

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL
SECTOR POZO ROSAS UBICADO EN EL
MUNICIPIO GUAICAIPURO, ESTADO MIRANDA**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Cisneros A. Nestor A.
Para optar por el Título de
Ingeniero Mecánico

Caracas, 2.009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL
SECTOR POZO ROSAS UBICADO EN EL
MUNICIPIO GUAICAIPURO, ESTADO MIRANDA**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. José De Aguiar

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Cisneros A. Nestor A.
Para optar por el Título de
Ingeniero Mecánico

Caracas, 2.009



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA



Caracas, 18 de noviembre de 2.009

ACTA

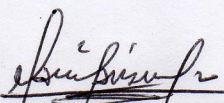
Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el bachiller:

CISNEROS NESTOR

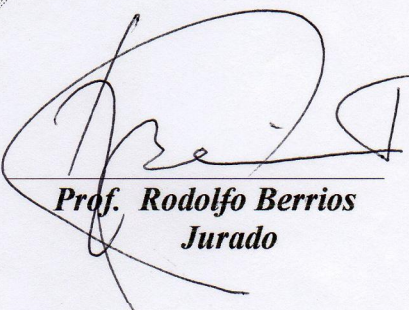
Titulado:

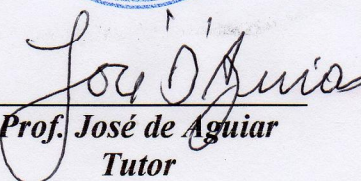
“EVALUACION Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL SECTOR POZO ROSAS UBICADO EN EL MUNICIPIO GUAICAIPURO, ESTADO MIRANDA”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio conducente al Título de Ingeniero Mecánico.


Prof. Manuel Martínez
Jurado




Prof. Rodolfo Berrios
Jurado


Prof. José de Aguiar
Tutor

“NÚCLEO DE INGENIERIA “ARMANDO MENDOZA” HACIA EL 30° ANIVERSARIO”

DEDICATORIA

A mis dos hijos Ana Margot y Diego Arnaldo, quienes han llegado a transformar mi vida en alegría, lucha y amor, regalándome diariamente miles de satisfacciones y llenándome de orgullo como padre.

A mis padres por darme ejemplo de constancia, trabajo y unión familiar para seguir adelante y lograr las metas trazadas.

A mi hermana Neisy y mi esposa Analis, ya que en ellas encontré apoyo en los momentos difíciles y se han esforzado por mantenerme motivado.

A mi abuela Elvira por soñar este momento desde un principio y señalarme el camino.

A toda mi familia, los que están cercanos y aquellos que partieron dejando un legado de honestidad, sinceridad y respeto por la vida.

A mis amigos Carlos y Nelson por ser mis hermanos que me ofreció la vida a cambio de una amistad inquebrantable.

AGRADECIMIENTOS

A cada uno de mis seres queridos por apoyarme en las diversas etapas del proyecto y brindarme sus consejos en los momentos difíciles.

A Enmanuel Andrade (compañero y amigo pasante de la Unexpo) por brindarme la colaboración en los momentos necesarios y convertirse en una de las personas más comprometidas con la ejecución del proyecto.

A mi tutor académico Ing. José De Aguiar por darme la orientación y asesoría necesaria para el desarrollo del proyecto.

Al profesor Francisco García por su apoyo en un momento cumbre, que me permitió encontrar el camino al éxito en este proyecto.

A todos los amigos que me han apoyado antes y durante la carrera.

Cisneros A. Nestor A.

**EVALUACIÓN Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL SECTOR
POZO ROSAS UBICADO EN EL MUNICIPIO GUAICAIPURO,
ESTADO MIRANDA**

**Tutor Académico: Prof. José De Aguiar. Tutor Industrial: Ing. Eneida García.
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica.
2.009, 184 pag.**

Palabras Claves: Sistema de Abastecimiento, Sistema de Bombeo, Caudal, Presión.

Resumen: El propósito del presente proyecto es evaluar el sistema de abastecimiento de agua potable que actualmente funciona en el Sector Pozo Rosas ubicado en el Municipio Guaicaipuro, mediante el registro de parámetros de operación y el análisis de las características del sector con el fin de conocer la calidad del servicio. A su vez propone un diseño de un nuevo sistema de abastecimiento a los fines de garantizar el suministro eficiente de agua a las comunidades ubicadas en el sector hasta el año 2029. Se realizan los cálculos hidráulicos necesarios para obtener las características del sistema y con ello elegir los equipos, tuberías y accesorios más idóneos para conformarlo. Todo esto con la finalidad de optimizar la calidad del servicio de agua potable para el sector Pozo Rosas.

Cisneros A. Nestor A.

**EVALUATION AND DESIGN OF A DRINKABLE WATER
SUPPLY SYSTEM TO THE POZO ROSAS SECTOR LOCATED
AT THE GUAICAIPURO MUNICIPALITY, MIRANDA STATE**

**Academic Tutor: José De Aguiar Eng. Industrial Tutor: Eneida García Eng.
Thesis. Caracas, U.C.V. Engineering Faculty. Mechanics Engineering School.
2.009, 184 pag.**

Key words: supply system, Pumping system, Wealth, Pressure.

Summary: The intention of the present project is to evaluate the system of drinkable water supply that actually works at Pozo Rosas sector, located in the Guaicaipuro Municipality, using the record of operation parameters and the analysis of sector characteristics to know the service quality . Besides it proposes a new supply system design to guarantee the efficient supply of water to the communities located in the sector up to the year 2029. There are realize the hydraulic necessary calculations to obtain the characteristics of the system and it is used to choose the equipments, pipelines and the most suitable accessories to shape it. The purpose of this is to optimize the service quality of drinkable water for Pozo Rosas sector.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE GENERAL	VI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE GRÁFICAS	XVI
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	XVII
INTRODUCCIÓN.....	19
CAPÍTULO I: DEFINICIÓN DEL PROYECTO	20
1.1 Antecedentes de la Empresa.....	20
1.2 Antecedentes del Proyecto	27
1.3 Planteamiento Del Problema	28
1.4 Objetivos Y Alcances.....	31
1.4.1 Objetivo General.....	31
1.4.2 Objetivos Específicos	31
1.5 Alcances Y Limitaciones	32
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	34
2.1 Principios de la Mecánica de los Fluidos aplicados a los Sistemas de Bombeos y Acueductos.....	34
2.1.1 Viscosidad de un Fluido.....	34
2.1.2 Densidad de un Fluido	35
2.1.3 Peso específico	35
2.1.4 Caudal	36
2.1.5 Ecuación de Continuidad	36
2.1.6 Presión.....	37
2.1.7 Ecuación de Bernoulli.....	37
2.1.8 Tipos de Flujos	38
2.1.9 Pérdidas de Cargas en Sistemas de Tuberías	39

2.1.9.1	Limitaciones.....	40
2.1.9.2	Método de la Longitud Equivalente.....	41
2.1.10	Altura Dinámica Total (ADT).....	41
2.1.11	Sistemas de Bombeo.....	43
2.2	Bombas.....	47
2.2.1	Clasificación.....	48
2.2.1.1	Bombas de desplazamiento positivo.....	48
2.2.1.2	Bombas centrífugas.....	50
2.2.2	Altura Neta de Succión Positiva (NPSH).....	59
2.2.2.1	NPSH Requerido.....	59
2.2.2.2	NPSH Disponible.....	59
2.2.3	Potencia de la Bomba.....	60
2.2.4	Golpe de Ariete.....	60
2.2.5	Cavitación.....	63
2.2.5.1	Efecto mecánico.....	64
2.2.5.2	Efecto químico.....	64
2.2.5.3	Consecuencias.....	64
2.2.5.4	Causas.....	65
2.2.5.5	Formas.....	65
2.2.6	Alzamiento de succión.....	65
2.3	Sistema de Abastecimiento.....	66
2.3.1	Tuberías.....	66
2.3.1.1	Aire en Tuberías.....	66
2.3.2	Ventosas.....	69
2.3.2.1	Tipos.....	70
2.3.3	Válvulas.....	72
2.3.3.1	Válvulas de Compuerta y de Mariposa.....	72
2.3.3.2	Válvulas de retención.....	73
2.3.3.3	Válvulas de Globo.....	74
2.3.3.4	Criterios para seleccionar una Válvula.....	75

2.4 Motores Eléctricos AC.....	76
2.4.1 Clasificación.....	76
2.4.1.1 Asíncronos	76
2.4.1.2 Síncronos	76
2.5 Proyección de Población	77
2.6 Programa de Simulación	78
CAPÍTULO III: SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	
.....	84
3.1 El Sistema de Bombeo	84
3.1.1 Ubicación	84
3.1.2 Caseta de Bombeo	85
3.1.3 Equipo de Bombeo	85
3.1.4 Sistema de Tuberías.....	87
3.1.5 Modo de operación	87
3.1.6 Motores eléctricos.....	87
3.2 La Red de Distribución	88
3.2.1 Perfil Topográfico de la Red de Distribución Principal.....	88
3.2.2 Identificación de los Nodos.....	90
3.2.3 Red de distribución Principal	91
3.3 Demanda Actual	92
3.4 Análisis General del Sistema de Abastecimiento Actual.....	97
3.4.1 Obra Civil.....	97
3.4.2 Comportamiento Hidráulico.....	97
3.4.3 Equipos y Maniobras	98
3.4.4 Tuberías.....	99
CAPITULO IV: MARCO METODOLÓGICO	101
4.1 Tipo y Nivel de la Investigación.....	101
4.2 Descripción de los procedimientos	101
4.3 Recopilación de información.....	102
4.3.1 Antecedentes del Sistema.....	102

4.3.2 Situación Actual	102
4.4 Ubicación de Zonas Relevantes.....	102
4.4.1 Ubicación de Nodos.....	102
4.4.2 Medición de Cotas	103
4.4.3 Medición de Distancia entre Nodos.....	103
4.5 Población Beneficiada.....	104
4.5.1 Censo de Viviendas e inmuebles actuales.....	104
4.5.2 Clasificación de Viviendas.....	104
4.5.3 Estimación de Población según Censo	104
4.5.4 Cálculo de Población a futuro	105
4.6 Diseño de la Red Abastecimiento.....	106
4.6.1 Curva de consumo horario	106
4.6.2 Demanda por Nodos	107
4.6.3 Selección de Tuberías	107
4.6.3.1 Material.....	107
4.6.3.2 Diámetro	107
4.6.4 Selección de Accesorios.....	108
4.6.4.1 Conexiones	108
4.6.4.2 Válvulas	108
4.7 Diseño de la estación de Bombeo Laguneta.....	109
4.7.1 Sistema de succión y descarga	109
4.7.2 Selección de válvulas y accesorios.....	109
4.7.3 Pérdidas de carga en el sistema de succión y descarga....	109
4.7.4 Altura dinámica total (ADT)	110
4.7.5 Selección de la Bomba.....	111
4.7.6 Cálculo del golpe de ariete	111
4.7.7 Selección del motor	112
4.8 Simulación De La Red De Distribución.....	112
CAPITULO V: DESARROLLO DEL PROYECTO	114
5.1 Levantamiento de la Información.....	114

5.1.1 Nodos	114
5.1.2 Distancias entre Nodos	115
5.1.3 Censo de Viviendas e Inmuebles.....	116
5.2 Estimaciones y Cálculos.....	117
5.2.1 Población futura (para el año 2.029).....	117
5.2.2 Demanda de Población a Futuro.....	118
5.2.3 Diámetro de Tuberías.....	119
5.2.4 Tubería principal de descarga.....	120
5.2.5 Tubería de succión.....	121
5.2.6 Pérdidas de Carga	122
5.2.6.1 Criterio para el cálculo de las pérdidas de carga	122
5.2.6.2 Pérdidas en La Succión	122
5.2.6.2.1 Pérdidas primarias	123
5.2.6.2.2 Pérdidas menores (accesorios)	123
5.2.6.3 Pérdidas en la Descarga (Nodo 1 al Nodo 4)..	124
5.2.6.3.1 Tramo Nodo (1)-Nodo (2)	124
5.2.6.3.2 Tramo Nodo (2)-Nodo (4)	125
5.2.7 ADT	126
5.2.8 Capacidad del Grupo de Bombeo.....	127
5.2.9 Selección de la Bomba.....	128
5.2.10 NPSH	128
5.2.11 Golpe de Ariete.....	129
5.2.12 Diámetro de ramales	131
5.2.13 Selección de Válvulas reguladoras de presión	132
CAPITULO VI: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	140
6.1 Población beneficiada y Demanda del Sistema de Bombeo	140
6.2 Estación De Bombeo Actual	141
6.3 Sistema De Abastecimiento Diseñado	141
6.3.1 Bombas.....	141
6.3.2 Motores	142

6.3.3 Accesorios	142
6.4 Red de Abastecimiento	144
6.4.1 Tuberías.....	144
6.4.2 Conexiones	144
6.4.3 Ramales.....	145
6.4.4 Accesorios	145
6.4.4.1 Válvulas reguladoras de Presión.....	145
6.4.4.2 Válvulas Ventosas.....	146
6.4.4.3 Válvulas de Compuerta	146
6.4.4.4 Reducciones	146
6.4.4.5 Bridas.....	147
6.4.4.6 Varios	147
6.5 Actividades de Obra.....	148
CONCLUSIONES	149
RECOMENDACIONES	152
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	154
ANEXOS.....	155
ANEXOS A.....	156
ANEXOS B.....	175
ANEXOS C.....	182

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01 Comparación en Municipios del Estado Miranda.....	30
Tabla N° 02 Módulo de elasticidad de algunos materiales	63
Tabla N° 03 Características de las bombas actualmente instaladas	86
Tabla N° 04 Nodos y su descripción	90
Tabla N° 05 Ubicación, longitud, diámetro y material de las tuberías actuales.....	91
Tabla N° 06 Tipos de viviendas presentes en el sector.....	92
Tabla N° 07 Censo por tipo de infraestructura.....	93
Tabla N° 08 Caudal para Viviendas unifamiliares según la Norma Vigente.....	94
Tabla N° 09 Caudal para otras infraestructuras según la Norma Vigente	94
Tabla N° 10 Caudal por Norma requerido para los diversos tipos de Infraestructuras según censo	95
Tabla N° 11 Maniobras realizadas actualmente a las válvulas	99
Tabla N° 12 Dotaciones de viviendas según Norma vigente.....	104
Tabla N° 13 Ubicación de Nodos según Coordenadas	114
Tabla N°14 Distancia entre Nodos	115
Tabla N° 15 Censo y tipo de Viviendas, otros inmuebles y población estimada respecto a estos	116
Tabla N° 16 Censo actual y población estimada para el año 2.029.....	117
Tabla N° 17 Demanda estimada para el año 2.029.....	118
Tabla N° 18 Cálculo de tubería según demanda estimada para el año 2.029	119
Tabla N° 19 Pérdidas por accesorios Nodo (1-2).....	124
Tabla N° 20 Pérdidas por accesorios Nodo (2-4).....	125
Tabla N° 21 Diámetro en ramales	131
Tabla N° 22 Presión sin VRP	132
Tabla N° 23 Presión con una VRP instalada.....	133
Tabla N° 24 Presión con dos VRP instalada.....	134
Tabla N° 25 Presión con tres VRP instalada.....	135
Tabla N° 26 Presión con cuatro VRP instalada.....	136

Tabla N° 27 Presión con cinco VRP instalada.....	137
Tabla N° 28 Presión con seis VRP instalada.....	138
Tabla N° 29 Presión de funcionamiento de las VRP.....	139
Tabla N° 30 Actividades de Obra.....	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 01 Estructura Organizativa Sistema Panamericano	25
Fig. 02 Principio de la ecuación de la continuidad.....	36
Fig. 03 Perfiles de los fluidos.....	39
Fig. 04 Sistemas de succión positiva y negativa	44
Fig. 05 Tipo de Succión Caso 1.....	45
Fig. 06 Tipo de Succión Caso 2.....	46
Fig. 07 Tipo de Succión Caso 3.....	47
Fig. 08 Bomba de pistón	49
Fig. 09 Tipos de bombas rotativas	50
Fig. 10 Componentes de las bombas centrífugas de una etapa	54
Fig. 11 Componentes de las bombas centrífugas multietapas.....	54
Fig.12 Tipos de rodetes.....	55
Fig. 13 Tipos de carcasas	56
Fig. 14 Tipos de carcasa según su sección.....	57
Fig. 15 Tipos de difusores.....	58
Fig. 16 Ejes de bombas	59
Fig 17 Bolsas de aire en tuberías	67
Fig. 18 Pérdidas en tuberías	68
Fig. 19 Corte longitudinal de una ventosa	71
Fig. 20 Válvula de compuerta típica, de operación manual.....	73
Fig. 21 Válvulas de retención típica	74
Fig. 22 Válvula de globo típica de operación manual	75
Fig. 23 Planta de Tratamiento Laguneta	84
Fig. 24 Grupo de Bombeo en paralelo con sus respectivas válvulas.....	85
Fig. 25 Tipo de bomba instalada actualmente.....	85
Fig. 26 Tubería instalada actualmente	100

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica N° 01 Comportamiento de la Altura neta de trabajo de la bomba con respecto al caudal manejado.....	86
Gráfica N° 02 Eficiencia de la bomba con respecto al caudal	87
Gráfica N° 03 Variación de la Demanda en los Altos Mirandinos	106

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
A	Área
ADT	Altura Dinámica Total
C	Coefficiente de Rugosidad
D	Diámetro
e	Espesor
E	Módulo de elasticidad de un sólido
F	Fuerza
g	Gravedad
h	Pérdidas
H	Altura
η	Eficiencia
K	Constante según ecuación
Ke	Módulo de elasticidad de un líquido
Kg	Kilogramo
L	Longitud
l/s	Litros por segundos
m	Metro
mca	Metros de columna de agua
mm	Milímetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
N.A.	No aplica
NPSH	Altura Neta de Succión Positiva

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
Presión	Presión
Q	Caudal
R	Índice de Crecimiento Poblacional
r	Radio
Rcc	Concreto de cemento reforzado
Re	Número de Reynolds
rpm	Revoluciones por Minuto
S	Pendiente de Fricción
t	Tiempo
Tc	Tiempo Crítico
V	Velocidad
v	Viscosidad Cinemática
Vw	Velocidad de Propagación
X	Período
Z	Energía potencial
l/d	Litros por día
l/h	Litros por hora

INTRODUCCIÓN

Actualmente el mundo se encuentra en una fase donde se comienza a sentir mayor dificultad para la obtención de los recursos necesarios para el hombre en especial el agua.

El agua en su estado natural es un elemento que conforma un 71 % de nuestro planeta, del cual solo un 3 % es agua dulce. Conocido es el refrán “El agua es vida” donde se señala de modo resumido la función que cumple este fluido para el ser humano, razón por la que, esfuerzos en esta materia se tornan de mayor importancia con el transcurrir del tiempo ya que están basados en el uso eficiente de este elemento. Debido a estas situaciones de carácter general que se están presentando en el mundo, aunado a las situaciones particulares que presenta el Sector Pozo Rosas ubicado en el Municipio Guaicaipuro del Estado Miranda, se realiza una **evaluación** de su sistema de abastecimiento de agua donde se estudian las causas, características, consecuencias y efectos con el uso de herramientas técnicas capaces de facilitar el estudio como son: programas de simulación, programas complementarios, equipos de medición y también la adquisición de información técnica aportada por bibliografías relacionadas y entes competentes.

El sector Pozo Rosas cuenta con una gran diversidad poblacional, sub-sectores con características muy diferentes entre sí, distancias considerables, todos beneficiados con una misma red de abastecimiento de agua potable, proveniente de la Planta de Tratamiento Laguneta y en el cual también se realiza un **diseño** de un sistema de abastecimiento que pueda satisfacer las necesidades de la Población del sector tanto en el futuro inmediato como a mediano plazo, valiéndose de los recursos que posee dicho sector.

CAPÍTULO I: DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

La historia de ésta hidrológica puede remontarse a las primeras civilizaciones este proceso se inicia en Caracas en la época en que nuestros indígenas se asientan en el valle, desde lo que es hoy San Pedro de los Altos hasta Santa Lucía, en donde el Guaire confluye con el Río Tuy. Estos indígenas se nutrían principalmente de dos cuencas: la del Guaire y la del Río Tacagua; este último es el único afluente del área que no se desemboca en el Río Tuy sino directamente en el mar. Los indígenas se surtían de manera directa, no existía ningún trabajo de construcción para sistematizar el abastecimiento.

Con el advenimiento de los conquistadores españoles llega el concepto occidental de Ciudad y se construye el primer acueducto. Es decir, se hacen acequias. Por los bordes de las calles se hacían canales que se nutrían de los ríos de Caracas. La gente desviaba el curso haciendo un canalito hasta su casa. Después de realizados los canales el servicio se prestaba por sí solo. El mantenimiento lo hacía la misma gente y a los canales principales los mantenía la municipalidad. Pero en esta época el caraqueño no dependía, en relación con el agua, de nadie. Si había algún problema con la acequia, simplemente caminaban unos cuantos metros y se autoabastecían de agua. Estas características se mantenían más o menos iguales, por mucho tiempo, durante el abastecimiento de la colonia, la independencia y el asentamiento de la vida republicana. Hasta que caracas adquiere una consolidación urbana con Guzmán Blanco. Entonces se lleva a cabo un acueducto de más envergadura. Se construyeron canales y el agua se recogía en San Pedro en lo que hoy es Miraflores.

Con Juan Vicente Gómez el proceso urbanístico de caracas se estanca, porque aunque sigue siendo la capital, Gómez que es el gobernante opera desde Maracay.

Cuando muere el dictador, López Contreras le da continuidad al crecimiento urbano de Caracas. En este periodo se amplía y se mejora el acueducto que viene del Guaire. Se ejerce una especie de presión de las compañías explotadoras de petróleo para que se establezca un proceso de saneamiento del agua.

La exigencia de las petroleras y el desarrollo urbano provoca, para el 15 de Abril de 1943, la creación del Instituto nacional de obras sanitarias (INOS) representado por el Ingeniero Andrés Álvarez Vidal; durante muchos años éste fue el organismo encargado de la distribución y administración del agua en Venezuela. El INOS fue fundado como un servicio autorizado, cuyo objeto era el de administrar los servicios de distribución de agua potable y de recolección de aguas servidas, función que cumplía mediante contratos de concesión otorgados por los consejos municipales y antes de la administración; nace con un perfil y una altura capaz de responder no solamente a las exigencias y necesidades del país, sino también a las expectativas de las transnacionales.

Desde 1943 hasta 1958 era un instituto muy eficiente, que fue capaz de construir un sistema de abastecimiento de agua potable para todo el país. Para los años sesenta tenía un índice de servicio que superaba, en algunos aspectos, a países del primer mundo. Para esta época mayor parte de los sistemas de producción, transporte, tratamiento y distribución de agua potable a las principales ciudades del país y en menor proporción algunos sistemas de tratamiento de aguas residuales. El INOS era una institución gloriosa que se permitía el lujo de atender a franceses e ingleses para orientarlos en materia de agua.

Después de llevar aguas a las casas se produce una dificultad: ¿Qué hacer con algunas aguas servidas? El sistema de cloacas resuelve el problema de saneamiento pero se crea un tercer problema: se concentran las aguas creando puntos de contaminación y a su vez se contaminan las cuencas, pudiendo éste resolverse

mediante un proyecto de saneamiento del Río Guaire, construyendo los colectores marginales al río.

En la década de los sesenta bajo la excelente gestión del INOS la gente tenía una cultura positiva del agua, pero a raíz de la guerra de los países Árabes contra Israel se produce un cambio de la geografía económica mundial, teniendo Estados Unidos un nuevo proveedor principal que era Venezuela, entrando así al Estado enormes cantidades de dólares, que no se sabe como usar; ocasionando así que el sector agua, entre otros, se vea afectado negativamente por el caudal de dólares que le entraba al país.

