar una correcta operatividad al sistema de conducción hidráulica.
- Seleccionar el equipo de bombeo adecuado para garantizar la presión y capacidad requerida por el pivote.

1.4. Justificación

Justificación teórica: el diseño del sistema de conducción hidráulico se amparó en teorías ya concebidas a través de distintos autores que han desarrollado la mecánica de fluidos y la selección de equipos hidráulicos, no obstante, a través de la presente tesis se consiguió datos operacionales esenciales tales como la presión, caudal y potencia que necesita la bomba sumergida para garantizar las condiciones de un buen riego las cuales servirán como referencia para futuros proyectos de riego con modalidades similares.

Justificación tecnológica: en la selección de la bomba se contempló una tecnología de bombeo distinta al predominante en el sector agroindustrial la cual incide principalmente en el tipo del motor eléctrico que es de eje hueco y en el material del cabezal que es en acero estructural.

Justificación legal: el diseño del sistema de conducción hidráulica a presión se basó en el estudio hidrogeológico que se realizó al pozo cumpliendo con la normativa del ANA (Autoridad Nacional del agua), este con el objetivo de prevenir la sobreexplotación de agua subterránea, y evitar las crisis hídricas que se presentaron en Ica y “La Yarada” en Tacna, debido a la operación indiscriminada de pozos, generando un desequilibrio en el balance hídrico de sus acuíferos

1.5. Importancia

El sistema de conducción hidráulica se diseñó para crear un balance entre la necesidad de regar la caña de azúcar por parte de las agroindustrias y la necesidad de contar con agua potable para subsistir por parte de los pueblos aledaños a estas agroindustrias.

Este diseño no solo se ocupa de cumplir con las condiciones hidráulicas aptas para el riego de la caña de azúcar, si no, también de cuidar la eficiencia energética en su selección, ubicando el punto de trabajo muy cerca del BEP de la curva hidráulica de la bomba.

Por otro lado, se está optando por la selección de una electrobomba con motor eléctrico de eje hueco, lo cual es poco común de ver en las agroindustrias del norte, dando así una selección diferencial en el mantenimiento de la bomba al excluir por diseño la caja de rodamientos extra que suele estar presente en el diseño de bombas con motor de eje sólido.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Se citan algunas tesis y documentos que aportan a mi proyecto de tesis:

- ING. PATROCINIO ARROYO HERNÁNDEZ. **Diseño de sistemas de riego por gravedad con red de tubería de distribución parcelaria a baja presión.** Tesis para obtener el grado de maestro en ingeniería (Hidráulica). México. Universidad Nacional Autónoma de México. 2008

“Una opción que en los últimos años se orienta a éste propósito, es el entubamiento de las conducciones y el riego efectuado mediante la distribución parcelaria del agua circulando por redes de tubería superficial y/o subterránea a baja presión, proporcionando al usuario disponibilidad y libertad en el manejo del recurso hidráulico, y logrando como consecuencia, mayor eficiencia en sus cosechas, lo que se traduce en volúmenes de producción con calidad y a bajos costos. (Pág. 7)

El entubamiento de la conducción representa claras ventajas sobre el sistema tradicional -canal a cielo abierto-, debido a que el agua no se desperdicia, no se contamina, no se la roban y no se tienen pérdidas por evaporación e infiltración, incrementando la eficiencia de la zona regable hasta en un 98 por ciento. (Pág. 9)

Recientemente los tubos más usados son los termoplásticos.....Su pared interior es lisa altamente deslizante, incluso en seco, por lo que tienen un coeficiente de fricción bajo causando menor pérdida por fricción y favoreciendo un mayor caudal transportable (Pág. 11)

Un tipo de tubería cualquiera podría resolver distintas necesidades, pero únicamente se dará una solución eficiente mediante el empleo de un diámetro económico específico para cada caso (Pág. 19)

El diámetro óptimo es aquel que cumple con las características hidráulicas y es el más barato. (Pág. 80)”

De este trabajo se obtuvieron los siguientes resultados que se tomaron como referencia en la elaboración del presente informe de tesis:

La conducción hidráulica sometida a presión para riego es mucho más eficiente, ya que ahorramos el recurso hídrico e incrementa la eficiencia en la zona regable en un 98% a comparación de la conducción hidráulica mediante canales abiertos.

También vemos que para dar una solución eficiente al sistema de conducción hidráulica sometida a presión se debe diseñar y seleccionar la tubería con un adecuado diámetro económico y con menor coeficiente de fricción como las tuberías termoplásticas para generar menores pérdidas por fricción.

- VICENTE ESTUARDO ESQUIT DONIS. **Análisis técnico-económico de un sistema de riego por pivote central y un módulo de riego por aspersión móvil en cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), en ingenio La Unión S.A., Escuintla.** Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2004.

“El costo de riego con pivote central fue 52% más bajo que el de aspersión móvil, esto debido especialmente a que el sistema requiere menos potencia para su operación, así mismo el costo de la mano de obra se redujo en 84%, dada la automatización del sistema y menos uso de operarios. El incremento de la producción que se ha conseguido con la aplicación de riego con el pivote central y sus bajos costos de operación hacen que su uso sea técnica y económicamente atractiva. (Pág. 16)

Preliminarmente, se ha estimado que los costos de riego para dotar de agua al cultivo son 150% mayores al utilizar el sistema de aspersión móvil que un pivote central. El alto costo se debe a un alto requerimiento de energía y mano de obra para operar el sistema. (Pág. 19)

El costo de consumo de combustible para el generador eléctrico y el motor del sistema de aspersión móvil, es en base a estadísticas de operación. El consumo para el motor de la bomba del pivote central, se calcula en función de la potencia requerida de la bomba (Pág. 74)

El sistema de pivote central tiene requerimientos mínimos de energía y mano de obra, la operación del sistema de riego de pivote central evaluado requiere 61 Hp de potencia, mientras que el sistema de aspersión móvil 92.5 Hp, por lo que la demanda de energía es menor en 52% al utilizar el pivote central (Pág. 89)

En función de las ventajas que ofrece el sistema de riego de pivote central, por los bajos costos de combustible, mano de obra y de operación de riego, se recomienda su uso para riego en el cultivo de caña de azúcar. (Pág. 91)”

De este trabajo se obtuvieron los siguientes resultados que se tomaron como referencia en la elaboración del presente informe de tesis:

En los cultivos de caña de azúcar es mucho más eficiente el riego por pivote debido al bajo consumo de energía y menores horas hombres de trabajo, a pesar de la alta inversión que se requiere.

En los sistemas de riegos por pivote el consumo de energía depende directamente de la potencia requerida por el equipo de bombeo.

- **MARTÍNEZ ALVAREZ, DANIEL. Plan de medidas para la disminución del consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctricas de la UBPC-3 “Jesús Menéndez” en la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”.**

Tesis magistral. Cuba. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. 2015.

"Las máquinas de riego han posibilitado una mayor eficiencia de esta actividad en áreas donde otros métodos de riego no son adecuados. Durante las últimas tres décadas, las máquinas de pivote central se han perfeccionado mucho. (Pág. 14)

Pese a esto, dichos sistemas de riego son altos consumidores de energía eléctrica. Muestra de ello es que el riego constituye el segundo gran consumidor de portadores energéticos dentro del Ministerio de la Agricultura cubano, con un porcentaje que se encuentra entre el 18 al 20%; solo superado por el transporte que acapara un 25% (Baños, 2011) (Pág. 15)

Objeto de estudio: El consumo energético de la actividad de riego con las máquinas de pivote central eléctrico. (Pág. 18)

El bajo valor del coeficiente de uniformidad se debe, esencialmente, al no cumplimiento de las indicaciones propuestas por la carta técnica de la máquina en la instalación de la carta de aspersion y a la no satisfacción por parte de la bomba de las demandas de la máquina de riego. (Pág. 86)

Los factores que inciden en el consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctricas de la UBPC-3 "Jesús Menéndez" en la Empresa Agropecuaria "Valle del Yabú" son el

inadecuado manejo de la actividad de riego y el bajo coeficiente de uniformidad. (Pág. 89)

En esta tesis se pone de manifiesto la importancia de una adecuada selección del equipo de bombeo para la disminución del consumo energético en un sistema de riego con máquina de pivote.

- CORTÉS SALAZAR, FERNANDO. **Selección de equipo de bombeo para un sistema de suministro de agua.** Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/38/TESIScortessalazar.pdf?sequence=1>. Consultado el 15 de agosto del 2010.

“OBJETIVO GENERAL: Se planea construir una empresa dedicada a la purificación de agua en S. L. P. la cual proporcionará para su venta cilindros de agua purificada. Por lo que se requiere un equipo de bombeo que pueda suministrar el fluido desde un pozo profundo hasta la planta de proceso. (Pág. 12)

Conclusiones: Se considera para dicho análisis la carga dinámica total, en donde se proponen accesorios que permiten un desplazamiento del líquido sin sufrir grandes pérdidas, haciendo más eficiente el sistema. (Pág. 113)”

De este trabajo se obtuvo como conclusión que la selección de accesorios es de vital importancia para que al momento de calcular la A.D.T no se obtenga un valor muy elevado que incremente el precio del equipo de bombeo.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Pozos profundos para captación de agua

a) Definición

"Las aguas subterráneas constituyen la mayor reserva de agua dulce del mundo, y representan más del 97% del total de agua dulce disponible en el planeta".⁴

Un pozo es la perforación o hueco profundo que se realiza a las tierras atravesando varios estratos acuíferos y no acuíferos, con el objetivo de obtener un fluido, en este caso agua en condiciones utilizables, desde los mantos freáticos.

b) Ventajas

- En comparación con los altos costos que implica la construcción de embalses de superficie, la perforación de pozos es

⁴ Ing. Norberto O. Bellino. Aguas subterráneas Conocimiento y Explotación. Buenos Aires, Argentina. 2012.

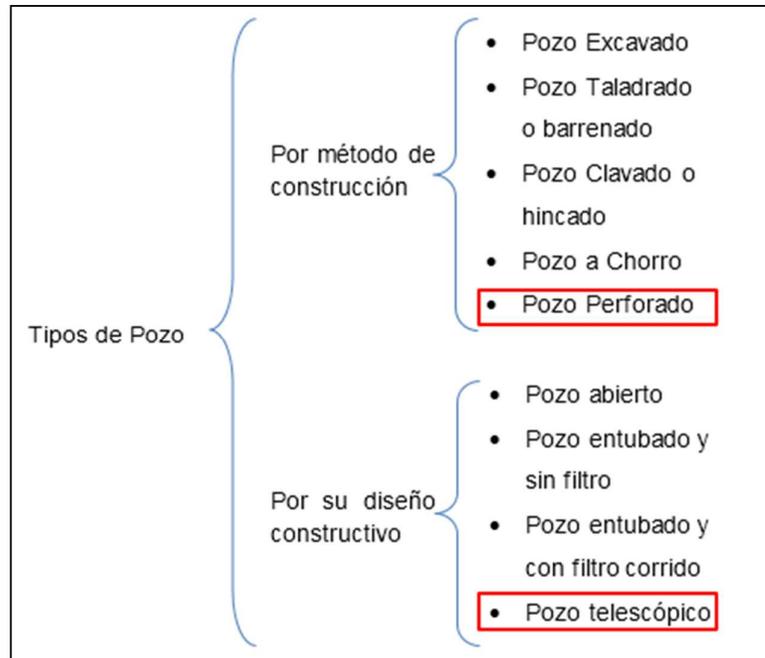
relativamente barata y puede ser gradual a lo largo del tiempo para ir satisfaciendo las necesidades.

- El impacto ambiental en un pozo es mínimo.
- Muchos acuíferos tienen gran capacidad de almacenamiento, por lo que los volúmenes necesarios del recurso pueden ser satisfechos, incluso en largos periodos de sequía.
- El agua subterránea es, en general, de buena calidad química y bacteriológica, y es improbable que requiera otro tratamiento, así como, muchas veces, la precautoria cloración.

c) Clasificación de pozos profundos

Los pozos profundos para la captación de agua subterránea se clasifican de acuerdo al método de construcción y a su diseño constructivo.

FIGURA 2. 1 : DIAGRAMA CLASIFICACION DE POZOS PROFUNDOS PARA EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRANEA



Fuente: Elaboración propia.

Clasificación de pozos de acuerdo al método de construcción:

- **Pozo excavado:** Aquel que se construye generalmente de forma manual con picos, palas, etc. Estos pozos son de poca profundidad y se usan principalmente donde el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie.

Su principal ventaja es que pueden construirse con herramientas manuales. Además su gran diámetro proporciona una considerable reserva de agua dentro del pozo mismo.

Su principal desventaja es que debido a su poca profundidad (normalmente de 6 a 18 metros dependiendo del tipo de suelo) generalmente solo obtienen agua de las capas acuíferas

superiores, debido a ello son muy sensibles de perder efectividad en la estación seca o en años de sequía.

- **Pozo Barrenado o Taladrado:** Aquel en que la excavación se hace por medio de barras sucesivas en cuya parte inferior tiene un recipiente con cuchillas en su cabeza, el cual se hace rotar en forma manual (en caso de terrenos no consolidados como sedimentos aluviales) o impulsado por fuerza motriz.

Las formaciones más apropiadas para usar este método son los sedimentos glaciales y los depósitos aluviales.

- **Pozo Clavado (Hincado):** Aquel que se construye clavando, mediante el uso de mecanismo de percusión similar usado para hincar pilotes prefabricados, el sistema correspondiente al encamisado del pozo profundo, incluyendo el sistema de rejillas para infiltración del agua del acuífero y contando además con una punta en su parte inferior para permitir una mejor penetración en el terreno. Con este método de construcción podemos alcanzar como máximo diámetro de 4”.

Este sistema no es muy recomendable en arcillas secas (debido a su gran dureza) ni en arenas finas saturadas (debido a la gran resistencia que presentan a la penetración) ni en lugares donde la napa a alcanzar está a profundidades mayores a 15 o 20 metros, debido a lo laborioso que resulta el hincamiento del sistema hasta tales profundidades.

- **Pozo a Chorro:** Aquel en que la excavación se hace mediante un chorro de agua a alta presión el cual al impactar con el suelo va disgregándolo, luego de lo cual el flujo de agua ascendente lleva estos sedimentos haciéndolos rebalsar fuera del pozo.

Debido a las grandes cantidades de agua necesarias para usar este método (hasta 150 litros por metro en caso de arenas) y las grandes presiones que esta debe alcanzar (31 mca) este método requiere de maquinarias especiales y de abastecimiento de grandes cantidades de agua, lo que hace necesario el uso de camiones aljibe.

El uso de este sistema está restringido únicamente a suelos poco cohesivos como arenas o gravas pequeñas, siendo más difícil perforar en arcillas e inútil en el caso de presentarse gravas grandes o terrenos rocosos.

- **Pozo perforado:** La excavación se hace mediante sistemas de percusión o rotación. El material cortado se extrae del hueco con un achicador, mediante presión hidráulica, o con alguna herramienta hueca de perforar, etc. Este método de perforado se divide en dos tipos: Percusión y rotación que básicamente se diferencian en la forma de penetrar la tubería las cuáles serán las paredes del pozo.

Clasificación de pozos de acuerdo al diseño constructivo:

- **Pozo abierto:** En estos pozos no se instala entubados ni filtro. En ocasiones se coloca un tramo de tubería en la boca del pozo para evitar su desmoronamiento. Este pozo extrae agua de los diferentes acuíferos o napas que atraviesa, poniéndolos en contacto entre sí. Puede desmoronarse aprisionando al equipo de bombeo. La única razón de su construcción es el bajo costo. Se emplean para riego.
- **Pozo entubado y sin filtro:** en general posee tubería de revestimiento de sus paredes, denominado ademe o camisa. Permite, si es necesario, que se aíslen capas de agua (napas) superiores que pueden poseer agua de calidad inadecuada para su uso. Si el acuífero que explota está compuesto por material disgregado o sedimentario como arena, éste será arrastrado en abundancia conjuntamente con el agua bombeada. Este tipo de perforaciones se emplean mayormente en pequeñas explotaciones.
- **Pozo entubado y con filtro corrido:** está completamente entubado o ademado y posee rejilla o filtro. Si bien se estabilizan las paredes del pozo y se impide el arrastre del material que conforma el acuífero con el agua bombeada, presenta cierta dificultad en caso de tener que aislar correctamente una capa de agua superior. El problema radica en asegurar la estanquidad del

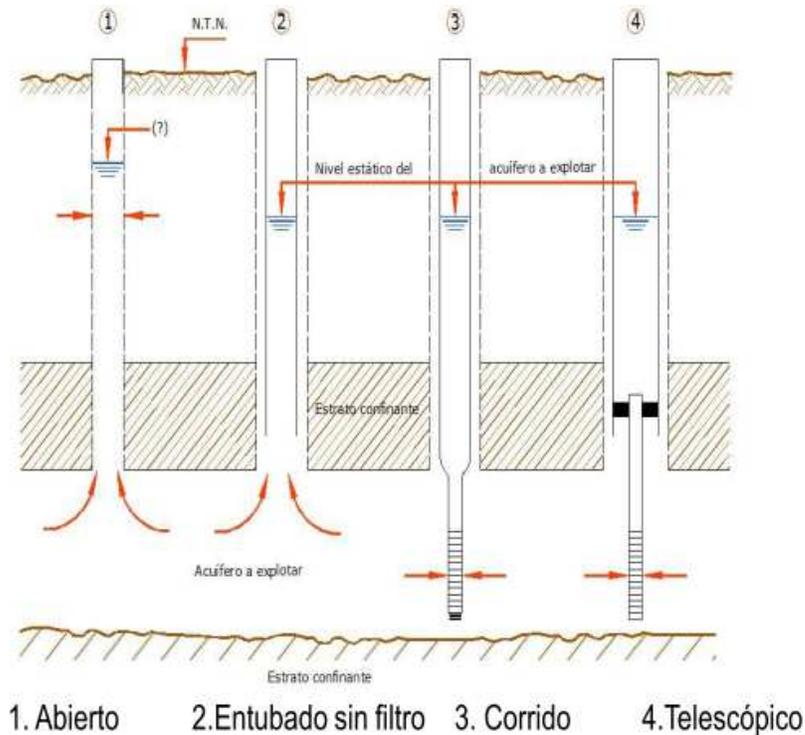
tubo en la zona en que aislé o separe a los acuíferos entre sí. En general puede resultar más económico que un pozo telescópico.

- **Pozo telescópico:** es la configuración más adecuada para aislar acuíferos superiores pero además para avanzar con seguridad a partir de la instalación de cada entubado y la continuación del trabajo por dentro de él. Su mayor inconveniente radica en asegurar los cierres entre tuberías concéntricas.

En ocasiones posee dos o más reducciones de diámetro, sea por la existencia de diferentes capas de agua con intercalaciones de estratos no acuíferos o bien porque constructivamente resulta más seguro avanzar estabilizando sectores que puedan desmoronarse.

Cada tipo de pozo tiene sus ventajas particulares, que pueden ser, la facilidad de construcción, tipo de equipo requerido, capacidad de almacenamiento, facilidad de penetración o protección contra la contaminación.

FIGURA 2. 2: CLASIFICACION DE POZOS DE ACUERDO AL DISEÑO CONSTRUCTIVO



**Fuente: Ing. Norberto O. Bellino
Aguas subterráneas Conocimiento y Explotación**

d) Características de un pozo telescópico

- **Diámetro de la perforación:** El diámetro de la perforación definitiva o de explotación, depende de varios factores estrechamente relacionados, entre los que se destacan: caudal requerido, productividad del acuífero, diámetro del entubamiento, características del equipo de bombeo.

El caudal requerido, es uno de los principales condicionantes del diámetro del pozo y su entubamiento, dado que para lograr

caudales elevados se necesitan grandes equipos de bombeo, cuya instalación requiere de cañerías de gran diámetro.

La productividad del acuífero, es la limitante esencial respecto al caudal que puede obtenerse de un pozo.

La productividad de un acuífero depende de su permeabilidad o conductividad hidráulica y del espesor saturado.

- **Instalación de la camisa:** La colocación apropiada de la cañería camisa en una perforación es una tarea fundamental para lograr una buena aislación entre acuíferos y evitar la contaminación bacteriológica, o con otras sustancias que pueden ser retenidas o degradarse durante su pasaje del acuífero libre o freático al semiconfinado subyacente.

Ya se mencionó que para lograr una buena cementación de la camisa es necesario contar con un diámetro de pozo al menos 4" mayor que el de la cañería.

También resulta conveniente colocar centradores en la camisa para evitar el contacto de la misma con la pared del pozo, pues dicho contacto impediría una correcta cementación.

- **Verticalidad, alineamiento y aislación:** La verticalidad de un pozo está referida a su posición respecto a la de la plomada, mientras que el alineamiento se refiere a su relación con una línea recta.

Las desviaciones en la verticalidad y en el alineamiento, fundamentalmente en las perforaciones de más de 100 m, pueden derivar, en el primer caso, en inconvenientes para la colocación de la camisa y en el segundo, para la instalación y el funcionamiento de la bomba.

Los factores que inciden en la desviación de un pozo pueden ser naturales, como las características geológicas del subsuelo o artificiales como la forma de perforar, el equipo y tipo de herramienta empleados, etc.

La desviación también es frecuente cuando existe buzamiento (estratos inclinados). La excesiva presión ejercida por las barras sobre el trépano puede producir el pandeo de éstas y desviar una perforación rotativa. Otro motivo de desviación frecuente es un avance demasiado rápido de la herramienta, o un equipo con un cuadro de maniobras poco resistente respecto al peso de las barras, portamecha y trépano.

Las desviaciones excesivas pueden dificultar y aún impedir la colocación de la camisa, especialmente cuando el espacio anular es pequeño.

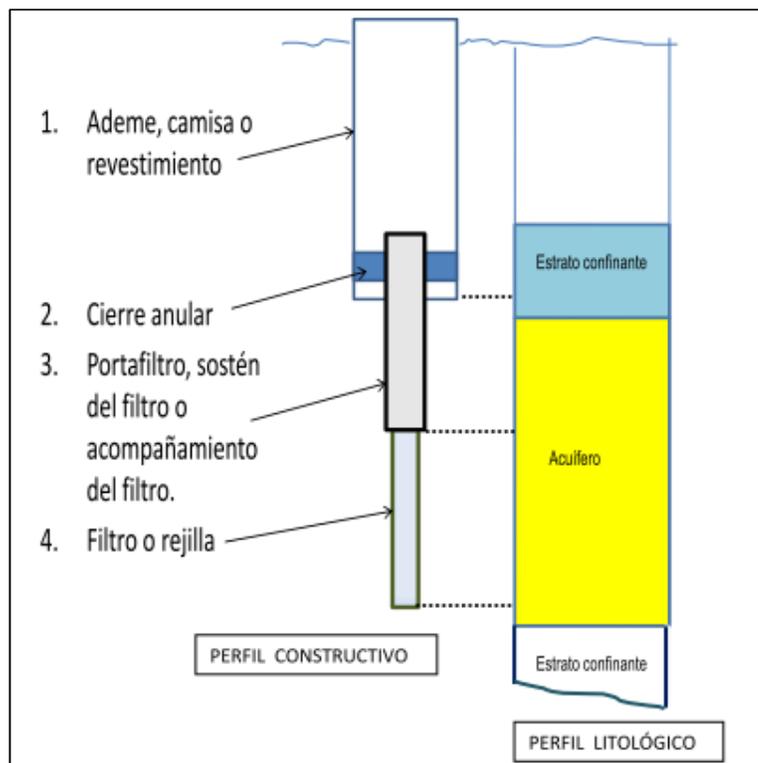
- **El filtro:** Es uno de los componentes más importantes para el correcto funcionamiento de un pozo para la extracción de agua.

Básicamente, consiste en un tubo con orificios a través de los cuales ingresa el agua contenida en un acuífero, pero no el

material granular natural de la formación productiva, ni el que se hubiese agregado artificialmente (engravado).

Un filtro eficiente debe permitir el ingreso a la perforación, durante las tareas de desarrollo, de los componentes finos naturales del acuífero y de los introducidos artificialmente durante la ejecución del pozo. De esta forma se logra un incremento de permeabilidad en la vecindad del filtro, que puede aumentar considerablemente con el engravado artificial.

FIGURA 2. 3: CARACTERÍSTICAS DE UN POZO TELESCOPICO DONDE SE PUEDE OBSERVAR LA CAMISA Y UNIDAD DE FILTRADO



Fuente: Ing. Norberto O. Bellino
Aguas subterráneas Conocimiento y Explotación

e) Procedimientos para perforación de pozos en el Perú

Actualmente contamos con la organización que se encarga de velar el uso racional del recurso hídrico, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) mediante el Reglamento de Procedimientos Administrativos para el Otorgamiento de Derechos de Uso de Agua y de Autorización de Ejecución de Obras en Fuentes Naturales de Agua, que consta de seis (06) títulos, cuarenta y dos (42) artículos, cinco (05) disposiciones complementarias finales y dos (02) disposiciones complementarias transitorias y veinticuatro (24) Formatos Anexos, la cual fue aprobada por Resolución Jefatural N° 007-2015-ANA.

En el cual indica que las obras de captación, uso y devolución de agua, debe estar dimensionado de acuerdo con la demanda de agua proyectada.

Para el otorgamiento de autorización de uso de agua se debe presentar los siguientes documentos:

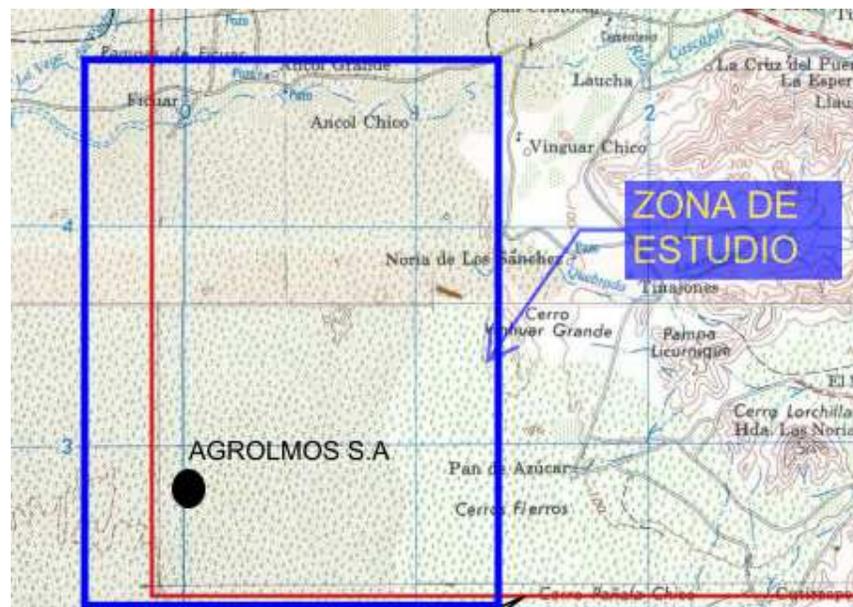
- Plan de aprovechamiento de los recursos hídricos.
- Contenido del proyecto de convenio.
- Capacidad de la infraestructura hidráulica solicitada.
- Evaluación Hídrica
- Descripción de obras y equipamiento.

f) Características del agua en Olmos

Nuestra zona de estudio estará ubicado entre los valles de los ríos Cascajal y Olmos en el departamento Lambayeque, Provincia Lambayeque, distrito de Olmos

Según el estudio realizado por la ANA “Inventario de y monitoreo de las aguas subterráneas en el Valle de Olmos”, encontramos que dividen el ámbito de estudio en 5 zonas como se muestra en la Tabla 2.1:

FIGURA 2. 4: UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO



Fuente: Inventario de y monitoreo de las aguas subterráneas en el Valle de Olmos - ANA

TABLA 2. 1: CLASIFICACION DE ZONAS SEGÚN ESTUDIO ANA EN EL VALLE DE OLMOS

ZONA	POBLADO
I	Ñaupe – Boca Chica
II	Senquelo – Hualtacal – Laguna Larga
III	San Cristóbal–Ancol Grande
IV	Mano de León–Olmos–Nueva Esperanza
V	Olmos–Punta de Cerro

Fuente: Inventario de y monitoreo de las aguas subterráneas en el Valle de Olmos - ANA

Nuestro lugar de estudio se encuentra ubicado en la Zona III, del cual se extrae la siguiente información referente al agua subterránea:

- En esta zona se extrae un volumen que varía de 560 a 1'396,608 m³/año, encontrándose la mayor explotación en el sector Vingar.
- Los niveles freáticos han descendido de 0.10 a 2.40 m en el sector Ancol Cautivo y un ascenso de 0.08 m a 3.80 m entre los sectores Ancol Cautivo y San Cristóbal.
- Transmisividad (T): 1.05×10^{-2} m²/s a 1.64×10^{-2} m²/s
- Permeabilidad (K): 2.07×10^{-4} m/s a 2.73×10^{-4} m/s.
- En esta zona, los valores de la conductividad eléctrica oscilan entre 0.77 a 3.13 mmhos/cm, valores que representan aguas de baja a alta mineralización, existiendo

valores puntuales de 10.00 mmhos/cm en el sector Ancol Cautivo.

- En esta zona, se encuentran variaciones de la dureza entre 109.5 a 1,640.7 ppm, valores que representan aguas dulces (Senquelo – San Cristóbal) a muy duras (pasaje norte Olmos) respectivamente.
- El pH fluctúa de 7.00 a 8.10, valores que indican que las aguas varían de neutras a alcalinas.

2.2.2. Bombas centrifugas

a) Definición:

Es aquella máquina que incrementa la energía de velocidad del fluido mediante un elemento rotante, aprovechando la acción de la fuerza centrífuga, y transformándola a energía potencial a consecuencia del cambio de sección transversal por donde circula el fluido en la parte estática, la cual tiene forma de voluta y/o difusor.⁵

⁵ Norma Mexicana NMX-O-141-197, Funcionamiento para bombas centrifugas – año 1971

b) Componentes principales:⁶

- **Carcasa:** Es la parte exterior protectora de la bomba y cumple la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.
- **Impulsores:** Es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.
- **Anillos de desgaste:** Cumplen la función de ser un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde debido a las cerradas holguras entre el impulsor y la carcasa, el desgaste es casi seguro, evitando así la necesidad de cambiar estos elementos y quitar solo los anillos.
- **Estoperas, empaques y sellos mecánicos:** La función de estos elementos es evitar el flujo hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.
- **Flecha:** Es el eje de todos los elementos que giran en la bomba centrífuga, transmitiendo además el movimiento que imparte la flecha del motor.

⁶ <http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-95.htm>

- **Cojinetes:** Sirven de soporte a la flecha de todo el rotor en un alineamiento correcto en relación con las partes estacionarias. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.
- **Bases:** Sirven de soporte a la bomba, sosteniendo el peso de toda ella.

c) Tipos de bombas centrífugas:⁷

De acuerdo a la admisión del líquido

- **Bombas de flujo radial:** El líquido entra axialmente en el impulsor a través de la boquilla de aspiración y es descargado radialmente hacia la carcasa de la bomba. Se utilizan impulsores radiales que pueden ser del tipo abierto, semiabierto o cerrado. Se emplean cuando se requiere bombear líquidos a alturas entre intermedias y elevadas. En algunos tipos de bomba el flujo de ingreso también es en forma radial.
- **Bombas de flujo mixto:** El líquido entra axialmente en el impulsor y es descargado en una dirección intermedia entre la radial y la axial. Se utilizan impulsores radiales que pueden ser del tipo abierto o cerrado. Se emplean en servicios que requieren bombear a alturas intermedias.

⁷ Guía para la selección de equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural. Perú 2007

- **Bombas de flujo axial:** El líquido entra y sale del impulsor en forma axial. Se utilizan para bombear grandes caudales a poca altura, especialmente agua potable o aguas residuales tratadas. Son menos caras que las de flujo radial o mixto.

De acuerdo al tipo de impulsor

- **Bombas de impulsor abierto:** Los alabes son libres en ambas caras y están sujetas por un anillo central por donde ingresa el líquido. Sus aplicaciones son en agua potable y en líquidos residuales. Son de mantenimiento sencillo por el fácil acceso a los alabes de la bomba. Las principales desventajas son su debilidad estructural y la baja eficiencia en comparación con la de un impulsor cerrado, pero tiene la ventaja que puede dejar pasar restos de materiales relativamente grandes sin obstruirse.
- **Bombas de impulsor semiabierto:** En este caso, los alabes son libres en una de las caras y fijados por el otro en un disco, su uso es apropiado en líquidos viscosos y en aguas residuales, tienen mayor resistencia a la abrasión que los impulsores cerrados. Presentan mayor facilidad y menor costo de mantenimiento que los impulsores cerrados, y tienen mayor estabilidad que los impulsores abiertos.

- **Bombas de impulsor cerrado:** El impulsor está constituido de dos discos paralelos que encierran totalmente las vías del agua desde el orificio de succión hasta la periferia del impulsor. El flujo en el impulsor es mejor orientado y el rendimiento es mayor. Su aplicación es recomendable en líquidos limpios, ya que tiene poca resistencia a la abrasión. Cuando se emplean en líquidos residuales se utilizan el del tipo inatascable.

De acuerdo con el modo de ingreso del agua en el impulsor.

- **Bombas con impulsor de succión única:** Un solo orificio de succión y son utilizados en pequeñas instalaciones de agua potable y aguas residuales.
- **Bombas con impulsor de succión doble:** Dos impulsores simples son instalados en paralelo, dorso contra dorso, cada una trabajando con la misma altura de elevación y con la mitad del caudal total. Se utilizan en aplicaciones de grandes capacidades.

De acuerdo con al número de etapas de descarga

- **Bombas de etapa simple:** Tienen un único impulsor, son aplicados cuando no se necesita elevar el líquido a grandes alturas.

- **Bombas de dos ó más etapas:** Tienen dos o más impulsores instalados en serie, con la descarga de uno haciéndose en la succión del siguiente. El caudal de bombeo es el mismo en todas las etapas. La altura de elevación total es la suma de la altura de elevación de cada impulsor. Pueden ser construidas con el eje horizontal o vertical. Son aplicadas en instalaciones de agua potable y aguas residuales de gran altura de elevación.

De acuerdo con la posición de la bomba

- **Bombas de eje horizontal:** Son las más comunes y de aplicación a todos los fines.
- **Bombas de eje vertical:**

No sumergidas, las cuales son aplicadas cuando se quiere economizar espacio y son instaladas en pozo seco bajo el nivel de la superficie del suelo.

Sumergidas, las cuales trabajan sumergidas en un pozo de succión, accionadas (a través de un eje de transmisión) por un motor situado en un pozo seco
- **Bomba y motor sumergidos:** Trabajan sumergidos en un pozo de succión, con el motor por debajo del cuerpo de la bomba y no son directamente inspeccionables.

d) Parámetros requeridos para la selección de una bomba centrífuga:⁸

Características del líquido:

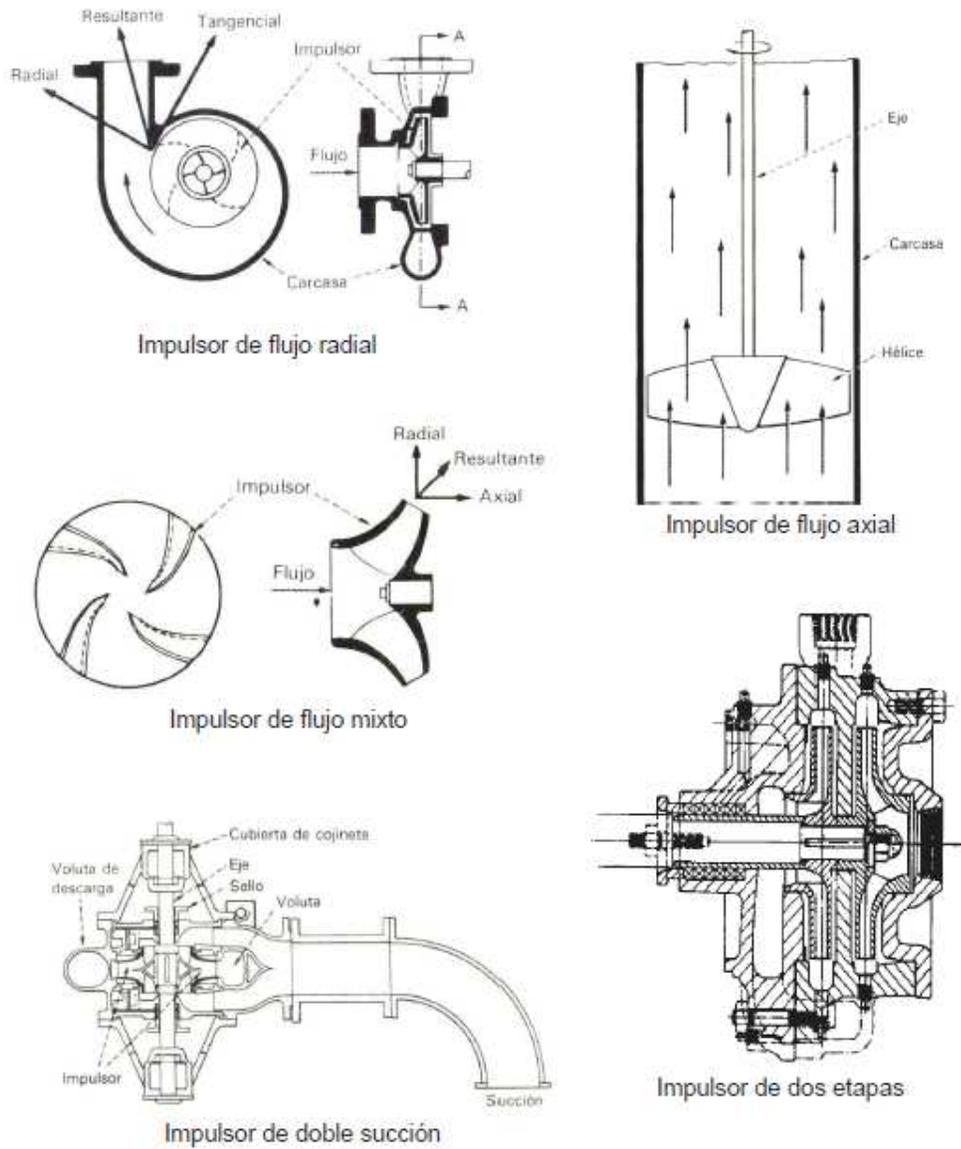
- Temperatura Se debe indicar la temperatura de trabajo, así como posibles rangos de variación de la misma.
- Gravedad específica Debe ser indicada para la temperatura de bombeo y es vital para una correcta determinación de la potencia.
- pH Se debe indicar la acidez o alcalinidad del agua, porque permite elegir el material adecuado de la bomba. Si existe análisis químico es preferible suministrarlo.

Condiciones de operación

- Caudal Debe ser especificado en litros por segundo. Es muy importante indicarlo en el punto exacto de operación ya que permitirá seleccionar la bomba más eficiente.
- Altura manométrica total Se debe especificar en metros de acuerdo a lo calculado, o dar al fabricante todos los datos en un croquis de la instalación, para su cálculo.
- Condiciones de succión Para bombas de eje horizontal se debe indicar la altura manométrica total y el NPHS disponible. En los demás tipos de bomba, especificar todos los datos en un croquis de la instalación.

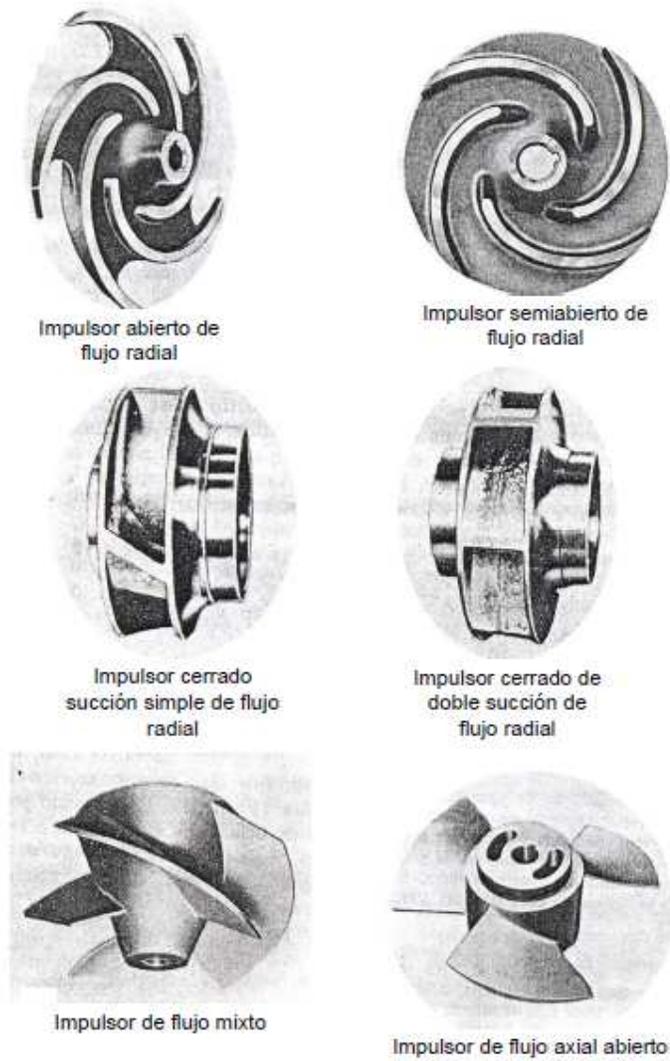
⁸ Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable. Lima 2005.

FIGURA 2. 5: CLASIFICACION DE BOMBAS SEGÚN ADMISION DE FLUJO



Fuente: Guía para la selección de equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural. Perú 2007

FIGURA 2. 6: CLASIFICACION DE BOMBAS SEGÚN TIPO DE IMPULSOR

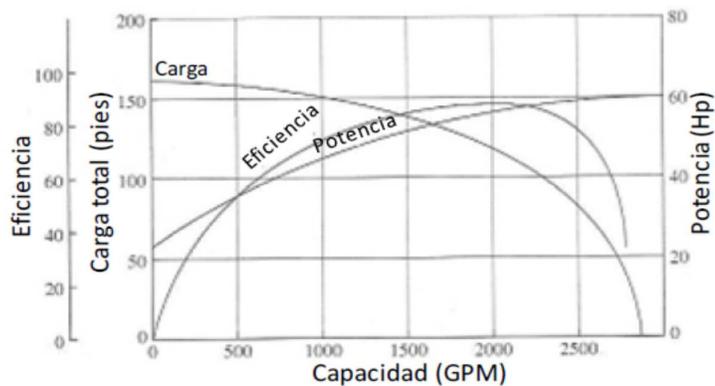


Fuente: Guía para la selección de equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural. Perú 2007

d) Curvas características:⁹

Las curvas características de las bombas, representan el comportamiento de los parámetros de las bombas para el rango de caudales que estas manejen.

FIGURA 2. 7:CURVAS CARACTERISTICAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS



Fuente: Guía de operaciones unitarias, Prof. Pedro Vargas. UNEFM – Venezuela

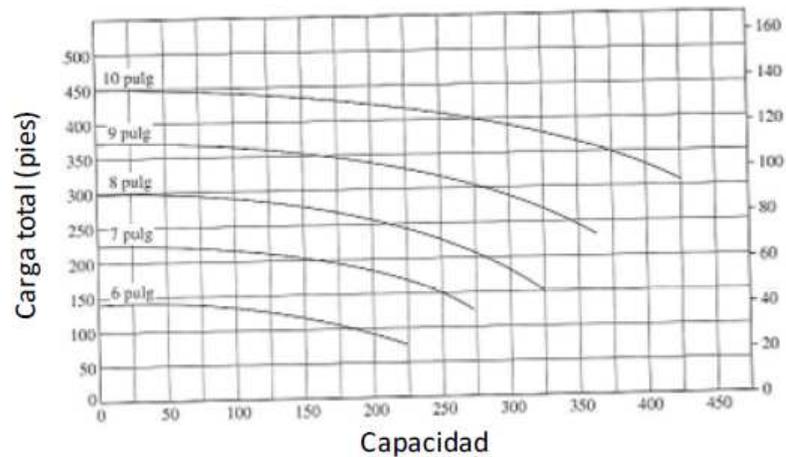
- **Curva cabezal vs capacidad:** Es la primera de las curvas características que se estudian. Muestra el comportamiento del cabezal desarrollado por la bomba a medida que se varía el caudal manejado. En esta curva característica, a medida que se incrementa el caudal manejado por la bomba, disminuye el cabezal desarrollado por esta.

La forma como cae el cabezal a medida que aumenta el caudal depende en particular de cada bomba, existen unas bombas de pendientes

⁹ Guía de operaciones unitarias, Prof. Pedro Vargas. UNEFM – Venezuela

pronunciadas, en las que para pequeñas variaciones de caudal reflejan altas variaciones en el cabezal desarrollado, y existen curvas de comportamiento más estable.

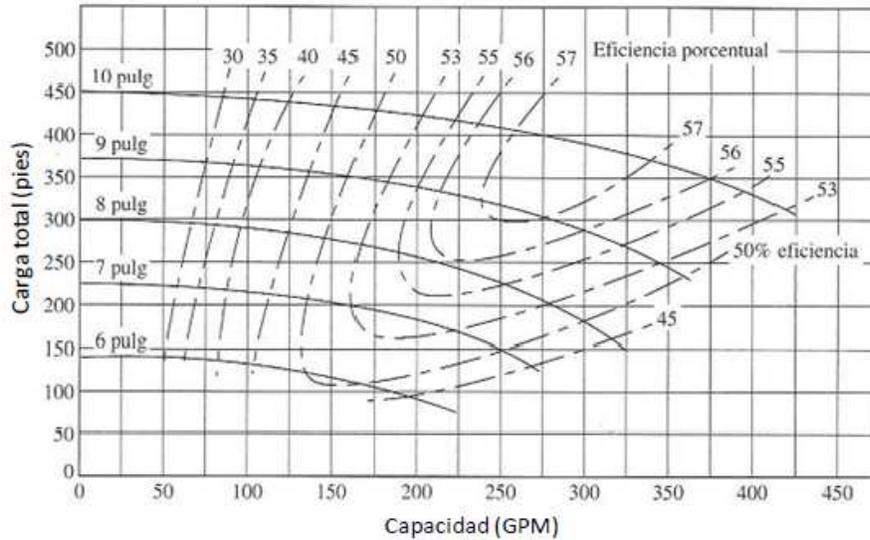
FIGURA 2. 8: CURVA CABEZAL VS CAPACIDAD PARA DIFERENTES DIAMETROS DE IMPULSOR



Fuente: Guía de operaciones unitarias, Prof. Pedro Vargas. UNEFM – Venezuela

- **Curvas de eficiencia:** Las curvas de eficiencia muestran el comportamiento de la eficiencia de la bomba en una región determinada. Es deseable que se opere en la región de los puntos de mejor eficiencia de la bomba.

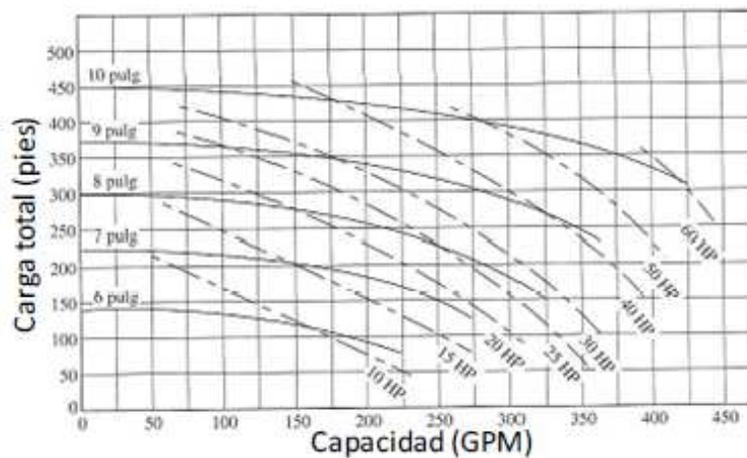
FIGURA 2. 9: CURVA CABEZAL VS CAPACIDAD PARA DIFERENTES DIAMETROS DE IMPULSOR



Fuente: Guía de operaciones unitarias, Prof. Pedro Vargas. UNEFM – Venezuela

- **Curva de potencia:** Las curvas de potencia muestran el comportamiento de potencia absorbida por la bomba. Es deseable seleccionar la potencia del motor satisfaciendo todos los puntos dentro de la curva hidráulica.