El presidente para entonces Carlos Andrés Pérez, interviene arbitrariamente al INOS provocando un cambio radical en las políticas del mismo. La danza de millones se bailaba al son de las inversiones en obras. Se construían presas de manera tan descontroladas que algunas nunca han tenido acueductos. La corrupción se hace dueña de la situación y provoca la diáspora de gran parte de las reservas morales del instituto. La gente que quedó, quizás para librarse de culpas, quizás por negligencia, deja de cobrar el agua. Ya no se colocaban medidores.

La crisis estalla a finales del período de Jaime Lusinchi y se establece, una verdadera guerra de agua. Se decreta la suspensión del INOS sin recapacitar en lo que había sucedido.

Para sustituir al INOS se copia un modo que había alcanzado una imagen exitosa, el de Petróleos de Venezuela (PDVSA) y sus empresas filiales. Apareciendo así en escena la compañía anónima Hidrológica Venezolana “Hidroven” y sus empresas filiales, la cual se registró el 24 de Mayo de 1.990, creada y constituida en Caracas, bajo el N° 30 tomo 63 –A, igualmente presentado por su presidente Andrés Álvarez Vidal.

Hidroven, a su vez está constituida por diez (10) empresas hidrológicas regionales, las cuales son: Hidrocentro, Hidrolago, Hidrofalcón, Hidrosureste, Hidropáez, Hidrocaribe, Hidroccidente, Hidroándes, Hidrollanos y Hidrocapital.

Estas empresas, previo acuerdo con las municipalidades, se convierten en responsables de la operación y administración de servicio de agua. Además están constituidas como compañías anónimas, las cuales actúan bajo la planificación de políticas generales del ambiente y de los recursos naturales renovables dictado por “Hidroven”.

Para satisfacer las necesidades de éste servicio en el Distrito Capital y los Estados Miranda y Vargas, surge la compañía anónima Hidrológica de la región Capital, Hidrocapital, ésta fue constituida el 4 de abril de 1.991, y se registró el 11 de abril del mismo año, por la Doctora María Teresa de Lusinchi y, precedidas por el ingeniero Luís Alberto Bracho. Es la encargada de administrar, operar, mantener, ampliar y rehabilitar los sistemas de distribución de agua potable, y los sistemas de recolección y disposición de aguas servidas, en el Distrito Capital y en los estados Miranda y Vargas. Se constituyó como una empresa pública que funciona bajo la figura de derecho privado como Compañía Anónima y, la totalidad de sus acciones (100%) son propiedad de Hidroven, casa matriz del sector Agua Potable y Saneamiento.

Hidrocapital, actualmente es precedida por el Ingeniero Alejandro Hitcher.

Hidrocapital opera como una empresa adscrita al Ministerio para el Poder Popular del Ambiente. El domicilio principal de la empresa está en la ciudad de Caracas, Dtto. Capital, teniendo a su vez seis Sistemas Operativos, atendiendo los 23 municipios distribuidos a lo largo del Distrito Capital, Estado Miranda y Vargas, los cuales son:

Sistema Metropolitano, Sistema Panamericano, Sistema Barlovento, Sistema Litoral Central, Sistema Losada Ocumarito, Sistema Fajardo.

Misión.

Es una empresa de servicio público, comprometida en prestar a sus clientes un servicio de alta calidad en agua potable y saneamiento, mediante un modelo de gestión sustentable.

Visión.

Hidrocapital será una empresa pública exitosa, de ámbito municipal, financieramente sustentable, con una imagen reconocida nacional e internacionalmente por sus innovaciones tecnológicas, talento humano y una positiva incidencia en los clientes, a partir de los estándares logrados en los servicios que presta.

Valores.

Ejemplo de excelencia.

Vocación servidor público.

Compromiso.

Lealtad.

Honestidad.

Alta capacidad de trabajo.

Trabajo en equipo.

Organigrama Estructural de Hidrocapital

La estructura organizativa de Hidrocapital está sustentada en dos niveles o bloques funcionales, perfectamente definidos, en el primero se ubican los responsables de la dirección de la empresa; en el otro se encuentra las unidades por

medio de las cuales la empresa realiza sus fines y gestiona sus operaciones, conforme a las directrices de la junta administrativa. (ver Anexo A7).

Junta directiva conformada por cinco directores principales, dos directores suplentes y tres directores laborales, siendo esta la encargada de administrar la empresa y cumplir las funciones de planificación y control de las decisiones de la dirección superior de Hidrocapital, así como también asesoramiento e información sobre el área de responsabilidad que le corresponda, tales como: contraloría interna, contraloría jurídica, planificación, administración y operaciones. El equipo gerencial de Hidrocapital está conformado por especialistas en diferentes áreas, constituyendo un equipo multidisciplinario altamente comprometido en prestar a nuestros clientes un servicio de excelente calidad en Agua Potable y Saneamiento, constituido por: Presidencia, Vicepresidencia Ejecutiva, Consultora Jurídica, Auditor Interno, Gerente General de Servicios de Administración y Finanzas, Gerente General de Operaciones y Mantenimiento, Gerente General de Comercialización, Gerente General de Proyectos y Servicios Técnicos, Gerente de Recursos Humanos, Gerente de Informática, Gerente de Imagen, Gerente de Planificación y Desarrollo, Gerente de Innovación y Tecnología Gerente de Tratamiento, Gerente de Calidad de Agua, Gerente de Aducciones y Bombeo Mayor, Gerente de Contratación y Control de Obras y Servicios, Gerente de Proyectos Agua Potable, Gerente de Prevención y Control de Perdidas, Gerente del Sistema Metropolitano, Gerente del Sistema Panamericano, Gerente del Sistema Litoral Central, Gerente del Sistema Ciudad Fajardo, Gerente del Sistema Losada Ocumarito y Gerente del Sistema Barlovento.

Sistema Panamericano

Objetivo Principal:

Operar, mantener y desarrollar el sistema de agua potable, así como la recolección de las aguas servidas en concordancia con los parámetros de cantidad, calidad, oportunidad y costos preestablecidos. A continuación se puede observar en la figura 01 la estructura organizativa del sistema panamericano.

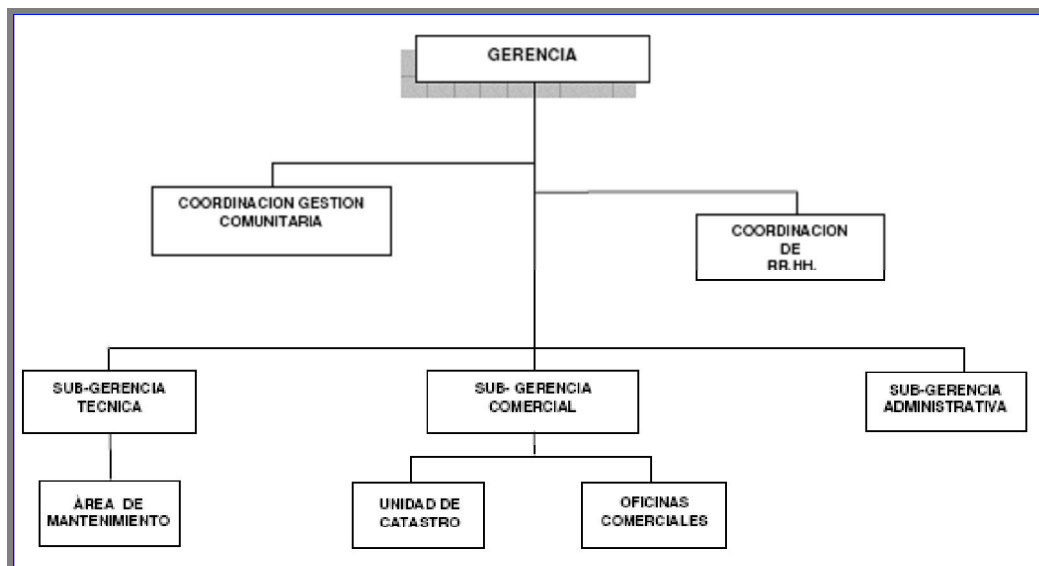


Fig. 01 Estructura Organizativa Sistema Panamericano

Fuente: Manual de Organización Sistema Panamericano

Gerencia.

Su objetivo principal es operar, mantener y desarrollar el sistema de agua potable, así como la recolección de las aguas servidas en concordancia con los parámetros de cantidad, calidad, oportunidad y costos preestablecidos.

Coordinación de Recursos Humanos.

Su objetivo principal es: Proveer el Recurso Humano idóneo y en forma oportuna a las distintas Unidades del Sistema, así como mantenerlo y desarrollarlo, mediante la instrumentación de los procesos al reclutamiento, selección, adiestramiento y beneficios, en concordancia con las disposiciones legales y contractuales de HIDROCAPITAL y de acuerdo con los lineamientos emanados de la Gerencia de Recursos Humanos Sede Corporativa.

Coordinación de Gestión Comunitaria.

Tiene como objetivo principal lograr la participación activa y creciente de las comunidades en la supervisión del servicio de agua, para fortalecer la contribución de la gente en el fomento y mantenimiento del servicio en términos de calidad y oportunidad en todo el proceso: cobertura, distribución, continuidad y regularidad de la prestación, facilitando formas de educación y aprendizaje que garanticen una efectiva atención a las demandas de las comunidades por parte de Hidrocapital, así como la aplicación de estrategias de acercamiento y monitoreo con la comunidad. Para alcanzar el mejor desempeño en el suministro de agua potable, recolección de aguas servidas y orientación en la recaudación.

Sub-Gerencia Técnica.

Tiene como principal objetivo: Garantizar el suministro eficiente y oportuno del servicio de agua potable, recolección y disposición de aguas servidas a todos los suscriptores y usuarios bajo el área de influencia del Sistema, mediante el mantenimiento, operación y actualización.

Sub-Gerencia Comercial.

Tiene como objetivo fundamental: Gestionar el proceso de comercialización del servicio de agua potable y saneamiento a las Comunidades adscritas al Sistema Operativo y asegurar una efectiva atención integral al cliente, garantizando a la Empresa los ingresos necesarios para su sustentabilidad.

Unidad de Catastro

Su principal objetivo es: Captar y mantener actualizados los datos de los clientes del Sistema, y asegurar la efectividad de la información catastral, como apoyo a la gestión comercial.

Oficinas Comerciales.

Su objetivo principal es: Atender y satisfacer los requerimientos de servicio y fiscalizar los procesos de instalación de tomas y medidores con el fin de asegurar la recaudación por los servicios prestados en forma efectiva.

Sub-Gerencia Administrativa

Su objetivo fundamental es: Garantizar el efectivo manejo y aprovechamiento de los recursos financieros y materiales asignados para el funcionamiento y operatividad del Sistema, así como elaborar, ejecutar, controlar y coordinar las actividades pertinentes a los procesos administrativos, con el fin de orientar la toma de decisiones y canalizar las acciones que se derivan de las políticas y lineamientos establecidos.

1.2 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Hidrocapital a través de la Gerencia del Sistema Panamericano es responsable de operar y mantener las instalaciones que dan servicio a la mayoría de la población que habita en los Altos Mirandinos. En la actualidad el acueducto del Sistema Panamericano sirve a más de trescientas cincuenta mil (350.000) personas, por lo que la base de los antecedentes para este proyecto parte de los estudios hechos por Hidrocapital.

La información principal para el desarrollo de este proyecto parte del siguiente estudio técnico:

Matos Medina, C. (Diciembre 2000). *Estudio del Acueducto del Municipio Guaicaipuro Estado Miranda.*

Adicional a esto se realizó una extensa revisión bibliográfica relacionada con los sistemas de abastecimientos de agua y la mecánica de fluidos. Tal bibliografía se detalla a continuación:

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como parte del desarrollo de una población se hace innegable tener acceso a todos los servicios básicos como son: agua potable, electricidad y gas entre otros. El consumo de agua aumenta constantemente debido al incremento demográfico y al desarrollo industrial. Desde algunas décadas se torna cada día más difícil hallar agua y distribuirla a los lugares donde más se necesita, por lo cual el hombre continuamente ha desarrollado métodos para transportar agua desde sus fuentes hasta el sitio donde habita. En el Estado Miranda nos encontramos con el Sistema Panamericano de Hidrocapital, el cual presta servicio a los Municipios Guaicaipuro, Carrizal y los Salias. En el Municipio Guaicaipuro se localiza un sector denominado Pozo Rosas, el cual es abastecido de agua potable mediante una tubería de 4 pulgadas (100 mm). Dicha tubería proviene directamente de la Planta de Tratamiento donde se localiza un grupo de bombas que se encargan de distribuir agua potable a los sub-sectores de Pozo Rosas, Matapalo, Florida parte alta y parte baja, Florencia I, II y III, Ventorrillo Parte Alta y Parte Baja, entre otros. Su topografía es diversa, y dicho sector comprende cotas entre los 1.220 y los 1.630 metros sobre el nivel del mar.

La comunidad de Pozo Rosas recibe en promedio dos días de servicio por semana, fraccionado semanalmente por cada sub-sector. Esto sin contar las interrupciones del servicio causadas por las continuas fallas que presenta la tubería principal debido al incremento de presión causado por la considerable diferencia de cota (descendente) a lo largo de la misma. Por todo lo anterior se justifica el estudio del acueducto, debido a que se requiere optimizar el servicio y evitar las perturbaciones del mismo. Aunado a esto se proyecta una optimización de los ciclos asignados a cada sub-sector.

El tipo de distribución es por bombeo directo a partir de una estación de bombeo presente en la misma Planta de Tratamiento, la cual se encarga de superar una diferencia de cota de 10 metros para alcanzar el sub-sector más alto denominado Matapalo, luego comienza un descenso en cota con el fin de abastecer a los demás sub-sectores en cuestión. Dichos sub-sectores presentan una diferencia de cota hasta de 30 metros, por lo que actualmente existe un conjunto de cámaras rompe carga (rompe presión) a lo largo de la tubería principal encargadas de evitar el exceso de presiones en las tuberías.

Las maniobras realizadas por el personal de operaciones a las válvulas presentes en el sector para completar los ciclos de cada sub-sector han traído como consecuencia fallas continuas en la tubería principal fabricada en PVC, debido al golpe de ariete que produce dichas maniobras.

Igualmente hasta la fecha no se ha registrado evaluación alguna sobre el sistema de abastecimiento de este sector que especifique la población, los parámetros de operación, el material del acueducto, los caudales manejados por la red y de las presiones requeridas para un completo abastecimiento.

Características principales Del Municipio Guaicaipuro.

Ubicación: Estado Miranda.

Producción: 700 litros por segundo

Fuentes Subterráneas: 3

Fuentes Superficiales: (6 +27)

tomas

Estaciones de Bombeo: 13

Capacidad de Almacenamiento:

9930 m³ en 71 estanques

Estaciones Cloradoras: 12

Plantas de Tratamiento:

Tabla Comparativas con los Municipios aledaños:

Indicador	Los Salias	Carrizal	Guaicaipuro
Calidad del Agua	89.40%	84.30%	84.4%
Presión	67.70%	51.60%	66%
Cobertura Instalada			
Agua Potable	50.10%	31.22%	36%
Efectividad en			
Atención de Averías	90%	90%	90%
Agua No			
Contabilizada	52.88%	29.32%	70%
Cobrabilidad	77.01%	82.32%	75%
Clientes	4.029	2.480	18.975
Bs. Facturados	3.124.693.354,00	1.358.914.581,00	4.778.549.378,00
M ³ Facturados	1.625.930	424.652	9.380.410
Medidores Instalados	2.560	1.812	5.956

Tabla N° 01 Comparación en Municipios del Estado Miranda

1.4 OBJETIVOS Y ALCANCES

1.4.1 Objetivo General

Evaluar y diseñar un sistema de abastecimiento de agua potable para el Sector Pozo Rosas ubicado en el Municipio Guaicaipuro del Estado Miranda.

1.4.2 Objetivos Específicos

- ∅ Identificar en términos generales el sistema que abastece de agua potable al sector de Pozo Rosas.
- ∅ Establecer los parámetros de evaluación del sistema de abastecimiento de Pozo Rosas.
- ∅ Observar y registrar las características del sector en los siguientes aspectos:
 - Tipo de población
 - Modo de distribución de la población
 - Topografía del sector
 - Límites geográficos del sector
 - Fallas presentes en el sistema
 - Calidad del servicio
 - Censos poblacionales del sector
 - Demanda actual en el sector
 - Demanda a futuro en el sector
- ∅ Registrar los parámetros de operación y diseño.
- ∅ Evaluar el sistema actual de acuerdo a los datos registrados.
- ∅ Reportar las causas que influyen en la deficiencia del sistema.

- Ø Establecer los criterios, parámetros y bases para la optimización del sistema de abastecimiento.
- Ø Diseñar un nuevo sistema actual bajo las normas pertinentes y criterios establecidos.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

Dentro de las principales limitantes se destaca que el proyecto se plantea como un diseño y los resultados de las propuestas son teóricos. El tiempo requerido para el desarrollo del proyecto es de 16 semanas, establecido por la empresa Hidrocapital. En el desarrollo del proyecto se emplean los resultados, ecuaciones, y gráficos de estudios ya realizados, por lo cual, no se demostrará la veracidad de las ecuaciones aplicadas según la bibliografía adquirida por parte de la empresa, por lo que su uso será de forma directa adaptado a los criterios establecidos para el desarrollo del proyecto. Adicionalmente, la información requerida en campo será detallada únicamente en el sector en estudio por lo que la información adicional de otros sectores que influyan en el primero pasará a segundo plano, esto debido a lo amplio del sistema y al detalle de los sectores de segundo plano, extendería considerablemente el tiempo del proyecto.

Los datos adicionales necesarios para la elaboración de la propuesta, como son censo poblacional y censo de viviendas en cada sector, así como todo lo que concierne a nombres de sectores y sus delimitaciones geográficas serán los utilizados actualmente por la empresa según las subgerencias encargadas de las mismas.

La propuesta de red planteada para el sector, será limitada principalmente por el máximo caudal que puede aportar la Planta de Tratamiento para dicho sector, así como las condiciones geográficas presentes en el mismo.

Los equipos, tuberías, válvulas y demás accesorios utilizados para la propuesta, serán basados en los catálogos de las marcas ya preestablecidas por la subgerencia de compras de la empresa Hidrocapital.

El sistema de abastecimiento será diseñado en base a la tubería principal por lo que se excluye las tuberías y conexiones domiciliarias así como la influencia de las mismas en el diseño.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 PRINCIPIOS DE LA MECÁNICA DE LOS FLUIDOS APLICADOS A LOS SISTEMAS DE BOMBEO Y ACUEDUCTOS

Los fluidos son sustancias capaces de fluir y adaptarse a la forma de los recipientes que los contienen. Cuando están en equilibrio, los fluidos no pueden soportar fuerzas tangenciales o cortantes. Cabe destacar, que todos los fluidos son comprensibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma.

La mecánica de los fluidos es la rama de la mecánica aplicada que estudia el comportamiento de los fluidos, ya sea en reposo o en movimiento. En el desarrollo de los principios de la mecánica de los fluidos, se puede apreciar como algunas propiedades influyen de manera preponderante en el comportamiento de los mismos, mientras otras no influyen muy poco o nada.

A continuación se observarán algunos breves conceptos de las propiedades de los fluidos que se tomaron en cuenta para la realización de este proyecto.

2.1.1 Viscosidad de un Fluido

La viscosidad de un fluido es aquella propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes y la dirección del líquido, por lo tanto, cuando el fluido se encuentra en reposo, el valor de la viscosidad se puede considerar igual a cero. Esta propiedad también influye en el tipo de bomba que se va emplear para impartir energía al fluido, ya que por su principio de funcionamiento, solo algunas de las bombas se podrán utilizar para el bombeo de este tipo de fluido. La viscosidad de un fluido viene dada por la siguiente expresión:

$$\mu = \frac{\tau}{dv/dy} = Kg/m.s \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

τ = Tensión cortante

dy/dx = Velocidad de variación de la deformación unitaria cortante.

Otro coeficiente de viscosidad, llamado viscosidad cinemática, viene definido

por:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\text{viscosidad absoluta}}{\text{Densidad}} = m^2/s \quad \text{Ecuación (2)}$$

Cabe destacar que la viscosidad en los líquidos disminuye al aumentar la temperatura y aumenta al crecer la presión.

2.1.2 Densidad de un Fluido

Es la masa por unidad de volumen de una sustancia, y viene dada de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{Kg}{m^3} = \frac{lb}{ft^3} \quad \text{Ecuación (3)}$$

En el sistema internacional, la densidad del agua es $998,20 \frac{Kg}{m^3}$ a $20^\circ C$.

2.1.3 Peso específico

Es el peso por unidad de volumen de una sustancia, además de ser la propiedad con mayor relevancia en la estática de los fluidos; igualmente se presenta como un factor importante en el cálculo de la potencia de una bomba ya que no es lo mismo bombear agua limpia que agua residual. El peso específico para variaciones ordinarias de presión puede considerarse constante y viene expresado de la siguiente manera:

$$\theta = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}} = \frac{Kgf}{m^3} = \frac{Lbf}{ft^3} \quad \text{Ecuación (4)}$$

El peso específico para el agua a temperatura ambiente es de:

$$1000 \frac{Kgf}{m^3} = 62.4 \frac{Lbf}{ft^3}$$

2.1.4 Caudal

El caudal es el volumen de un fluido que pasa por el área transversal de un conducto en un determinado tiempo. Las condiciones ligadas al flujo uniforme y permanente se llaman normales, y viene dado por la siguiente fórmula:

$$Q = v \cdot A \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

Q = Caudal en m^3/s .

V = Velocidad del flujo en m/s .

A = Área transversal del conducto en m^2 .

2.1.5 Ecuación de Continuidad

La ecuación de continuidad es una consecuencia del principio de la conservación de la masa, el cual expresa que: Para un flujo permanente, la masa de un líquido que atraviesa cualquier sección de una corriente de fluido, por unidad de tiempo es constante. Ésta puede calcularse de la siguiente manera:

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad \text{Ecuación (6)}$$

Un ejemplo claro del principio de continuidad, se puede apreciar en la figura 02, donde el caudal o gasto en tránsito permanece constante, aún variando el área transversal de la tubería.

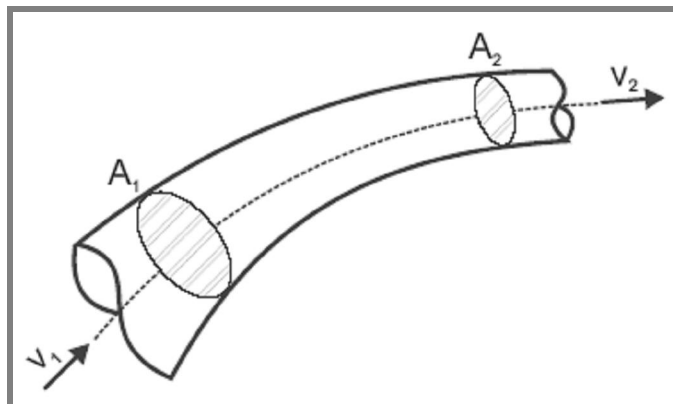


Fig. 02 Principio de la ecuación de la continuidad.