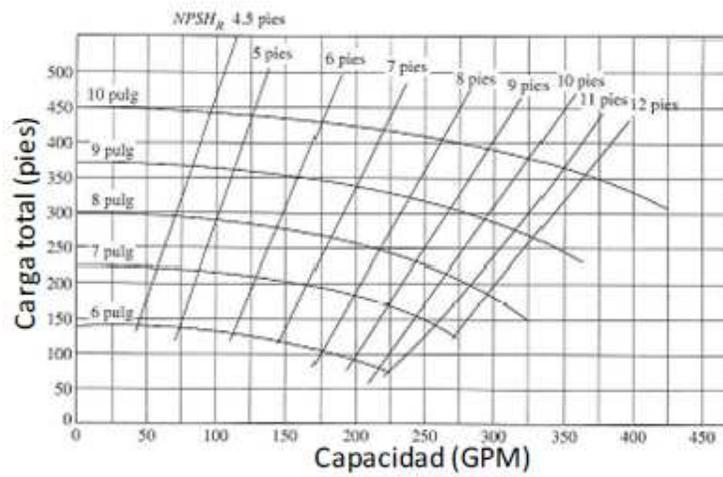
FIGURA 2. 10: CURVA CABEZAL VS CAPACIDAD PARA DIFERENTES DIAMETROS DE IMPULSOR



Fuente: Guía de operaciones unitarias, Prof. Pedro Vargas. UNEFM – Venezuela

- **Curvas de NPSHR:** En estas curvas se especifican los requerimientos de la bomba relativos a la energía necesaria del fluido a la succión de la bomba para evitar cavitación.

FIGURA 2. 11: CURVA CABEZAL VS CAPACIDAD PARA DIFERENTES DIAMETROS DE IMPULSOR



Fuente: Guía de operaciones unitarias, Prof. Pedro Vargas. UNEFM – Venezuela

2.2.3. Motores eléctricos

a) Definición:¹⁰

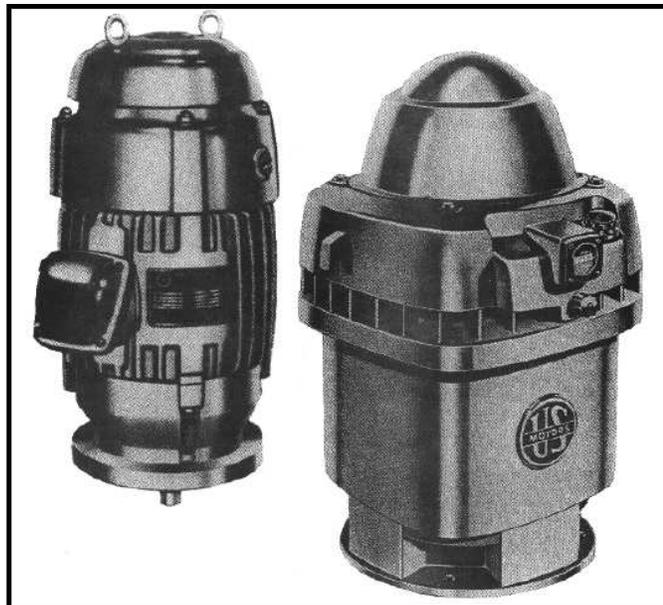
Los motores eléctricos son máquinas eléctricas que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes. Atendiendo al tipo de corriente utilizada para su alimentación, se clasifican en:

- Motores de corriente continua:
 - De excitación independiente.
 - De excitación serie.

¹⁰ <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>

- De excitación (shunt) o derivación.
 - De excitación compuesta (compund).
- Motores de corriente alterna
- Motores síncronos.
 - Motores asíncronos.
 - ✓ Monofásicos.
 - ✓ Trifásicos.
- b) Motores eléctricos asíncronos trifásicos verticales:11
- Motores eléctricos eje sólido
 - Motores eléctricos de eje hueco

FIGURA 2. 12: MOTOR ELECTRICO VERTICAL DE HEJE SOLIDO Y EJE HUECO



Fuente: Manual de instalación y mantenimiento US MOTOR

¹¹ Manual de instalación y mantenimiento US MOTOR

2.2.4. Tuberías hidráulicas

a) Definición: ¹²

Las tuberías son un sistema formado por tubos, que pueden ser de diferentes materiales, que cumplen la función de permitir el transporte de líquidos, gases o sólidos en suspensión (mezclas) en forma eficiente, siguiendo normas estandarizadas y cuya selección se realiza de acuerdo a las necesidades de trabajo que se va a realizar.

b) Datos característicos:

- **Presión nominal:** La presión nominal de diseño no será menor que la presión a las condiciones más severas de presión y temperatura coincidentes, externa o internamente que se espere en operación normal.
- **Espesor nominal:** Es el grosor de la pared del tubo, el mínimo espesor de pared para cualquier tubo sometido a presión interna o externa, es función de, el esfuerzo permisible para el material del tubo, la presión de diseño, diámetro de diseño del tubo y diámetro de corrosión.
- **Diámetro nominal:** El diámetro nominal de tubos representa el tamaño estándar para tuberías de presión.

¹² Tipo de tubería, ING. Rafael Orlando Ortiz. Universidad Nacional de Colombia 2016

c) Tipos de tubería:

Tuberías metálicas

Hay muchos tipos de tubería metálica en el mercado que están diseñadas para tipos específicos de trabajo. Algunas se utilizan en la mayoría de hogares mientras que otras pueden transportar líquidos y gases tóxicos a través de grandes distancias, de las cuales encontramos.

- **Tubería de hierro fundido:** Los tubos en hierro fundido son largamente utilizados para aguas residuales, no solo en instalaciones domiciliarias sino también en tuberías de estaciones de bombeo y colectores de alcantarillado, las tuberías en hierro fundido son altamente resistentes a la abrasión, por arena, grava, disposición de residuos de basura, descarga de lavavajillas y desechos en suspensión arrastrados a lo largo de la porción inferior de drenaje de desagüe. La principal desventaja de la tubería de hierro fundido es la corrosión interna y externamente, para esto se recubre la tubería empleando materiales vinílicos y resinas epóxicas.
- **Tubería de acero:** Su uso común es el transporte de agua, aceites, vapores, combustibles y gases, se utiliza principalmente para altas presiones y temperatura por su gran resistencia, para el transporte de petróleo, gas y ácidos

se requiere de un acero resistente a la corrosión , este tipo de tuberías se unen por uniones roscadas, soldadas o bridadas.

- **Tubería de cobre:** La tubería de cobre es duradera y resistente a la corrosión y se utiliza para transportar cualquier tipo de fluido, ya que existen diferentes tipos de tubería de cobre, entre estas están.
 - Tubería de cobre tipo L: Tiene un espesor de pared durable, es usado principalmente para el drenaje del suelo y la distribución de agua, también se utiliza para a la construcción de alcantarillas, este tipo tiene un diámetro interior 0.545 pulgadas, pero este espesor varia a medida que aumenta el tamaño de la tubería, aumenta el espesor de la pared.
 - Tubería de cobre tipo K: tiene las paredes más gruesas de todos los tipos de tubería, debido a que con este tipo se utiliza para transportar gases o combustible, e incluso aire acondicionado con calefacción y ventilación, al igual que con el tipo k la pared de la tubería aumenta a medida que aumenta el diámetro de la tubería
 - Tubería de cobre tipo M: Se utiliza principalmente en los sistemas hidráulicos residenciales tiene paredes

relativamente delgadas, el espesor de la pared es relativamente menor a los tipos L y K.

Tuberías no metálicas

Las tuberías no metálicas presentan un comportamiento mecánico diferente a las metálicas debido a sus materiales, entre las más importantes encontramos.

- **Tuberías de PVC:** Las tuberías y accesorios PCV-U (policloruro de vinilo no plástico) presenta una gran resistencia excelente a entornos agresivos tanto de carácter natural como a consecuencia de la actividad industrial. Son resistentes a casi todo tipo de corrosión, ya sea de carácter químico o electromecánico. Como el PVC-U no es conductor, no hay efectos galvánicos y electroquímicos en las tuberías de PVC-U.
- **Tubería de concreto sin refuerzo:** Es utilizada para la conducción de aguas lluvias, negras, residuos líquidos industriales, para drenajes en vías y en general como conductos no sometidos a presión hidrostática.
- **Tubería de concreto con refuerzo:** Este tipo de tubería se fabrica con un mezcla de concreto cuya resistencia a la compresión es de 350 Kg/cm^2 , reforzada con acero grafilado enrollado helicoidalmente en forma continua y cuya rigidez se logra con número de varillas longitudinales,

soldadas eléctricamente al refuerzo principal, las tuberías de concreto reforzado se fabrica y se clasifica de acuerdo con su resistencia en clase I, clase II, clase III, clase IV y clase V.

- **Tubería de polietileno:** Presentan singulares ventajas frente a las fabricadas con otros materiales tradicionales, de forma general, pueden especificarse como: inertes, inodoras, atóxicas, inalterables, insolubles y resistentes.

d) Velocidades recomendadas en tuberías:¹³

TABLA 2. 2: VELOCIDADES RECOMENDADAS

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	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

Fuente: Diseño del sistema de tuberías y cálculo de las bombas

¹³ Diseño del sistema de tuberías y cálculo de las bombas. www.ugr.es/~aulavirtualpfc/q/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%20TUBERIAS.pdf

e) Cálculo de pérdidas de carga en tubería: ¹⁴

Para un cálculo más exacto de las pérdidas de carga en tuberías se determinan mediante la ecuación de Darcy-Weisbach

$$Z = \frac{c^2}{2g} \lambda \frac{L}{d}$$

Donde:

Z = Pérdida de carga de la tubería (m)

d = Diámetro de la conducción (m)

L = Longitud de la conducción (m)

c = Velocidad media del fluido (m/s)

λ = Coeficiente de fricción en función de Re

Número de Reynolds

Es la relación entre las fuerzas de inercia y viscosidad de un fluido, representado por la ecuación siguiente:

$$Re = \frac{c \times d}{10^{-4} \times \nu}$$

Donde:

c = Velocidad del líquido (m/s)

d = Diámetro de la conducción (m)

ν = Viscosidad cinemática (cm²/s)

¹⁴ Guía general para el cálculo, instalación y mantenimiento de bombas hidroneumáticas, Francisco Javier Fernández Figueroa, Guatemala, noviembre de 2012

Para un valor $Re < 2300$ la corriente es laminar.

Si el valor de $Re > 3000$, la corriente es turbulenta.

Coeficiente de fricción (λ)

Se trata de un coeficiente adimensional cuyo valor varía en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa (k/D)

Para régimen turbulento, distintos autores han desarrollado expresiones aplicables en función del rango del número de Re , sin embargo la más utilizada es la de Colebrook-White. Esta, consigue reunir en una sola, las expresiones desarrolladas por Nikuradse (para tubo rugoso) y Prandtl+Von-Kármán (para tubo liso).

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \times \log \left[\frac{2.51}{Re \times \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{d} \times 0.269 \right]$$

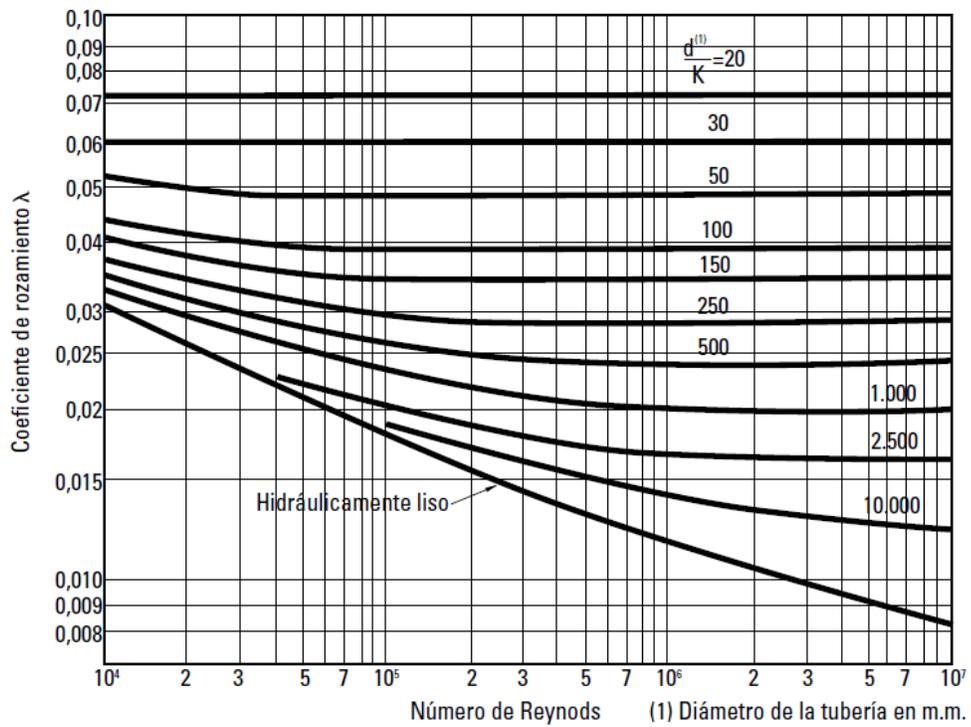
Esta expresión de Colebrook-White es válida tanto para flujo turbulento liso como rugoso, e incluso para fluidos de diferente viscosidad, siendo en la actualidad la más utilizada. No obstante el cálculo analítico mediante esta fórmula es engorroso al hacer necesarias varias iteraciones hasta determinar el factor de fricción correspondiente.

Mediante el diagrama de Moody se consigue representar esta expresión en un ábaco de fácil manejo. En él se obtienen los valores del factor de

fricción en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería.

Una vez en posesión del valor de λ , y mediante el uso de la fórmula de Darcy-Weissbach, podremos obtener las pérdidas de carga.

FIGURA 2. 13: CURVA CABEZAL VS CAPACIDAD PARA DIFERENTES DIAMETROS DE IMPULSO



Fuente: Datos técnicos de hidráulica - Bombas Ideal

2.2.5. Accesorios y dispositivos de protección

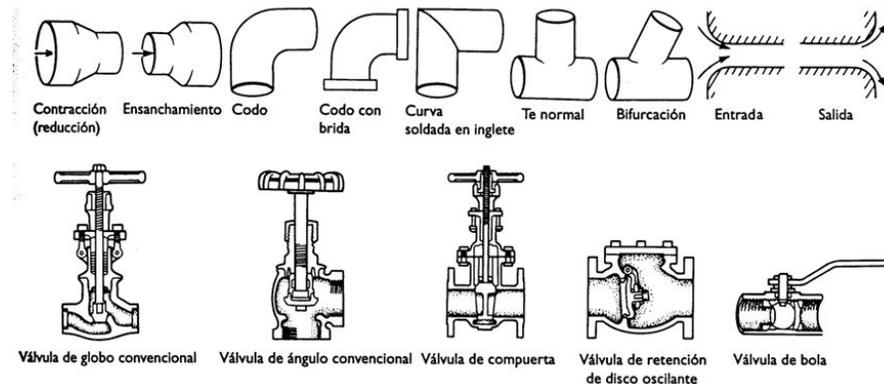
a) Definición

Los accesorios son de suma importancia para el diseño de conducción hidráulica, ya que estos se ajustan a la necesidad de los accidentes topográficos que se presentan en la tubería de descarga.

Los dispositivos para el control y protección desempeñan un papel muy importante en el control del flujo en la tubería, y para asegurar que el funcionamiento de la línea de conducción sea eficiente.

Estos elementos actúan como una resistencia en la línea de conducción, por lo cual deben ser seleccionadas de forma correcta para evitar caídas de presión considerables en el diseño.

FIGURA 2. 14: ACCESORIOS Y DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

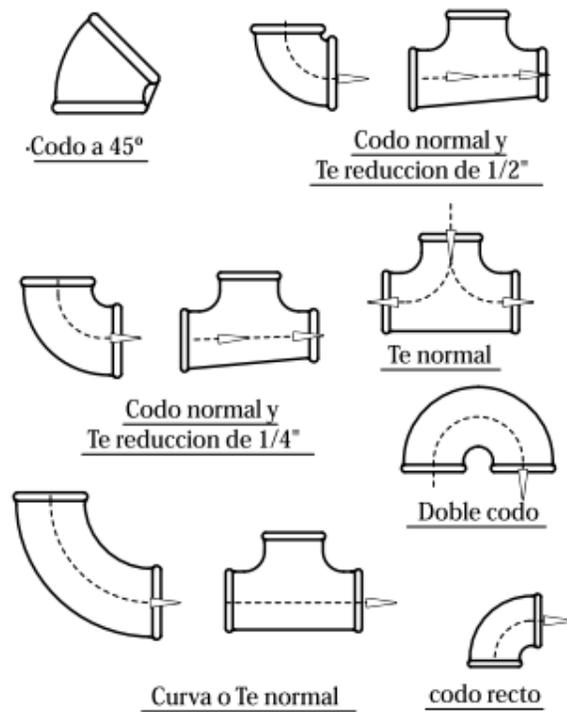


Fuente: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%202.Conducciones%20forzadas/tutorial_26.htm

b) Accesorios

Son las conexiones de la tubería en las intersecciones, cambio de dirección, cambio de diámetro, conexión con válvulas u otros dispositivos, pueden ser en fabricación metálica o plástica, generalmente estos accesorios son del material de la tubería.

FIGURA 2. 15: ACCESORIOS PARA UNION DE TUBERIAS

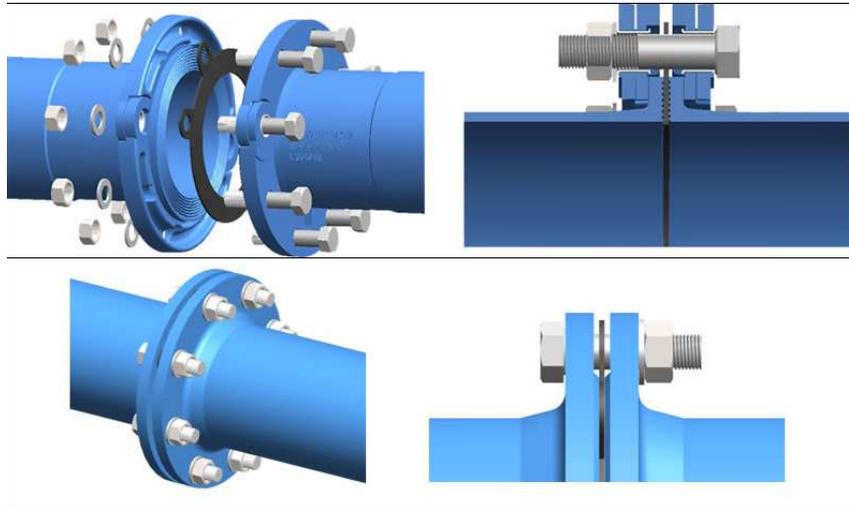


Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.15 podemos observar accesorios para unir tubería-tubería, estos normalmente se utilizan para cambio de dirección, derivaciones de línea.

También existen accesorios para unir tubería-válvulas u otro dispositivo, como las bridas, uniones universales, uniones simples u otros.

FIGURA 2. 16: UNION DE TUBERIAS MEDIANTE BRIDAS



Fuente: Elaboración propia

c) Dispositivos de control y protección

Estos elementos son normalmente utilizados para el control de flujo y una correcta operación del sistema de conducción hidráulica, dentro de estos está las válvulas, medidores, manómetros, entre otros.

- **Juntas flexibles:** Son recomendadas para absorber movimientos ocasionados por el trabajo de la bomba, algunos desalineamientos producidos durante el montaje del conjunto y para desconectar con facilidad el equipo de

bombeo cuando se requiera. Generalmente, se emplean las juntas Dresser y Gibault o algún otro elemento similar.

FIGURA 2. 17: JUNTA TIPO DRESSER PARA TUBERIAS



Fuente: <http://www.comercioindustrial.net/productos.php?id=dresser&mt=juntas>

- **Válvulas:** En los sistemas de conducción hidráulica se recomienda instalarlas a la descarga de la bomba, lo más próximo posible.

Estos elementos ejercen funciones de control, esto significa que abriendo o cerrando parcialmente la misma, se puede lograr una regulación del funcionamiento de la bomba.

Dependiendo de la recomendación del fabricante de la bomba y del tamaño de la instalación, muchas veces se requiere el cierre de la válvula de descarga antes de la puesta en marcha y parada de la bomba, luego deben aperturarse con sumo cuidado y lentamente, a fin de

evitar la aparición del fenómeno oscilatorio de presiones denominado golpe de ariete, cuyas consecuencias pueden ser nefastas para la instalación.

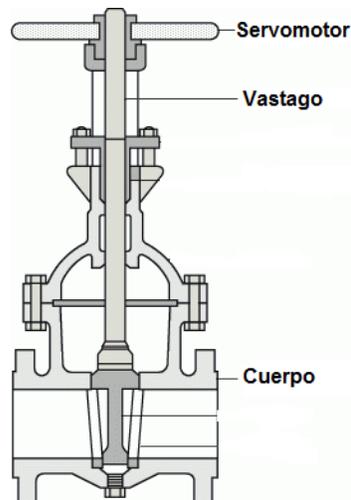
- Partes de una válvula

Cuerpo: Comprende del asiento, obturador, brida o rosca. El cuerpo como las conexiones de las válvulas están normalizadas según las presiones y las temperaturas a las cuales estarán sometidas y bajo normas como la DIN y la ANSI.

Vástago: Es la aguja que se desplaza en forma lineal con la apertura o cierra de la válvula.

Servomotor: Es el actuador puede ser manual, hidráulico, neumático u otro.

FIGURA 2. 18: PARTES DE UNA VALVULA



Fuente: Elaboración propia

- Clasificación de válvulas: Las válvulas se clasifican, según imagen por diferentes características.

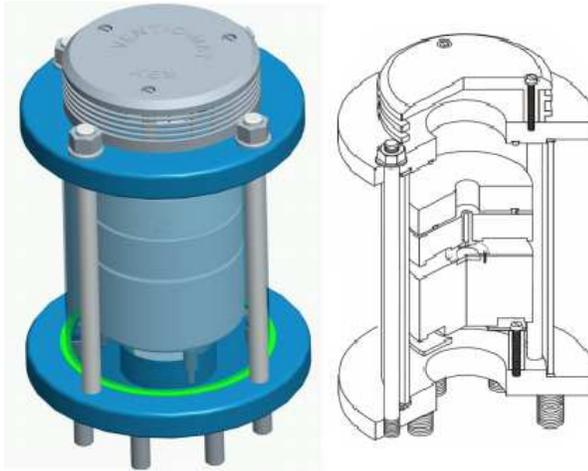
Las válvulas de tres o cuatro vías se utilizan generalmente para mezclar productos.

Las válvulas de simple asiento y bola estas normalmente son utilizadas para cierre y apertura (ON/OFF), al contrario de las válvulas globo, mariposa y compuerta están son utilizadas para regulación de flujo.

Las válvulas de control manual son accionadas por un operario, por lo que no sirve para realizar ningún tipo de control.

Válvulas eliminadores de aire, Cuando se acumula aire en el interior de la tubería tiende a ocupar los puntos topográficos altos del perfil de la línea, y si no es extraído produce una estrangulación de la sección de paso del agua que puede llegar a interrumpir el flujo. Sin embargo, el mayor peligro está en la posible compresión de este aire y su expulsión que combinada en una interrupción repentina del flujo puede multiplicar la presión, lo cual puede ocasionar una explosión de la tubería y hasta afectar a otros dispositivos.

FIGURA 2. 19: VALVULA VENTOSA – ELIMINADORA DE AIRE

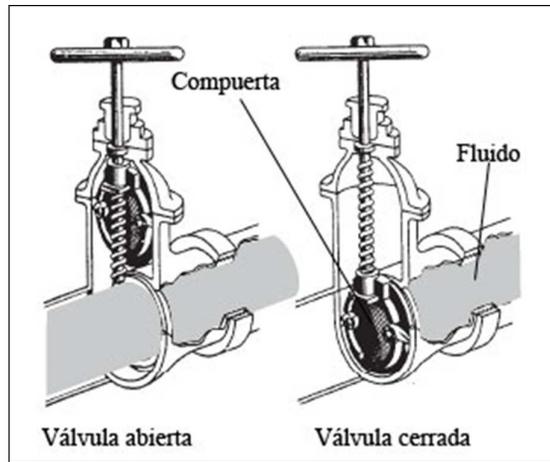


Fuente: Catalogo VENT-O-MAC

Válvulas de compuerta, son empleadas con el objetivo de bloquear algún elemento o sección del sistema en algún momento dado, para poder realizar una reparación, inspección o mantenimiento. Esta válvula puede ejercer funciones de control, esto significa que abriendo o cerrando parcialmente la misma, se puede lograr una regulación del funcionamiento de la bomba.

Son instaladas en la descarga de cada bomba, después de la válvula de alivio; pero, pudieran ser necesarias y en sitios diferentes, según el proyecto

FIGURA 2. 20: VALVULA COMPUERTA

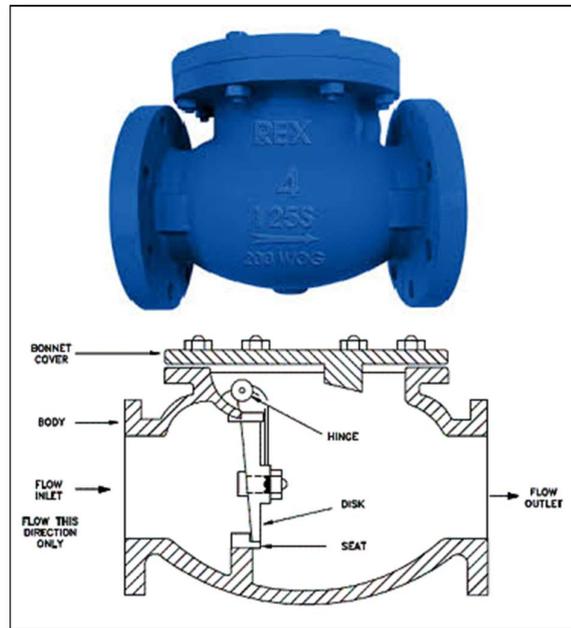


Fuente: <http://procesosbio.wikispaces.com/Valvulas>

Válvulas check o de retención, se instalan a la salida de la válvula de cierre en la descarga y su principal función es impedir el retorno del líquido desde la tubería hacia la bomba. Otra función es evitar que el líquido fluya en dirección opuesta en el momento que la bomba se detenga, haciendo girar su impulsor en el sentido contrario pudiendo ocasionar algún posible daño al equipo de bombeo.

Existen varios tipos de válvulas de retención como de bolas, clapetas, embolo, resorte, etc. Siendo las más comunes las de clapeta.

FIGURA 2. 21: VALVULA CHECK TIPO SWING



Fuente: <http://procesosbio.wikispaces.com/Valvulas>

Válvulas de alivio o anticipadoras contra golpe de ariete, es indispensable para la protección del equipo de bombeo y toda la línea a la que se aplica una presión peligrosa de transitorios ocasionados por cambios repentinos en la velocidad del flujo dentro de la línea.

Cuando un sistema de bombeo enciende y apaga gradualmente, no ocurren transitorios dañinos. Pero cuando existe un fallo de energía que produce un paro repentino de la bomba, provoca transitorios peligrosos en el sistema que pueden causar daños severos en los equipos.

FIGURA 2. 22: VALVULA ANTICIPADORA DE ONDAS



Fuente: <http://www.valvulasclaval.com>

- **Manómetros:** Es un instrumento que sirve para medir presión de los fluidos, en los sistemas de bombeo es un elemento muy importante ya que mediante este podemos verificar si el equipo de bombeo está operando en condiciones óptimas dentro de su curva de operación, por tanto se podría decir que todo equipo de bombeo debe tener un manómetro en la descarga para medir las condiciones reales de la carga durante la operación.
- **Caudalímetro:** Este es un instrumento que sirve para medir el caudal del fluido que recorre en un determinado sistema de conducción, este elemento se instala normalmente a la descarga del equipo de bombeo con la finalidad de controlar la capacidad de la bomba y detectar cambios en las condiciones de operación.

El manómetro y el caudalímetro proporcionan la cantidad exacta de capacidad y carga de fluido bombeado, esto puede ayudar al operador a detectar cambios en el sistema y tomar medidas correctivas antes de que se produzca un problema grave.

d) Esquema recomendado para sistemas de bombeo

El sistema que transporta el agua desde el sitio de la captación ya sea por medio de bombeo y/o rebombeo, ó a gravedad, hasta un punto de descarga predeterminado de la red. También se considera como parte del sistema de conducción hidráulica al conjunto de conductos, accesorios (codos, tees, conectores, etc), dispositivos de control y protección y el equipo de bombeo.

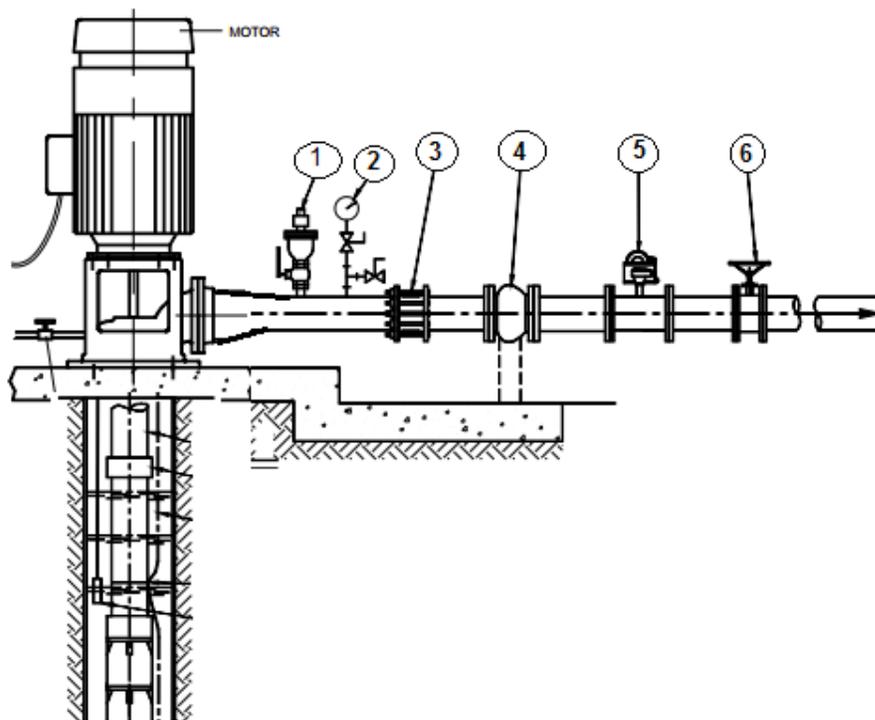
Su capacidad se calculará con el gasto requerido en el punto de descarga, ó con el que se considere conveniente según el proyecto.

De los accesorios que se tienen que instalar junto con los conductos de conducción tanto a gravedad como por bombeo, se deberán tomar en cuenta las válvulas de seccionamiento, expulsoras de aire, combinadas, de flotador, Check, de alivio de presión (en bombeos), desfogues,

juntas de dilatación, etc., cuya ubicación y cantidad variará de acuerdo al proyecto en cada caso.

Las líneas de conducción deben ser de fácil inspección, preferentemente paralelas a algún camino, en caso contrario se debe de analizar la conveniencia de construir un camino de acceso, con el objetivo de detectarse y corregirse de inmediato las fugas o desperfectos que sufran las tuberías.

FIGURA 2. 23: ESQUEMA RECOMENDADO PARA INSTALACION DE BOMBA TIPO VTP



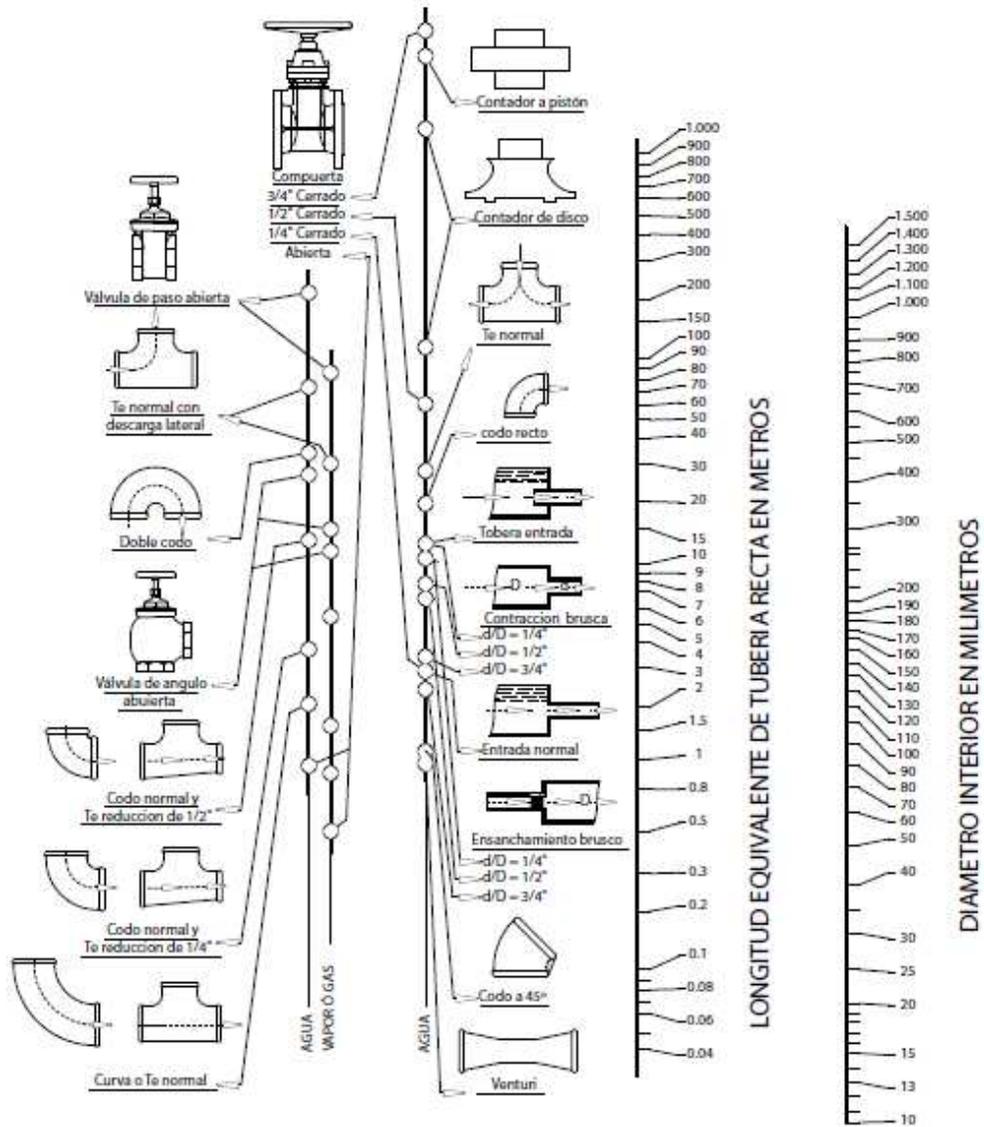
Fuente: Elaboración propia

e) Cálculo de pérdidas por accesorios u otros dispositivos

Las pérdidas por fricción, producidas por los diversos accesorios, se obtendrán, después de transformadas en longitudes equivalentes de la misma tubería con ayuda de la figura 2.24, en metros de columna del líquido elevado. Estas pérdidas las representaremos por h_{acc} .

En la práctica se usan tablas ya estandarizadas donde se muestran las resistencias, expresadas como longitudes equivalentes de tubo recto, diferentes válvulas, accesorios, contracciones y ampliaciones. Los propios fabricantes de estos accesorios, también suministran esta información, pero referida generalmente a la pérdida de carga unitaria, en vez de longitudes equivalentes de cañerías.

FIGURA 2. 24: DIAGRAMA DE ESQUEMAS EQUIVALENTES PARA ACCESORIOS Y DISPOSITIVOS



Fuente: Datos técnicos de hidráulica – Bomba Ideal

2.2.6. Diseño del sistema hidráulico

a) Cálculo de la carga dinámica total (C.D.T) ¹⁵

La carga dinámica total se calcula de la siguiente expresión derivada de la ecuación de Bernoulli:

$$CDT = h + \sum h_f + \frac{V^2}{2 \times g} + h_r$$

Donde:

h = Altura geométrica entre el nivel inferior y el superior del líquido.

$\sum h_f$ = La sumatoria de todas las pérdidas (tanto en tubería recta como en accesorios) que sufre el nivel de succión y el de descarga.

$V^2 / (2 \times g)$ = Energía cinética o presión dinámica.

h_r = Es la presión residual que debe vencer la bomba cuando el fluido llegue a su destino o punto más desfavorable.

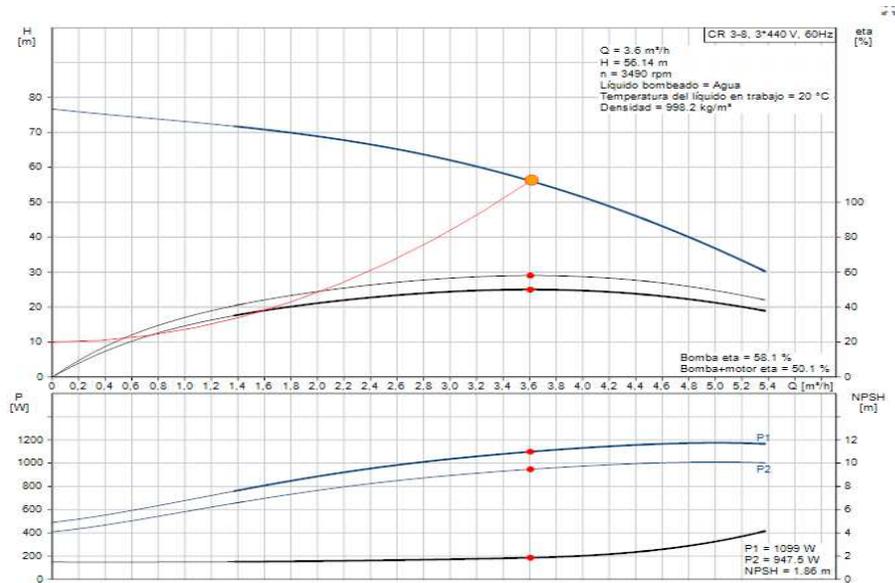
b) Curva del sistema

La curva del sistema es la representación gráfica de la ecuación del cálculo de la carga dinámica total (C.D.T) en un sistema de coordenadas rectangulares modificando los puntos de caudal a tomar para así tener los puntos respectivos para graficar la curva.

¹⁵ Guía general para el cálculo, instalación y mantenimiento de bombas hidroneumáticas, Francisco Javier Fernández Figueroa, Guatemala, noviembre de 2012

La curva de color rojo de la siguiente figura muestra la curva del sistema de una bomba.

FIGURA 2. 25: CURVA DEL SISTEMA Y DE BOMBA



Fuente: Grundfos Product Center

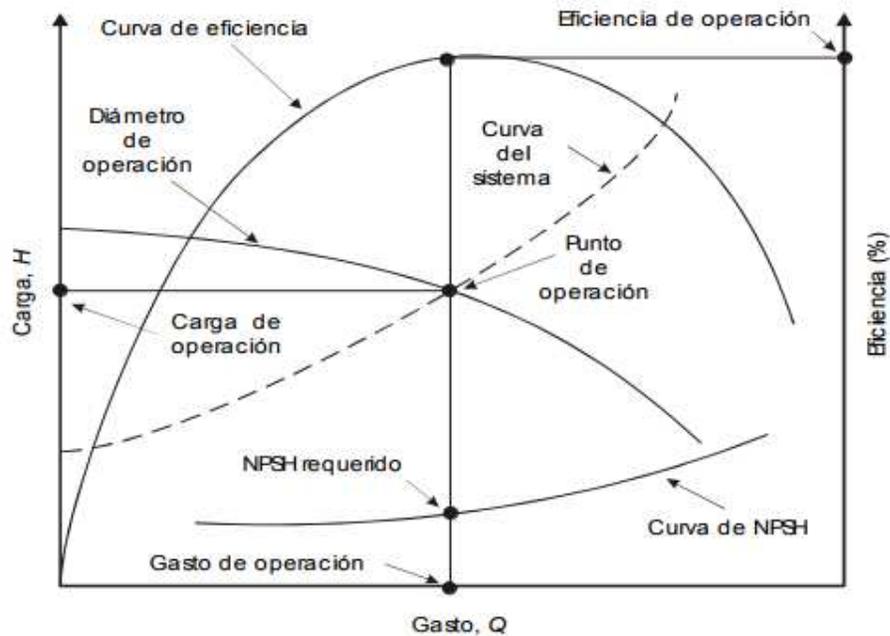
c) Punto de operación de la bomba¹⁶

El punto de operación de una bomba se obtiene cuando la carga generada por la misma coincide con la que precisa el sistema de bombeo.

El punto de operación se obtiene en la intersección de la curva (carga vs. caudal) de la bomba correspondiente al diámetro de operación y la curva del sistema. Al trazar una línea horizontal y otra vertical que pase por este punto pueden obtenerse los valores de carga, caudal, eficiencia y NPSH requerido.

¹⁶ Ahorro de energía en sistemas de bombas centrifugas. UPME - Colombia

FIGURA 2. 26: PUNTO DE OPERACIÓN DENTRO DE LA CURVA



Fuente: Ahorro de energía en sistemas de bombas centrífugas. UPME - Colombia

2.2.7. Sistemas de riego

a) Definición:

Se denomina sistema de riego al conjunto de componentes, que tiene como objetivo que un área determinada pueda ser cultivada aplicándole el agua necesaria a las plantas. El conjunto de componentes del sistema de riego dependerá del tipo de riego que se maneje, superficial, goteo o aspersión.

A lo largo de la historia, los sistemas de riego han sido una parte muy importante del desarrollo agrícola. En la actualidad

los sistemas de riego han ido evolucionando para hacer eficiente el uso del agua para el cultivo de las plantas.

FIGURA 2. 27: DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL TIPO DE RIEGO



Fuente: Elaboración propia

b) Tipos de sistema de riego:¹⁷

- **Riego por gravedad o surcos:** El riego por gravedad, también llamado riego de superficie, consiste en la distribución del agua a través de canales o surcos, que se disponen a lo largo del área de cultivo.

Para realizar este tipo de riego, el agricultor debe contar con un embalse o estanque lo suficientemente grande. En él se acumulará toda el agua, que por medio de largas acequias se dirigirá a los puntos de riego.

Una vez se discurra el agua por los canales, la fuerza de gravedad se encargará de distribuirla a través de la superficie del sembradío.

¹⁷ <http://sistemaagricola.com.mx/blog/tipos-de-riego-en-la-agricultura-y-ventajas/>

Este método de riego es uno de los más antiguos dentro de la agricultura. Para realizarlo el agricultor debe tener los conocimientos adecuados sobre la capacidad de infiltración del suelo. Así, una vez alcanzado el punto de saturación, deberá detener el flujo de agua e impedir la inundación del terreno.

Para asegurar el éxito del riego por gravedad es necesario realizar estudios previos que permitan conocer los marcos de plantación más adecuados según el cultivo.

Ventajas:

El riego por gravedad, debido a la simplicidad de su infraestructura, es uno de los más económicos.

Los requerimientos energéticos para su funcionamiento son prácticamente nulos, gracias al empleo de la energía gravitatoria.

El viento no es un factor limitante en la distribución del agua.

Desventajas:

No es conveniente utilizarlo en terrenos desnivelados, ya que el agua podría desviarse e impedir su correcta distribución.

Al humedecer la mayor parte del terreno se puede propiciar la aparición de maleza y enfermedades de tipo fungoso.

Desperdicio de fertilizantes, uso ineficiente de productos químicos.

Perdida de agua la cual trae como consecuencia el estrés hídrico.

Contaminación de fuentes de agua.

FIGURA 2. 28: DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL TIPO DE RIEGO



Fuente: Sistema agrícola - México

- **Riego por Aspersión:** Este tipo de riego consiste en conducir el agua a través de aspersores que humedecen el terreno de forma similar a como lo haría la lluvia.

Actualmente existe una gran variedad en sistemas de riego por aspersión, los hay móviles, fijos y autopropulsados.

Estos, en su mayoría, pueden instalarse en cualquier tipo de topografía, lo que es una importante ventaja. Sin embargo,

cabe señalar que en el caso de la aspersión, el viento puede ser un factor limitante.

Se recomienda su instalación en terrenos con vientos menores a 15 km/hr, sobre todo en cultivos frutales y de hortalizas.

Aspersores fijos: Se componen de varias tuberías, las cuales se encuentran bajo la superficie del terreno, y se conectan a boquillas giratorias. Estas boquillas esparcen el agua de forma circular.

La ubicación de este tipo de aspersores puede estar dispuesta de forma cuadrada, rectangular o triangular. Siempre que los radios de aspersión se encuentren y no dejen espacios a los que no llegue el riego.

El tipo de boquilla determinará el tamaño de las gotas. Entre más pequeñas sean, más posibilidades habrá de que el viento desvíe la dirección o se evaporen. Por su parte, si son muy grandes, pueden causar daños en el terreno y sobre las plantas del cultivo.

Para garantizar la eficiencia del riego es importante considerar las características del aspersor en función de: la presión nominal de trabajo, el caudal de las boquillas (litros por hora), el diámetro de alcance, y la precipitación (litros por metro cuadrado).

Entre los más comunes se encuentran los de impacto, los de doble boquilla, y los de media presión. Estos últimos alcanzan presiones nominales de trabajo que oscilan entre 2,5 y 4 atmósferas, permitiendo marcos de hasta de 18 metros con una buena uniformidad de riego.

Aspersores móviles: Constan de un sistema de tuberías subterráneas, conectadas a aspersores que cambian de posición manualmente cada vez que es necesario regar una zona de la parcela. Son apropiados para superficies pequeñas y generalmente se encuentran a baja altura.

Usualmente los aspersores se ubican sobre un carrito móvil que recorre la parcela mientras humedece el suelo.

Aspersión autopropulsada: La aspersión autopropulsada consta de una estructura un poco más compleja. A esta categoría pertenecen los llamados pivot o pivote.

La alimentación del agua en un sistema de pivot se encuentra a más de 1.0 metros de profundidad. Son capaces de alcanzar grandes distancias pero sólo riegan de forma circular. Es por esto que solo se adapta a parcelas de cierta dimensión y formas regulares.

El movimiento se realiza gracias a motores eléctricos. Los equipos además, tienen una vida útil de 15 a 20 años, con un 75 a 90% de eficiencia.

Otra variación de riego autopropulsado son los cañones viajeros. Los cuales, gracias a su sistema de presión, pueden regar de 2.5 hasta 15.0 hectáreas por aspersor.

Pueden ser trasladados con tractor, o bien son autopropulsados por algún tipo de motor eléctrico o de gasolina.

El inconveniente principal de éste sistema de aspersión, es que como el agua alcanza más altura y distancia, puede ser afectado por el viento. Por otro lado algunos cultivos son muy sensibles a la fuerza del golpeteo del agua.

Ventajas:

En general el riego por aspersión es uno de los más usados. Aunque dependiendo del sistema serán más o menos costosos, su eficiencia es mucho mayor a otros tipos de riego.

Son capaces de cubrir grandes distancias de terreno

Se adaptan al tipo de parcela

Permiten automatizar el riego

La vida útil de estos sistemas es mucho mayor

Desventajas:

La inversión y mano de obra puede ser elevada.

La instalación de estos sistemas es mucho más compleja

Al igual que el riego por gravedad podría incrementar la aparición de maleza.

FIGURA 2. 29: RIEGO POR ASPERSION AUTOPROPULSADO – PIVOTE



Fuente: Sistema agrícola - México

- **Riego por goteo:** Es un riego utilizado en su mayoría en zonas áridas. Consiste en distribuir el agua generalmente ya filtrada y con fertilizantes sobre o dentro del suelo. De esta manera el agua llega directamente a la zona de raíces de las plantas cultivadas.

La distribución se realiza por una red de tuberías generalmente de plástico, ya sea de polietileno o PVC hidráulico en las líneas principales. En las líneas laterales se realiza con tubería flexible o rígida de polietileno.

El riego por goteo permite evitar las fluctuaciones de humedad que se tiene con los otros tipos de riego. Puede llegar a aplicarse 2 o 3 veces por día.

El riego por goteo puede utilizarse tanto a cielo abierto como en cultivos bajo invernadero. Se recomienda para cultivos

sembrados en hilera ya sea de ciclo anual o perenne. Además, actualmente se está utilizando también para cultivos manejados en hidroponía, donde los rendimientos superan por mucho a los cultivos sembrados directamente al suelo.

Ventajas:

Permite un crecimiento adecuado del sistema de raíces.

Puede mantener una humedad casi constante renovando continuamente el volumen de agua que se gasta por el proceso de evapotranspiración.

Permite la aplicación de fertilizantes en el agua de riego. Esto garantiza una mayor disponibilidad de nutrientes a la zona de raíces.

No se moja todo el suelo de la parcela, sino únicamente la hilera donde está sembrado el cultivo. Esta es una ventaja importante para reducir la posible aparición de maleza.

Disminuye el gasto de agua y la eficiencia del uso del agua se incrementa notablemente.