Donde: A = área de sección

V = velocidad en la sección

2.1.6 Presión

La presión en un fluido se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y siempre en forma normal a la superficie.

$$P = F/A = \text{Fuerza} / \text{Area} \quad \text{Ecuación (7)}$$

La hidrostática estudia los fluidos en reposo, es decir, cuando no hay movimiento relativo entre sus partículas. Su ecuación básica es:

$$P = \rho * h \quad \text{Ecuación (8)}$$

La presión hidrostática puede expresarse en sus unidades básicas o también como altura de la columna del fluido en estudio. Podemos así decir que la presión es igual a metros de columna de agua (mca) o pies de columna de agua (pca) o mm de mercurio etc. La presión en un punto será igual al peso de la columna de fluido que actúa sobre él.

2.1.7 Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli tiene una gran importancia en la mecánica de los fluidos ya que agrupa los tres tipos de energía que se consideran para un fluido en movimiento. Estas son:

$$\frac{V^2}{2 \cdot g} = \text{Energía Cinética}$$

$$\frac{P}{\rho} = \text{Energía de presión o piezométrica.}$$

$$Z = \text{Energía Potencial.}$$

Las tres vienen expresadas en metros o pies de columna de fluido y su suma permanece constante a lo largo de un sistema de tuberías.

Para un fluido ideal, en el que se consideran las pérdidas de carga por efecto del roce igual acero, se tiene:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 \quad \text{Ecuación (9)}$$

2.1.8 Tipos de Flujos

Los regímenes de flujo viscoso se clasifican en laminar y turbulento con base en la estructura del flujo. En la región laminar se caracteriza por un movimiento, en cual sus partículas se deslizan una sobre otras en forma de laminas formando un perfil de velocidades simétrico y en forma parabólica. En cambio, la estructura del flujo en régimen turbulento se caracteriza por movimientos tridimensionales, en forma desordenada

El número de Reynolds, es el que determina el tipo de flujo el cual es un parámetro adimensional y viene dado por la siguiente formula:

$$Re = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad \text{Ecuación (10)}$$

Donde:

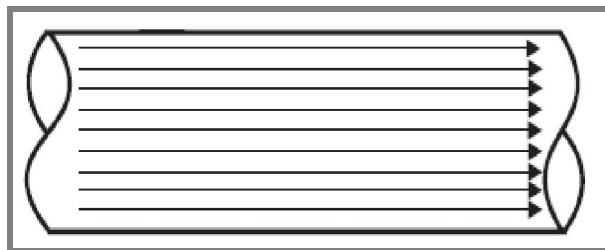
L = Longitud.

V = Velocidad.

ν = Viscosidad cinemática.

El flujo se considera laminar cuando el número de Reynolds es inferior a 2000, mientras que el flujo se encuentra en estado de transición cuando el valor oscila entre 2000 y 4000 y cuando el valor sobrepasa los 4000 es indicador que el flujo se encuentra en régimen turbulento. Se puede observar el perfil de cada flujo en la figura 03.

Régimen Laminar



Régimen Turbulento

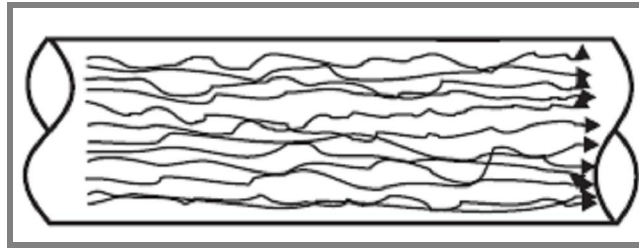


Fig. 03 Perfiles de los fluidos

Límites del número de Reynolds para tuberías

$Re \leq 2000$	Flujo laminar
$2000 < Re \leq 4000$	Flujo transitorio
$Re > 4000$	Flujo turbulento

2.1.9 Pérdidas de Cargas en Sistemas de Tuberías

El contacto entre el fluido y el material de la tubería provoca pérdidas de carga por efecto de la fricción o roce que allí se produce. La cantidad de pérdida de altura o presión para un sistema dado depende de las características del líquido que se esté manejando, así como también el tamaño de la tubería, rugosidad del material y tipo de fluido que se esté manejando. La rugosidad depende del tipo de material y el acabado. Para efecto del cálculo cada material tiene su rugosidad determinada en laboratorios.

En la ecuación de Bernoulli, para fluidos reales hay que introducir un nuevo término (hl) el cual corresponde a la pérdida de carga en metros y queda expresada de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 - hl = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 \quad \text{Ecuación (11)}$$

La expresión comúnmente utilizada en la práctica es la ecuación de Hazen-Williams, esta ecuación contempla que las pérdidas por fricción en la tubería depende

de ciertas condiciones como: rugosidad de la tubería, velocidad del flujo, viscosidad y diámetro:

$$hl = L * \left[\left(\frac{Q}{0,85 * A * C_K * R^{0,63}} \right) \right]^{1,852} \quad \text{Ecuación (12)}$$

Donde:

Q = Caudal

A = Área transversal

C_K = Coeficiente de fricción

R = Radio

L = Longitud de la tubería

Vea anexo A16 que trata sobre las rugosidades de las paredes de las tuberías y anexo A17 donde se refiere a la determinación del coeficiente de fricción, utilizando el diagrama de Moody-Rouse

Vea anexo A18 y A19 donde se exponen los valores del coeficiente “C” para distintos materiales y estados de las paredes de la tubería.

2.1.9.1 Limitaciones

La fórmula de Hazen –Williams

Es teóricamente correcta y precisa. Se usa para el manejo de agua, y se aplica satisfactoriamente en cualquier tipo de tubería y material. Sus límites de aplicación son los más amplios, siendo para diámetros de entre 50 a 3500 mm.

La fórmula de Darcy - Weisback

.Es una de las más utilizadas en la industria, porque se puede usar para cualquier tipo de líquido (fluidos incompresibles) y para tuberías de cualquier diámetro y material.

Otra expresión muy utilizada viene dada por:

$$hf = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Donde:

k = coeficiente obtenido experimentalmente

g = aceleración de gravedad (m/s)

v = velocidad media del líquido en la entrada de la singularidad (m/s).

En estos casos, una vez obtenidos los valores de K experimentalmente se multiplican por la presión dinámica y de este modo se tiene las pérdidas que se producen; finalmente, las pérdidas totales de todo tramo serán las mencionadas anteriormente sumado a las pérdidas producidas por los accesorios.

(Vea anexo A15) Trata sobre los valores de K, obtenidos experimentalmente.

2.1.9.2 Método de la Longitud Equivalente

Una tubería que posee a lo largo de su extensión diversas singularidades, equivale, bajo el punto de vista de pérdida de carga, a una tubería rectilínea de largo mayor, sin las singularidades.

El método consiste en aumentar el largo equivalente de la tubería, para efectos de cálculo, de forma tal que estas mayores longitudes corresponden a la misma pérdida de carga que causarían por sí mismas las singularidades existentes. Vea Anexo A1 y A2. Donde se refiere a los largos equivalentes para las pérdidas de carga localizadas.

2.1.10 Altura Dinámica Total (ADT)

Representa todos los obstáculos que tendrá que vencer un líquido impulsado por una máquina (expresado en metros de columna del mismo) para poder llegar hasta el punto específico considerado como la toma más desfavorable. Es muy importante determinar el valor de la altura dinámica total para el cálculo de la energía real de la bomba debe suministrar al fluido. La ecuación básica es:

$$ADT = \pm H_s + H_d + h_{fs} + \frac{V_d^2}{2 \cdot g} + h_{rd} - h_{rs} \quad \text{Ecuación (14)}$$

Esta expresión proviene de la ecuación de Bernoulli y bajo esta forma es mucho más fácil de visualizar, para no cometer errores en el cálculo de la altura real que la bomba debe vencer. Según las unidades utilizadas, se obtendrá una respuesta en metros o pies.

Donde:

H_s = Altura de succión.

H_d = Altura de descarga.

h_{fs} = Todas las pérdidas por fricción que sufre el fluido entre el nivel de succión y descarga.

$\frac{V^2}{2 \cdot g}$ = Presión Dinámica.

h_{rd} = Es la presión residual en la descarga.

h_{rs} = Es la presión residual en la succión.

Altura total:

Es la diferencia de altura o cotas existentes entre el nivel de succión y el de descarga. Generalmente se indica con la letra (H).

Altura de succión:

Es la altura a la cual se encuentra situada la bomba sobre el nivel de succión, generalmente se toma hasta el eje de la bomba y se indica con la letra (H_s).

Altura de descarga:

Es la altura existente entre la línea central de la tubería de descarga de la Bomba y el nivel superior del fluido, se indica con la letra (H_d).

Pérdidas de carga:

Son las pérdidas que se producen en el movimiento del fluido por efecto del roce con la superficie de la tubería. Dependen directamente de la rugosidad del material de la tubería. También se llama caída de presión precisamente porque en dos puntos separados de una tubería parte de la energía que lleva el fluido disminuye por el roce, produciendo una caída de presión entre estos dos puntos. Para una fácil comprensión del cálculo de ADT, se estudiará cada uno de los posibles casos que en la práctica se pueden presentar.

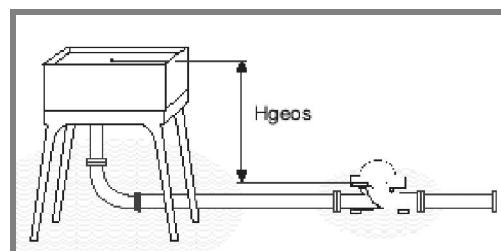
Presiones residuales:

La presión residual, es aquella presión óptima, la cual debe vencer el sistema de bombeo para poder mandar el agua hasta un punto deseado, el cual es considerado hidráulicamente como el más desfavorable.

2.1.11 Sistemas de Bombeo

Se dice que una bomba tiene una succión negativa cuando el nivel del fluido a succionar se encuentra por debajo del eje de la bomba. Una succión es positiva cuando el nivel del fluido a succionar se encuentra por encima del eje de la bomba.

Succión Positiva.



Succión negativa.

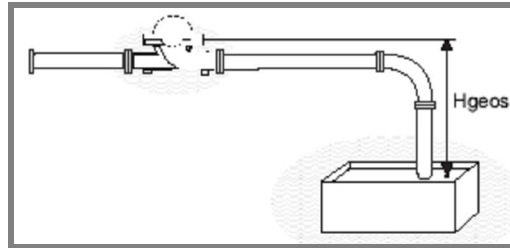


Fig. 04 Sistemas de succión positiva y negativa

Siempre que se pueda es conveniente colocar una succión positiva, ya que esta además de mantener la bomba llena de fluido suministra una determinada energía a dicho fluido disminuyendo la lectura dinámica que la bomba debe vencer.

Caso 1:

Este es un caso normal de bombeo desde un nivel inferior a uno superior. Tanto la succión como la descarga tienen presión atmosférica. En la figura 4 se puede observar como es conveniente dividir la tubería en dos partes, el tramo de succión, marcado con una S y el de descarga con una D. Se tendrá entonces en la tubería de succión una caída de presión por efecto del roce que se denotará h_{fs} , una velocidad V_s , una altura de succión H_s y un diámetro de succión D_s . En la descarga se tendrá un h_{fd} , una velocidad de descarga V_d , una altura de descarga h_d y un diámetro de descarga D_d al cual se considera como el inmediato superior al de la succión. Para este primer caso y considerando cada tramo por separado la ecuación para la Altura Dinámica Total queda de la siguiente forma:

$$ADT = (h_d + h_s) + h_{fs} + h_{fd} + \frac{V_d^2}{2 \cdot g} + h_{rs} + h_{rd} \quad \text{Ecuación (15)}$$

En este caso al encontrarse ambos tanques abiertos a la atmósfera, las presiones h_{rs} y h_{rd} se anulan.

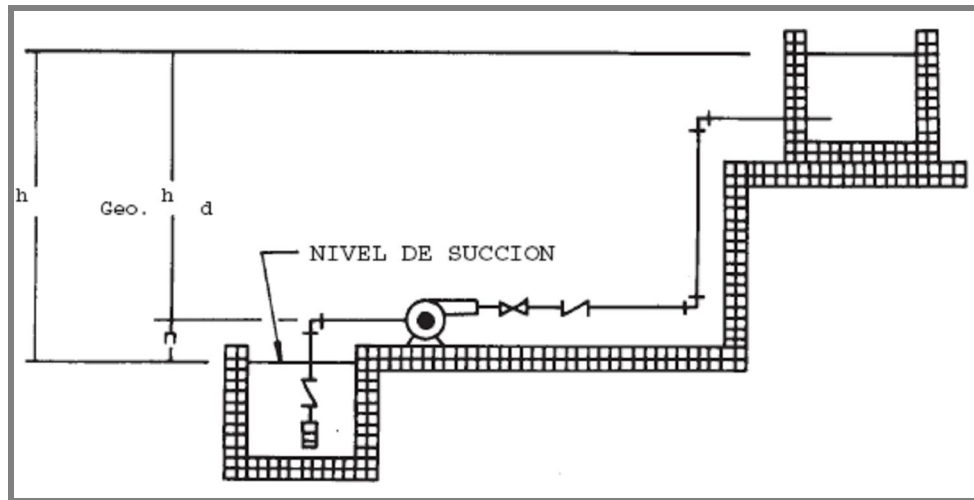


Fig. 05 Tipo de Succión Caso 1

Caso 2:

En ese segundo caso se puede observar que, ni el tanque superior ni el inferior están abiertos a la atmósfera sino que tienen una determinada presión residual h_{rs} y h_{rd} . En la ecuación de ADT la presión h_{rd} tiene que sumarse mientras que la presión h_{rs} debe tener signo negativo por ser una energía que va a tener el sistema y que va a ayudar al trabajo de bombeo.

La ecuación será entonces:

$$ADT = (hd + h_s) + h_{fs} + h_{fd} + \frac{Vd^5}{2 \cdot g} - h_{rs} + h_{rd} \quad \text{Ecuación (16)}$$

Si solamente se tiene el tanque superior a presión y el inferior abierto a la atmósfera, de la ecuación anterior se elimina h_{rs} , si en cambio es el superior abierto a la atmósfera y el inferior cerrado a presión de la ecuación se elimina el término h_{rd} .

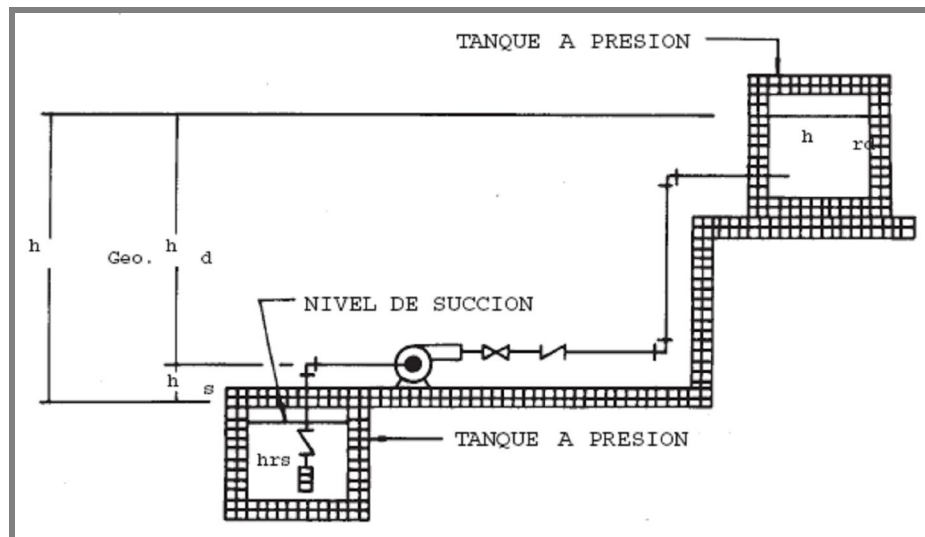


Fig. 06 Tipo de Succión Caso 2

Caso 3:

En este tercer caso se tiene una succión positiva la cual es muy conveniente ya que suministra una energía adicional a la bomba. La altura geométrica que la bomba debe vencer en este caso es menor y por consiguiente la potencia de la bomba también será menor, para este caso el ADT será:

$$ADT = (hd - hs) + hfs + hfd + \frac{Vd^2}{2 \cdot g} + hrd \quad \text{Ecuación (17)}$$

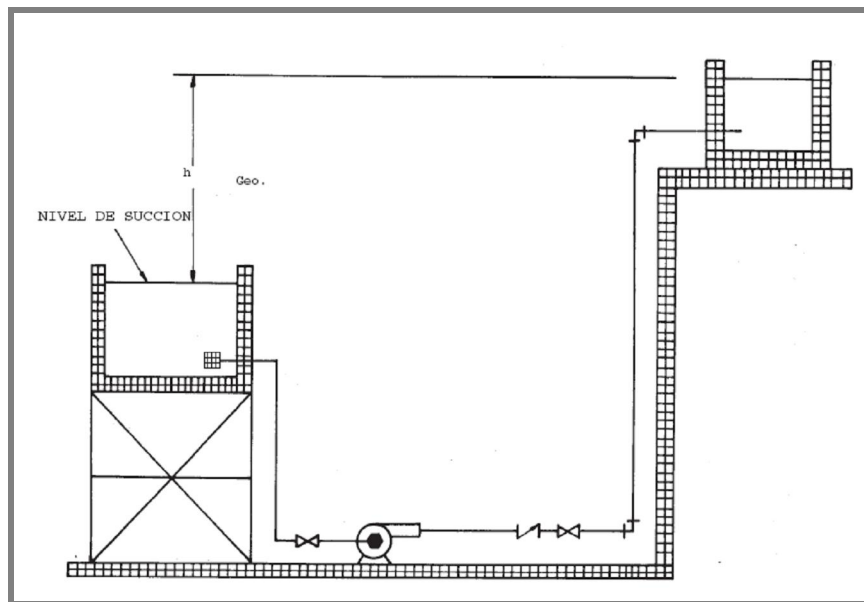


Fig. 07 Tipo de Succión Caso 3

2.2 BOMBAS

Es un dispositivo empleado para la elevación de líquidos o para transporte por el interior de una conducción con la finalidad de transportarlo desde un punto a otro. Para efectuar este transporte la bomba crea una depresión en la succión y una en la descarga. Reciben energía de una fuente motora cualquiera y entregan parte de esta energía al fluido en forma de energía de presión, energía cinética o ambas, es decir, aumentan la presión del líquido, la velocidad o ambas.

La diferencia entre la presión de descarga y la de succión, expresada en metros o pies de columna de agua, constituye la altura de elevación de la bomba.

- Principales formas de accionamiento:
- Motores eléctricos (forma más usual);
- Motores de combustión interna (por ejemplo: Diesel, muy utilizado en sistemas de riego y bombas para red de incendio);
- Turbinas (en su gran mayoría, turbinas a vapor).

2.2.1 Clasificación

No existe una terminología homogénea sobre bombas, pues existen varios criterios para designarlas; para nuestros efectos, las clasificaremos en dos grandes categorías:

Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo.

Bombas centrífugas (también llamadas Turbo-bombas).

2.2.1.1 Bombas de desplazamiento positivo

Este tipo de máquina tiene por característica de funcionamiento la transferencia directa de energía mecánica entregada por una fuente motriz en energía potencial (energía de presión). Esta transferencia se obtiene por el movimiento de una pieza mecánica en la bomba, la que obliga al fluido a ejecutar el mismo movimiento que este produce. El líquido, sucesivamente llena los depósitos y después es expulsado de estos espacios con un volumen determinado hacia el interior de la bomba, dando origen al nombre de bombas volumétricas.

La variación en los tipos de estos órganos mecánicos (pistones, diafragmas, engranajes, tornillos, etc.), es la clasificación de las bombas volumétricas o de desplazamiento positivo.

Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo:

- a) Bombas de pistón o alternadas,
- b) Bombas rotativas

Bombas de pistón:

En las bombas de pistón, el órgano que produce el movimiento del fluido es un pistón que, en movimientos alternados aspira y expulsa el fluido bombeado como muestra la siguiente figura:



Fig. 08 Bomba de pistón

Donde:

- 1 - Válvula de admisión
- 2 - Válvula de descarga
- 3 - Movimiento de aspiración
- 4 - Movimiento de descarga

Principio de funcionamiento:

Movimiento de aspiración con el consecuente cierre de la válvula de descarga y abertura de la válvula de admisión, llenado de fluido con un volumen V_1 .

Movimiento de descarga con abertura de la válvula de descarga y cierre de la válvula de admisión, vaciando el fluido en el volumen V_1 , imprimiéndole la energía potencial (de presión).

Observaciones generales:

- § La descarga a través de la bomba es intermitente;
- § Las presiones varían periódicamente en cada ciclo;
- § Esta bomba es capaz de funcionar como bomba de vacío, en caso que no exista un fluido que aspirar.

Bombas rotativas:

El nombre genérico de Bomba Rotativa, se designa a una serie de bombas volumétricas accionadas por un movimiento de rotación, de ahí el origen del nombre. Las bombas rotativas pueden ser de tornillos (screw pumps), engranajes, paletas, lóbulos o peristálticas, entre otras, conforme se muestra en las siguientes figuras:

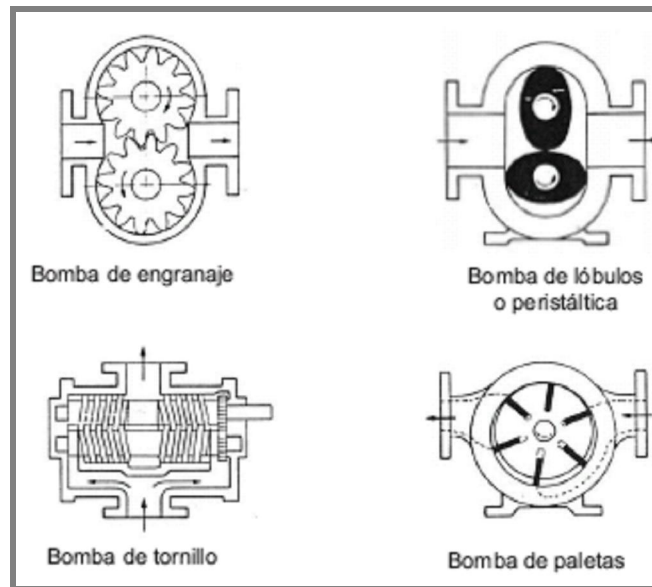


Fig. 09 Tipos de bombas rotativas

El funcionamiento volumétrico de todas ellas consiste en el llenado de las aberturas entre el componente giratorio y la carcasa, siendo que la suma de todos ellos, menos las pérdidas naturales (recirculación), corresponde al caudal total entregado por la bomba.

En estas bombas, cuando la velocidad es constante, la descarga y la presión son prácticamente constantes, en la práctica habrá pequeñas fluctuaciones.

2.2.1.2 Bombas centrífugas

Este tipo de bomba tiene por principio de funcionamiento la transferencia de energía mecánica hacia el fluido bombeado en forma de energía cinética.

A su vez, esta energía cinética es transformada en energía potencial (energía de presión) siendo ésta su característica principal. El movimiento rotatorio de un

rodete inserto en una carcasa (cuerpo de la bomba) es el órgano funcional responsable por tal transformación.