Aunque se esté realizando el riego, pueden realizarse otras labores de cultivo como podas, entutorado y aplicación agroquímicos. Actividades que no pueden realizarse simultáneamente cuando se utiliza el riego por gravedad o aspersión.

Se adapta a terrenos rocosos o con pendientes.

Desventajas:

Las desventajas más importantes de éste método de riego es que el sistema de goteo puede taparse si no se filtra el agua correctamente.

Además, la inversión inicial es alta y es indispensable contar con personal técnico capacitado para el diseño. Así como la su correcta instalación.

Los costos de instalación y diseño son elevados.

Sin duda, el uso adecuado de sistemas de riego muchas veces va a depender de la capacidad del agricultor para evaluar las necesidades del cultivo. Así como de factores de índole natural, técnico y económico que intervienen en la productividad.

c) Características para cultivo de caña de azúcar

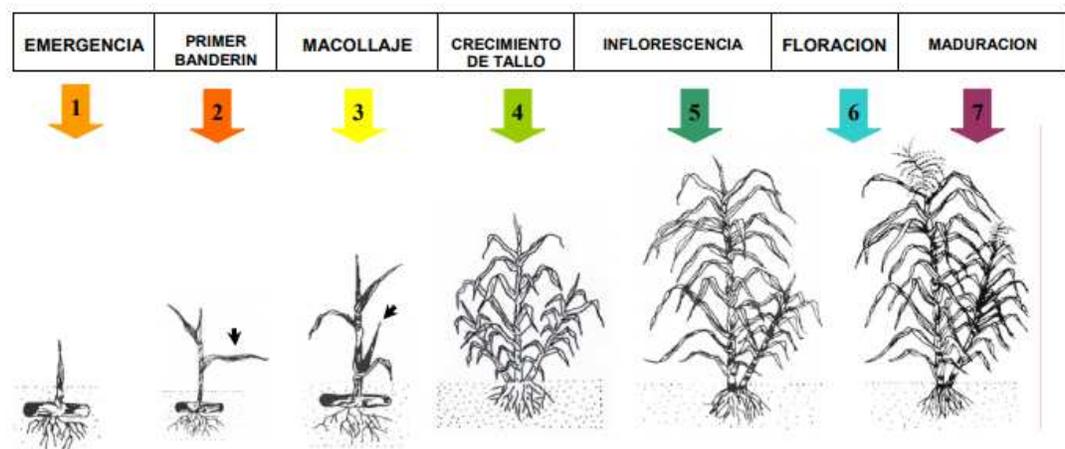
La caña de azúcar es un cultivo adaptado a climas tropicales y subtropicales. Esta especie tiene una gran capacidad de producción de biomasa por unidad de superficie y presenta elevados requerimientos de agua y nutrientes para alcanzar los máximos rendimientos.

La caña de azúcar tiene elevados requerimientos hídricos: la construcción de un gramo de materia seca de tallo molible requiere aproximadamente 0,5 litros de agua y esa misma

cantidad de agua se necesita para acumular entre 0,25 g a 0,40 g de sacarosa.

En el Perú la caña de azúcar es cultivada en su gran mayoría al norte del país teniendo el 44% de cultivo en La libertad, según estudios del ministerio de Agricultura.

FIGURA 2. 30: CICLO FENOLOGICO DE LA CAÑA DE AZUCAR



Fuente: Condiciones agroclimáticas de cultivo de caña de azúcar. Ministerio de agricultura – Perú

- **Emergencia:** Aparición de los primeros brotes de las estacas (caña planta) o de la masa vegetal subterránea (caña soca).
- **Primer banderín:** La primera hoja de un tallo primario alcanza un ancho aproximado de 10 centímetros, se separa del tallo hasta ponerse en posición horizontal.
- **Macollaje:** A partir de los tallos primarios se forman los secundarios y a partir de éstos se forman terciarios y así sucesivamente.

- **Crecimiento de tallo:** Aumento de longitud de los entrenudos de los tallos. Bajo las condiciones climáticas de la costa el crecimiento inicial de los tallos es lento, luego es muy rápido, disminuyendo en la época de invierno, para después reiniciar el crecimiento.
- **Inflorescencia:** Aparición de la inflorescencia típica (en forma de flecha) por encima de la hoja superior (hoja bandera).
- **Floración:** Se abren las primeras flores. A veces esta fase no se puede observar ya que, usualmente, en este momento la caña de azúcar es cosechada.
- **Maduración:** Bajo nuestras condiciones la maduración es incentivada por la suspensión de los riegos (agoste). Se deberá anotar como inicio de maduración la fecha del comienzo del agoste.

d) Requerimientos de suelo y agua

Las condiciones ideales de suelo para el cultivo de la caña de azúcar son: suelo bien drenado, profundo, franco, con una densidad aparente de 1.1 a 1.2 g/cm³ (1.3 - 1.4 g/cm³ en suelos arenosos) El pH óptimo del suelo es cercano a 6.5, pero la caña de azúcar puede tolerar un rango considerable de acidez y alcalinidad del suelo (pH entre 5.0 y 8.5.)

El número de riegos y el volumen de agua por riego dependerán, de la capacidad del suelo para retener el agua, de las condiciones climáticas, del estado vegetativo de las plantas y de las variedades. La caña de azúcar requiere de volúmenes que se estiman en 16 500 – 18 000 m³ /ha (riego por goteo) y 28 000 – 32 000 m³ /ha (Gravedad).

e) Elementos principales en un sistema de riego por pivote

Los sistemas por pivote central son máquinas autopropulsadas diseñadas para regar campos circulares hasta superficies de 100 hectáreas.

Están equipados con un lateral autodesplazable con un extremo fijo que sirve como punto pivote para que el lateral gire circularmente cubriendo una zona de riego circular

En la mayoría de veces se alimentan de una fuente de agua que se encuentra en el centro del campo y el agua se traslada hacia el lateral rotatorio, mediante tuberías a presión.

El lateral rotatorio esta soportado por las torres y un sistema de guías controla el movimiento de las torres, con la finalidad de que éstas se muevan a una velocidad que las mantenga alineadas con la unidad central.

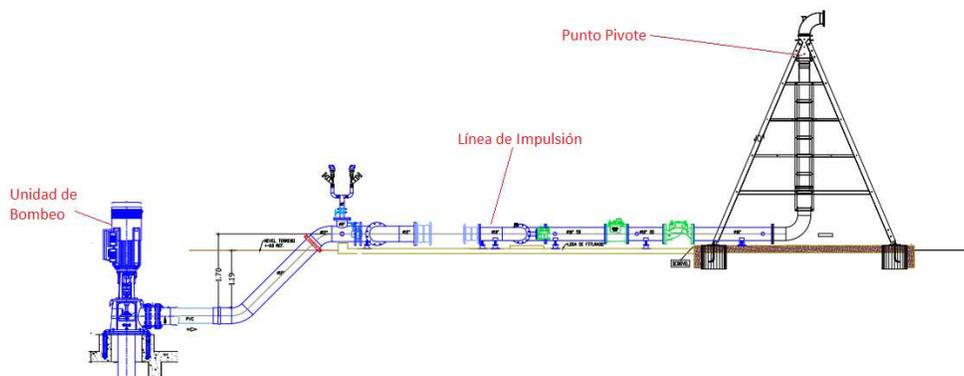
La última estructura es la que realiza el mayor recorrido y su velocidad controla la velocidad de todo el sistema.

Sobre el lateral existen una serie de salidas para cada uno de los aspersores o emisores, los cuales trabajan en un rango de presión de: 20 hasta 150 psi, así un pivote central puede trabajar con un caudal que va desde 198 a 1,200 galones por minuto.

Un sistema de riego por pivote está compuesto por los siguientes elementos:

- Unidad de bombeo
- Sistema de alimentación o línea de impulsión
- Punto pivote
- Lateral móvil con torres y aspersores

FIGURA 2. 31: CICLO FENOLOGICODE LA CAÑA DE AZUCAR



Fuente: Elaboración Propia

2.3. Definición de términos básicos

- Irrigación: Se dice a la acción de suministrar agua suficiente a un terreno para obtener una producción agrícola.
- Sistema de conducción hidráulica: Es un conjunto de componentes que tienen como objetivo conducir el fluido de un punto a otro.
- Presión del pivote: es la presión que requiere el pivote para poder llegar a regar toda el área asignada según su diseño
- Nivel estático: Es la profundidad a la que se encuentra el agua en un acuífero.
- Nivel dinámico: Es la profundidad a la que se encuentra el agua en un acuífero cuando el equipo de bombeo está encendido.
- NPSH: Es la altura neta de succión positiva, se utiliza para evaluar a través de una comparativa de NPSH disponible y requerido si la bomba está en condiciones de cavitación.
- Aguas arriba: Término que se utiliza para indicar que la ubicación a la que uno se refiere está antes del punto referencial.
- Caudal nominal es el caudal con el cual el equipo logra su máxima eficiencia.
- Longitud equivalente: es la equivalencia en longitud de tubería de los accesorios para poder calcularlos posteriormente como si fueran pérdidas primarias.
- Presión de vapor: es la presión a la que a determinada temperatura empieza la fase de vaporización.

- Cuerpo hidráulico: se refiere a los componentes de la bomba que tienen contacto con el fluido a desplazar.
- Cabezal de descarga: se refiere al componente final de la bomba centrífuga de turbina vertical en donde se conecta la troncal de descarga y se conecta el motor eléctrico.
- Curva hidráulica: es la curva de la bomba conformada por todos los puntos hidráulicos que puede brindar la bomba a cierta velocidad y diámetro de impulsor.
- Columna de la bomba: es la troncal que une la bomba con el cabezal de descarga.
- Dureza: es la suma de todos los cationes polivalentes, principalmente los de calcio y magnesio.
- Conductividad eléctrica: es la medida de la capacidad de una sustancia para dejar pasar la corriente eléctrica a través de él, en medios líquidos está relacionada con la presencia de sales en solución.
- Empuje axial: es la fuerza ejercida a lo largo del eje.

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables de la investigación

El proyecto de investigación, titulado: “**Diseño de un sistema de conducción hidráulica sometida a 43 psig de presión y 82 l/s de capacidad para irrigar 95 Hectáreas de cultivo de caña. Fundo Olmos – Agrolmos S.A – La Libertad**”, contara con las siguientes variables que se deben considerar en la presente tesis son:

3.1.1. Variable Dependiente “Y”:

Irrigar 95 hectáreas de cultivo de caña de azúcar.

3.1.2. Variable Independiente “X”:

Sistema de conducción hidráulica sometida a presión.

Por lo que la ecuación funcional correspondiente de la investigación, es:

$$Y = \varphi(X_1, X_2, X_3)$$

Donde:

X₁: Cálculo del diámetro hidráulico.

X₂: Selección de accesorios y dispositivos de protección.

X₃: Selección del equipo de bombeo.

3.2. Operacionalización de variables.

VARIABLES		CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Independiente	Sistema de conducción hidráulica.	Un sistema de conducción hidráulica sometida a presión se entiende por el tramo de tubería y accesorios que transportan el agua desde la captación hasta el punto de uso.	Cálculo del diámetro hidráulico.	<ul style="list-style-type: none"> - Caudal y temperatura de operación. - Tipo de tubería. - Velocidad recomendada. - Diámetro económico. - Diámetros y espesores comerciales de tubería.
			Selección de accesorios y dispositivos de protección.	<ul style="list-style-type: none"> - Válvulas: Check, cierre, eliminadoras de aire y anticipadoras de ondas. - Manómetro, medidor de caudal y junta flexible. - Trayectoria de la tubería. - Materiales comerciales.
			Selección del equipo de bombeo.	<ul style="list-style-type: none"> - Características físico – químicas del agua. - Tipo de equipo de bombeo. - Caudal y temperatura de bombeo. - Carga dinámica total. - Demanda del sistema y punto de operación.
Variable Dependiente	Irrigar 95 hectáreas de cultivo de caña de azúcar.	La irrigación consiste en aportar el agua que necesitan favoreciendo así su crecimiento de la caña de azúcar. Se utiliza en la agricultura.	Condiciones de operación del pivote	<ul style="list-style-type: none"> - Caudal y presión.

3.3. Hipótesis General e hipótesis específicas

Hipótesis General:

Si se diseña un sistema de conducción hidráulica sometida a 43 PSIG de presión y 82 l/s de capacidad entonces se asegura la irrigación de 95 hectáreas de cultivo de caña de azúcar en el fundo Olmos de la empresa Agrolmos S.A – La Libertad.

Hipótesis Específicas:

- Si se determina el diámetro hidráulico adecuado de tubería entonces se minimizarán las pérdidas de resistencia del sistema de conducción hidráulica.
- Si se selecciona adecuadamente los accesorios y dispositivos de protección entonces se permitirá dar una correcta operatividad al sistema de conducción hidráulica.
- Si se selecciona el equipo de bombeo adecuado entonces se garantizará la presión y capacidad requerida por el pivote.

IV. METODOLOGIA

4.1. Tipo de investigación

Para la elaboración de este informe de tesis se aplicó una investigación tecnológica, teniendo como sustento el libro Metodología de investigación tecnológica Pensando en sistemas de Ciro Espinoza Montes.

La denominamos tecnológica porque mediante el manejo de conceptos teóricos de la mecánica de fluidos llegamos a una solución práctica que nos permitió diseñar el sistema de conducción hidráulica para la irrigación de cultivo de caña de azúcar.

Para el diseño utilizamos conocimientos teórico-prácticos de la mecánica de fluidos y catálogos de equipos y dispositivos, con el fin de determinar variables necesarias como pérdidas de carga primaria y secundaria, diámetro de tubería y selección de equipos adecuados para el sistema.

La presente investigación desarrolló un sistema de conducción hidráulica sometida a presión para la irrigación de cultivo de caña de azúcar, la cual está compuesta por el equipo de bombeo, red de tubería sometida a presión, y accesorios y dispositivos de protección. Mediante este sistema se logró brindar el caudal y presión que el pivote central requiere, el cual está diseñado para irrigar 95 Hectáreas de cultivo de caña de azúcar.

4.2. Diseño de la investigación:

El presente informe de tesis es de diseño no experimental, pues aquí no existe manipulación de las variables, ya que solo nos remitiremos al diseño más no a la ejecución.

4.2.1. Parámetros básicos de investigación

Se determinan los siguientes parámetros de investigación

Requerimientos para la operación del pivote:

Caudal	:	82 l/s
Presión	:	43 PSIG
Horas de operación	:	8 H/día

Información del pozo y calidad del agua:

Diámetro del pozo	:	14"
Nivel estático	:	26.2 m
Nivel dinámico	:	54.9 m
Profundidad de la bomba	:	64 m
Temperatura del agua	:	30 °C
% Sólidos del agua	:	0.05%
Ph del agua	:	6.5 - 7

Información del lugar:

Altitud	:	175 msnm
Condiciones eléctricas	:	3 F x 460 V, 60 Hz

Trayectoria tentativa desde el pozo de captación de agua hasta el punto de entrada al pivote. (Según plano adjunto)

4.2.2. Etapas de la investigación

En la presente investigación tecnológica aplicada se plantea las siguientes etapas de trabajo:

Etapas N°1: Selección de diámetro y dispositivos de protección: Esta es la primera etapa ya que los cálculos y selecciones presentes son vitales para el desarrollo de los demás parámetros a evaluar. Está compuesto por los siguientes sub-etapas:

- Cálculo del diámetro hidráulico.
- Selección del diámetro comercial.
- Selección de accesorios y dispositivos de protección.

Etapas N°2: Análisis Hidráulico: En esta etapa se pretende trabajar con los parámetros básicos de la investigación y los resultados de la etapa anterior para obtener pérdidas de carga en el sistema. Está compuesto por las siguientes sub-etapas:

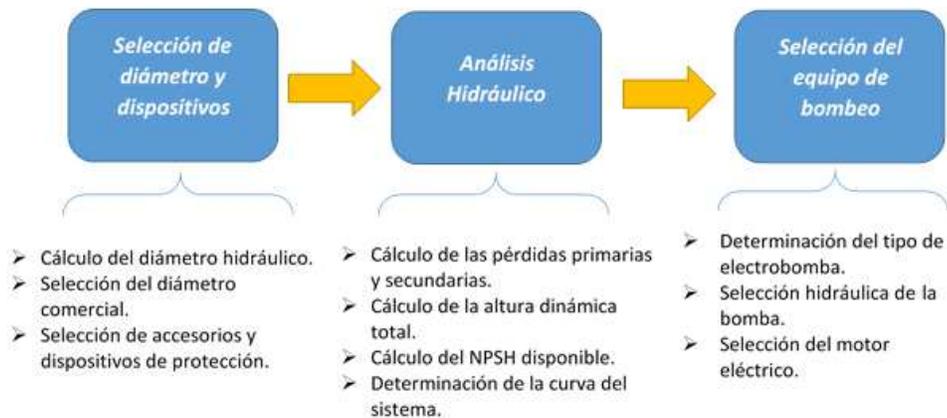
- Cálculo de las pérdidas primarias y secundarias.
- Cálculo de la altura dinámica total.
- Cálculo del NPSH disponible.
- Determinación de la curva del sistema.

Etapa N°3: Selección del equipo de bombeo:

En esta etapa se desarrollará la selección del equipo de bombeo adecuado para la aplicación, teniendo como datos para la selección de la electrobomba los parámetros básicos y obtenidos en etapas anteriores. Está compuesta por las siguientes sub-etapas:

- Determinación del tipo de electrobomba.
- Selección hidráulica de la bomba.
- Selección del motor eléctrico.

FIGURA 4. 1: ETAPAS Y SUB-ETAPAS DE LA INVESTIGACION



Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Desarrollo de la investigación

a) Cálculo de diámetro hidráulico

Aplicando el principio de conservación de la masa para fluido incompresible y en estado permanente, se tiene:

$$\int_{SC}^0 \vec{V} \times dA = 0 \dots \dots \dots (4.1)$$

Despejando la ecuación (4.1),

$$Q = Vm \times A \dots \dots \dots (4.2)$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

V = Velocidad media del fluido (m/s)

A = Área interna de tubería (m²)

Para la velocidad del fluido tomamos como referencia la tabla N°4.1:

TABLA 4. 1: VELOCIDADES RECOMENDADAS EN TUBERIAS

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 - 1	0.15 - 0.30
	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

Considerando:

Fluido: Líquidos pocos viscosos

Tipo de flujo: Línea de conducción

Velocidad: 1.2 – 2.4 m/s

Donde el valor promedio es 1.8 m/s (considero para el cálculo)

Despejando la ecuación (4.2) tenemos:

$$D_I = \sqrt{\frac{4 \times Q}{V_m \times \pi}} \dots \dots \dots (4.3)$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

V = Velocidad media del fluido (m/s)

D_i = Diámetro interno de tubería (m)

Teniendo los siguientes valores:

Q = 82 l/s = 0.082 m³/s

V_m = 1.8 m/s

Nos resulta: D_i = 0.24 m

b) Selección del diámetro comercial

Dentro de tipos de tubería tenemos tuberías metálicas y no metálicas, para este diseño se seleccionará tuberías no metálicas o termoplásticas debido al bajo coeficiente de fricción y su resistencia a la oxidación interna y externa.

Dentro de la línea de tuberías termoplásticas tenemos Polipropileno, HDPE y PVC, las cuales se analizarán en el siguiente cuadro:

TABLA 4. 2: COMPARACION DE MATERIALES TERMOPLASTICOS

Descripción	PVC	Polipropileno	HDPE
Tipo de instalación	Superficial	Superficial	Superficial/Enterrada
Temperatura de trabajo	De -30 °C a 50 °C	De -10 °C a 100 °C	De -82 °C a 129 °C
Costo de inversión	\$10 x metro	\$10 x metro	\$22 x metro
Método de unión	Soldadura líquida	Termofusión	Termofusión
Costo de instalación	\$5 x pega	\$40 x pega	\$40 x pega

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.2 expuesta podemos apreciar que el mejor material para la aplicación es el PVC, debido a:

- Temperatura ambiente del fluido (Máximo 35 °C).
- Instalación superficial.
- Bajo costo de inversión e instalación.

Teniendo en cuenta que el diámetro interno de tubería según cálculo es 240 mm, se procede a seleccionar el diámetro comercial de PVC clase 15 para asegurar la operación en caso se produzca un incremento de presión imprevisto en el sistema.

TABLA 4. 3: DIAMETROS COMERCIALES DE TUBERIA PVC

Diámetro Nominal (DN) mm	Diámetro Exterior (DE) mm	PN 8 (8 bar) Diámetro Interior(mm)	PN 10 (10 bar) Diámetro Interior(mm)	PN 16 (16 bar) Diámetro Interior(mm)	Longitud (m)	
					Total	Útil
90	90	85.60	84.20	81.20	6.00	5.904
110	110	105.20	105.00	102.20	6.00	5.896
160	160	153.00	152.80	148.80	6.00	5.881
200	200	191.20	191.00	186.00	6.00	5.871
250	250	239.00	238.80	232.60	6.00	5.857
315	315	301.20	301.00	293.20	6.00	5.840
355	355	339.40	339.20	330.40	6.00	5.831
400	400	382.40	382.20	372.40	6.00	5.822

Fuente: <http://www.pavco.com.pe/wp-content>

De la tabla 4.3 podemos apreciar que el diámetro comercial más próximo es DN 250mm, con un diámetro interno de 232.6 mm.

Ya que el diámetro interno comercial elegido difiere del diámetro calculado, se procederá a evaluar la velocidad del fluido en la tubería.

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D_{ic}^2} \dots\dots\dots (4.4)$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

V = Velocidad del fluido (m/s)

D_{ic} = Diámetro interno comercial de tubería (m)

Teniendo los siguientes valores:

Q = 82 l/s = 0.082 m³/s

D_{ic} = 232.6 mm

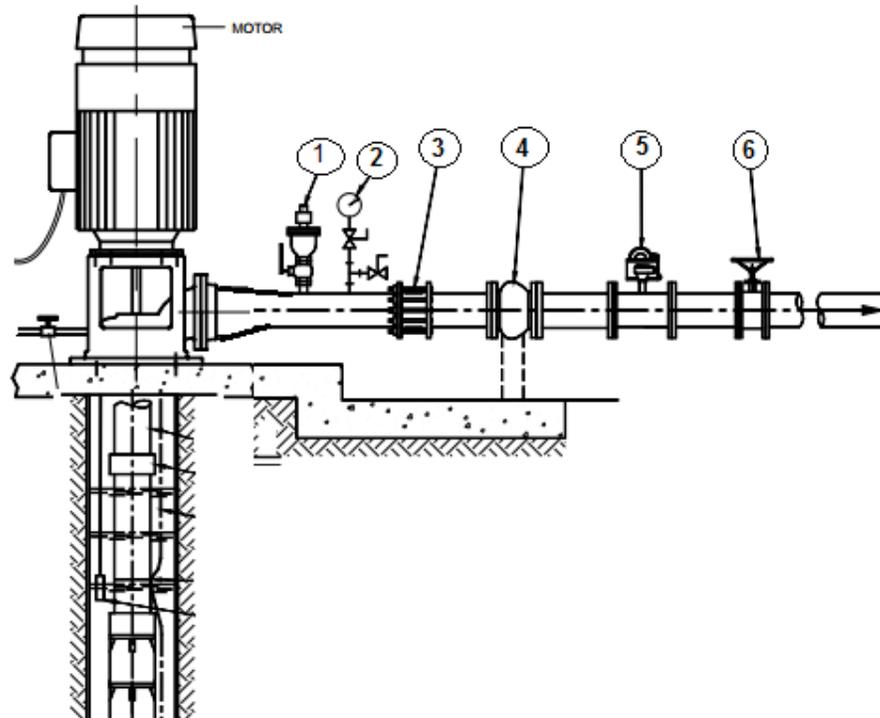
Nos resulta: V = 1.93 m/s

De esta manera corroboramos que la velocidad del fluido aún se encuentra dentro del rango recomendado (1.2 – 2.4 m/s), por lo tanto, la selección puede darse como válida.

c) Selección de accesorios y dispositivos de protección.

Para un sistema de bombeo con pozo profundo es necesario la instalación de varios dispositivos de protección como veremos en el siguiente gráfico:

FIGURA 4. 2: ESQUEMA DE TRONCAL DE DESCARGA



1: Válvula de purga de aire

2: Manómetro

3: Junta flexible

4: Válvula Check

5: Caudalimetro

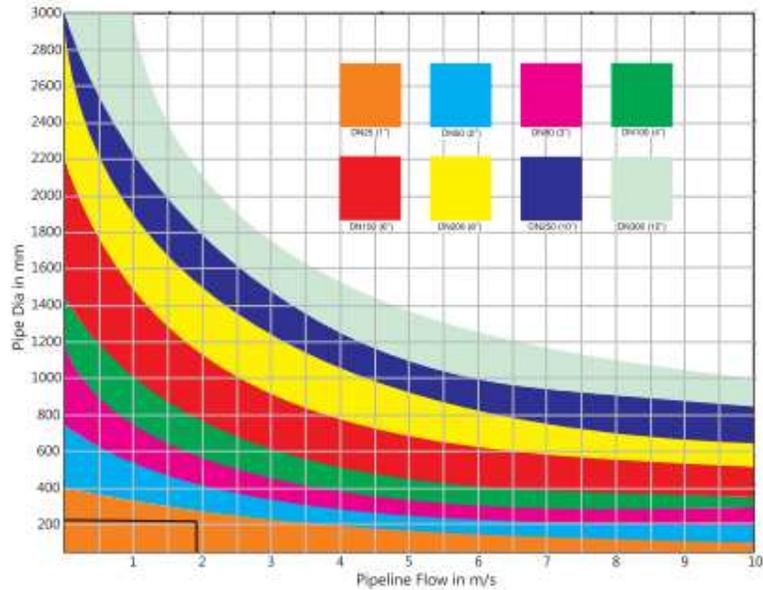
6: Válvula compuerta

7: Válvula anticipadora de ondas (No se muestra en el diseño ya que esta se instala en una derivación de la troncal como vemos en la figura)

A continuación seleccionaremos estos dispositivos de protección:

- Para la selección de ventosa, trabajamos con la marca Vent-O-Mac, la cual su selección se rige a una gráfica de Caudal versus diámetro.

FIGURA 4. 3: DIAMETROS COMERCIALES DE TUBERIA PVC



Fuente: Catalogo de Serie RBXc, Vent-O-Mac

Como veremos en el gráfico la velocidad del fluido se intersecta con el diámetro de tubería seleccionada y nos resulta una válvula de 1"

- Manómetro tipo Bourdon se instalara en este proyecto debido a la simplicidad de instalación y bajo costo. Dentro de los manómetros podemos encontrar varios rangos de medición los cuales deben ser seleccionando dependiendo de la presión que el sistema requiere. Los rangos estándar se muestran en el siguiente gráfico.

FIGURA 4. 4: RANGOS DE PRESIÓN PARA MANOMETROS

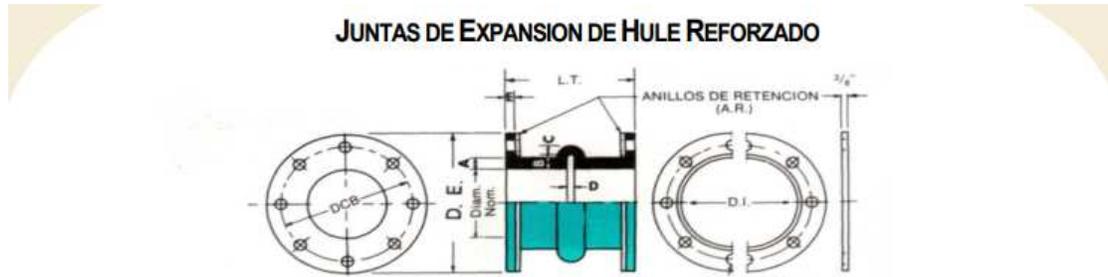
RANGOS ESTÁNDAR	
PRESIÓN	
Kgf/cm ²	Psi
0 - 1	0 - 15
0 - 2	0 - 30
0 - 4	0 - 60
0 - 7	0 - 200
0 - 11	0 - 100
0 - 14	0 - 160
0 - 21	0 - 300
0 - 28	0 - 400
0 - 42	0 - 600
0 - 70	0 - 1000
0 - 105	0 - 1500
0 - 210	0 - 3000
0 - 280	0 - 4000

Fuente: <http://www.cavinse.com/assets/catalogos>

En este proyecto trabajamos con intervalo de 0-300 psi, debido a que la presión máxima que soporta la tubería es 15 Bar (220 PSI) y la presión del sistema no debe superar a la presión máxima de la tubería.

- Junta flexible, este dispositivo se instalará a la descarga de la bomba, para disminuir ruido y la resonancia producida por la conducción de los fluidos en el sistema de tuberías aguas arriba. Este dispositivo se selecciona de mismo diámetro nominal de la tubería a instalar, debido a que no hay influencia de altas temperaturas.

FIGURA 4. 5: MEDIDAS DISONIBLES PARA JUNTAS DE EXPANSION



Diam. Nom.	Brida D.E.	DCB	Barrenos		A.R. D.I.	A	B	C	D	E	L.T.			Movimientos / Arco		Pres. Trabajo			Peso (lbs)	
			No.	Diam.							1 Arco	2 Arco	3 Arco	Axial Comp.	Axial Extens.	P	PV	JE	Anillos	
2	6	4 1/4	4	3/4	3 1/4	3/4	1 1/4	1/2	1/2	9/16	6	10	12	.43	.22	165	140	4	4	
2 1/2	7	5 1/2	4	3/4	4 1/4	3/4	1 1/4	1/2	1/2	9/16	6	10	12	.43	.22	165	140	4 1/2	5 1/2	
3	7 1/2	6	4	3/4	4 1/4	3/4	1 1/4	1/2	1/2	9/16	6	10	12	.43	.22	165	140	5 1/4	6	
4	9	7 1/2	8	3/4	5 1/4	3/4	1 1/4	1/2	1/2	9/16	6	10	12	.43	.22	165	140	8	7 1/4	
5	10	8 1/2	8	3/4	6 1/4	3/4	1 1/4	1/2	1/2	9/16	6	10	12	.43	.22	140	140	8 1/4	8 1/4	
6	11	9 1/2	8	3/4	7 1/4	3/4	1 1/4	1/2	1/2	9/16	6	10	12	.43	.22	140	140	9 1/4	10	
8	13 1/2	11 1/4	8	3/4	9 1/4	3/4	1 1/2	3/4	3/4	9/16	6	10	14	.68	.34	140	140	15	14	
10	16	14 1/4	12	1	12 1/4	1	1 1/2	1 1/4	3/4	3/4	8	12	14	.68	.34	140	140	23	18	
12	19	17	12	1	14 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	3/4	3/4	8	12	14	.68	.34	140	140	40	25	
14	21	18 1/4	12	1 1/4	16 1/2	1 3/4	2	3/4	3/4	3/4	8	12	16	.68	.34	85	65	39	28	

Fuente: Catalogo MAFLEXMET

- Válvula Check, debido al diámetro de tubería se instalara válvula check tipo wafer en la descarga de la bomba para evitar que el fluido retorne y ocasione daños en el equipo de bombeo. Este dispositivo se debe instalar a una distancia superior de 5 veces el diámetro.

FIGURA 4. 6: MEDIDAS DISONIBLES PARA VALVULA CHECK

DN	mm	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600
	pulg.	1-1/4"	1-1/2"	2"	2-1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"
L		14	14	14	14	14	18	18	20	22	26	32	36	41	50	56	56
ØD		85	94	109	129	144	164	194	220	275	330	380	440	491	541	596	697
Ød		18	22	32	40	54	70	92	112	154	192	227	270	315	359	410	490
Peso aprox.		0,6	0,7	0,9	1,2	1,5	2,5	3,5	4,7	7,6	13	21	33	19	63	88	130

Dimensiones en mm sujetas a tolerancias de fabricación / Pesos en kg

Fuente: Catalogo COMEVAL

- Caudalímetro, en el mercado hay muchos tipos de medidores de caudal, pero en esta aplicación utilizaremos medidor tipo Woltman debido a que estos generan menor pérdida de carga a comparación de otras tecnologías, además de su bajo costo en el mercado.

Para seleccionar este dispositivo, se debe asegurar que el caudal de operación del sistema se encuentre entre el caudal nominal y mínimo del medidor que figura en su catálogo. En este caso el caudal de operación del sistema es 295.2 m³/h.

FIGURA 4. 7: MEDIDAS DISPONIBLES PARA CAUDALIMETRO

Diámetro nominal DN	in	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	16"	20"
	mm	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	400	500
Qn - Caudal nominal (ISO 4064) (m/h)	10	15	25	40	60	100	150	250	400	600	1,000	1,500	
Qp - Caudal Máximo continuo (m/h)	20	30	30	60	100	160	300	600	1,000	1,500	3,000		
Qmax - Caudal Máximo Qmax (ISO 4064) (m/h)	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1,200	2,000	3,000	
Caudal Máximo instantáneo (m/h)	30	50	80	120	200	250	300	500	800	1,500	2,500	4,000	
Qt - Caudal de Transición Qt (+-2%) (m/h)	3	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	
Qmin - Caudal Mínimo Qmin (+-5%) (ISO 4064) (m/h)	0.7	0.45 0.70	0.75	1.2	1.8	3	4.5	7.5	12	18	30	40	
Caudal Δd = 0.1Bar (m/h)	30	40	55	60	90	120	300	500	850	1,500	3,000	5,000	
Lectura Máxima (m ³)	1,000,000						10,000,000			100,000,000			
Lectura Mínima (l)	1						10			100			

Fuente: Catalogo REGABER

- Válvula de compuerta, este dispositivo se instala a la descarga del medidor de flujo, con el objetivo de cerrar en caso de mantenimiento, la selección es dependiendo del diámetro de tubería.

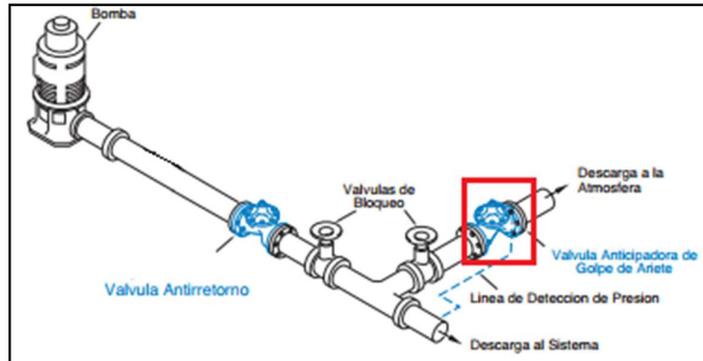
FIGURA 4. 8: MEDIDAS DISONIBLES PARA VALVULA COMPUERTA

Ref	Medida / Size	PN	Dimensiones / Dimensions (mm)										Peso / Weight (Kg)
			DN	H	L	D	D0	D1	D2	b	f	z-d	
2102 09	2"	16	50	240	150	165	180	125	99	19	3	4-19	9,5
2102 10	2 ½"	16	65	270	170	185	200	145	118	19	3	4-19	13
2102 11	3"	16	80	300	180	200	200	160	132	19	3	8-19	15
2102 12	4"	16	100	330	190	220	220	180	156	19	3	8-19	19
2102 13	5"	16	125	375	200	250	250	210	184	19	3	8-19	26
2102 14	6"	16	150	425	210	285	250	240	211	19	3	8-23	35
2102 16	8"	16	200	515	230	340	280	295	266	20	3	12-23	57
2102 18	10"	16	250	600	250	405	320	355	319	22	3	12-28	76
2102 20	12"	16	300	685	270	460	350	410	370	24.5	4	12-28	120

Fuente: Catalogo GENEBRE

- Válvula anticipadora de ondas, montada en derivación a la tubería principal (ver figura 4.9), y se abre instantáneamente cuando la bomba deja de operar, este dispositivo se selecciona mediante la siguiente formula:

FIGURA 4. 9: MODO DE INSTALACION DE UNA VALVULA SUPRESORA DE PULSOS



Fuente: Catalogo Bermad

$$D_{(mm)} = \sqrt{\frac{250 \times Caudal_{m3/h}}{\sqrt{Presion_m}}}$$

$$D_{(mm)} = \sqrt{\frac{250 \times 295.2}{\sqrt{130}}} = 80.2mm$$

Entonces se selecciona el diámetro comercial inmediato superior, que en este caso sería 10" PN16.

d) Cálculo de pérdidas primarias y secundarias.

Pérdidas primarias: Para el cálculo de las pérdidas primarias se procede a calcular el número de Reynolds para identificar el tipo de flujo.

$$Re = \frac{\text{Fuerzas Inerciales}}{\text{Fuerzas Viscosas}} = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} \dots\dots\dots (4.5)$$

$$\gamma = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots (4.6)$$

Reemplazando la ecuación (4.6) en (4.5) obtenemos:

$$Re = \frac{V \times D_{ic}}{\gamma} \dots\dots\dots (4.7)$$

Donde:

Re = Numero de Reynolds

V = Velocidad media (m/s)

D_{ic} = Diámetro interno comercial de tubería (m)

γ = Viscosidad cinemática (m²/s)

Teniendo los siguientes datos:

$$V = 1.93 \text{ m/s}$$

$$D_{ic} = 0.2326 \text{ m}$$

$$\gamma = 8.03 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (Según Tabla 4.4)}$$

Reemplazando la información en la ecuación 4.7:

$$Re = \frac{1.93 \times 0.2326}{8.03 \times 10^{-7}}$$

$$Re = 544,669.99$$

Según el libro “Mecánica de Fluidos”, autores Merl C. Potter y David C. Wiggert, indica lo siguiente:

“Los flujos turbulentos ocurren en tubos en condiciones de operación estándar siempre que el número de Reynolds exceda de 4000; entre 2000 y 4000 se supone que el flujo oscila aleatoriamente entre laminar y turbulento”

Teniendo en cuenta esta premisa, podemos deducir que el flujo a analizar es turbulento.

Debido a que estamos trabajando con flujo turbulento trabajaremos con la ecuación teórica de Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{V_m^2 \times f \times L}{2 \times g \times D_i} \dots\dots\dots (4.8)$$

Donde:

h_f = Pérdidas primarias por fricción en la tubería (m)

V_m = Velocidad media (m/s)

f = Coeficiente de fricción en función de Re

L = Longitud total de tubería (m)

g = Gravedad del fluido (m/s^2)

D_i = Diámetro interno (m)

Para hallar el coeficiente de fricción utilizaremos el diagrama de Moody, para lo cual tenemos la siguiente información de entrada:

$Re = 544,669.99 = 5.44 \times 10^5$

$f = 0.0000015$ m (Rugosidad absoluta del PVC)

$D_i = 0.2326$ m

Tenemos que la rugosidad relativa

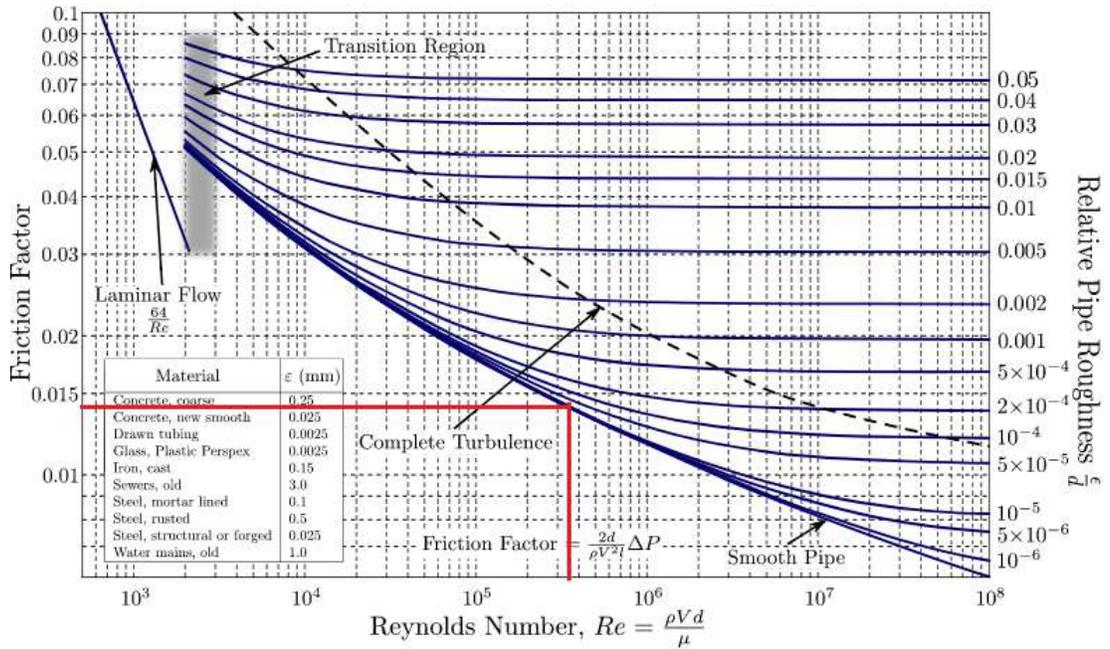
$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{\varepsilon}{D_i} \dots\dots\dots(4.9)$$

Reemplazando en la ecuación (4.9)

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{0.0000015}{0.2326} = 6.27 \times 10^{-6}$$

Ingresando al diagrama de Moody resulta:

FIGURA 4. 10: DIAGRAMA DE MODDY



Fuente: <https://mecanicadefluidosunah.files.wordpress.com/2015/11/moody>

El coeficiente de fricción (f) es igual a 0.014

Teniendo los siguientes datos:

$$L = 1,637.13 \text{ m}$$

$$f = 0.0145 \text{ m}$$

$$V_m = 1.93 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$D_i = 0.2326 \text{ m}$$

Reemplazando los datos anteriores en la ecuación (4.8)

obtenemos:

$$h_f = \frac{1.93^2 \times 0.0145 \times 1637.13}{2 \times 9.81 \times 0.2326}$$

$$h_f = 19.38 \text{ m}$$

Ahora haremos la comparación de las pérdidas primarias por fricción en la tubería calculada por la ecuación empírica de Hazen Williams y la ecuación teórica de Darcy-Weisbach, además de esto se cumple las siguientes proposiciones necesarias para aplicar esta fórmula empírica¹⁸:

- Sólo puede ser utilizada para el cálculo de las pérdidas por fricción en sistemas que conducen agua a temperaturas “normales” (entre 18°C y 30°C, por ejemplo) y bajo condiciones de flujo turbulento (el caso típico en las aplicaciones para sistemas de abastecimiento de agua).
- No es aplicable para tuberías extremadamente rugosas, es decir, no debería utilizarse para coeficientes de fricción muy bajos (menos a 60).
- No debería utilizarse para diámetros inferiores a los 50 mm (2”), aun cuando su uso es aceptado para el diseño de

¹⁸ <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/principios-de-la-hidraulica-que-necesitas-conocer-las-perdidas-de-energia-%E2%80%93-3-parte-i-perdidas-por-friccion/>

instalaciones sanitarias en edificaciones, donde predominan diámetros inferiores a dicho valor.

Formula de Hazen Williams

$$h_f = 10.67 \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} \times \frac{L}{D_i^{4.87}} \dots\dots\dots (4.10)$$

Donde:

h_f = Perdidas primarias por fricción en la tubería (m)

Q = Caudal que fluye por la tubería (m³/s)

C = Coeficiente de Hazen Williams para tubería PVC

L = Longitud total de tubería (m)

D_i = Diámetro interno (m)

Teniendo los siguientes datos:

Q = 82 l/s = 0.082 m³/s

C = 150 (Según catálogo PAVCO)

D_i = 0.2326 m

L = 1,637.13 m

Reemplazando la información en la ecuación 4.10:

$$h_f = 10.67 \times \left(\frac{0.082}{150}\right)^{1.852} \times \frac{1,637.13}{0.2326^{4.87}}$$

$$h_f = 19.28 \text{ m}$$

Comparando los resultados vemos que una diferencia menor al 1%, por lo tanto para los próximos cálculos utilizaremos la ecuación empírica de Hazen Williams por su practicidad.

Pérdidas secundarias: Para el cálculo de las perdidas secundarias utilizaremos el método de Hazen Williams para los accesorios (Con su longitud equivalente correspondiente) y las pérdidas de carga específicas de cada fabricante para las válvulas.

Para el cálculo de las perdidas en los accesorios tenemos según el isométrico:

TABLA 4. 4: LONGITUDES EQUIVALENTES EN ACCESORIOS

Descripción	Cantidad	Long. Eq.	Long. Eq.
		Unitario	Total
Codo 90° normal	04	7.93	31.72
Codo 45° normal	01	3.96	3.96
Tee normal	01	16.16	16.16
TOTAL			51.84

Fuente: Elaboración propia

Teniendo las longitudes equivalentes totales de la tabla (4.4) para los accesorios, trabajamos con la fórmula de Hazen Williams ecuación 4.10:

$$h_{facc} = 10.67 \times \left(\frac{Q}{V_m}\right)^{1.852} \times \frac{L_{eq}}{D_i^{4.87}} \dots\dots\dots (4.11)$$

Donde:

h_{facc} = Perdidas de fricción en accesorios (m)

Q = Caudal que fluye por la tubería (m³/s)

V_m = Velocidad media (m/s)

L_{eq} = Longitud equivalente total (m)

D_i = Diámetro interno (m)

Teniendo los siguientes datos:

Q = 82 l/s = 0.082 m³/s

C = 150

D_i = 0.2326 m

L_{eq} = 51.84 m

Reemplazando la información en la ecuación 4.8:

$$h_{facc} = 10.67 \times \left(\frac{0.082}{150}\right)^{1.852} \times \frac{51.84}{0.2326^{4.87}}$$

$$h_{facc} = 0.61 \text{ m}$$

Para las válvulas se considerarán las pérdidas de carga, según las especificaciones que aparecen en las hojas técnicas de cada fabricante.

TABLA 4. 5: PERDIDAS DE CARGA EN VALVULAS Y DISPOSITIVOS

Descripción	Cantidad	Perd. Carga	Perd. Carga
		Unit.	Total
Válvula check	01	0.04 Bar	0.04 Bar
Válvula compuerta	02	0.04 Bar	0.08 Bar
Caudalimetro	01	0.13 Bar	0.13 Bar
TOTAL (h_{fval})			0.25 Bar

Fuente: Elaboración propia

Entonces las pérdidas secundarias totales sería:

$$h_{fsec} = h_{facc} + h_{fval} \dots\dots\dots(4.12)$$

$$h_{fsec} = 0.61 + 2.5$$

$$h_{fsec} = 3.11 \text{ m}$$

e) Cálculo de la altura dinámica total

Para obtener la altura dinámica total (ADT) utilizaremos la ecuación de la Conservación de la Energía en su forma de volumen de control, considerando que es un fluido real incompresible.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \frac{D}{Dt} \int_{Sist}^0 e \rho dV \dots\dots\dots(4.13)$$

Donde “e” hace referencia a la energía específica que incluye la energía cinética específica, la energía potencial específica y la energía interna específica. Quedando:

$$e = \frac{v^2}{2} + gz + \bar{u} \dots\dots\dots(4.14)$$

Considerando que se trabaja con un fluido uniforme continuo, tomamos dos puntos cualesquiera en el volumen de control de perfil uniforme, tenemos:

$$-\frac{\dot{W}_s}{\dot{m}g} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} + z_2 - z_1 + h_L \dots\dots\dots(4.15)$$

Se considera $\frac{\dot{W}_s}{\dot{m}g}$ el trabajo que ejerce la bomba hacia el sistema también conocido como altura dinámica total (ADT) y el área hidráulica donde fluye el fluido como constante, por tanto $V_1=V_2$, entonces nos queda lo siguiente:

$$ADT = \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} + z_2 - z_1 + h_L \dots\dots\dots(4.16)$$

Donde:

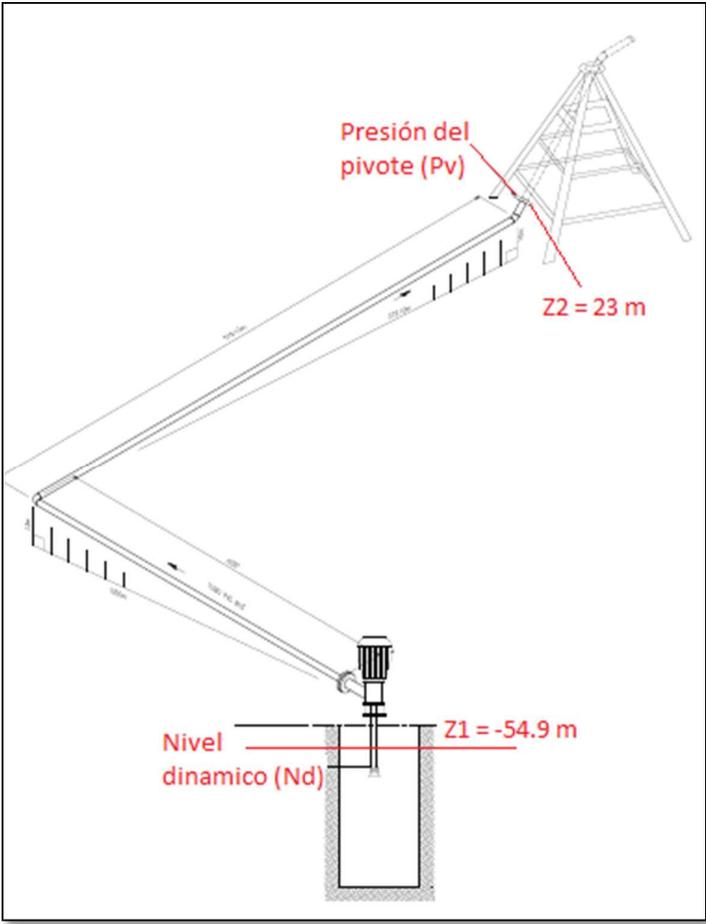
P = Presión en el punto de estudio (Pa)

γ = Peso específico (N/m³)

z = Altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia (m)

h_L = Perdidas de carga total (m)

FIGURA 4. 11: DIAGRAMA DEL SISTEMA DE CONDUCCION HIDRAULICA



Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la figura (4.11) y la ecuación (4.16) se reduce a:

$$ADT = P_v + H_g + h_L \dots \dots \dots (4.17)$$

Considerando:

P_v = Presión del pivote

$H_g = z_2 - z_1$ = Altura geodésica (m)

$h_L = h_f + H_{fsec}$

Teniendo los siguientes valores según la figura 4.11:

$P_v = 43 \text{ psig} = 29.65 \text{ m}$

$H_g = 54.9 + 23 = 77.9 \text{ m}$

$h_L = 19.28 + 3.11 = 22.39 \text{ m}$

Reemplazando la información en la ecuación 4.17:

$$ADT = 29.65 + 77.9 + 22.39$$

$$ADT = 129.94 \text{ m}$$

f) Cálculo del NPSH disponible

Para el cálculo del NPSH disponible trabajamos con la siguiente formula:

$$NPSH_d = P_{atm} + P_s - P_f - P_v \quad \dots\dots\dots(4.18)$$

Donde:

$NPSH_d$ = Altura neta de succión positiva disponible (m)

P_{atm} = Presión atmosférica (m)

P_s = Presión de succión (m)

P_f = Perdidas por fricción en el tramo de succión (m)

P_v = Presión de vapor a la temperatura de operación (m)

Para el caso de las bombas de pozo se considera despreciable las pérdidas por fricción en el tramo de succión debido a que el fluido ingresa directamente hacia el primer impulsor y no existen accesorios o tuberías que generen pérdidas. Por tanto la ecuación (4.18) se reduce a:

$$NPSH_d = P_{atm} + P_s - P_v \quad \dots\dots\dots(4.19)$$

Teniendo para nuestro sistema de estudio la siguiente información:

- La presión atmosférica (P_{atm}) depende de la altitud donde estará ubicada la bomba y para ellos utilizaremos una tabla en donde se indican estos valores en función de la altitud, en nuestro caso es 150 m.s.n.m.