Clasificación de las bombas centrífugas:

Las bombas centrífugas son generalmente clasificadas por su configuración mecánica general. Las características más importantes, las que incluyen virtualmente a todas las bombas centrífugas, son las siguientes:

§ Basado en el número de rotores o rodetes:

- De una etapa: Bomba de un solo rotor, para servicio de baja presión de descarga.
- De dos etapas: Bomba de dos rotores en serie, para servicio de media presión de descarga.
- De multietapas: Bomba de tres o más rotores en serie, para servicio de alta presión de descarga. Resulta importante aclarar que el número de rotores o rodetes, y no el número de volutas que tengan estos, determina el número de etapas

§ *Basado en la succión del rotor o rodete.*

- De succión simple: El rodete tiene una sola cavidad de succión por donde ingresa el fluido, su diseño es simple pero el rodete está sujeto a importante empuje axial que puede causar desbalanceo.
- De doble succión: El rodete tiene cavidades de succión de ambos lados por lo cual está hidráulicamente balanceado aunque susceptible a flujos no equilibrados si la cañería externa no fue correctamente diseñada. En una bomba de dos o más rodetes el diseño del rodete de primera etapa

determina si la bomba es considerada de simple o doble succión

§ *Basado en el tipo de voluta.*

- De voluta simple: La voluta de la bomba es de un solo labio el cual es fácil de moldear en fundición. Este tipo es usado esencialmente para bajas capacidades de bombeo donde el diseño de doble voluta se hace impartido debido a la relativa poca distancia del canal de la voluta, el cual es difícil de obtener utilizando la calidad comercial de fundición.
- De doble voluta: La voluta de la bomba dispone de dos labios ubicados 180° entre sí lo cual incrementa el balance entre cargas radiales, la mayoría de las bombas centrífugas contemplan este diseño.

§ *Basado en la ubicación de las conexiones.*

- Succión lateral/descarga superior: La conexión de succión está ubicada en el final y concéntrica al eje mientras que la descarga está en la parte superior de la carcasa perpendicular al eje; esta bomba tiene siempre baja NPSHR debido a que el líquido entra directamente en el ojo del rodete.
- Succión y descarga superior: Las conexiones de succión y descarga están ubicadas a cada lado de la carcasa y perpendicular al eje. En estos casos la carcasa es del tipo dividida radialmente.
- Succión y descarga lateral: Las conexiones de succión y descarga están ubicadas a cada lado de la carcasa, la cual puede estar dividida radial o axialmente.

§ *Basado en el soporte de los rodamientos.*

- En voladizo: El rotor se encuentra suspendido en un extremo del eje, el cual no está soportado por un rodamiento. Este tipo tiene generalmente una menor altura neta de succión requerida (NPSHR ver punto 2.2.2.1) debido a que no hay ninguna obstrucción en el eje del rotor que limite la sección útil de la cavidad; el problema en estos casos está dado por la mayor deflexión del eje de la bomba durante su operación.
- Entre rodamientos: El eje de la bomba se encuentra soportado en los extremos por un rodamiento encontrándose el rodete entre ambos rodamientos; en este caso la deflexión es mucho menor aunque la altura neta de succión requerida (NPSHR ver punto 2.2.2.1) de la bomba es mayor al estar el eje bloqueando el impulsor.

§ *Basada en la orientación del eje.*

- De eje horizontal: El eje de la bomba se encuentra en un plano horizontal lo cual la hace muy utilizada por su fácil operación y mantenimiento.
- De eje vertical: El eje de la bomba se encuentra en el plano vertical; ideal para utilización en espacios limitados o para bombeo desde una pileta o reservorio subterráneo con el objeto de incrementar la altura neta de succión disponible (NPSH disponible ver punto 2.2.2.2).

Los principales componentes de las bombas centrífugas son los siguientes:

Para Bombas de una sola etapa:



Fig. 10 Componentes de las bombas centrífugas de una etapa

Para Bombas de varias etapas:



Fig. 11 Componentes de las bombas centrífugas multietapas

Ø **Rodete**

El rodete es el componente rotatorio, formado por alabes que tienen la función de transformar la energía mecánica que produce en energía de velocidad y energía de presión. En función de la velocidad específica de la bomba, el rodete puede ser del tipo radial, semiaxial o axial.

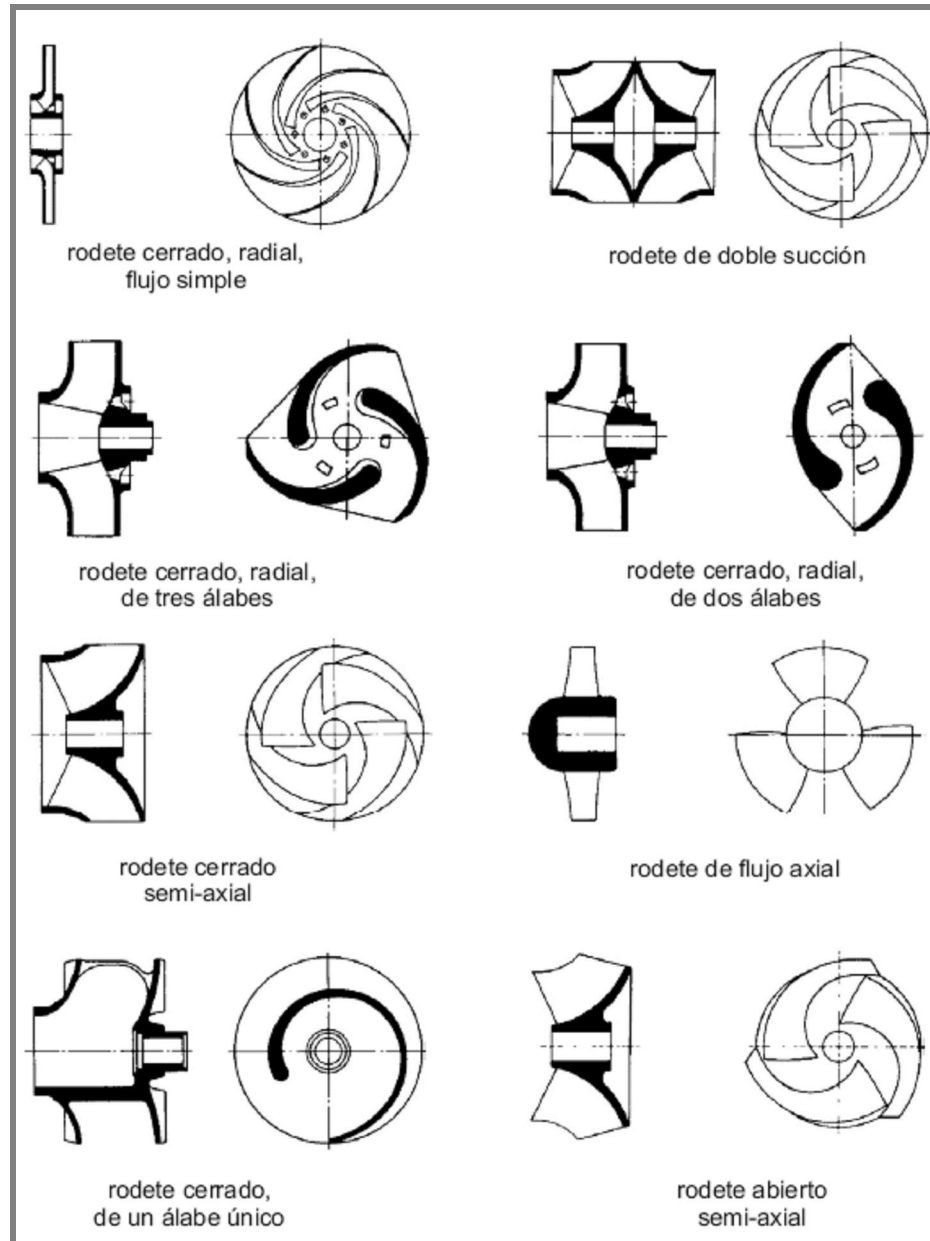


Fig.12 Tipos de rodetes

Ø *Cuerpo espiral (voluta o carcasa):*

El cuerpo espiral es el responsable por la contención del fluido bombeado así como el de permitir la transformación de la energía cinética contenida en el fluido en energía de presión, paso fundamental para el bombeo.

La espiral propiamente dicha y la boca de descarga están separados por una pared llamada línea de la espiral.

Existen las siguientes formas de carcasa de bombas, con una etapa:

- Carcasa simple.
- Carcasa doble.
- Circular.
- Mixta.

Las dos primeras formas son las más usuales y conocidas.

Dependiendo de la forma del cuerpo, la fuerza radial actuante varía en el conjunto rotatorio.

Vea en la fig.13 los principales tipos de carcasa:



Fig. 13 Tipos de carcasas

Otra clasificación de las carcasas está relacionada con su sección, es decir:

- cuerpo bipartido axialmente;
- cuerpo bipartido radialmente.

La ventaja esencial de los cuerpos bipartidos axialmente, dice relación con la facilidad de mantenimiento, que puede ser hecha con la simple remoción del cuerpo superior.



Fig. 14 Tipos de carcasa según su sección

En lo referente a las bocas de las bombas, se observan las siguientes formas:

- Roscadas (normalmente utilizados en instalaciones de construcción civil, bombas de tamaño pequeño, bombas para pequeños riegos, etc.). La norma de rosca utilizada es la BSP o también llamada rosca gas.
- Bridados (utilizados en instalaciones industriales, abastecimiento de agua, medias y grandes irrigaciones, etc).

Ø Difusor:

La función del difusor es idéntica a la carcasa, es decir, convierte parte de la energía cinética del fluido en energía de presión y principalmente, sirve como direccionador del fluido desde la salida de un rodete hasta la entrada del próximo. Los difusores son usados principalmente en bombas multietapas con rodetes radiales, así como también en bombas verticales con rodetes semi-axiales o axiales. En este último caso, el difusor asume también la función de carcasa, siendo parte integrante de la misma.

Los difusores de las bombas multietapas son instalados en las carcasas de las etapas siendo fijados axial y radialmente buscando inclusive, impedir que ellos giren.



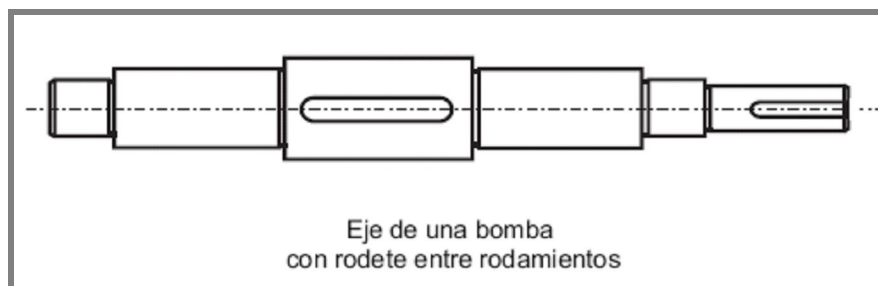
Fig. 15 Tipos de difusores

Ø *Eje:*

La función del eje es la de transmitir el torque del accionamiento al rodete. El eje es proyectado para que tenga una deflexión máxima pre-establecida cuando está en operación. Este factor es importante para evitar que los juegos entre las piezas rotativas y las estacionarias se alteren en operación, lo que provocaría contacto, desgaste prematuro y mayor consumo de energía.

El eje debe ser construido en un material que soporte las variaciones de temperatura, para aplicaciones que utilizan líquidos calientes, así como la fatiga debido a las cargas aplicadas que surgen durante la operación.

También por cuestiones de vida útil del sello mecánico, la deflexión del eje en la parte de la caja de sellado no debe ser superior a los límites definidos en normas y recomendaciones de los fabricantes de sellos mecánicos.



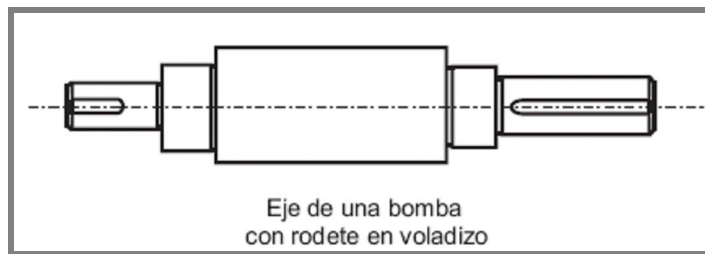


Fig. 16 Ejes de bombas

2.2.2 Altura Neta de Succión Positiva (NPSH)

2.2.2.1 NPSH Requerido

Es la altura mínima absoluta que se requiere en la succión de la bomba para garantizar un funcionamiento satisfactorio de la maquina, evitando la posibilidad de vaporización del líquido en su interior y de la subsiguiente cavitación. Como es conocido, los líquidos hierven a relaciones de temperatura específica, reducciones de presión a algún valor de estado causará vaporización.

El valor de NPSH siempre se expresa en unidades absolutas y para su determinación se utilizan ensayos sobre modelos en laboratorios especializados, con diversos arreglos de los equipos de prueba y medición, además es un valor característico de cada bomba, dependiendo del tamaño, forma y tipo de impulsores y para calcularlo el fabricante se basa en la velocidad de rotación, la superficie de admisión o del ojo del impulsor en una bomba centrífuga, el tipo y número de alabes en el impulsor, etc.

2.2.2.2 NPSH Disponible

Depende de la localización y el diseño del sistema de succión y puede ser determinado a través del cálculo hidráulico, el NPSH disponible, expresa la altura sobre el punto de vaporización del fluido, entrando a la succión de la bomba.

Para el buen funcionamiento del equipo de bombeo, deberá mantenerse a la entrada de la bomba y en cualquier punto de ella, una presión absoluta superior a la de vapor para la temperatura del agua bombeada. La energía disponible a la entrada

deberá ser, por tanto, mayor que el NPSH requerido, a fin de que no produzca cavitación.

$$\text{NPSH disponible} > \text{NPSH requerido} \quad \text{Ecuación (18)}$$

La ecuación que determina la altura neta de succión positiva es la siguiente:

$$\text{NPSHd} = Pa - Pv \pm Hs - hfs \quad \text{Ecuación (19)}$$

Donde:

Pa = Presión Absoluta en la succión.

Pv = Presión de Vapor.

Hs = Altura de Succión.

hfs = Pérdida de carga en la succión.

Cuando una bomba centrífuga no cuenta con suficiente (NPSHd) en la instalación en que va a funcionar, se reducirá su capacidad a una menor que la de diseño. Dicho en otra forma, en el punto de capacidad requerida la bomba producirá menos carga que la calculada.

2.2.3 Potencia de la Bomba

Potencia Consumida por la Bomba se calculó mediante la ecuación:

$$\text{Potencia} = \frac{(\gamma * Q * HA)}{\eta} \quad \text{Ecuación (20)}$$

2.2.4 Golpe de Ariete

Es una gran fuerza destructiva que se presente en cualquier instalación de equipos de bombeo, cuando cambia repentinamente la magnitud del gasto, cualquiera que sea la causa. En la práctica se dedica mucho tiempo, esfuerzo y dinero en reparar los daños que recibe una línea de transportación de fluidos, y al mismo, daños que han sido causados por el golpe de ariete.

Consideraciones básicas:

Hay un número de consideraciones básicas y suposiciones que se hacen durante la derivación fundamental de las ecuaciones que describen el fenómeno del golpe de ariete, así como en la solución de las condiciones dinámicas que se presentan en diferentes trazados hidráulicos dentro de los sistemas de bombeo. Frecuentemente estas suposiciones y consideraciones se pasan por alto, a pesar de que involucran las propiedades físicas básicas del fluido y de la línea que lo transporta, la cinemática del flujo y los efectos o respuestas instantáneas y temporales de la bomba. Estas consideraciones son las siguientes:

- El flujo dentro del ducto que lo conduce, se comporta como cuerpo elástico, de densidad homogénea y que se encuentra siempre en estado líquido.
- El material que constituye al ducto es homogéneo, isotrópico y elástico.
- Las velocidades y presiones que se generan dentro del ducto, el cual siempre se encuentra lleno completamente de fluido, se distribuyen uniformemente sobre cualquier sección transversal del ducto que se considere.
- La presión que produce la velocidad del fluido es despreciable cuando se le compara con los cambios de presión que produce el golpe de ariete.
- Hay una concordancia instantánea entre las variables de la bomba, según se definió por las características completas de la bomba a condiciones estables, tanto de la velocidad del impulsor, el par-motor que se requiere de acuerdo a la presión instantánea y el flujo en ese mismo momento en el cuerpo de la bomba. Esto representa en cualquier instante durante el cual estén cambiando las condiciones de operación, si se trabaja dentro de las zonas específicas como

nominales de la bomba en cuanto a su operación y disipación de energía.

- La distancia entre la entrada y la salida de la bomba es tan corta que la onda de presión que provoca el golpe de ariete se propaga entre estos dos puntos, de manera instantánea.
- Los efectos de inercia de partes giratorias, o sea el efecto de volante del impulsor de las bombas o del motor eléctrico, son despreciables en su magnitud durante el cambio de condiciones que impone el golpe de ariete.

Se considera que no hay apreciable en los niveles de líquido de los tanques de almacenamiento, tanto de alimentación como de descarga del sistema, que sea de consideración durante el fenómeno del golpe de ariete.

La fórmula que permite calcular el golpe de ariete es la siguiente:

$$P_1 = V \cdot 10.1 \sqrt{\frac{K_e \cdot e \cdot E}{e \cdot E + K \cdot D}} \quad \text{Ecuación (21)}$$

Donde:

P_1 = Sobre presión en Kg/m².

V = Velocidad del fluido en m/s.

K_e = Módulo de elasticidad del líquido.

E = Módulo de elasticidad del material.

D = Diámetro nominal de la tubería en metros.

e = Espesor de la pared del tubo en metros.

$$T_c = \frac{2 \cdot L}{V \cdot n} \quad \text{Ecuación (22)}$$

Donde:

T_c = Tiempo crítico.

V_w = Velocidad de propagación.

L = Longitud de la tubería.

$$V_w = \frac{1420}{\sqrt{1 + \frac{K \cdot D}{E \cdot e}}} \quad \text{Ecuación (23)}$$

$P_{\text{total}} = P_{\text{estática}} + P_{\text{adicional}}$

$P_{\text{adicional}} = P_1$; si el tiempo de corte de flujo es menor que el tiempo crítico, se desarrolla la presión de P_1 .

$P_{\text{adicional}} = P_1 \cdot \frac{T_c}{T_a}$; si el tiempo de corte flujo es mayor que el tiempo crítico.

Materiales y módulo de elasticidad.

MATERIAL	E (Kg/m ²)
AGUA	2x10 ⁸
ACERO	2,1x10 ¹⁰
PEAD	2,x10 ⁷
HIERRO FUNDIDO	6x10 ⁹
COBRE	1,3x10 ¹⁰
CONCRETO ARMADO	3,5x10 ⁹

Tabla N° 02 Módulo de elasticidad de algunos materiales

2.2.5 Cavitación

La cavitación ocurre cuando la presión dentro de un impulsor cae por debajo de la presión de vapor del líquido y se forman burbujas de vapor. Estas se rompen más adelante en los alabes del impulsor cuando llegan a una región de presión alta. Este continuo rompimiento de las burbujas es causa de daños en el eje del motor por lo que se debe evitar este fenómeno.

La cavitación de la bomba se nota cuando hay dos o más de las siguientes señales: ruido, vibración, caída en la curva de capacidad de carga y eficiencia, y con el paso del tiempo por los daños en el impulsor por picaduras y erosión.

Las burbujas que se rompen sobre una región sólida pueden originar daños mecánicos severos. Se ha estimado que durante el rompimiento de una burbuja las presiones son del orden de 10^4 atmósferas. Todos los materiales conocidos pueden dañarse por la exposición de burbujas al romperse, durante un tiempo suficientemente largo.

Otra de las causas de cavitación en bombas son las excesivas revoluciones del rotor. En este caso se debe verificar que la velocidad específica de operación no sobrepase la máxima dada por el fabricante.

2.2.5.1 Efecto mecánico

Con las implosiones decrece el diámetro de las burbujas. Las partículas fluidas se desplazan hacia el centro de estas burbujas y chocan entre si en virtud de la bifurcación de sus trayectorias. Estos choques provocan sobre presiones, que se propagan en todas direcciones, afectando, principalmente, los poros y ranuras de las superficies metálicas por lo que en poco tiempo pueden ocasionar daños considerables a la maquina. Estos hechos resaltan la importancia del buen acabado de las superficies internas de la bomba.

2.2.5.2 Efecto químico

Con las implosiones de las burbujas se liberan iones de oxígeno que atacan las superficies metálicas.

2.2.5.3 Consecuencias

- Ruidos y vibraciones, debido a los choques bruscos de las burbujas de vapor.
- Disminución de la carga y eficiencia.
- Desgaste del impulsor.

- La energía necesaria para producir la aceleración del agua, hasta alcanzar la velocidad requerida para llenar súbitamente los espacios vacíos, constituyen una reducción del rendimiento.

2.2.5.4 Causas

- Aumento de la altura de succión.
- Disminución de la presión atmosférica.
- Aumento de la temperatura del líquido.
- Excesiva pérdida de carga en la succión.
- Capacidad mayor a la de mayor eficiencia.
- Velocidades (rpm) superiores a las especificadas.

2.2.5.5 Formas

- Cavitación general: ocurre cuando la presión media del sistema alcanza la presión de saturación.
- Cavitación local: causada por obstrucciones.
- Cavitación transitoria: causadas por arranques bruscos, aumento de rpm, etc.
- Cavitación permanente: es la más peligrosa, ya que produce el desgaste continuo sobre las partes metálicas.

2.2.6 Alzamiento de succión

Es la altura máxima a la que se puede elevar el agua por efecto de la succión. La succión tiene lugar cuando se extrae el aire, formando un vacío en un tubo, cuyo extremo esté sumergido en un líquido. En las bombas de uso común la máxima altura de succión llega a los siete metros, sin embargo tomando en consideración las fricciones en la tubería y las deficiencias mecánicas de las bombas, es buena practica no sobrepasar nunca de los 4 a 5 metros de altura de succión.

2.3 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

Representa todos los componentes necesarios para suministrar un fluido a diferentes tipos de edificaciones, entre estos componentes tenemos las tuberías, las válvulas de diferentes tipos, codos, reducciones, tanquillas, etc

2.3.1 Tuberías

La tubería es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Se suele elaborar con materiales muy diversos.

2.3.1.1 Aire en Tuberías

El aire en las tuberías de agua aparece principalmente como bolsones grandes y estacionarios o como burbujas grandes o pequeñas móviles.

Cuando el aire se junta en diferentes partes de la tubería sin moverse, el paso del agua puede ser obstruido al punto que el agua no fluya en absoluto, o bien el agua puede circular escurriéndose por debajo de los bolsones de aire. Aprenderá a deducir cual de las dos situaciones se producirá en un caso determinado.

Cuando el agua fluye por la tubería a una velocidad suficientemente alta, los bolsones de aire no pueden permanecer estacionarios y son empujados junto con el agua. En ese caso la presencia del aire en la tubería no afecta la salida del agua. También podrá determinar cuando se producirá esta situación en un caso determinado.

Bolsones de aire estacionarios:

Puede toparse con este problema al llenar por primera vez la línea de conducción de un sistema de distribución de agua por gravedad recién construido, ya que estará al menos parcialmente llena de aire.

Si, como sucede en la figura 17, el perfil tiene un punto máximo local (punto B) entre el manantial S y el estanque T, a medida que se deja salir un flujo pequeño de agua de S, el agua se acumulará en el punto bajo A y luego llenará la tubería a ambos lados de A (Figura 17 a).