TABLA 4. 6: PRESION ATMOSFERICA A DIFERENTES ALTITUDES

	PIES	METROS	LEC. BAROMETRICA		PRESION ATMOSF.		PUNTO DE EBULLISION DEL AGUA (°F)
			PLG. HG	MM. HG	PSI	PIES AGUA	
	-100	-304.8	31.0	788	15.2	35.2	213.8
	-500	-152.4	30.5	775	15.0	34.6	212.9
	0	0.0	29.9	760	14.7	33.9	212.0
	+500	+152.4	29.4	747	14.4	33.3	211.1
	+1000	304.8	28.9	734	14.2	32.8	210.2
	1500	457.2	28.3	719	13.9	32.1	209.3
	2000	609.6	27.8	706	13.7	31.5	208.4
	2500	762.0	27.3	694	13.4	31.0	207.4
	3000	914.4	26.8	681	13.2	30.4	206.5
	3500	1066.8	26.3	668	12.9	29.8	205.6
	4000	1219.2	25.8	655	12.7	29.2	204.7
	4500	1371.6	25.4	645	12.4	28.8	203.8
	5000	1524.0	24.9	633	12.2	28.2	202.9
	5500	1676.4	24.4	620	12.0	27.6	201.9
	6000	1828.8	24.0	610	11.8	27.2	201.0
	6500	1981.2	23.5	597	11.5	26.7	200.1
	7000	2133.6	23.1	587	11.3	26.2	199.2
	7500	2286.0	22.7	577	11.1	25.7	198.3

Fuente: Manual de diseño, Bombas Warson

De la tabla (4.6) obtenemos que $P_{atm} = 14.4 \text{ Psi} = 9.93 \text{ m}$

La presión de succión (P_s) es la altura comprendida entre el nivel dinámico y la profundidad de la bomba según figura 4.11

De donde se obtiene $P_s = 64 - 54.9 = 9.1 \text{ m}$

- La presión de vapor (P_v) se obtiene mediante la tabla de presión de vaporización del agua a diferentes temperaturas. Para nuestro caso se considera $30 \text{ }^\circ\text{C}$ como temperatura del fluido.

TABLA 4. 7: PRESION DE VAPORIZACIÓN DEL AGUA

TEMP. °C	PRESION	
	MTS. H2O	PIESH2O
0	0.0623	0.20
5	0.0890	0.29
10	0.125	0.41
15	0.173	0.57
20	0.238	0.78
25	0.323	1.06
30	0.432	1.42
35	0.573	1.88
40	0.752	2.47
45	0.977	3.20
50	1.257	4.12
55	1.605	5.27
60	2.031	6.66
65	2.550	8.37
70	3.177	10.42
75	3.931	12.90
80	4.829	15.84
85	5.894	19.34
90	7.149	23.46
95	8.619	28.28
100	10.332	33.90

Fuente: Manual de diseño, Bombas Warson

De la tabla (4.7) obtenemos $P_v = 0.432 \text{ m}$

Reemplazando en la ecuación (4.17) tenemos:

$$NPSH_d = 9.93 + 9.1 - 0.432$$

$$NPSH_d = 18.598 \text{ m}$$

g) Determinación de la curva del sistema.

Para graficar la curva del sistema calcularemos la altura dinámica total (ADT) con diferentes caudales, así obtendremos distintos valores de caudal y ADT que serán tabulados e ingresados en un plano cartesiano que tiene como abscisa los valores de caudal y ordenadas los valores de ADT.

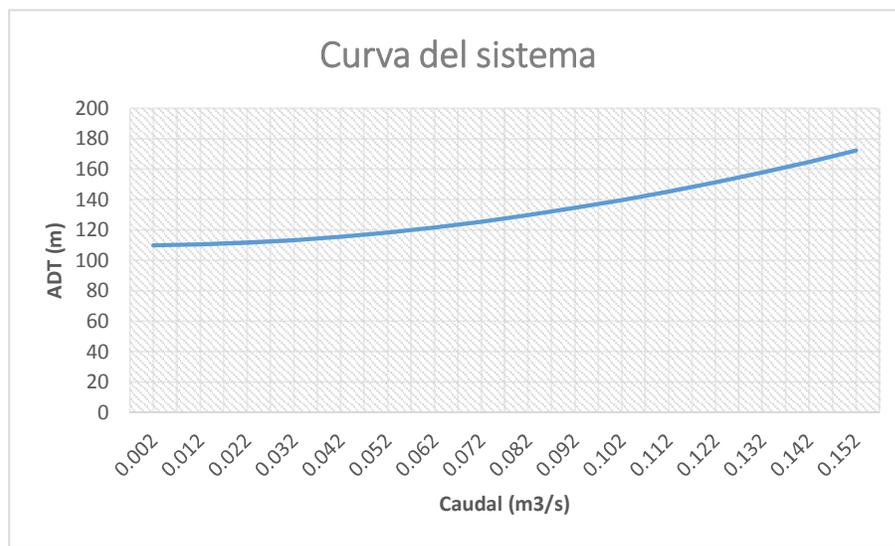
Como se indicó en los cálculos de pérdidas primarias y secundarias, utilizaremos la ecuación empírica de Hazen Williams por su practicidad.

TABLA 4. 8: DATOS TABULADOS

PUNTOS	CAUDAL (m3/s)	ADT (m)
1	0.002	109.871
2	0.012	110.416
3	0.022	111.589
4	0.032	113.332
5	0.042	115.611
6	0.052	118.407
7	0.062	121.702
8	0.072	125.483
9	0.082	129.741
10	0.092	134.466
11	0.102	139.649
12	0.112	145.285
13	0.122	151.366
14	0.132	157.887
15	0.142	164.844
16	0.152	172.231

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 12: CURVA DEL SISTEMA CON DATOS TABULADOS



Fuente: Elaboración propia

h) Determinación del tipo de electrobomba.

Dentro de los equipos de bombeo de pozo tenemos dos alternativas en el mercado, bomba turbina vertical (VTP) o bombas sumergible tipo lapicero.

En la tabla (4.10) haremos una comparación técnica entre estas dos tecnologías.

Además de la comparación técnica expuesta en la tabla 4.10, tenemos la siguiente comparación económica para la instalación de ambas tecnologías.

TABLA 4. 9: CUADRO DE COMPARACION ECONOMICA

COSTO DE INSTALACION	BOMBA TURBINA VERTICAL (VTP)	BOMBA SUMERGIBLE TIPO LAPICERO
Electrobomba	\$ 40,250.00	\$ 24,280.00
Cable sumergible	\$ -	\$ 4,190.00
Manguera	\$ -	\$ 5,426.00
Codo de descarga	\$ -	\$ 5,990.00
TOTAL	\$ 40,250.00	\$ 39,886.00

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4. 10: CUADRO COMPARATIVO ENTRE BOMBAS DE POZO

DESCRIPCIÓN	BOMBA TURBINA VERTICAL (VTP)	BOMBA SUMERGIBLE TIPO LAPICERO
Instalación	Directa: La bomba VTP incluye además del cuerpo hidráulico la columna, eje de transmisión y cabezal de descarga. El empalme del cable eléctrico se realiza superficialmente.	Se requiere adquirir componentes adicionales como tuberías, mangueras, conectores y codo de descarga. Se necesita de especialistas para el empalme del cable eléctrico debido a que estos serán sumergidos.
Mantenimiento	Menor desgaste de los componentes internos de la bomba debido a la baja velocidad de funcionamiento, el motor eléctrico es de fácil mantenimiento por ser superficial.	A pesar del mayor desgaste de la bomba, al carecer de columna tiene menor número de componentes de mantenimiento.
Profundidad de instalación	Según recomendaciones de fabricantes estos equipos pueden instalarse hasta 500 pies de profundidad.	Estos equipos pueden instalarse en pozos con profundidad mayor a 500 pies.
Suministro de energía	Permite distintas fuentes de energía por ser un motor superficial (motor eléctrico, motor a combustión interna)	Solo puede operar con motor eléctrico
Motor eléctrico	Podemos trabajar con mayores eficiencias (Eficiencia Premium). Soportan la inestabilidad de la energía eléctrica. Tienen mayor tiempo de vida útil.	No hay clasificación de eficiencia. Deben ser operadas con energía eléctrica estable. No soportan paros y arranques continuos.
Nivel de ruido	Por ser accionados con motores superficiales estos equipos pueden ser ruidosos si no se da un adecuado mantenimiento.	Son silenciosos por estar completamente sumergidos
Velocidad de giro del motor	Disponible en 1800RPM, 1200RPM y 900 RPM	Solo disponible en 3600RPM
Cable eléctrico	Es un cable eléctrico superficial que solo requiere una adecuada selección de calibre.	Al ser un cable tipo sumergido aparte de una adecuada selección del calibre se requiere medir su conductividad eléctrica con mayor frecuencia.
Dispositivos de protección del motor	No se requiere dispositivos de control siempre y cuando se tenga el ambiente de temperatura controlado que les evite el sobrecalentamiento y que tengan el menor número de pares y arranques.	Debido a que no soportan inestabilidad eléctrica, se requiere dispositivos que protejan contra la carga baja y sobre carga, alto y bajo voltaje, desequilibrio de corriente, sobrecalentamiento del motor.

Fuente: Elaboración propia

Como observamos en la tabla (4.9) la bomba VTP no requiere de otros elementos adicionales para la conexión hidráulica, ya que esta viene con columna y cabezal de descarga, además que el motor superficial no requiere de cable sumergible.

También podemos exponer que el manteniendo en los motores eléctricos de las bombas sumergibles es frecuente debido a la inestabilidad eléctrica de la zona, teniendo que rebobinar el motor en muchos casos y este servicio tiene un costo que esta alrededor del 30% de su valor de adquisición.

De las tablas (4.9) y (4.10) podemos inferir que la mejor alternativa de bombeo es la bomba turbina vertical (VTP), debido a que tiene menor costo de instalación y mantenimiento, además de esto en la zona norte del Perú especialmente en Olmos existe mucha inestabilidad eléctrica y la profundidad del pozo es de 64m

i) Selección hidráulica de la bomba

La marca de la bomba de turbina vertical (VTP) que elegiremos es National Pump, esta selección se hará en base a los parámetros operacionales calculados anteriormente:

$$\text{Caudal} = 82 \text{ l/s}$$

$$\text{ADT} = 129.74 \text{ m}$$

$$H_e = H_g + P_v = 77.9 + 29.65 = 107.55 \text{ m}$$

$$\text{NPSH}_d = 18.598 \text{ m}$$

Ingresando estos datos en el selector de National Pump tenemos:

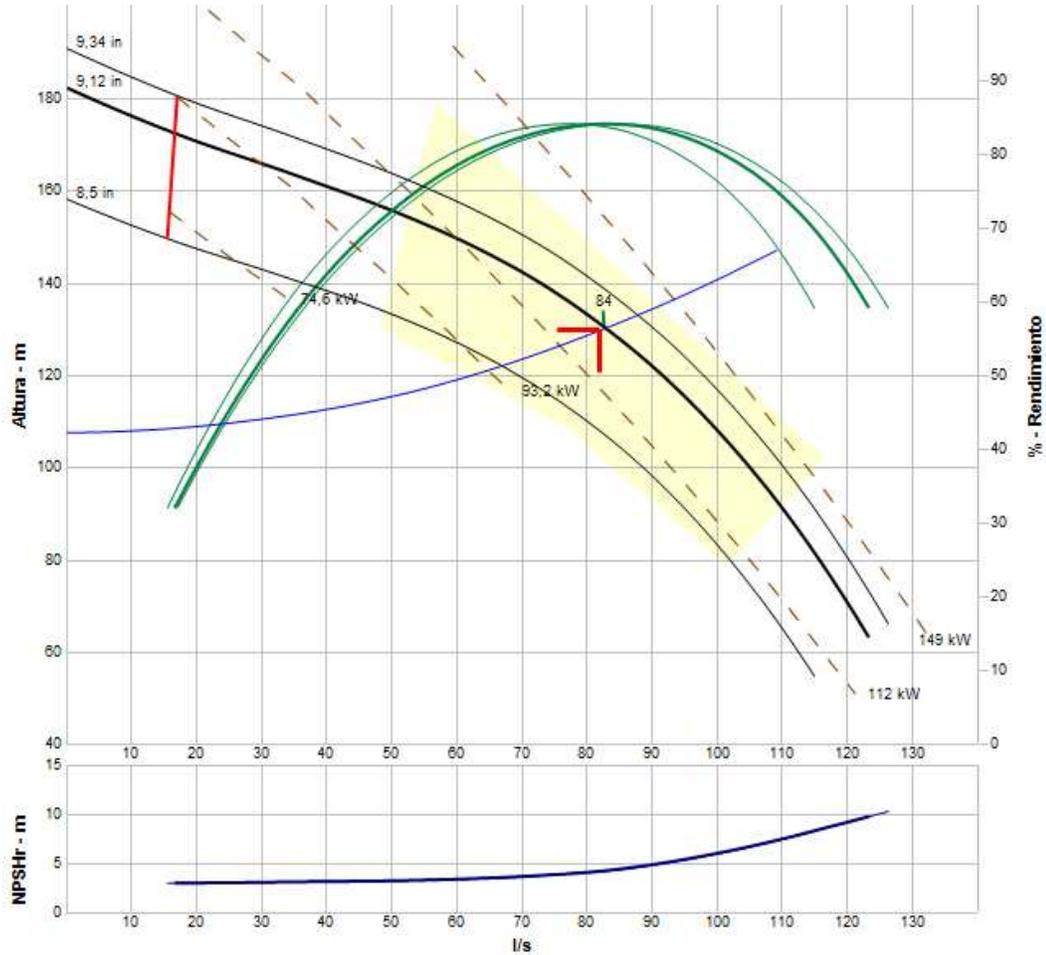
FIGURA 4. 13: DATOS DE INGRESO PARA SELECCIÓN DE BOMBA

The screenshot shows a software interface titled "Curvas de resistencia". On the left, there is a dropdown menu labeled "Seleccione curva/puntos" with options: "Primario", "Secundario 1", "Secundario 2", "Secundario 3", and "Secundario 4". Below the menu are two radio buttons: "Curva de resistencia" (selected) and "Puntos de operación". To the right is a table with two columns: "Caudal l/s" and "Altura m". The table contains the following data:

Caudal l/s	Altura m
0	107,55
82	129,74

Fuente: Selector National Pump

FIGURA 4. 14: CURVA HIDRAULICA DE LA BOMBA VTP



Fuente: Selector National Pump

De la figura 4.14 observamos los siguientes parámetros fundamentales de la electrobomba:

- El diámetro de impulsor de la bomba es 9.12 in y la velocidad de giro es 1770 RPM, con este valor de diámetro y velocidad de giro es que la bomba podrá desarrollar las condiciones operacionales requeridas, cualquier variación de

alguno de estos parámetros ocasionara que la curva hidráulica de la bomba varié desarrollando un caudal y presión distinto al requerido inicialmente.

- El equipo seleccionado tiene un diámetro de columna de 10" y diámetro de eje 1.5", se realizó los cálculos de las perdidas primarias considerando a la columna como una tubería de 10", con la selección de la bomba observamos que el diámetro hidráulico de la columna es distinto al de una tubería, por lo que procederemos a comparar las pérdidas en ambos casos usando Hazen Williams:

Calculo de perdida considerando tubería de 10", se tiene:

$$Q = 0.082 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 64 \text{ m}$$

$$D_i = 0.2326 \text{ m}$$

$$C = 150$$

$$h_f = 10.67 \times \left(\frac{0.082}{150} \right)^{1.852} \times \frac{64}{0.2326^{4.87}}$$

$$h_f = 0.75 \text{ m}$$

Calculo de perdida considerando columna de 10" y eje de 1.5" de diámetro, aquí utilizaremos la información de fabricante ya que no brinda mayor información de las dimensiones de la columna (Diámetro interno y externo):

TABLA 4. 11: CUADRO DE PERDIDAS EN FT PARA 100 FT DE COLUMNA

Fuente: Manual de ingeniería National Pump

COL. SIZE	SHAFT SIZE	CAPACITY IN GALLONS PER MINUTE															
		375	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
5	1	6.6	7.5	9.3	11.2												
	1-1/4	9.4	10.5														
6	1	2.2	2.5	3.1	3.7	4.4	5.2	6.0	6.8	7.7	8.6	10.7					
	1-1/4	2.9	3.3	4.1	4.9	5.8	6.8	7.8	9.0	10.1							
	1-1/2 - 1-11/16	4.1	4.6	5.7	6.9	8.1	9.5	11.0									
	1-15/16	6.7	7.5	9.3	11.5												
8	1				.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.7	3.2	3.8	4.5	5.2	6.0
	1-1/4				1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.6	3.2	3.9	4.6	5.4	6.2	7.2
	1-1/2 - 1-11/16	.9	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.8	3.2	3.6	4.5	5.4	6.4	7.5	8.8	10.0
	1-15/16	1.3	1.5	1.8	2.2	2.6	3.0	3.5	4.1	4.6	5.2	6.4	7.8	9.4			
10	1													1.0	1.1	1.2	1.4
	1-1/4												1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
10	1-1/2 - 1-11/16											1.0	1.2	1.4	1.6	1.9	2.2
	1-15/16										.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.9	2.2
	2-3/16 - 2-7/16							1.0	1.1	1.3	1.6	1.9	2.2	2.6	3.0	3.5	3.5

De la tabla (4.11), tenemos que la pérdida para columna de 10" y eje de 1.5" es 1.6 ft para una longitud de 100 ft, como la altura de columna es 64 m (209.97 ft), las pérdidas en la columna resulta 3.36 ft (1.02 m).

Debido a que la variación de las pérdidas en la columna es mínima, la selección de la bomba VTP planteada líneas arriba se da como válida.

- La curva del sistema se intercepta con la curva de la bomba en el punto de máxima eficiencia (BEP), la cual es 83.9%.
- El NPSH de la bomba (NPSHr) es 4.29 m según curva, contrastando este valor con el NPSH del sistema

(NPSHd) podemos afirmar que la bomba no cavitará, ya que el $NPSHd > NPSHr$.

- La potencia absorbida del equipo es 125KW en el punto de operación, no obstante, para la selección del motor eléctrico se debe considerar la potencia que cubra todos los puntos contenidos en la curva hidráulica de la bomba (Potencia máxima absorbida).

Para la selección del material del equipo consideraremos la información obtenida en el informe de análisis de agua de donde podemos resumir las siguientes propiedades químicas del agua:

TABLA 4. 12: CUADRO DE ANALISIS DEL AGUA

Característica	Medida
Conductividad eléctrica	1,498 microS/cm
Dureza	44.9 GHF
pH	8.39

Fuente: Elaboración propia

De la tabla (4.12) podemos observar que el fluido tiene un pH básico, una salinidad moderada y dureza considerable, para el cual no se requieren de materiales especiales de construcción.

Debido a que la dureza del agua es 44.9 GHF tenemos que tener especial cuidado con la velocidad de giro del motor eléctrico ya que una velocidad elevada (3550 RPM) podría ocasionar un desgaste prematuro de los componentes internos de la bomba, por ello que la

selección de una bomba turbina vertical (VTP) es nuestra mejor opción.

j) Selección del motor eléctrico

Para la selección del motor eléctrico se debe considerar ciertos parámetros fundamentales para garantizar una adecuada y eficiente operación de la electrobomba:

- La potencia: Se debe considerar la potencia máxima absorbida, tal como se indicó en la selección de la bomba, para este caso la potencia máxima absorbida es 142 KW, comercialmente existen potencias ya establecidas para los motores eléctricos, para lo cual se selecciona el inmediato superior que corresponde a 149 KW.
- La velocidad de giro: Se debe considerar la velocidad que requiere la bomba según la curva hidráulica, en este caso es 1770 RPM que corresponde a un motor de 4 polos.
- Grado de protección: Para motores superficiales verticales en norma NEMA existen los grados de protección comerciales son TEFC (Totalmente cerrado con ventilador) y WPI (Abierto con protección al ambiente por goteo y partículas hasta $\frac{3}{4}$ "), en nuestro el motor tendrá un grado de protección WPI, ya que el ambiente en el cual se instalara la bomba no es agresivo y su costo es 25% menor a los TEFC.

- Tensión: Este parámetro ya está definido por la red eléctrica de la zona, en este caso es 440V.
- Tipo de arranque: Para seleccionar el tipo de arranque se debe tomar en consideración la potencia y modo de operación del motor.

TABLA 4. 13: CUADRO COMPARATIVO PARA TIPOS DE ARRANQUE

TIPO DE ARRANQUE	CORRIENTE DE ARRANQUE (A)	MODO DE OPERACIÓN
Directo	7 x Corriente Nominal	Estos arranques son utilizados para trabajar con condiciones de operación fija.
Estrella – Triangulo	3 x Corriente Nominal	
Arrancador suave	1.5 x Corriente Nominal	
Variador de frecuencia	Corriente Nominal	Este arranque es utilizado para trabajar con condiciones de operación variable.

Fuente: Elaboración propia

- Tipo de tecnología: En los motores verticales existen dos tipos de tecnología los motores de eje sólido y eje hueco. Para este caso se seleccionara un motor de eje hueco ya que este tipo de motores está destinado a impulsar bombas

que imponen altas cargas de empuje axial descendente, como las bombas de pozo profundo.

- Fuerza de empuje: Debido a que la instalación del motor es vertical se requiere hacer un análisis de empuje axial, para ello es necesario considerar la información del fabricante de la bomba, en este caso el factor de empuje es 15.6 Kg-f/m y la longitud de la bomba es 64 m, lo que resulta: $15.6 \times 64 = 998.4 \text{ Kg-f} = 2,202.42 \text{ lb-f}$

De acuerdo a los parámetros expuestos líneas arriba, la selección del motor eléctrico es la siguiente:

Marca: US Motor

Potencia: 200 HP

Velocidad: 1800 RPM (4 Polos)

Grado de protección: WPI

Tensión: 440 V

Arranque: Variador de frecuencia (Inverter Duty)

Tecnología: Vertical de eje hueco (Holloshaft)

Fuerza de empuje: 2,202.42 lb-f

FIGURA 4. 15: SELECCIÓN DEL MOTOR ELECTRICO VERTICAL

Vertical HOLLOSHAFT® High Thrust Motors - "P" Base, Three Phase Weather Protected Type I (WPI) Premium Efficient & Inverter Duty



APPLICATIONS:

For use on turbine, mix flow and propeller pumps.

HP	RPM	Frame	Voltage	Catalog Number	Type	NNE	Down Thrust (lbs)	Base Dia. (in)	Cplg Height (in)	Cplg BX (in)	Cplg Key Size	Ship Wt. (lbs)	Notes
100	1800	404TP	460	HO100V2SLGX	RUSI	95.4	11725	16-1/2	36-15/16	1-1/2	3/8	1110	51,97,E,PWS
	1800	404TP	460	HO100V2SLG	RUSI	95.4	6700	16-1/2	36-15/16	1-1/2	3/8	1110	51,97,E,PWS
	1800	404TP	575	HO100V2GLG	RUSI	95.4	6700	16-1/2	36-15/16	1-1/2	3/8	1100	51,97,E,PWS
125	1800	405TP	460	HO125V2SLGX	RUSI	95.4	11725	16-1/2	36-15/16	1-1/2	3/8	1200	51,97,E,PWS
	1800	405TP	460	HO125V2SLG	RUSI	95.4	6700	16-1/2	36-15/16	1-1/2	3/8	1200	51,97,E,PWS
	1800	405TP	575	HO125V2GLG	RUSI	95.4	6700	16-1/2	36-15/16	1-1/2	3/8	1200	51,97,E,PWS
150	1800	H444TP	460	HO150V2SLGX	RUSI	95.8	17150	16-1/2	44-25/32	1-11/16	3/8	1500	51,97,E,PWS
	1800	H444TP	460	HO150V2SLG	RUSI	95.8	9800	16-1/2	44-25/32	1-11/16	3/8	1500	51,97,E,PWS
	1800	H444TP	575	HO150V2GLG	RUSI	95.8	9800	16-1/2	44-25/32	1-11/16	3/8	1500	51,97,E,PWS
200	1800	H445TPA	460	HO200V2SLH	RUSI	95.8	9800	20	44-25/32	1-11/16	3/8	1600	51,97,E,PWS
	1800	H445TPA	460	HO200V2SLHX	RUSI	95.8	17150	20	44-25/32	1-11/16	3/8	1600	51,97,E,PWS
	1800	H445TP	575	HO200V2GLG	RUSI	95.8	9800	16-1/2	44-25/32	1-11/16	3/8	1600	51,97,E,PWS
	1800	H445TPA	460	HO250V2SLH	RUSI	95.8	9800	20	44-25/32	1-11/16	3/8	1600	51,97,E,PWS

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Presupuesto tentativo del proyecto

Veamos la tabla 4.14, el detalle de lo requerido por el proyecto.

TABLA 4. 14: PRESUPUESTO TENTATIVO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo total
Equipamiento			
1	Electrobomba VTP NATIONAL PUMP K12HC, columna y motor electrico US MOTOR 200 HP H445TPA	\$40,250.00	\$40,250.00
1	Válvula de aire tipo ventosa O-MAC 1"	\$500.00	\$500.00
2	Válvula compuerta 10" PN16	\$4,000.00	\$8,000.00
1	Válvula check tipo Wafer 10" PN16	\$5,000.00	\$5,000.00
1	Válvula anticipadora de ona 2", ANSI300	\$3,500.00	\$3,500.00
1	Caudalímetro tipo Woltman 10", PN16	\$9,000.00	\$9,000.00
1	Manómetro tipo bourdon 1/2" X 6", (0-300 PSI)	\$50.00	\$50.00
1	Junta expansión Hule reforzado 10" Maflexmet	\$3,000.00	\$3,000.00
4	Codo 90° PVC, 10" PN16	\$200.00	\$800.00
1	Codo 45°, PVC 10" PN16	\$200.00	\$200.00
1	Tee normal 10" PN16	\$220.00	\$220.00
8	Union tubería PVC - brida fundicion PN16	\$150.00	\$1,200.00
275	Tubería PVC 10", PN16 y pegamento tramo 6 m	\$65.00	\$17,875.00
Mano de obra			
1	Instalación y montaje de equipos	\$3,500.00	\$3,500.00
42	Pegas tubería PVC	\$110.00	\$4,620.00
1	Prueba de hermeticidad@11.4 bar	\$400.00	\$400.00
TOTAL NETO			\$98,115.00

Fuente: Elaboración propia

4.3. Población y muestra

La muestra para esta investigación es igual a la población ya que se trata del diseño de un sistema de conducción hidráulica con condiciones específicas para irrigación de cultivo de caña de azúcar.

MUESTRA = Sistema de conducción hidráulica sometida a 43 psig de presión y 82 l/s de capacidad.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la elaboración de este informe se tomó las siguientes técnicas de recolección de datos:

- Entrevista, ya que se tuvo una reunión con el personal a cargo del desarrollo del proyecto.
- Análisis documental ya que se recabo información fundamental para el desarrollo del informe tales como fichas técnicas de los distintos equipos del sistema, estudio de aforo, análisis físico químico del agua, libros teóricos de mecánica de fluidos.
- Técnica de observación, ya que se tuvo que realizar una visita in situ para obtener información importante para el desarrollo de este informe.

Los instrumentos de recolección de datos fueron los que se indican en la figura (4.16):

FIGURA 4. 16: INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

<p align="center">Fichas técnicas</p> <p>Tales como ficha del pivote, bomba y dispositivos del sistema</p>	<p align="center">Pozímetro</p> <p>Para verificar el nivel dinámico y estático del pozo</p>
	
<p align="center">Informes</p> <p>Tales como el informe de aforo y características físico químicas del agua</p>	<p align="center">Voltímetro</p> <p>Para verificar la tensión de la zona</p>
	
<p align="center">Planos</p> <p>Tales como plano referencial de recorrido de tubería (vista de planta)</p>	<p align="center">Wincha</p> <p>Para verificar las medidas del plano suministrado por el entrevistado</p>
	

Fuente: Elaboración propia

4.5. Procedimiento de recolección de datos

Para obtener información fundamental para el desarrollo del presente informe se siguió el siguiente procedimiento en la recolección de datos:

- Se tuvo una entrevista con el jefe de proyectos de Agrolmos SA, en el cual se visitó in situ el lugar donde se instalara el sistema, además nos proporcionó los siguientes documentos:

Plano referencial de recorrido de tubería – vista de planta

Estudio de aforo del pozo

Análisis físico químico del agua de pozo

Información del pivote

- Posterior al análisis de los documentos proporcionados por el jefe de proyectos, se visitó el lugar de instalación nuevamente para corroborar la siguiente información:

Nivel dinámico del pozo

Nivel estático del pozo

Recorrido de tuberías

Tensión de la zona

Ubicación del pivote

- Con los documentos proporcionados por el jefe de proyectos ya corroborados se procedió a buscar información de proyectos similares, teoría relacionada a la mecánica de fluidos y buenas practicas ya implementadas en otros sistemas similares y las fichas técnicas correspondiente a los equipos fundamentales para el diseño del sistema de conducción hidráulica.

4.6. Procedimiento estadístico y análisis de datos

Debido a que se trata de una investigación tecnológica y darse que la muestra es igual a la población, no se realizará un análisis estadístico, solo se realizara un análisis de los resultados obtenidos, los cuales se presentarán en el capítulo 5.

V. RESULTADOS

TABLA 5. 1: RESULTADO DE PARAMETROS HIDRAULICOS CALCULADOS

Descripción	Magnitud	Unidad
Diámetro Hidráulico	232.6	mm
Velocidad del fluido	1.93	m/s
Tipo de flujo	Turbulento	-
Perdidas primarias	19.28	m
Perdidas secundarias	2.91	m
Altura estática	107.55	m
A.D.T	129.74	m
NPSH	18.598	m

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionó un diámetro hidráulico de 232.6mm, que representa una tubería de PVC con diámetro comercial de 10", con la cual obtenemos pérdida de carga dentro del rango recomendado, por ende costo de inversión moderado.

TABLA 5. 2: CARACTERISTICAS DE TUBERIA Y DISPOSITIVOS

Descripción	Diámetro	Material	Clase
Tubería de conducción	10"	PVC	PN16
Válvula de purga de aire	DN25 (1")	Hierro fundido ASTM A536	ANSI300
Manómetro tipo Bourdon	1/2" X 6"	Acero Inoxidable	0 - 300 PSI
Junta flexible	10"	Hule reforzado	ANSI300
Válvula Check tipo wafer	10"	Acero A216	PN16
Caudalímetro tipo Woltman	10"	Hierro fundido ASTM A536	PN16
Válvula compuerta	10"	Fundición Nodular EN-GJS-500	PN16
Válvula anticipadora de ondas	2"	Fundición Nodular EN-GJS-500	ANSI300

Fuente: Elaboración propia

Se hizo la selección de estos dispositivos de protección bajo la premisa de una correcta operatividad del sistema de conducción hidráulica.

TABLA 5. 3: CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE BOMBEO

Marca	National Pump	-
Tipo bomba	Bomba centrifuga sumergible tipo turbina vertical	-
Modelo	K12HC	
Tipo Impulsor	Cerrado	
Caudal	82	LPS
A.D.T	131	m
P. Absorbida	125	KW
Eficiencia	83,9	%
NPSHr	4,29	m
Altura máxima	182	m
Caudal mínimo	16,5	LPS
Velocidad	1770	RPM
P. Máxima	142	KW
Fuerza de empuje	2202,42	LBF
Numero etapas	7	
Ø Impulsor	9,12	inch
Ø Eje bomba	1,69	inch
Ø Eje columna	1,5	inch
Ø Descarga	10	inch

Fuente: Elaboración propia

El equipo de bombeo fue seleccionado para satisfacer las condiciones de operación del pivote y teniendo en cuenta las condiciones ambientales del lugar a instalarse.

TABLA 5. 4: CARACTERISTICAS DEL MOTOR ELECTRICO

Marca	US MOTOR	-
Modelo	H445TPA	-
Tipo	VERTICAL - EJE HUECO	-
Norma	NEMA	-
Potencia	200	HP
Velocidad	1800	RPM
Eficiencia	PREMIUM	IE3
Temp. Max	40	°C
Factor de servicio	1,15	-
Grado de protección	WP1	-
Fuerza de empuje	9800	LBF
Tensión	3Fx460	V
Frecuencia	60	HZ

Fuente: Elaboración propia

VI. DISCUSION DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de la Hipótesis con los resultados

- En el informe de tesis presente se calculó que el diámetro hidráulico es 232.6 mm, con la cual obtenemos una velocidad adecuada dentro del rango recomendado, con esto demostramos que la hipótesis es válida, ya que la velocidad está directamente ligada a las pérdidas primarias de resistencia un valor muy elevado de la velocidad ocasionará que dichas pérdidas se incrementen y un valor muy por debajo influirá en el costo de tubería.
- En este informe de tesis se realizó la selección de dispositivos de protección necesarios para una adecuada operatividad del sistema de conducción hidráulica tomando en cuenta las recomendaciones de fabricantes, ya que por obviar algunos de estos dispositivos podemos correr el riesgo de dañar elementos del sistema como la electrobomba, tubería y válvulas, o dejar el sistema inoperativo, por tanto, nuestra hipótesis se hace valida, pues para una correcta operatividad del sistema es necesario la selección adecuada de estos dispositivos.

- Con la A.D.T y el caudal requerido por el pivote podemos seleccionar la hidráulica adecuada de la bomba que permita en todo momento satisfacer las condiciones de riego planteadas, con esto demostramos que nuestra hipótesis es válida, pues para una correcta operatividad del pivote es necesario una correcta selección del equipo de bombeo.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

A continuación se hará la contrastación de resultados con las tesis que se tomaron como referencia en el Capítulo II:

- En el presente informe de tesis se dio como válido el uso de tubería termoplástica para el sistema de conducción hidráulica sometida a presión ya que se verificó su bajo coeficiente de fricción y por ende menores pérdidas de resistencia primarias en el sistema, como lo indicó el Ing. Patrocinio Arroyo H. en su tesis para obtener el grado de maestro en ingeniería (Hidráulica), con título “Diseño de sistemas de riego por gravedad con red de tubería de distribución parcelaria a baja presión”.

- En el presente informe de tesis se seleccionó una electrobomba de turbina vertical con una eficiencia de 83.9% y un motor eléctrico de eficiencia Premium ya que es el consumo de energía del sistema de riego depende directamente de la potencia requerida por el equipo de bombeo, como lo indico el Ing. Vicente E. Esquit Donit para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo, con título “Análisis técnico-económico de un sistema de riego por pivote central y un módulo de riego por aspersión móvil en cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), en ingenio La Unión S.A., Escuintla” y el Ing. Daniel Martinez A. en su tesis magistral con título “Plan de medidas para la disminución del consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctricas de la UBPC-3 “Jesús Menéndez” en la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”.

- En el presente informe de tesis se hizo la selección de los dispositivos de protección necesarios para garantizar un correcta operatividad del sistema, sin excedernos en la cantidad de dispositivos ya que estas generan pérdidas secundarias que incrementan la A.D.T., como lo indica el Ing. Fernando Cortes Salazar en su tesis con título “Selección de equipo de bombeo para un sistema de suministro de agua”.

VII. CONCLUSIONES

- a) Para el diseño del sistema de conducción hidráulica se tomó en cuenta tres elementos importantes: diámetro hidráulico, dispositivos de protección y la electrobomba, asegurando un correcto dimensionamiento de estos elementos se garantiza el buen funcionamiento del pivote, ya que la electrobomba está seleccionada para brindar un caudal y presión en función del sistema (Tuberías, válvulas, y presión requerida por el pivote) y si no se toma en cuenta todos estos factores los parámetros hidráulicos pueden variar obteniendo un riego ineficiente.
- b) Para el cálculo de las pérdidas primarias se consideró la ecuación empírica de Hazen-William debido a su practicidad y resultados muy cercanos a la ecuación de Darcy-Weisbach, además se ha corroborado que esta ecuación es aplicable al sistema diseñado ya que cumple con todas las restricciones indicadas en el capítulo IV (fluido a temperatura ambiente, tubería lisa y diámetro de tubería mayor a 2")

- c) Para el cálculo de las pérdidas secundarias se deben considerar en la medida de lo posible los datos de fabricantes, ya que nos darán resultados de pérdidas secundarias más cercanos a la realidad a comparación del método teórico de longitudes equivalentes.
- d) Para la selección hidráulica de la electrobomba se buscó un modelo que este cercano a su punto de máxima eficiencia (BEP), ya que esto garantiza un bajo consumo de energía, un desgaste equilibrado de los componentes internos de la bomba y la posibilidad de una moderada variación de las condiciones en el campo al tener un margen amplio de desplazamiento en la curva hidráulica de la bomba, también para la selección del motor eléctrico se consideró la potencia máxima absorbida ya que con este valor cualquier punto hidráulico sobre la curva de la bomba estará cubierto en términos de potencia.

VIII. RECOMENDACIONES

- a) Para comprobar la hermeticidad de las tuberías en PVC se debe realizar una prueba de presión que puede ser del orden del 50% sobre la presión de operación según fabricantes, en este caso esta presión sería 11.4 bar ya que la presión de operación a la que está sometida la tubería de PVC es cuando ya se venció el nivel dinámico y es 7.6 bar, además siempre hay que tener en cuenta que esta presión de prueba jamás debe superar a la presión de diseño de la tubería o accesorios (en nuestro diseño es 16 bar el cual está por encima de la presión de prueba que sería 11.4 bar).

- b) Al instalar los dispositivos de protección se debe seguir las indicaciones del fabricante, ya que de esta manera aseguramos una operación adecuada y un mayor tiempo de vida útil.

- c) El arranque del motor eléctrico se debe realizar con variador de frecuencia debido a que la corriente de arranque sería igual a la corriente nominal y por la potencia del motor eléctrico es imperativo que se cumpla esos valores, además el variador de frecuencia permite que la curva hidráulica de la bomba pueda variar para acomodarse mejor a distintos puntos de operación, esta característica es vital en los pozos profundos ya que con el tiempo

el nivel dinámico del pozo se incrementa por más que se haya realizado el estudio de aforo correspondiente para evitar esto.

- d) Se debe hacer seguimiento constante de los parámetros fundamentales de la electrobomba tales como presión y caudal ya que una variación de estos puede indicar el deterioro de los componentes internos de la bomba o alguna variación del sistema o el pozo.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

9.1. Referencias de tesis y libros afines

- Arroyo, P. (2008) *Diseño de sistemas de riego por gravedad con red de tubería de distribución parcelaria a baja presión* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Esquit, D. (2004) *Análisis técnico-económico de un sistema de riego por pivote central y un módulo de riego por aspersión móvil en cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.), en ingenio La Unión S.A., Escuintla* (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Martínez, D. (2012) *Plan de medidas para la disminución del consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctricas de la UBPC-3 “Jesús Menéndez” en la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”* (Tesis magistral). Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba.
- Bellino, N. (2012) *Aguas subterráneas Conocimiento y Explotación*. Buenos Aires, Argentina.
- Asociación Nacional del Agua (2010). *Inventario de y monitoreo de las aguas subterráneas en el Valle de Olmos*. Perú.

- Organización Panamericana de la Salud (2007). Guía para la selección de equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural. Perú.
- Organización Panamericana de la Salud (2005). Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable. Perú.
- Guía de operaciones unitarias, Prof. Pedro Vargas. UNEFM – Venezuela
- Ortiz R. (2016) *Tipo de tubería*. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Fernández F. (2012) *Guía general para el cálculo, instalación y mantenimiento de bombas hidroneumáticas*. Guatemala.
- Unidad de Planeación Minero Energética (2010) *Ahorro de energía en sistemas de bombas centrifugas*. Colombia.
- Dirección general de competitividad agraria (2014). *Condiciones agroclimáticas de cultivo de caña de azúcar*. Ministerio de agricultura, Perú.
- Potter M. y Wiggert D. (2003). *Mecánica de Fluidos 3° Edición*. Ediciones Paraninfo.

9.2. Referencias de catálogos técnicos

- Manual de instalación y mantenimiento US MOTOR
- Datos técnicos de hidráulica - Bombas Ideal
- Catálogo de válvulas ventosas VENT-O-MAC
- Catálogo de juntas flexibles MAFLEXMET
- Catálogo de válvula check tipo wafer COMEVAL
- Catálogo de manómetros REGABER
- Catálogo de válvula compuerta GENEBRE
- Manual de diseño, Bombas Warson
- Manual de ingeniería Bomba National Pump

9.3. Referencias de páginas web

- Motores eléctricos Capítulo 11 (2012). Recuperado el 05 de julio del 2017 de;
<http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>
- Diseño del sistema de tuberías y cálculos de las bombas (2007). Recuperado el 24 de agosto del 2017 de;
www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%20TUBERIAS.pdf
- ERP Agrícola (2016). Tipos de riego y sus ventajas. Recuperado el 17 de julio del 2017 de;
<http://sistemaagricola.com.mx/blog/tipos-de-riego-en-la-agricultura-y-ventajas/>

- Universidad Nacional Autónoma de Honduras (2015). Mecánica de fluidos - Diagrama de Moody. Recuperado el 18 de setiembre del 2017 de;
<https://mecanicadefluidosunah.files.wordpress.com/2015/11/moody>
- Tutoriales Ingeniería Civil (2014). Principios de la hidráulica. Recuperado el 04 de setiembre del 2017 de;
<http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/principios-de-la-hidraulica-que-necesitas-conocer-las-perdidas-de-energia-%E2%80%93-3-parte-i-perdidas-por-friccion/>

ANEXOS

Matriz de consistencia

Otros necesarios para respaldo de la investigación

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título de la tesis: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONDUCCION HIDRAULICA SOMETIDA A 43 PSIG DE PRESION Y 82 L/S DE CAPACIDAD, PARA IRRIGAR 95 HECTAREAS DE CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR - AGROLMOS S.A – LA LIBERTAD

Autor(es): 1. Jorge Rene, Ruiz Arana 2. Vilma Emylin, Retamozo Molina

Identificación del Problema	Formulación del Problema	Objetivos de la Investigación	Hipótesis de la investigación	Metodología de la investigación	Población y muestra
La empresa AGROLMOS S.A. cuenta con una planta azucarera en el Distrito de Olmos, región Lambayeque; la materia prima es caña de azúcar, la cual es sembrada y cosechada en el	Problema General: ¿Cómo diseñar un sistema de conducción hidráulica a 43 PSIG de presión y 82 l/s de capacidad que permita irrigar 95 hectáreas de cultivo de caña de azúcar del Fundo Olmos de la empresa Agrolmos S.A – La Libertad?	Objetivo General: Diseñar un sistema de conducción hidráulica a 43 PSIG de presión y 82 l/s de capacidad mediante un pivote que permitan irrigar 95 hectáreas de cultivo de caña de azúcar en la empresa Agrolmos – La Libertad.	Hipótesis General: Si se diseña un sistema de conducción hidráulica a 43 PSIG de presión y 82 l/s de capacidad entonces se asegura la irrigación de 95 hectáreas de cultivo de caña de azúcar en el fundo Olmos de la empresa Agrolmos S.A – La Libertad.	Tipo de investigación: En el presente informe de tesis se está aplicando una investigación tecnológica, ya que mediante el manejo de conceptos teóricos de la	La muestra para esta investigación es igual a la población ya que se trata del diseño de un sistema de conducción hidráulica con condiciones específicas para irrigación de cultivo

<p>Fundo Olmos, ubicado en la misma región. Debido a la poca disponibilidad de agua en esta zona árida, se tiene la necesidad de contar con una fuente propia de agua para no perjudicar el abastecimiento de agua a la población aledaña; en tal sentido, es necesario diseñar un sistema de</p>	<p><u>Problemas Específicos:</u></p> <p>PE1: ¿Cómo determinar el diámetro hidráulico adecuado de tubería que permita minimizar las pérdidas de resistencia del sistema de conducción hidráulica?</p> <p>PE2: ¿En qué medida la selección adecuada de los accesorios y dispositivos de protección garantizará una correcta operatividad en el sistema de conducción hidráulica.</p>	<p><u>Objetivos Específicos:</u></p> <p>OE1: Determinar el diámetro hidráulico adecuado de tubería para minimizar las pérdidas de resistencia del sistema de conducción hidráulica.</p> <p>OE2: Seleccionar adecuadamente los accesorios y dispositivos de protección que permitan dar una correcta operatividad al sistema de conducción hidráulica.</p>	<p><u>Hipótesis Específicas:</u></p> <p>HE1: Si se determina el diámetro hidráulico adecuado de tubería entonces se minimizarán las pérdidas de resistencia del sistema de conducción hidráulica.</p> <p>HE2: Si se selecciona adecuadamente los accesorios y dispositivos de protección entonces se permitirá dar una correcta operatividad al sistema de conducción hidráulica.</p>	<p>mecánica de fluidos llegamos a una solución práctica que nos permita diseñar el sistema de conducción hidráulica para la irrigación de cultivo de caña de azúcar.</p> <p>Diseño de la investigación: El presente informe de tesis es de diseño no experimental, pues aquí no</p>	<p>de caña de azúcar. MUESTRA = Sistema de conducción hidráulica sometida a 43 psig de presión y 82 l/s de capacidad.</p>
---	--	---	---	---	---

<p>conducción hidráulica sometida a presión, para la extracción y distribución de las aguas freáticas que discurren por el subsuelo.</p>	<p>PE3: ¿En qué medida la selección adecuada del sistema de bombeo garantizará la presión y capacidad requerida por el pivote?</p>	<p>OE3: Seleccionar el sistema de bombeo adecuado para garantizar la presión y capacidad requerida por el pivote.</p>	<p>HE3: Si se selecciona el equipo de bombeo adecuado entonces se garantizará la presión y capacidad requerida por el pivote.</p>	<p>existe manipulación de las variables, ya que solo nos remitiremos al diseño más no a la ejecución.</p>	
--	---	--	--	---	--