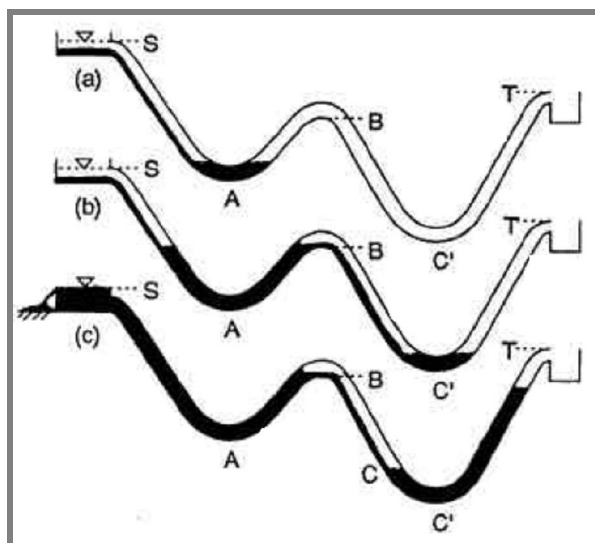


Fig 17 Bolsas de aire en tuberías

El aire será expulsado progresivamente de esta sección de la tubería hasta que no quede más aire entre A y B y el agua llegue al nivel de la parte inferior de la tubería en el punto B (Figura 17 b). La sección BC' seguirá llena de aire y ahora el agua escurrirá lentamente por debajo del aire en dirección descendente hacia C'. Un pequeño caudal de agua no será capaz de expulsar este aire. A este bolsón de aire estacionario que se encuentra sobre el hilo de agua la denominaremos un soquete de aire. El hilo de agua fluyendo por debajo del soquete pronto llenará el fondo de la tubería en C', de modo que el aire entre B y C' ahora estará atrapado y aislado de la atmósfera: el soquete se habrá cerrado (Figura 17 b).

Un soquete causa una pérdida de carga igual a su altura. El soquete constituye un estreñimiento causante de una nueva pérdida de carga: la presión a lo largo de todo el soquete aguas abajo de B debe ser uniforme (porque las variaciones de la presión hidrostática en los gases son insignificantes), y esto hace que la presión en el delgado chorro de agua que fluye por debajo del soquete de aire sea forzosamente uniforme. De allí se origina la pérdida de carga causada por la presencia del soquete:

Entre B y el final del soquete el agua pierde energía potencial (altura), no existe ningún aumento correspondiente en la carga de presión puesto que la presión

sigue igual en el chorro que fluye por debajo del soquete de aire, y la energía cinética (altura de velocidad) es la misma tanto al comienzo como al final del soquete.

La pérdida de carga causada por la presencia del soquete corresponde a la diferencia entre las cotas al comienzo y al final del mismo.

Dos o Más Puntos Altos. Si existen varios puntos altos locales, como sucede en la figura 18, a medida que se sigue llenando la tubería aparecerán más soquetes de aire aguas abajo de estos puntos altos, con el resultado que se perderá más carga. La pérdida de carga total es igual a la suma de todas las pérdidas de carga individuales de cada soquete.

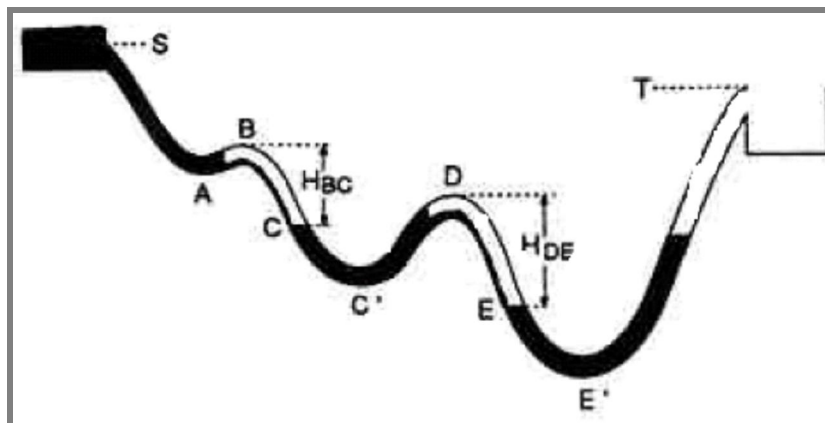


Fig. 18 Pérdidas en tuberías

El Efecto de la Carga en los Puntos Altos. Observe en la Figura 18 que, mientras que la parte superior de los soquetes de aire permanece en el nivel de los puntos altos locales, como B o D, la parte inferior no tiene por qué permanecer en los puntos bajos locales, porque a medida que se sigue llenando la tubería, la presión hidrostática en los soquetes aumenta. Esto comprime el aire en los soquetes haciendo que su volumen disminuya, y así ellos se hacen más cortos y su nivel inferior sube de C' a C y de E' a E.

2.3.2 Ventosas

Las líneas por gravedad tienen la tendencia de acumular aire en los puntos altos. Cuando se tienen presiones altas, el aire tiende a disolverse y continúa en la tubería hasta que es expulsado, pero en los puntos altos, de relativa baja presión, el aire no se disuelve creando bolsas que reducen el área útil de la tubería.

La acumulación del aire en los puntos altos provoca una reducción del área de flujo del agua, y consecuentemente se produce un aumento de las pérdidas y una disminución del gasto, esta acumulación de aire puede ser ocasionalmente desplazada a lo largo de la tubería y provocar golpes repentinos e intermitentes similares a los de golpes de ariete.

A fin de prevenir contra este fenómeno deben utilizarse válvulas automáticas que ubicadas en todos los puntos altos permitan la expulsión del aire acumulado y la circulación del gasto deseado.

La colocación de ventosas o válvulas de expulsión de aire en tales puntos constituirá un factor de seguridad que garantizará la sección útil para la circulación del gasto deseado.

La función de las válvulas de aireación es expulsar y/o introducir aire de las conducciones.

Expulsión de aire. El aire localizado en el interior de la conducción debe ser eliminado para facilitar el flujo del líquido ya que de lo contrario éste circulará con dificultad pudiendo llegar incluso al colapso total de la tubería y su rotura. Eliminando el aire de la conducción se evitará además un consumo excesivo de energía motivado por la necesidad de sobre trabajo de las bombas. Por último, se conseguirá proteger al sistema de golpes de ariete.

Admisión de aire. se debe disponer de diferentes puntos de admisión de aire en una conducción para proteger a ésta de roturas parciales o totales cuando la presión interna caiga por debajo de un predeterminado nivel del atmosférico, rompiendo por tanto el vacío.

El aspecto de la ventosa es variado, pero en general, consta de un cuerpo vacío que contiene un flotador esférico y su funcionamiento consiste en que este flotador

asciende cuando existe presión de agua, el cual cierra automáticamente el orificio hasta el exterior. En cambio, si en la tubería de presión hay aire, este no es capaz de levantar el flotador, pero permite el escape de aire, que es expulsado al exterior.

Punto altos se consideran todos aquellos puntos donde existiendo una curva vertical se pasa de una pendiente positiva a una pendiente negativa y donde conviene la instalación de la ventosa. Debe procurarse una pendiente que facilite la expulsión del aire, aun en aquellos casos donde el terreno es horizontal, tratando de favorecer la concentración de aire en algún punto que permita su expulsión. Ello puede lograrse creando artificialmente puntos altos y bajos, para lo cual se recomienda usar pendientes mínimas de 6 por 1000 en los descensos y 3 por 1000 en los ascensos.

2.3.2.1 Tipos

Existen diferentes tipos de válvulas de aireación y cada uno de ellos tiene una función y características determinadas.

Purgador Automático: Válvula de aireación de pequeño orificio cuya función es la expulsión, mientras la línea está en servicio, de las pequeñas bolsas de aire que se forman como consecuencia del aire que circula disuelto en el agua.

El diámetro del orificio de salida de aire debe dimensionarse en relación con la presión de trabajo.

Ventosa Automática Bifuncional: Válvula de aireación de orificio grande para realizar dos funciones: a) evacuación de aire en grandes cantidades durante el proceso de llenado de la tubería; b) admisión de aire en grandes cantidades durante el proceso de vaciado de la tubería o ante cualquier fenómeno de depresión en la misma.

Ventosa Automática Trifuncional: Válvula de aireación combinada compuesta de purgador automático y ventosa automática bifuncional. Puede presentarse en un diseño de cuerpo compacto o de dos cuerpos unidos entre sí.

Las funciones a realizar son tres: a) evacuación de aire en grandes cantidades durante el proceso de llenado de la tubería; b) admisión de aire en grandes cantidades durante el proceso de vaciado de la tubería o ante cualquier fenómeno de depresión en la misma; c) expulsión, mientras la línea está en servicio, de las pequeñas bolsas de aire que se forman como consecuencia del aire que circula disuelto en el agua.

Válvulas Automática de entrada de aire (Aductoras): Válvula de aireación de orificio grande cuya única función es la admisión de aire en grandes cantidades durante el proceso de vaciado de la tubería o ante cualquier fenómeno de depresión en la misma.

Las válvulas de entrada de aire se pueden suministrar también con un purgador automático acoplado en un lateral.

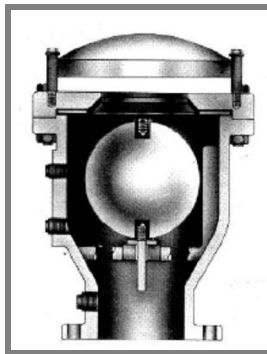


Fig. 19 Corte longitudinal de una ventosa

Nota:

No sobredimensionar nunca el tamaño de una ventosa ya que esto origina una mayor velocidad de llenado de la tubería y esto puede llevar a ocasionar fuertes golpes de ariete, y deteriorar toda la instalación.

2.3.3 Válvulas

Son dispositivos que se instalan en las tuberías como complementos, muchas veces indispensables, para la adecuada operación y mantenimiento de los respectivos sistemas de conducción.

Las válvulas están conformadas de la siguiente manera:

El cuerpo. debe ofrecer la adecuada resistencia a las presiones no sólo del fluido, sino de los componentes internos.

El obturador. es el elemento móvil, que tiene como función primordial abrir, restringir o bloquear la sección de paso del fluido.

Mecanismo de accionamiento. pueden ser manuales, hidráulicos y eléctricos.

De acuerdo con su función, las válvulas pueden agruparse en las tres categorías siguientes:

- Válvulas de paso
- Válvulas de regulación
- Válvulas de expulsión y admisión de aire

Las primeras tienen como objetivo permitir o interrumpir la totalidad del flujo en la tubería, mientras que la segunda cumple con la función de regular el gasto, la dirección del flujo, la presión o los niveles de superficie libre en los estanques que puedan estar intercalados en la línea. Para esos fines deben operar libres de problemas en posiciones intermedias del elemento obturador. A continuación se comentan las válvulas de uso frecuente en aducciones.

2.3.3.1 Válvulas de Compuerta y de Mariposa

Se utilizan especialmente como válvulas de paso. En las compuertas (ver figura 20), el órgano obturador está constituido por una placa circular que se desliza a

través de ranuras o guías y en completa apertura, determina menores pérdidas localizadas de energía que las de mariposa, cuyo obturador es de forma lenticular, interpuesto al movimiento y que gira según un eje normal al de la tubería. En ambos tipos, pero especialmente en las de compuerta, la operación en posiciones intermedias está muchas veces acompañada de vibraciones inaceptables y da origen a problemas de cavitación. Por estas razones no son las más adecuadas como dispositivos de regulación.

En aducciones, las válvulas de paso se utilizan para aislar tramos del conducto donde existen equipos, dispositivos y estructuras que requerirán de un mantenimiento más o menos periódico y en las conexiones de descarga para el vaciado de la tubería.

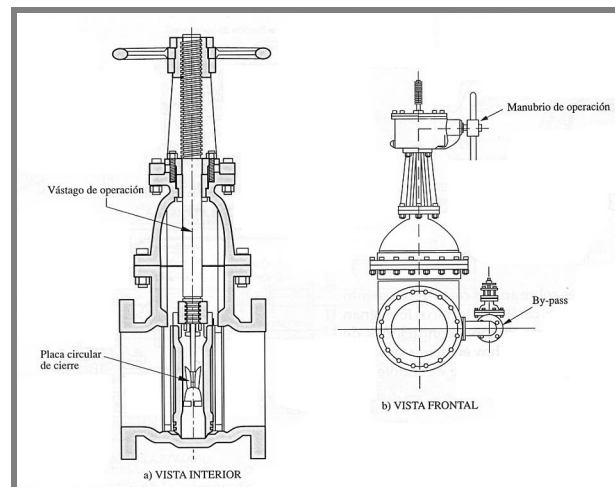


Fig. 20 Válvula de compuerta típica, de operación manual

2.3.3.2 Válvulas de retención

Estas válvulas se utilizan para el control direccional del flujo (no admiten flujo sino en una dirección y se conocen como válvulas “check”). Uno de los tipos más comunes (Ver figura 21).

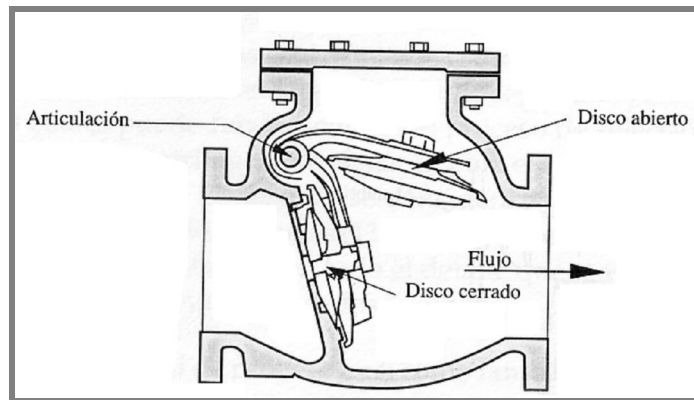


Fig. 21 Válvulas de retención típica

Está integrado por una compuerta circular, articulada al cuerpo de la válvula mediante un eje normal al de la tubería. En operación normal el elemento de cierre se mantiene abierto por la acción hidrodinámica del flujo. Una vez que se interrumpe el movimiento, la compuerta se cierra por el efecto de su peso o auxiliada por un contrapeso. Las válvulas de retención se utilizan, por ejemplo para impedir el flujo de retorno a una estación de bombeo o el vaciado de estanques en la línea.

2.3.3.3 Válvulas de Globo

Este tipo de válvulas está constituido por un elemento de clausura circular, el cual cierra contra un asiento de igual geometría, contenido en el cuerpo de la válvula. El elemento citado es solidario a un vástago de desplazamiento, generalmente vertical. El recorrido del flujo a través del dispositivo cambia su dirección en 90°, para luego retornar al alineamiento general (ver figura 22).

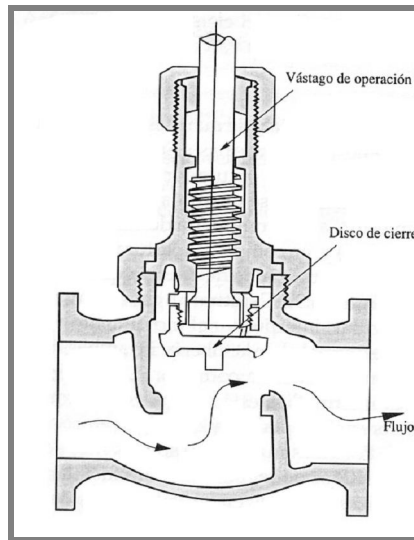


Fig. 22 Válvula de globo típica de operación manual

2.3.3.4 Criterios para seleccionar una Válvula

La selección de una válvula incluye varios factores, y es preferible tener como referencia un sistema que facilite la selección. Se deben tener en consideración las siguientes características básicas:

- Función y operación a realizar.
- Fácil reparación y mantenimiento.
- Material adecuado.

Es muy importante siempre seleccionar la válvula adecuada a la necesidad del sistema hidráulico, para ello deben conocerse muy a fondo tanto la sección que cada una de ellas puede realizar, como también la naturaleza del fluido y las presiones de trabajo, de modo de seleccionar las válvulas no solamente del material adecuado, sino también del espesor y robustez adecuada de sus componentes.

2.4 MOTORES ELÉCTRICOS AC

Estos motores utilizan corriente eléctrica como fuente exterior de energía. Son de menor costo comparado con los de combustión interna y su costo de mantenimiento es prácticamente despreciable. En general los motores eléctricos más económicos son los trifásicos de 60 ciclos, con corriente alterna; pero las circunstancias obligan a veces a escogerlo apartándose de esas recomendaciones, motivado al tipo de corriente utilizable en el lugar.

2.4.1 Clasificación

2.4.1.1 Asíncrónicos

Los motores asíncronos o de inducción son aquellos motores eléctricos en los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias.

Estos a la vez se clasifican en:

- Jaula de Ardilla
- Rotor Devanado

2.4.1.2 Sincrónicos

Los motores sincrónicos son un tipo de motor eléctrico de corriente alterna. Su velocidad de giro es constante y depende de la frecuencia de la tensión de la red eléctrica a la que esté conectado y por el número de pares de polos del motor, siendo conocida esa velocidad como "velocidad de sincronismo".

2.5 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN

Es absolutamente necesario determinar las demandas futuras de una población, previendo en el diseño las exigencias de las fuentes de abastecimiento de las líneas de aducción. Para determinar la población futura se pueden aplicar diferentes métodos de proyección, pero el más común es:

Método geométrico de crecimiento de población

Las ecuaciones correspondientes ha dicho método:

$$P_2 = P_1 * \left[\left(\frac{R}{100} \right) + 1 \right]^X \quad \text{Ecuación (24)}$$

Donde: R = Índice de crecimiento.

P_2 = Población final.

P_1 = Población inicial.

X = Período de diseño.

El Índice de crecimiento puede ser estimada a través de la siguiente ecuación:

$$R = \frac{[Li(P_1) - Li(P_0)]}{(t_1 - t_0)} \quad \text{Ecuación (25)}$$

Donde: P_1 = Población en el último censo realizado.

P_0 = Población del primer censo realizado.

t_1 = Año del último censo.

t_0 = Año del primer censo realizado.

Otros métodos utilizados son:

- Método aritmético de crecimiento de población
- Método geométrico de crecimiento de población
- Método de extrapolación parabólica de aumento de población
- Método de la ecuación compensadora

Los métodos de proyección son absolutamente necesarios para determinar las demandas futuras de una población, con la finalidad de prever las exigencias futuras de las fuentes de abastecimiento. De esta manera es necesario predecir esa población futura, que será el fijado por los periodos económicos de diseño.

2.6 PROGRAMA DE SIMULACIÓN

Para el estudio de los sistemas de abastecimiento se hace uso de programas computacionales capaces de representar las condiciones en que se encontrará un sistema por medio de la identificación de variables de diseño, con la finalidad de anticipar su funcionamiento, fallas, y características. En el área de la Hidráulica se conocen diferentes programas, entre ellos existen: H2O, Epanet, SMS Surface Water Modeling System, Watercad y Water Gems. Todos basados en los mismos principios pero con diferentes ambientes para facilitar la retroalimentación con el usuario y con diferentes niveles de complejidad en el estudio teórico.

El programa de simulación Water Gems es un programa de simulación de la Bentley System. Esta compañía es una de las más grandes en el área de softwares para el ciclo de vida de la infraestructura. Desde edificios y puentes, vías y servicios públicos, energía y agua potable.

Water Gems es un programa fácil de utilizar que ayuda a los ingenieros de diseño y análisis de sistemas complejos de tuberías a presión. La interfaz gráfica de gran alcance (tanto en Modeler y el modo de ArcGIS) hace que sea fácil establecer rápidamente una compleja red de tuberías, tanques, bombas, y más. Es un programa con soporte para cuatro diferentes plataformas ArcGIS, AutoCAD, MicroStation, y Stand-Alone.

Con el programa Water Gems el usuario puede:

- § Realizar análisis del estado estacionario de los sistemas de distribución de agua con bombas, tanques y válvulas de control.

- § Realizar simulaciones de largo período para analizar la respuesta del sistema de tuberías de diferentes programas de la oferta y la demanda.
- § Realizar simulaciones de la calidad del agua para determinar la fuente de agua y la edad, o el seguimiento del crecimiento o la decadencia de un componente químico en toda la red.

El Water Gems es capaz de modelar sistemas utilizando diferentes alternativas teóricas, principalmente se tienen las siguientes:

Método para el cálculo de fricción en tuberías utilizado por Water Gems:

Fórmula de Hazen-Williams

La Fórmula de Hazen-Williams se utiliza con frecuencia en el análisis de los sistemas de tuberías de presión (tales como redes de distribución de agua y la fuerza de la red de alcantarillado). La fórmula es la siguiente:

$$Q = k \cdot C \cdot A \cdot R^{0.63} \cdot S^{0.54} \quad \text{Ecuación (26)}$$

Where: Q = Caudal en la sección (m³/s,)

C = Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams (sin unidad)

A = Área del fluido (m², pies²)

R = Radio hidráulico (m, pies)

S = Pendiente de fricción (m/m, pies/pies)

k = Constante (0.85 for SI units, 1.32 for US units).

Darcy-Weisbach

A causa de origen no empírico, la ecuación de Darcy-Weisbach es visto por muchos ingenieros como el método más exacto para el modelado de las pérdidas por fricción. Es más a menudo adopta la forma siguiente:

$$Hf = f \cdot L \cdot \frac{V^2}{2} \cdot g \cdot D \quad \text{Ecuación (27)}$$

Donde: h_f = Pérdidas (m, pies)

f = Factor de fricción de Darcy-Weisbach (sin unidad)

D = Diámetro de tubería (m, pies)

L = Longitud de tubería (m, pies)

V = Velocidad del fluido (m/s, pies/seg.)

g = Gravedad (m/s², pies/seg.²)

Para las geometrías sección que no son de forma circular, esta ecuación es adaptada por la relación de sección circular llena de flujo de radio hidráulico a su diámetro:

$$D = 4R \quad \text{Ecuación (28)}$$

Donde: R = Radio Hidráulico (m, pies)

D = Diámetro (m, pies)

Esto puede ser reorganizados a la forma:

$$Q = A \left(8 \cdot g \cdot R \cdot \frac{S}{f} \right)^{1/2} \quad \text{Ecuación (29)}$$

Donde: Q = Caudal (m³/s, cfs)

A = Área del fluido (m², pies²)

R = Radio hidráulico (m, pies)

S = Pendiente de fricción (m/m, pies/pies)

f = Factor de fricción de Darcy-Weisbach (sin unidad)

g = Gravedad (m/s², pies/seg.²)

Fórmula de Manning

Nota: Los coeficientes de rugosidad de Manning son los mismos que los coeficientes de rugosidad utilizados en la ecuación de Kutter

La ecuación de Manning, que se basa en la ecuación Chezy, es uno de los métodos más populares en uso hoy en día para el flujo de superficie libre. Para la ecuación de Manning, el coeficiente de rugosidad en la ecuación de Chezy se calcula como:

$$C = k \cdot \frac{R^{1/6}}{n} \quad \text{Ecuación (30)}$$

Donde: C = Coeficiente de rugosidad de Chezy (m^{1/2}/s, pies^{1/2}/seg.)

R = Radio Hidráulico (m, pies)

n = Rugosidad de Manning (s/m^{1/3})

k = Constante (1.00 m^{1/3}/m^{1/3}, 1.49 pies^{1/3}/pies^{1/3})

Sustituyendo esta rugosidad en la ecuación de Chezy, se obtiene la conocida ecuación de Manning:

$$Q = \frac{k}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad \text{Ecuación (31)}$$

Donde: Q = Caudal (m³/s, cfs)

k = Constante (1.00 m^{1/3}/s, 1.49 pies^{1/3}/seg.)

n = Rugosidad de Manning (sin unidad)

A = Área del fluido (m², pies²)

R = Radio Hidráulico (m, pies)

S = Pendiente de fricción (m/m, pies/pies)

Tipo de líquido a trabajar:

- agua a 20 °C (68°F)
- Agua a 4°C (39°F)

- Carbón
 - Glicerina
 - Mercurio
- entre otros.

Referencia para tanques:

- Elevaciones
- Niveles

Precisión del diámetro de tubería (en metros)

En general El Water Gems puede arrojar importantes cálculos en sistemas de abastecimiento como son:

- En Nodos: + Demanda específica
 + rado Hidráulico (Suma de Altura manométrica
 con la presión actual del nodo)
 + Presión

- En Tuberías: + Descarga
 + Pérdida por tubería

- En Bombas: + Descarga
 + ADT
 + Potencia de la Bomba
 + Comportamiento de la Presión vs. Caudal
 + Comportamiento de la Eficiencia vs. Caudal

- En Sistema: + Comportamiento de la Demanda vs. Horas del
 día

También presenta cálculos más específicos en tanques, reservorios, tipo de fluidos y sus características, válvulas y también incluye costos de cada componente.

CAPÍTULO III: SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

A continuación se describe la situación actual del sistema de abastecimiento de agua potable para comunidades por medio de un sistema bombeo directo a la red de distribución, compuesta con tuberías de diferentes diámetros y materiales, válvulas y accesorios de diferentes tipos.

3.1 EL SISTEMA DE BOMBEO

La estación de bombeo consta de dos grupos, conformados cada uno por un motor eléctrico y una bomba centrífuga.

3.1.1 Ubicación

La estación de bombeo se encuentra ubicada dentro de la Planta de Tratamiento Laguneta (Fig. 23) en el Municipio Guaicaipuro del Estado Miranda, a una cota de 1.608 metros sobre el nivel del mar (msnm); recibiendo de la misma el volumen de agua ya potabilizada para su distribución a las comunidades específicas.



Fig. 23 Planta de Tratamiento Laguneta

3.1.2 Caseta de Bombeo

La estación se encuentra en una estructura típica de esta clase de sistema, de dimensiones 4 x 5 metros.

3.1.3 Equipo de Bombeo

Las Bombas presentan las siguientes características: Marca KSB Tipo WK 65 (figura 25), número de etapas 5, rodete de 185 mm de diámetro, con una potencia de 10 HP y un caudal de 8 l/s aproximadamente. En la figura 24 podemos observar los grupos de bombeo y su configuración dentro de la estación.



Fig. 24 Grupo de Bombeo en paralelo con sus respectivas válvulas

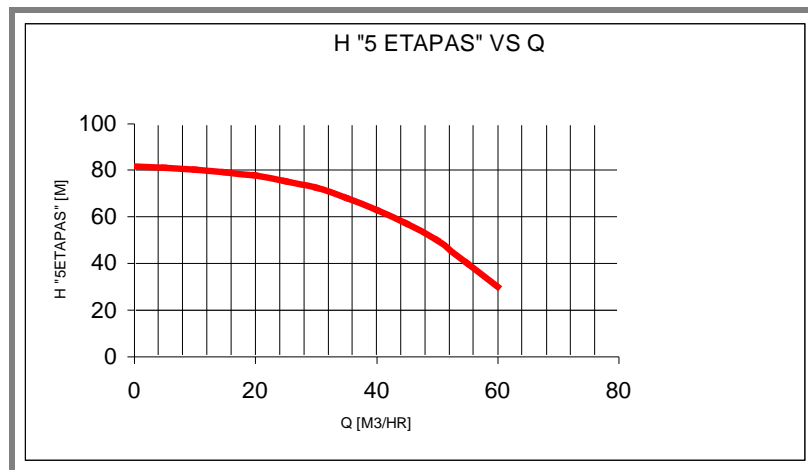


Fig. 25 Tipo de bomba instalada actualmente

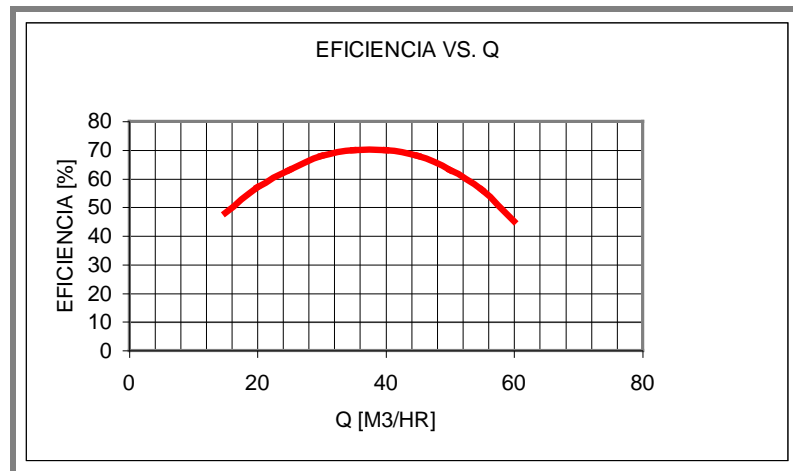
Presenta un grupo de bombas en buen estado que datan del año 2.003 con los accesorios mínimos necesarios para su funcionamiento. Las características de las bombas son las siguientes:

Caudal [m3/h]	H [m]	H(5etapas) [m]	Eficiencia [%]	NPSH [m]	N [CV]
0	16,3	81,5	N.A	N.A	N.A
5	16,2	81	N.A	N.A	N.A
10	16	80	N.A	N.A	N.A
15	15,8	79	48	N.A	1,75
20	15,5	77,5	57	2,2	2
25	15	75	63	2,3	2,2
30	14,5	72,5	68	2,4	2,4
35	13,6	68	70	2,6	2,6
40	12,6	63	70	2,8	2,7
45	11,4	57	68	3,2	2,8
50	10	50	63	3,6	2,85
55	8	40	56	4,3	2,87
60	6	30	45	N.A	2,85

Tabla N° 03 Características de las bombas actualmente instaladas



Gráfica N° 01 Comportamiento de la Altura neta de trabajo de la bomba con respecto al caudal manejado



Gráfica N° 02 Eficiencia de la bomba con respecto al caudal

3.1.4 Sistema de Tuberías

Todas las tuberías que conforman los sistemas de succión y descarga de la estación de bombeo son de hierro galvanizado de 6 pulgadas en la succión y 4 pulgadas en la descarga.

3.1.5 Modo de operación

Los grupos de bombeo funcionan en paralelo con una descarga de 4 pulgadas

3.1.6 Motores eléctricos

Las características principales del equipo que hace funcionar a cada bomba son las siguientes:

Tipo de motor eléctrico: trifásico de inducción rotor jaula de ardilla

Velocidad de giro nominal: 1.750 rpm.

Transmisión de potencia mediante acople directo.

Método de arranque: a tensión reducida por conmutación estrella-delta con transición abierta. Este tipo de arranque requiere de tres contactores para cada motor, así como un relee temporizado.

Tensión de trabajo de los motores: 220/240 voltios.

Potencia: 15 HP = 11,18 KW

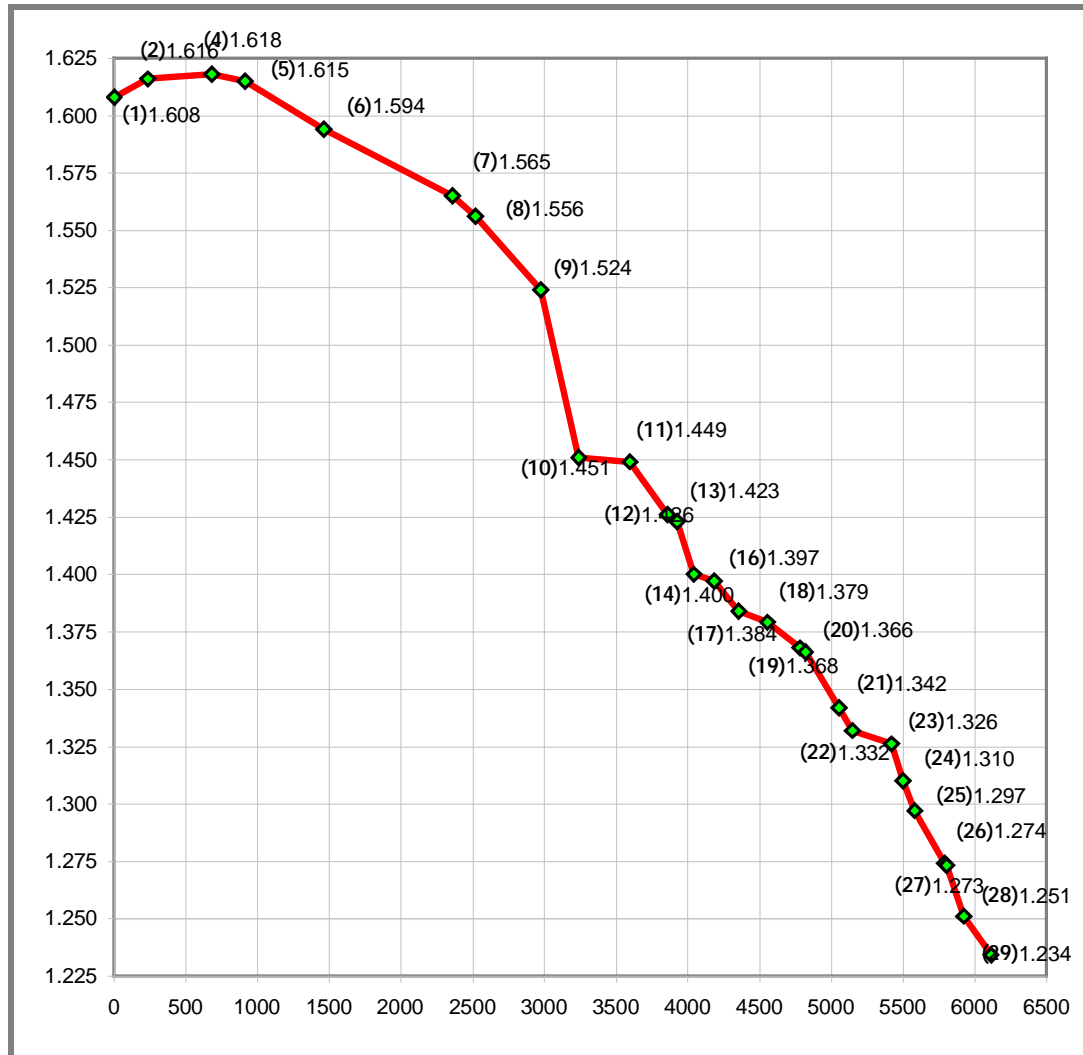
3.2 LA RED DE DISTRIBUCIÓN

3.2.1 Perfil Topográfico de la Red de Distribución Principal

El tipo de distribución es por bombeo directo a partir de una estación de bombeo presente en la misma Planta de Tratamiento, la cual se encarga de superar una diferencia de cota de 25 metros para alcanzar el sub-sector más alto a lo largo de la tubería principal, denominado Matapalo, luego comienza un descenso en cota con el fin de abastecer a los demás sub-sectores en cuestión. Dichos sub-sectores presentan una diferencia de cota hasta de 30 metros, por lo que actualmente existe un conjunto de cámaras “rompe carga” (tanquillas rompe presión) a lo largo de la tubería principal encargadas de evitar el exceso de presiones en las tuberías.

Se puede observar la altura en metros sobre el nivel del mar (msnm.) de ubicación de los puntos con información importante (nodos) para el estudio de la red con respecto a la distancia recorrida en la siguiente gráfica:

H (msnm) Vs. Distancia (metros)



Graf. N° 03 Huellas de la tubería con la distancia en el eje de las abscisas y la Altura manométrica en el eje de las ordenadas

3.2.2 Identificación de los Nodos

La red de distribución se divide en diferentes nodos donde se pueden ubicar sub-sectores con población considerable, como se puede observar en la tabla N° 04.

Nodo	Descripción
0	Planta de Tratamiento
1	Estación de Bombeo
2	Entrada a la P/T
4	Ventosa
5	Matapalo
6	Parada
7	Pozo Rosas
8	Bar-Restaurante
9	Rompe Carga N° 2
10	Poste N° 18360080
11	Poste N° 18360391
12	Rompe Carga N° 3
13	Sector La Florida
14	Y
16	Torrentera 1
17	Torrentera 2
18	Florencia I
19	El Cipres (Flor. II y III)
20	Rompe Carga Eliminada
21	Las Guamas
22	Curva Fuerte
23	Rompe Carga N° 4
24	Villa Trinidad
25	Antena
26	Los Pinos III
27	Los Pinos II
28	Los Pinos I
29	San Pedro

Tabla N° 04 Nodos y su descripción

3.2.3 Red de distribución Principal

La tubería principal tiene una longitud total de 6113 metros desde la Estación de Bombeo, y alcanza una diferencia de altura máxima de 384 metros entre el nodo (4) y (29). En el siguiente cuadro (Tabla N° 05) se representa las características de las tuberías:

DE NODO	A NODO	LONGITUD (metros)	TOTAL (metros)	Diámetro (pulgadas) Material
0	1	5		
1	2	232	237	PT /EB
2	4	445		
4	5	233	1227	4" HG
5	6	549		
6	7	895	895	
7	8	160		
8	9	458	882	
9	10	264		
10	11	357	357	4" PVC
11	12	258		
12	13	67	445	
13	14	120		
14	16	141		
16	17	173		
	18	198		
17	18		1104	4" PVC
18	19	227		
19	20	40		
20	21	231		
21	22	94		
22	23	272		
23	24	82		
24	25	80		
25	26	209	966	3" PVC
26	27	15		
27	28	119		
28	29	189		
	TOTAL	6113	6113	

Tabla N° 05 Ubicación, longitud, diámetro y material de las tuberías actuales

3.3 DEMANDA ACTUAL

Las viviendas presentes en este sector varían dependiendo del sub-sector donde estas se localizan, por tanto, se separan en dos grandes grupos de viviendas como son:

Casas: Viviendas con un área menor a 200 metros cuadrados.

Quintas: Viviendas con un área entre 200 y 300 metros cuadrados.

LEYENDA	
	Casas
	Quintas
	Falta Información

Tabla N° 06 Tipos de viviendas presentes en el sector

La población abastecida en cada sub-sector, está calculada por el número de viviendas presentes y la relación de ésta con la Normas INOS y la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 4.044 (*Normas sanitarias para proyecto, construcción, reparación, reforma y mantenimiento de edificaciones*).

También se toma en cuenta la cantidad de locales comerciales y restaurantes presentes en el sector para los cálculos futuros de caudal.

Nodo	Descripción	Viviendas	Locales Comerciales	Restaurantes	Población
0	P/T	0	0	0	0
1	E/B	0	0	0	0
2	Entrada P/T	5	0	0	30
4	Ventosa	0	0	0	0
5	Matapalo	6	0	0	36
6	Parada	21	8	2	126
7	Pozo Rosas	15	0	0	90
8	Bar	24	1	0	192
9	RC 2	17	0	0	136
10	18360080	15	0	0	90
11	18360391	5	0	0	40
12	RC 3	23	0	0	138
13	Sector La Florida	11	0	0	88
14	Y	20	0	0	160
16	Torrentera 1	2	0	0	16
17	Torrentera 2	1	0	1	8
18	Florencia I	32	0	0	256
19	Entrada El Cipres (II III)	97	0	0	776
20	RC Eliminada	0	0	0	0
21	Las Guamas	33		0	198
22	Curva Fuerte	6		0	48
23	RC 4	0	0	0	0
24	Villa Trinidad	170	0	0	778
25	Antena	3	0	0	24
26	Los Pinos III	20	0	0	120
27	Los Pinos II	6	0	0	36
28	Los Pinos I	20	0	0	120
29	San Pedro	53	0	0	318
	TOTAL	605	9	3	3824

Tabla N° 07 Censo por tipo de infraestructura

Con el censo de viviendas, locales comerciales y restaurantes presentes en el sector se calculó el caudal requerido por la Norma publicada en la Gaceta oficial de la República de Venezuela N° 4.044 (*Normas sanitarias para proyecto, construcción, reparación, reforma y mantenimiento de edificaciones*) que indica:

Caudal requerido por las dimensiones de las viviendas:

Viviendas Unifamiliares			
Área Total (m ²)		Q	
Desde	Hasta	L/día	L/s
N.A.	200	1500	0,017361
200	300	1700	0,019676
300	400	1900	0,021991
400	500	2100	0,024306
500	600	2200	0,025463

Tabla N° 08 Caudal para Viviendas unifamiliares según la Norma Vigente

Caudal requerido por las dimensiones de otros:

Otros		
Tipo	Q [l/d/m ²]	Q [l/s]
Mercados (200 m ²)	15	0,034722
Restaurantes (200 m ²)	50	0,115741
Bares (150 m ²)	60	0,104167
Locales Comerciales (150 m ²)	20	0,034722

Tabla N° 09 Caudal para otras infraestructuras según la Norma Vigente

Tomando en cuenta los mercados y restaurantes de 200 metros cuadrados ya preestablecidos y 150 metros cuadrados para los Bares y locales comerciales, se tiene:

Los grupos de bombeo trabajan de forma alterna con el fin de alargar el período de vida útil de dichas bombas, evitar que se suspenda el servicio debido a una falla de alguno de los grupos, realizar el mantenimiento preventivo o correctivo a uno de los grupos mientras el otro continua su funcionamiento.

El punto de operación de las bombas varía en función de la hora, del día de la semana y del mes (si es época de lluvias o de sequía) de acuerdo a las demandas que presenta la zona. Estos puntos de operación representan un consumo eléctrico diferente dependiendo del caudal suministrado y del rendimiento de la bomba para dicho caudal.

Nodo	Ubicación	Pob.	Viviendas		Locales comerciales		Restaurantes		Q Total [l/s]
			Cant.	Q [l/s]	Cant.	Q [l/s]	Cant.	Q [l/s]	
0	P/T	0	0	0	0	0,00	0	0	0,00
1	E/B	0	0	0	0	0,00	0	0	0,00
2	Entrada P/T	30	5	0,09	0	0,00	0	0	0,09
4	Ventosa	0	0	0	0	0,00	0	0	0,00
5	Matapalo	36	6	0,10	0	0,00	0	0	0,10
6	Parada	126	21	0,36	8	0,28	2	0,23	0,87
7	Pozo Rosas	90	15	0,26	0	0,00	0	0	0,26
8	Bar	192	24	0,47	1	0,03	0	0	0,51
9	RC 2	136	17	0,33	0	0,00	0	0	0,33
10	18360080	90	15	0,26	0	0,00	0	0	0,26
11	18360391	40	5	0,10	0	0,00	0	0	0,10
12	RC 3	138	23	0,40	0	0,00	0	0	0,40
13	Sector La Florida	88	11	0,22	0	0,00	0	0	0,22
14	Y	160	20	0,39	0	0,00	0	0	0,39
16	Torrentera 1	16	2	0,04	0	0,00	0	0	0,04
17	Torrentera 2	8	1	0,02	0	0,00	1	0,116	0,14
18	Florencia I	256	32	0,63	0	0,00	0	0	0,63
19	Entrada El Cipres (II III)	776	97	1,91	0	0,00	0	0	1,91
20	RC Eliminada	0	0	0,00	0	0,00	0	0	0,00
21	Las Guamas	198	33	0,57		0,00	0	0	0,57
22	Curva Fuerte	48	6	0,12		0,00	0	0	0,12
23	RC 4	0	0	0,00	0	0,00	0	0	0,00
24	Villa Trinidad	778	170	2,95	0	0,00	0	0	2,95
25	Antena	24	3	0,06	0	0,00	0	0	0,06
26	Los Pinos III	120	20	0,35	0	0,00	0	0	0,35
27	Los Pinos II	36	6	0,10	0	0,00	0	0	0,10
28	Los Pinos I	120	20	0,35	0	0,00	0	0	0,35
29	San Pedro	318	53	0,92	0	0,00	0	0	0,92
	TOTAL	3824	605	11,01	9	0,31	3	0,35	11,67

Tabla N° 10 Caudal por Norma requerido para los diversos tipos de Infraestructuras según censo

Censo poblacional: 3824 habitantes

Viviendas: Tipo Casa: 387

Tipo Quinta: 218

Total: 605

Caudal requerido por Norma publicada en la Gaceta oficial de la República de Venezuela N°4.044 (*Normas sanitarias para proyecto, construcción, reparación, reforma y mantenimiento de edificaciones*) según el tipo de Vivienda:

Tipo Casa: 1500 l/d

Tipo Quinta: 1700 l/d

Caudal calculado para todo el sector

$$Q_1 = (N^{\circ}_{casa} * Q_{casa}) + (N^{\circ}_{quinta} * Q_{quinta})$$

$$Q_1 = (387 * 1500) + (218 * 1700)$$

$$Q_1 = 580500 \text{ l/d} + 370600 \text{ l/d}$$

$$Q_1 = 951100 \text{ l/d}$$

$$Q_1 = 11,01 \text{ l/s}$$

A esta demanda se debe incluir el caudal necesario para abastecer otro tipo de infraestructuras (escuelas, mercados, restaurantes, bares, locales comerciales, etc). Para este caso en particular se presentan locales comerciales y restaurantes.

$$Q_2 = (N^{\circ}_{locales\ comerciales} * Q_{locales\ comerciales}) \text{ "Para 150 metros cuadrados"}$$

$$Q_2 = (9 * 3000)$$

$$Q_2 = 27000 \text{ l/d}$$

$$Q_2 = 0,3125 \text{ l/s}$$

$$Q_3 = (N^{\circ}_{restaurantes} * Q_{restaurantes})$$

$$Q_3 = (3 * 10000)$$

$$Q_3 = 30000 \text{ l/d}$$

$$Q_3 = 0,35 \text{ l/s}$$

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_{total} = 11,67 \text{ l/s}$$

$$Q_{total} = 42,01 \text{ m}^3/\text{h}$$

3.4 ANÁLISIS GENERAL DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO ACTUAL

3.4.1 Obra Civil

La estructura civil de la estación de bombeo se encuentra en buen estado. El piso, las paredes, los frisos, techo, el cableado, y en general, el área del sistema de control y potencia eléctrica, etc., se encuentran en buenas condiciones.

3.4.2 Comportamiento Hidráulico

La presión estática que debe vencer un equipo de bombeo es igual a la columna de agua en el sistema de tuberías que ejerce presión en contra del flujo que viene de las bombas. Esta columna de agua es igual a la diferencia de cotas entre el punto más alto de la red y la estación de bombeo (específicamente la cota de las bombas).

La diferencia de cotas más alta entre la red y la estación de bombeo es de 10 metros:

$$\Delta z = \text{cota Nodo (4)} - \text{cota E/B Laguneta}$$

$$\Delta z = 1608 \text{ m} - 1618 \text{ m}$$

$$\Delta z = 10 \text{ metros}$$

La carga estática que vencen las bombas es igual a:

$$H_e = \Delta z - \text{Presión succión} + 40 \text{ metros} \quad \textit{Ecuación (32)}$$

Los 40 metros se refieren a la presión mínima por norma que debe satisfacer el sistema de abastecimiento de agua en una vivienda.

Por lo cual el ADT estimado es de 60 metros.

Comparando el comportamiento del grupo de bombas que existe actualmente con las características del sistema tenemos:

*Para una eficiencia máxima
de la bomba (70 %) "Caso Ideal"*

Caudal aportado: 11,11 l/s

ADT: 63 metros

Sistema

Demanda Actual: 11,67 l/s

ADT estimado: 60 metros

Demanda Máxima : 23,34 l/s

Por lo que el grupo de bombeo no satisface en determinadas horas la demanda de la población debido a que dependiendo de la variación horaria esta varía hasta llegar a un 200% de la demanda en horas críticas como son las 6 am y 7 am. Por consiguiente actualmente se viene aplicando la sectorización del servicio que se basa en las maniobras de diferentes válvulas para concentrar el caudal aportado en una zona en específico y mantenerlo por una cantidad de horas específicas hasta saturar dicho sub-sector.

3.4.3 Equipos y Maniobras

Las rompe cargas están ubicadas en los siguientes nodos:

RC1: Entre los nodos (6) y (7)

RC2: Nodo (9)

RC3: Nodo (12)

RC4: Nodo (23)

RC5: Entre los nodos (25) y (26)

Debido a las maniobras en las válvulas, esto imposibilita el estudio de las presiones y caudales de la estación de bombeo debido a que la red nunca se encuentra en su totalidad abastecida por el vital líquido, por lo que las mediciones a la salida de la bomba no reflejan la demanda total del sector.

Las válvulas trabajadas están localizadas en las siguientes zonas:

VÁLVULA	SECTOR ABASTECIDO	MANIOBRAS		Ubicación (entre nodos)
		Cierre	Apertura	
1	Matapalo/El Topo	Sab 6am	Sab 5pm	5-6
2	Florida P/A	Sab 5pm	Dom 6pm	9
3	Florida P/B	Lun 6am	Lun 6pm	12
4	Callejon	Mar 6am	Mar 12pm	13-14
5	Yerbabuena	Mar 12 pm	Mar 6pm	16-17
6	Florencia I	Mar 6pm	Mie 11am	20
7	Ventorillo P/A	Mie 11am	Jue 6am	22
8	Ventorillo P/B	Jue 6am	Jue 12pm	24
9	Los Pinos	Jue 12pm	Vie 5pm	26

Tabla N° 11 Maniobras realizadas actualmente a las válvulas

3.4.4 Tuberías

Las tuberías principales instaladas actualmente son en su mayoría de material PVC las cuales pueden soportar presiones considerables, entre 50 y 100 PSI (35 y 70 mca). Para evitar esas presiones se tienen las Rompe cargas, encargadas de bajar la presión del agua a 0 mca y así no afectar las tuberías a lo largo de la red, pero existe otro problema actual que afecta el funcionamiento de dichas tuberías que son las maniobras de las válvulas ya nombradas anteriormente que producen el golpe de ariete debido al cambio brusco del flujo del fluido, trayendo como consecuencia el colapso repetitivo de las tuberías de pvc. En la figura (26) podemos observar un tramo de la tubería de material PVC diámetro 4 pulgadas (100 mm)



Fig. 26 Tubería instalada actualmente

Por todo lo anterior expuesto se hace necesario el diseño de un nuevo sistema de abastecimiento desde la estación de bombeo hasta el último subsector abastecido actualmente por la tubería principal.

CAPITULO IV: MARCO METODOLÓGICO

4.1 TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

Según el manual de la UPEL (2003) una investigación de campo se define como el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo.

De acuerdo con Tamayo y Tamayo (2001), se tiene una investigación descriptiva, que comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de algún fenómeno. Para la obtención de resultados, se deben encontrar elementos y variables del problema haciendo una caracterización de hechos o situaciones con los cuales se identifica.

También definen a la investigación de tipo documental como estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo principalmente, en trabajos previos, información o datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS

A continuación en este capítulo se planteará todos los métodos y procedimientos empleados para el diseño del Sistema de abastecimiento de agua potable para el Sector Pozo rosas.

4.3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

4.3.1 Antecedentes del Sistema

Para la recopilación de toda la información sobre el Sistema de Abastecimiento Laguneta, se realizaron visitas y consultas tanto a la Planoteca de Hidrocapital como al Instituto Nacional de Estadística (INE). Así mismo, se consultaron proyectos, bibliografías e información referente a la zona en estudio.

Se realizó una revisión de la bibliografía mencionada anteriormente.

Con el objetivo de desarrollar las bases teóricas que sustentaron la investigación se consultó la documentación bibliográfica sobre el tema, utilizando fuentes de consulta: catálogos para la escogencia de equipos, accesorios y elementos que constituye un sistema de distribución de agua potable.

4.3.2 Situación Actual

Para conocer el estado actual del Sistema de Abastecimiento, se procedió a recolectar la información a través de la observación directa del sitio donde se realiza el proyecto, con el propósito de constatar informaciones teóricas adquiridas.

Como complemento de toda esa información se realizaron numerosas reuniones y visitas con el personal que opera el sistema de la Red Alta, tanto ingenieros y técnicos operadores, como personal de diversas áreas de Hidrocapital.

4.4 UBICACIÓN DE ZONAS RELEVANTES

4.4.1 Ubicación de Nodos

Para poder conocer las características del Sistema se realizaron visitas de campo donde se ubicaron puntos relevantes llamados nodos con el fin de poder recolectar información acerca de estos. Estos nodos cumplen con alguna de las siguientes características: representan un punto se puede crear una bifurcación de tubería para abastecer una concentración de población específica, o, representan un

punto de importancia para el estudio hidráulico como por ejemplo comienzo y final del sistema de abastecimiento cambio pendiente, cotas máximas, cotas mínimas, etc. La ubicación de nodos se realizó por medio de el uso de un GPS, el cual arrojo la ubicación exacta de cada nodo por medio de coordenadas Norte y Este.

Luego de obtener del GPS estas coordenadas que corresponden a datos Geocéntricos Global (REGVEN) con ejes de coordenadas basados en el Sistema SIRGAS, se procede a transformarlas a datos LA CANOA que es un Sistema local definido y orientado en forma clásica como elipsoide geodésico de referencia el Internacional, mediante el uso del software “TransforVEN”, con el fin de obtener las coordenadas utilizadas por los planos utilizados por Hidrocapital y de esta manera ubicar y asentar los nodos para facilitar la construcción la línea de red

Ejemplo:

Nodo 0

Ubicación: Planta de Tratamiento

Coordenadas REGVEN (GPS): Este 19.706.321 Norte 1.144.655

Coordenadas LA CANOA (planos): Este 19.706.532 Norte 1.145.019

4.4.2 Medición de Cotas

Para la medición de cotas en cada uno de los nodos se hizo uso de un Altimetro, que presenta la característica de calibración respecto a la cota de la Sede de Hidrocapital del Sistema Panamericano con una Altitud de 1.157 metros sobre el nivel del mar (msnm) con la finalidad de elaborar el perfil topográfico del Sistema.

4.4.3 Medición de Distancia entre Nodos

Con la línea de la red y el perfil topográfico ya constituidos, se procedió a la medición de distancias reales entre nodos por medio un odómetro.

4.5 POBLACIÓN BENEFICIADA

4.5.1 Censo de Viviendas e inmuebles actuales

Conocido las características topográficas y geográficas del Sistema se comenzó a recopilar información acerca de la cantidad viviendas y otros inmuebles presentes en el sector como por ejemplo escuelas, bares, restaurantes, locales comerciales, etc; beneficiados por la red de distribución.

4.5.2 Clasificación de Viviendas

Dadas las condiciones de diversidad en las dimensiones de las viviendas del sector se procedió a dividir las en dos grupos:

Casas: Viviendas con un área menor a 200 metros cuadrados

Quintas: Viviendas con un área entre 200 y 300 metros cuadrados

Al mismo tiempo por las condiciones de cada subsector, se asumió la similitud de las viviendas por nodos de ubicación, esto quiere decir que en un mismo nodo no se presentaron viviendas de diferentes grupos (viviendas o quintas)

4.5.3 Estimación de Población según Censo

Para determinar la población actual del Sistema se hizo uso de el censo de inmuebles descrito anteriormente y mediante La Gaceta Oficial N° 4.044 que indica:

Dotaciones de Agua para Edificaciones destinadas a Viviendas Unifamiliares:

Viviendas Unifamiliares			
Area Total (m2)		Q	
Desde	Hasta	L/día	L/s
N.A.	200	1500	0,017361
200	300	1700	0,019676
300	400	1900	0,021991
400	500	2100	0,024306
500	600	2200	0,025463

Tabla N° 12 Dotaciones de viviendas según Norma vigente

En conjunto con el consumo promedio por persona de 250 litros diarios (manejado por la Gerencia de Hidrocapital) se calculó la población actual en el sector de la siguiente manera:

Nodo 2

Viviendas menores a 200 metros cuadrados:

N° de personas = N° viviendas * Q recomendado / Q por persona

N° personas = 5 * 1500 / 250

N° personas = 30

4.5.4 Cálculo de Población a futuro

Para determinar la población a servir se consultó al Instituto Nacional de Estadística (INE), debido a su carácter de organismo oficial del estado, donde, se obtuvo los dos últimos censos realizados en el Municipio Guaicaipuro, y con estos datos se calculó la Índice de crecimiento poblacional (R) por medio de la ecuación (25):

$$R = \frac{[LH(P_1) - LH(P_0)]}{(t_1 - t_0)}$$

Con este dato calculado, se pudo obtener la población para el año específico de diseño mediante el método geométrico de crecimiento poblacional, utilizado debido a sus resultados optimistas, a las grandes posibilidades de desarrollo y horizontes libres, calculado mediante la ecuación (24):

$$P_2 = P_1 * \left[\left(\frac{R}{100} \right) + 1 \right]^X$$

Donde: P_2 = Población estimada para el año X.

P_1 = Población actual.

t = Índice de Crecimiento Poblacional.

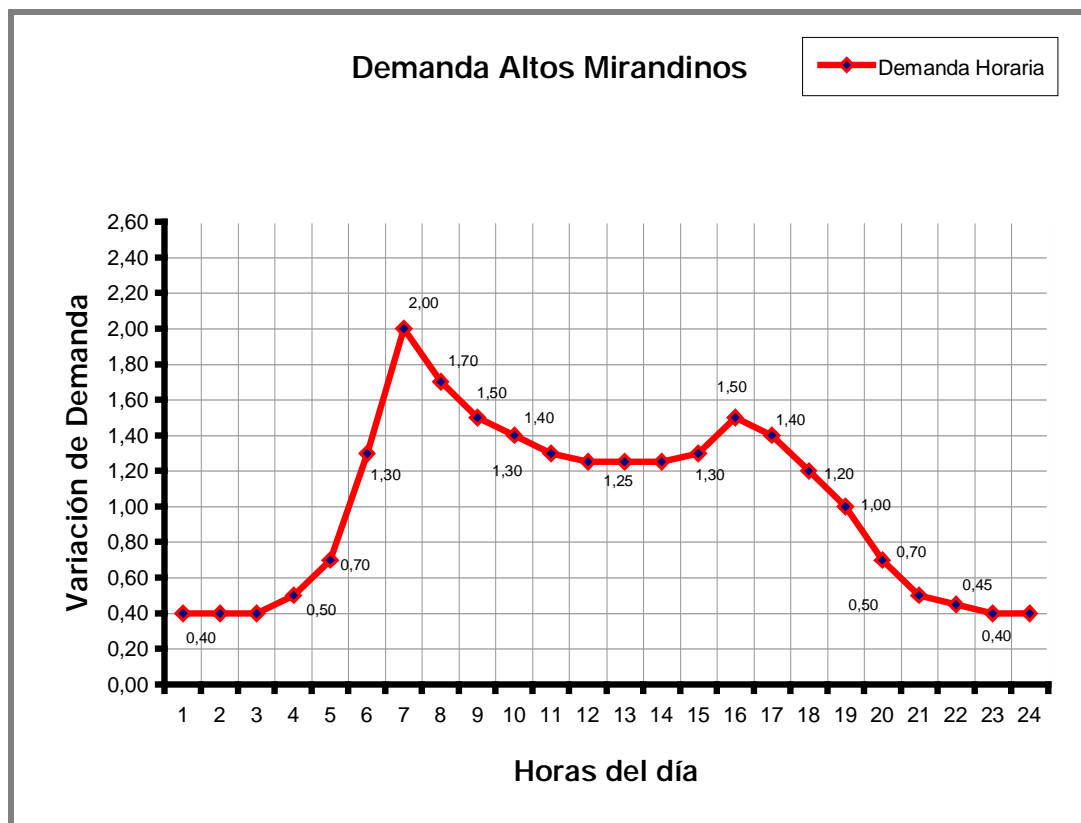
X = Número de años entre P_2 y P_1 .

Se realizó las proyecciones para la población a abastecer por la el Sistema de Pozo Rosas durante un período de **20 años**, es decir, hasta el 2.029.

4.6 DISEÑO DE LA RED ABASTECIMIENTO

4.6.1 Curva de consumo horario

La curva de consumo horario fue estipulada por Hidrocapital y asimila la realidad del consumo en la población durante el día, esta representa el aumento o disminución del demanda por parte de los habitantes de Los Altos Mirandinos en el transcurrir de las horas en todo un día., como se muestra en la siguiente gráfica:



Gráfica N° 03 Variación de la Demanda en los Altos Mirandinos

En dicha curva es relevante indicar que se produce un pico a las 7:00 am y otro a las 4:00 pm representando 250% y 150% del consumo respectivamente, y en las horas nocturnas desde las 11:00 pm hasta las 3:00 am se presenta la menor demanda representando un 40%.

4.6.2 Demanda por Nodos

El caudal suministrado por la estación de bombeo Laguneta, depende de la población conectada a sus redes de distribución, por lo tanto, se utilizó para calcular la demanda por nodos la dotación asignada por el artículo 109 de la Gaceta Oficial N° 4.044, la cual corresponde a 250 litros por persona al día con la población estimada para el año 2.029, con el añadido de la demanda actual de los tipos de infraestructuras presentes en la zona como son los locales comerciales y los restaurantes. Sin embargo, el gasto de diseño para un sistema de abastecimiento de agua potable fue el correspondiente al consumo máximo horario para el periodo de diseño.

4.6.3 Selección de Tuberías

4.6.3.1 Material

El material de la tubería fue seleccionado en base a lo recomendado por la Gerencia de Hidrocapital, debido a su disponibilidad en el mercado, costos y facilidad de traslado. Únicamente se estudió las características de resistencia del material debido a las presiones a manejar en la red. En el caso de la tubería de succión de la bomba se estudió el NPSH requerido, el golpe de ariete, las pérdidas primarias y las pérdidas menores para evitar fallas por cavitación o efecto del golpe de ariete; por lo cual se hizo uso de dos tipos de tuberías principalmente como son acero y PEAD.

4.6.3.2 Diámetro

El diámetro de la tubería fue estimado en función del caudal que debe transportar dicha tubería y tomando en cuenta las velocidades recomendadas que

estuviera en un rango de $0,5 \frac{m}{s}$ y $3 \frac{m}{s}$, esto para evitar las vibraciones en velocidades altas y evitar incrustaciones para el caso de velocidades bajas, valores tomados de la Gaceta Oficial 4.044.

Para esto se utilizó la ecuación básica de Caudal y la ecuación del Área, donde se obtiene el diámetro de la tubería en función del caudal y la velocidad del flujo según la ecuación (5):

$$Q = v \cdot X \cdot A$$

sustituyendo en la ecuación del área:

$$A = \pi \cdot X \cdot \frac{D^2}{4}$$

nos queda:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot X \cdot \pi \cdot X \cdot Q}{v}} \quad \text{Ecuación (33)}$$

4.6.4 Selección de Accesorios

4.6.4.1 Conexiones

Las uniones y conexiones a lo largo de la red de distribución fueron seleccionadas en base al tipo de tubería, su diámetro y la longitud máxima encontrada en el mercado.

4.6.4.2 Válvulas

Las válvulas de diferentes tipos se seleccionaron principalmente en base a las presiones manejadas a lo largo de la red de distribución, las longitudes de la tubería y la diferenciación de las zonas para facilitar las maniobras del personal técnico en

caso de mantenimiento preventivo, correctivo o sectorización del fluido (racionalización).

4.7 DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO LAGUNETA

El objetivo de la estación de bombeo, es suministrar la demanda de agua requerida para satisfacer las necesidades del sector a abastecer, como guía para conocer este caudal se debe llevar como guía la Gaceta Oficial N° 4.044 y las presiones mínimas necesarias cuando se bombea contra la red.

4.7.1 Sistema de succión y descarga

Se diseñará el sistema de succión y descarga de la estación de bombeo, a partir de la ecuación de continuidad, con las velocidades recomendadas para cada caso y los caudales en tránsito por cada ramal. El principio de continuidad de los fluidos para dos tuberías en serie expresada en la ecuación (6) dice:

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

4.7.2 Selección de válvulas y accesorios

Las válvulas y accesorios utilizados en el sistema de succión y descarga, fue seleccionado en función de las presiones de trabajo del grupo de bombas, sin embargo se tomó como referencia el valor aportado por el golpe de ariete, con la finalidad de verificar si los accesorios seleccionados, están en capacidad de soportar el exceso de presión producido por este fenómeno.

4.7.3 Pérdidas de carga en el sistema de succión y descarga

Las pérdidas de carga del sistema de la estación de bombeo, se determinaron utilizando el método de longitudes equivalentes mediante la utilización de las Tablas presentes en los anexos A1 y A2, tomando en consideración que las pérdidas de carga

vienen dada por la caída de presión y es una medida de la resistencia presentada al flujo a través de la tubería, por lo tanto, se determinaron estas pérdidas, en función de los accesorios y las características que presentan las tuberías, tanto en la succión como en la descarga, su fórmula se presenta a continuación .

$$H_f = (L_t + L_e) \cdot \frac{hf}{100} \quad \text{Ecuación (34)}$$

Donde:

H_f: Altura correspondiente a la pérdida de carga por fricción

L_t: Longitud de tubería

L_e: Longitud equivalentes por los accesorios

hf: Pérdidas locales

4.7.4 Altura dinámica total (ADT)

La obtención de la altura dinámica total (ADT), se realizó mediante el cálculo de todas las pérdidas presentes en el sistema de bombeo y la diferencia de altura de dicha estación con respecto al punto más desfavorable de abastecimiento de agua o nodo de consumo. La expresión que permitió realizar el cálculo del ADT, provino de la ecuación de Bernoulli, ecuación (11) y viene dada en forma general de la siguiente manera:

$$\frac{P_0}{\rho} + \frac{V_0^2}{2 \cdot g} + Z_0 - hf_{0-1} + ADT = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1$$

Donde:

$\frac{V^2}{2 \cdot g}$ = Energía Cinética (m)

$\frac{P}{\rho}$ = Energía de presión o piezométrica. (mca)

Z = Energía Potencial.(m)

4.7.5 Selección de la Bomba

Al momento de seleccionar los equipos de la estación de bombeo, se consideró los siguientes aspectos:

- Altura dinámica total de bombeo.
- Velocidad de giro
- Caudal de Bombeo
- Diámetro de succión
- Diámetro de descarga
- NPSH requerido

Una vez evaluado correctamente estos factores, se pasó a seleccionar la capacidad y el número de las bombas a instalar.

4.7.6 Cálculo del golpe de ariete

Se determinó el exceso de presión producido por el cierre rápido de una válvula o el corte indeseado de la corriente eléctrica, para ello se utilizó la ecuación (21), que permitió determinar el valor generado por el golpe de ariete, quedando expresado de la siguiente manera:

$$P_1 = v \cdot 10,1 \cdot \sqrt{\frac{K \cdot e \cdot E}{e \cdot E + K \cdot D}}$$

$$P_{TOTAL} = P_{ESTATICA} + P_{ADICIONAL(PS)}$$

Donde:

P_1 = Sobre presión en metro de columna de agua.

v = Velocidad del fluido en mts/s.

K = Módulo de elasticidad del líquido.

E = Módulo de elasticidad del material.

D = Diámetro nominal de la tubería en metros.

e = Espesor de la pared del tubo en metros.

En el supuesto caso que el exceso de presión sea mayor que la presión máxima de trabajo de la tubería, existe la posibilidad de colocar un supresor de golpe de ariete.

4.7.7 Selección del motor

La potencia del motor siempre debe ser mayor a la requerida por la bomba, para poder vencer tanto las pérdidas mecánicas que se producen en la transmisión, como la inercia inicial presentada por los equipos y el fluido; de esta manera la capacidad del motor se determinó aplicando un factor de servicio que permita garantizar el óptimo funcionamiento de la bomba.

Las normas vigentes de instalaciones sanitarias aconsejan calcular la potencia del motor multiplicando la potencia de la bomba por 1.15.

$$Pot_{MOTOR} = Pot_{BOMBA} \cdot Fs \quad \text{Ecuación (35)}$$

4.8 SIMULACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Como último procedimiento se realizó una simulación de la red de abastecimiento con la utilización del programa Water Gems, donde se incluyó todas las características de tuberías y accesorios calculados. Y para otros dispositivos (bombas) que necesitan características estipuladas por el fabricante se procedió a utilizar manuales encontrados en el mercado que satisficieran las condiciones calculadas.

Datos necesarios para corrida con programa de simulación:

- Ø Tipo de tuberías
- Ø Coeficiente de rugosidad (C)
- Ø Diámetro de las tuberías.
- Ø Longitud de tuberías.

- Ø Tipo de Válvulas .
- Ø Ubicación de Nodos (Altura).
- Ø Ubicación de grupo de bombeo (Altura).
- Ø Ubicación de Válvulas reguladoras de presión (Altura).
- Ø Ubicación de Reservorio (Altura de Planta de Tratamiento o tanque).
- Ø Demanda en cada Nodo (caudal en litros por segundos)
- Ø Variación Horaria (Porcentaje de consumo en cada hora del día).
- Ø Curvas de las Bombas:
 - ∨ Altura vs. Caudal
 - ∨ Eficiencia vs. Caudal

Con estos datos, el programa fue capaz de representar características que reflejan el comportamiento del Sistema como son:

- Ø Presiones en Nodos
- Ø Velocidades del fluido por tramo.
- Ø Descarga de la Bomba por hora del día
- Ø Demanda por hora del día de cada nodo
- Ø Pérdidas en cada tramo de tubería.
- Ø Caudal aportado por el reservorio por hora del día.
- Ø Control de la presión en las VRP

Todos estos resultados podemos encontrarlos en los anexos “B”

CAPITULO V: DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

5.1.1 Nodos

Para el levantamiento de la información topográfica se identificó por nodos toda la red de distribución, estos nodos se ubicaron en puntos estratégicos los cuales brindarían la máxima información requerida. Se observa en Tabla N°13

Nodo	Cota [m]	Coord. Este (REGVEN)		Coord. Norte (REGVEN)		Descripción
		REGVEN	La Canoa	REGVEN	La Canoa	
0	1.608	19.706.321	19.706.532	1.144.655	1.145.019	Planta de Tratamiento
1	1.608	19.706.321	19.706.532	1.144.655	1.145.019	Estación de Bombeo
2	1.616	19.706.416	19.706.627	1.144.861	1.145.225	Entrada a la P/T
4	1.618	19.706.809	19.707.020	1.144.996	1.145.360	Ventosa
5	1.615	19.706.864	19.707.075	1.144.858	1.145.222	Matapalo
6	1.594	19.707.267	19.707.478	1.145.651	1.146.015	Parada
7	1.565	19.707.313	19.707.524	1.145.687	1.146.051	Pozo Rosas
8	1.556	19.708.609	19.708.820	1.145.732	1.146.096	Bar-Restaurante
9	1.524	19.707.772	19.707.983	1.145.749	1.146.113	Rompe Carga N° 1
10	1.451	19.708.332	19.708.543	1.145.831	1.146.195	Poste N° 18360080
11	1.449	19.708.352	19.708.563	1.145.826	1.146.190	Poste N° 18360391
12	1.426	19.708.527	19.708.738	1.145.786	1.146.150	Rompe Carga N° 2
13	1.423	19.708.579	19.708.790	1.145.779	1.146.143	Sector La Florida
14	1.400	19.708.698	19.708.909	1.145.807	1.146.171	Y
16	1.397	19.708.847	19.709.058	1.145.813	1.146.177	Torrentera 1
17	1.384	19.709.007	19.709.218	1.145.783	1.146.147	Torrentera 2
18	1.379	19.709.168	19.709.379	1.145.838	1.146.202	Florencia I
19	1.368	19.709.390	19.709.601	1.145.824	1.146.188	El Cipres (Flor. II y III)
20	1.366	19.709.414	19.709.625	1.145.820	1.146.184	Rompe Carga Eliminada
21	1.342	19.709.633	19.709.844	1.145.670	1.146.034	Las Guamas
22	1.332	19.709.662	19.709.873	1.145.592	1.145.956	Curva Fuerte
23	1.326	19.709.683	19.709.894	1.145.754	1.146.118	Rompe Carga N° 4
24	1.310	19.709.725	19.709.936	1.145.944	1.146.308	Villa Trinidad
25	1.297	19.709.699	19.709.910	1.146.044	1.146.408	Antena
26	1.274	19.709.693	19.709.904	1.146.151	1.146.515	Los Pinos III
27	1.273	19.709.693	19.709.904	1.146.151	1.146.515	Los Pinos II
28	1.251	19.709.580	19.709.791	1.146.204	1.146.568	Los Pinos I
29	1.234	19.709.437	19.709.648	1.146.277	1.146.641	San Pedro

Tabla N° 13 Ubicación de Nodos según Coordenadas

5.1.2 Distancias entre Nodos

También se realizó la medición de distancia entre nodos, y se totalizó la distancia entre La Planta de Tratamiento (nodo O) y el sub-sector más lejano (nodo 29). Estos datos podemos observarlos en la tabla N° 14

Id.	DE NODO	A NODO	LONGITUD [m]
A	0	1	5
B	1	2	232
D	2	4	445
E	4	5	233
F	5	6	549
G	6	7	895
H	7	8	160
I	8	9	458
J	9	10	264
K	10	11	357
L	11	12	258
M	12	13	67
N	13	14	120
O	14	16	141
P	16	17	173
Q	17	18	198
R	18	19	227
S	19	20	40
T	20	21	231
U	21	22	94
V	22	23	272
W	23	24	82
X	24	25	80
Y	25	26	209
Z	26	27	15
AA	27	28	119
BB	28	29	189
TOTAL [m]			6113

Tabla N°14 Distancia entre Nodos

5.1.3 Censo de Viviendas e Inmuebles

En la siguiente tabla (Tabla N° 15) se presenta el censo de viviendas y otros inmuebles presentes en el sector como son locales comerciales y restaurantes así como la población estimada por el tipo de vivienda.

Nodo	Descripción	Viviendas	Tipo	Locales Comerciales	Restaurantes	Población
0	P/T	0	N.A	0	0	0
1	E/B	0	N.A	0	0	0
2	Entrada P/T	5	Casa	0	0	30
4	Ventosa	0	N.A	0	0	0
5	Matapalo	6	Casa	0	0	36
6	Parada	21	Casa	8	2	126
7	Pozo Rosas	15	Casa	0	0	90
8	Bar	24	Quinta	1	0	192
9	RC 2	17	Quinta	0	0	136
10	18360080	15	Casa	0	0	90
11	18360391	5	Quinta	0	0	40
12	RC 3	23	Casa	0	0	138
13	Sector La Florida	11	Quinta	0	0	88
14	Y	20	Quinta	0	0	160
16	Torrentera 1	2	Quinta	0	0	16
17	Torrentera 2	1	Quinta	0	1	8
18	Florencia I	32	Quinta	0	0	256
19	Entrada El Cipres (II III)	97	Quinta	0	0	776
20	RC Eliminada	0	N.A	0	0	0
21	Las Guamas	33	Casa	0	0	198
22	Curva Fuerte	6	Quinta	0	0	48
23	RC 4	0	N.A	0	0	0
24	Villa Trinidad	170	Casa	0	0	778
25	Antena	3	Quinta	0	0	24
26	Los Pinos III	20	Casa	0	0	120
27	Los Pinos II	6	Casa	0	0	36
28	Los Pinos I	20	Casa	0	0	120
29	San Pedro	53	Casa	0	0	318
	TOTAL	605	N.A	9	3	3824

Tabla N° 15 Censo y tipo de Viviendas, otros inmuebles y población estimada respecto a estos

5.2 ESTIMACIONES Y CÁLCULOS

5.2.1 Población futura (para el año 2.029)

Índice de Crecimiento Poblacional (R) para el municipio Guaicaipuro según los últimos censos: $R = 0,02$

Año 2.002 Población: 222.768

Año 2.008 Población: 258.045

Usando este valor de Índice de Crecimiento Poblacional se obtiene:

Nodo	Descripción	Población Actual	Población Año 2.029
0	Planta de Tratamiento	0	0
1	Estación de Bombeo	0	0
2	Entrada a la P/T	30	45
4	Ventosa	0	0
5	Matapalo	36	53
6	Parada	126	187
7	Pozo Rosas	90	134
8	Bar-Restaurante	192	285
9	Rompe Carga N° 2	136	202
10	Poste N° 18360080	90	134
11	Poste N° 18360391	40	59
12	Rompe Carga N° 3	138	205
13	Sector La Florida	88	131
14	Y	160	238
16	Torrentera 1	16	24
17	Torrentera 2	8	12
18	Florencia I	256	380
19	El Cipres (Flor. II y III)	776	1153
20	Rompe Carga Eliminada	0	0
21	Las Guamas	198	294
22	Curva Fuerte	48	71
23	Rompe Carga N° 4	0	0
24	Villa Trinidad	778	1156
25	Antena	24	36
26	Los Pinos III	120	178
27	Los Pinos II	36	53
28	Los Pinos I	120	178
29	San Pedro	318	473
	TOTAL	3824	5682

Tabla N° 16 Censo actual y población estimada para el año 2.029

5.2.2 Demanda de Población a Futuro

Esta demanda corresponde a la proyección de la población para el año 2.029

Nodo	Ubicación	Población	Caudal [l/s]		
			Locales Comerciales	Restaurantes	TOTAL
0	Planta de Tratamiento	0,00	0,00	0,00	0,00
1	Estación de Bombeo	0,00	0,00	0,00	0,00
2	Entrada a la P/T	0,13	0,00	0,00	0,13
4	Ventosa	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Matapalo	0,15	0,00	0,00	0,15
6	Parada	0,54	0,28	0,23	1,05
7	Pozo Rosas	0,39	0,00	0,00	0,39
8	Bar-Restaurante	0,83	0,03	0,00	0,86
9	Rompe Carga N° 2	0,58	0,00	0,00	0,58
10	Poste N° 18360080	0,39	0,00	0,00	0,39
11	Poste N° 18360391	0,17	0,00	0,00	0,17
12	Rompe Carga N° 3	0,59	0,00	0,00	0,59
13	Sector La Florida	0,38	0,00	0,00	0,38
14	Y	0,69	0,00	0,00	0,69
16	Torrentera 1	0,07	0,00	0,00	0,07
17	Torrentera 2	0,03	0,00	0,12	0,15
18	Florencia I	1,10	0,00	0,00	1,10
19	El Cipres (Flor. II y III)	3,34	0,00	0,00	3,34
20	Rompe Carga Eliminada	0,00	0,00	0,00	0,00
21	Las Guamas	0,85	0,00	0,00	0,85
22	Curva Fuerte	0,21	0,00	0,00	0,21
23	Rompe Carga N° 4	0,00	0,00	0,00	0,00
24	Villa Trinidad	3,35	0,00	0,00	3,35
25	Antena	0,10	0,00	0,00	0,10
26	Los Pinos III	0,52	0,00	0,00	0,52
27	Los Pinos II	0,15	0,00	0,00	0,15
28	Los Pinos I	0,52	0,00	0,00	0,52
29	San Pedro	1,37	0,00	0,00	1,37
	TOTAL	16,44	0,31	0,35	17,10

Tabla N° 17 Demanda estimada para el año 2.029

5.2.3 Diámetro de Tuberías

En el siguiente cuadro se logra observar el caudal que debe transportar cada sección entre nodos, por lo cual se calcula en base a la *ecuación 5*. El diámetro de cada tubería necesario para aportar dicho caudal. Estos diámetro escapan a los encontrados en el mercado por lo cual se incluye una última columna con el diámetro de tubería presente en el mercado.

DE NODO	A NODO	Demanda [l/s]	Caudal en Tubería [l/s]	Caudal en Tubería [m3/s]	Diámetro en Norma [m]	Diámetro en Norma [pulg]	Diámetro Disponible [pulg]
0	1	0,00	17,10	0,02	0,15	5,81	6
1	2	0,13	17,10	0,02	0,15	5,81	6
2	4	0,00	16,97	0,02	0,15	5,79	6
4	5	0,15	16,97	0,02	0,15	5,79	6
5	6	1,05	16,82	0,02	0,15	5,76	6
6	7	0,39	15,77	0,02	0,14	5,58	4
7	8	0,86	15,38	0,02	0,14	5,51	4
8	9	0,58	14,52	0,01	0,14	5,35	4
9	10	0,39	13,93	0,01	0,13	5,24	4
10	11	0,17	13,55	0,01	0,13	5,17	4
11	12	0,59	13,38	0,01	0,13	5,14	4
12	13	0,38	12,78	0,01	0,13	5,02	4
13	14	0,69	12,40	0,01	0,13	4,95	4
14	16	0,07	11,72	0,01	0,12	4,81	3
16	17	0,15	11,65	0,01	0,12	4,79	3
17	18	1,10	11,50	0,01	0,12	4,76	3
18	19	3,34	10,40	0,01	0,12	4,53	3
19	20	0,00	7,06	0,01	0,09	3,73	3
20	21	0,85	7,06	0,01	0,09	3,73	3
21	22	0,21	6,21	0,01	0,09	3,50	3
22	23	0,00	6,00	0,01	0,09	3,44	3
23	24	3,35	6,00	0,01	0,09	3,44	3
24	25	0,10	2,66	0,00	0,06	2,29	2
25	26	0,52	2,55	0,00	0,06	2,25	2
26	27	0,15	2,04	0,00	0,05	2,01	2
27	28	0,52	1,88	0,00	0,05	1,93	2
28	29	1,37	1,37	0,00	0,04	1,64	2
TOTAL		17,10					

Tabla N° 18 Cálculo de tubería según demanda estimada para el año 2.029

5.2.4 Tubería principal de descarga

La tubería principal de descarga de la estación de bombeo, será calculada para una velocidad de 1 m/s y con un caudal de 17,10 l/s, con lo cual se tiene:

$$Q_{\max}: 17,10 \text{ l/s} = 0.0171 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_1: 1 \text{ m/s}$$

$$Q = V \cdot A \Rightarrow A = \frac{Q}{V} = \frac{0.0171 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0.0171 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\Pi \cdot D_1^2}{4} \Rightarrow D_1 = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\Pi}} = \sqrt{\frac{0.0171 \cdot 4}{\Pi}} = 0.1475 \text{ mts.}$$

$$D = 0,1475 \text{ mts} = 5,80''$$

Para el caudal de 17,10 l/s, el diámetro que puede satisfacer las condiciones de trabajo antes indicadas es la tubería de 5,80'', pero esta tubería es poco común en el mercado, se elige un diámetro cercano el cual es 6''.

$$D = 6'' = 0,15 \text{ mts}$$

$$A_1 = \frac{\Pi \cdot D_1^2}{4} = \frac{\Pi \cdot 0.15^2}{4} = 0,0176 \text{ m}^2$$

$$A_1: 0.0176 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.0171}{0.0176} = 0,96 \text{ mts/s}$$

$$V = 0,96 \text{ m/s}$$

Como se comprobó que la velocidad para el diámetro de 6'' permanece entre los parámetros aceptables por ende permanece como la selección definitiva.

5.2.5 Tubería de succión

El diseño de la tubería de succión, se realizará utilizando el principio de continuidad de los fluidos *ecuación 6*, tomando como referencia las velocidades recomendadas para las tuberías de succión, las cuales oscilan entre 0,5 y 2.5 m/s, se asumirá una velocidad de 1 m/s, para la elaboración de los cálculos, quedando estos expresados de la siguiente manera:

Tubería principal de succión:

$$Q_{\max}: 17,10 \text{ l/s} = 0.0171 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_1: 0,6 \text{ m/s}$$

$$Q = V_1 \cdot A_1$$

$$A_1 = \frac{Q_{\max}}{V_1} = \frac{0.0171 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,6 \text{ m/s}} = 0,0285 \text{ m}^2$$

$$A_1 = \frac{\Pi \cdot D_1^2}{4} \Rightarrow D_1 = \sqrt{\frac{A_1 \cdot 4}{\Pi}} = \sqrt{\frac{0.0285 \cdot 4}{\Pi}} = 0,1905 \text{ mts.}$$

$$D_1 = 0.1905 \text{ m} = 7,50 \text{ pulg.}$$

El diámetro de tubería que puede satisfacer las condiciones de trabajo antes expuestas es el de 7,50 pulgadas. Con este dato, el diámetro de la tubería principal de succión será de 8 pulgadas debido a los diámetros más comunes presentes en el mercado y a la vez podemos comprobar que cumpla con la condición de que la tubería de succión con mayor diámetro que la de descarga.

5.2.6 Pérdidas de Carga

5.2.6.1 Criterio para el cálculo de las pérdidas de carga

Debido a lo largo de la tubería matriz existen disminuciones de diámetro considerables. Aunado a esto se tiene una tubería que tiene pendiente positiva, es decir, ascendente en un primer tramo (desde la Estación de Bombeo hasta el Nodo 4) y de allí en adelante pendiente negativa en casi su totalidad, es decir descendente, desde el Nodo (4) hasta el nodo (29). Este segundo tramo presenta la particularidad de generar una gran carga al fluido debido a los valores de las pendientes y su gran extensión, por esta razón se tomó la decisión de realizar los cálculos correspondientes a las pérdidas de cargas en la descarga solo en el primer tramo desde los nodo (4) hasta la estación de bombeo debido a que representa el tramo más desfavorable. En cuanto a las pérdidas de succión se deben tomar en cuenta los diferentes accesorios presentes. Con esas pérdidas se podrá calcular el ADT para obtener la potencia de la bomba.

5.2.6.2 Pérdidas en La Succión

Se calcula el número de Reynolds con la ecuación (10)

$$\text{Re} = \frac{V^* D^* \rho}{\mu} = \frac{V^* D}{\nu}$$

$$\text{Re} = \frac{\left(1,0 \frac{m}{s}\right) \times (0,2 m)}{\left(1,12 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}\right)} = 1,66 \times 10^6 \text{ este resultado muestra que la succión}$$

de la bomba se encuentra en régimen turbulento.

5.2.6.2.1 Pérdidas primarias

Se estima una longitud en tubería de 5 metros Acero de 8 pulgadas (diámetro de 0,2 metros) y un coeficiente de rugosidad para el acero $C = 100$ adimensional, y utilizando la ecuación (26) modificada de Hazen- Williams tenemos:

$$S = \left[\frac{0,017 \frac{m^3}{s}}{0,85 * \left(\frac{\pi * (0,2m)^2}{4} \right) * 100 * \left(\frac{0,2m}{4} \right)^{0,63}} \right]^{1,852} = 0,002 \text{ m/m}$$

$$h_{fp} = S * L_t = 0,002 \text{ m/m} * 5 \text{ m} = 0,014 \text{ m}$$

5.2.6.2.2 Pérdidas menores (accesorios)

Se calcula según la ecuación (13)

$$h_{fm} = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

El coeficiente (K) fue extraído de la tabla A15 presentada en los anexos.

$$\text{Dos Codos (8'') } 90^\circ: \quad h_{fm} = 2 \frac{\left(0,90 * \left(1 \frac{m}{s} \right)^2 \right)}{\left(2 * \left(9,81 \frac{m}{s^2} \right) \right)} = 0,046 \text{ m}$$

$$h_f (\text{succión}) = h_{fp} + h_{fm} = 0,014 \text{ m} + 0,046 \text{ m}$$

$$\boxed{h_f (\text{succión}) = 0,06 \text{ m}}$$

5.2.6.3 Pérdidas en la Descarga (Nodo 1 al Nodo 4)

5.2.6.3.1 Tramo Nodo (1)-Nodo (2)

Corresponde a una tubería de 0,15 m de diámetro de acero ($C = 100$) de una longitud de 232 metros.

Se calcula la longitud equivalente correspondiente a cada accesorio (véase Anexo A1) quedando:

Dispositivo	Diametro (pulg)	Cantidad	Long equivalente [pies]	Long. Equivalente Total [m]
Tee combinada (reducida) con extremos bridados (6x2")	6	1	16	4,88
Codo 90° 3 cortes	6	5	15	22,86
Codo 45° 2 cortes	6	9	8	21,95
Total				49,68

Tabla N° 19 Pérdidas por accesorios Nodo (1-2)

Las pérdidas de cargas por fricción se determinan usando la ecuación (34) de longitud equivalente:

$$hf_{1-2} = (Lt + le) \cdot \frac{hf}{100}$$

Para la tubería de descarga de 6 pulgadas de Acero con un caudal de 17,10 l/s (271 GPM) utilizando la tabla del anexo A3, obtenemos las pérdidas por fricción.

$$hf = 0,56$$

Longitud de tubería es de 232 metros por lo cual:

$$hf_{1-2} = (232 + 49,68) \cdot \frac{0,56}{100} = 1,57 \text{ mts}$$

5.2.6.3.2 Tramo Nodo (2)-Nodo (4)

Corresponde a una tubería de 0,15 m de diámetro de PEAD (C =120) de una longitud de 232 metros.

Se calcula la longitud equivalente correspondiente a cada accesorio (véase Anexo A1) quedando:

Dispositivo	Diámetro (pulgadas)	Cantidad	Longitud equivalente [pies]	Longitud Equivalente Total [m]
Válvula compuerta, DN 6"(150 mm), ANSI clase 150 de vástago ascendente	6	1	3,5	1,07
Válvula Ventosa Combinada 2"	2	1	60	18,29
Tee combinada (reducida) con extremos bridados (6x2")	6	1	16	4,88
Válvula compuerta, DN 2"(50 mm), PN16 en hierro dúctil ASTM A-536 de vástago fijo	2	1	1,2	0,37
Total				24,60

Tabla N° 20 Pérdidas por accesorios Nodo (2-4)

Utilizando la ecuación (26) modificada de Hazen- Williams tenemos:

$$S = \left[\frac{0,017 \frac{m^3}{s}}{0,85 * \left(\frac{\pi * (0,15 m)^2}{4} \right) * 120 * \left(\frac{0,15 m}{4} \right)^{0,63}} \right]^{1,852} = 0,007 \text{ m/m}$$

$$hf = S * (Lt + Le) = 0,007 \text{ m/m} * (445m+24,60) = 3,28 \text{ m}$$

Sumando las pérdidas en estos dos tramos nos queda:

$$hft = 1,57 \text{ m} + 3,28 \text{ m}$$

hf (descarga) = 4,85 m

5.2.7 ADT

Aplicando Bernoulli, ecuación (11) se logra determinar la altura dinámica total desde el punto de succión hasta el nodo (4).

$$\frac{P_0}{\rho} + \frac{V_0^2}{2 \cdot g} + Z_0 - hf_{0-1} + ADT = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1$$

$$Z_0 = 1.603 \text{ msnm}$$

$$Z_1 = 1.618 \text{ msnm}$$

$$\frac{V_0^2}{2 \cdot g} = 0$$

$$\frac{V_1^2}{2 \cdot g} = 0,05 \text{ m}$$

$$\frac{P_0}{\rho} = 0 \text{ mca}$$

$$\frac{P_1}{\rho} = 40 \text{ mca}$$

$$hf_{0-4} = 4,91 \text{ m}$$

$$ADT = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 - Z_0 + hf_{0-1}$$

$$ADT = 40 \text{ mts} + 0,05 \text{ mts} + (1.618 - 1.603) \text{ m.s.n.m} + 4,91 \text{ mts} = 59,96 \text{ mts}$$

5.2.8 Capacidad del Grupo de Bombeo

Caudal a bombear = 17,11 l/s = 0,017 m³/s

(ADT)= 60 mts

Utilizando la ecuación (20) podemos obtener la potencia de la bomba:

$$PotBomba = \frac{\delta \cdot ADT \cdot Q}{76,04 \cdot \eta}$$

Donde:

δ = Peso específico del agua = $1000 \frac{Kg}{m^3}$

ADT = Altura dinámica total = 60 m

Q = Caudal de bombeo = 0,017 m³/s

η = Rendimiento de la bomba = 0,60

$$\boxed{PotBomba = 22,35 HP}$$

Y utilizando una fórmula aproximada que nos permite conocer la potencia que debe tener el motor para el funcionamiento de dicha bomba tenemos:

$$PotMotor = 1,15 \cdot PotBomba$$

$$\boxed{PotMotor = 25,70 HP}$$

Aproximando la potencia del motor a una potencia comercial nos queda un motor de 30 Hp

5.2.9 Selección de la Bomba

Las condiciones de operación del sistema establecen el requerimiento de una bomba que pueda vencer una altura de 60 mts para un caudal de 17,11 l/s

- Velocidad de giro: 1750/3500 rpm. (Presentes en el mercado)
- Altura de Descarga: 60 mts.
- Caudal de bombeo: 17,11 l/s
- Diámetro de succión: 8 pulgadas
- Diámetro de descarga: 6 pulgadas

5.2.10 NPSH

Para un caudal máximo de 0,034 m³/s, se tiene un NPSH.

El NPSH para el caudal máximo de bombeo por bomba de 0,034 m³/s y un nivel mínimo del tanque de 2 mts por debajo del eje de la bomba, se obtiene utilizando la ecuación (19):

$$NPSH_d = \frac{(P_{atm} - P_v) \cdot 2,31}{spgr} \pm H_s - h_{fs}$$

Datos:

h_{fs} : 0,06 mts = 0,1969 pies.

P_{atm} : 13,9 psi.

Pv: 0,7734 psi (para 20°C)

Hs: 2 mts = 6,56 pies.

Spgr: 0.9953

T: 34°C = 93,2°F.

Calculo de NPSHd

$$NPSHd = \frac{(13,9 - 0,7734) \text{ psi} \cdot 2,31}{0,9953} - (6,56 + 0,1969) \text{ pies}$$

$$NPSHd = 27,30 \text{ pies} = 8,32 \text{ mts}$$

$$NPSHd > NPSHr$$

En conclusión al elegir la bomba , debemos confirmar que su NPSHr < 8,32 metros para poder afirmar que la bomba no cavitará.

5.2.11 Golpe de Ariete

La ecuación (21) permite calcular el golpe de ariete, la cual se presenta a continuación:

$$P_1 = v \cdot 10.1 \cdot \sqrt{\frac{K \cdot e \cdot E}{e \cdot E + K \cdot D}}$$

El tipo de tubería seleccionada:

Schedule N° 40

Diámetro Nominal = 8" = 0,200 mts

Diámetro Interno = 0,2027 mts

Diámetro Externo = 0,2192 mts

Espesor de Pared = 0,0082 mts

$$P_1 = 0,6 \cdot 10,1 \cdot \frac{2,23 \cdot 10^8 \cdot 0,0082 \cdot 2,1 \cdot 10^{10}}{0,0082 \cdot 2,1 \cdot 10^{10} + 2,23 \cdot 10^8 \cdot 0,2192} = \text{Kg/m}^2 = 79,86 \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_1 = 79,86 \times 10^3 \text{ Kg/m}^2 = 80 \text{ mca} = 114 \text{ Psi.}$$

$$\text{Presión máxima} = P \text{ estática} + P_1 = 79 + 279,980 = 358,98 \text{ mca} = 520,521 \text{ Psi.}$$

Para una tubería de 8" de diámetro y con un espesor de pared de 8,2 mm Norma ASTM A 53 Grado B, puede soportar una presión máxima de 2040 psi

5.2.12 Diámetro de ramales

En el transcurso de la red de abastecimiento se observan concentraciones de población, lo que genera una demanda específica, por lo cual se calcula el diámetro de la tubería necesario para abastecerlas bajo la normativa vigente. Con este diámetro necesario se estima el diámetro de la tubería presente en el mercado y utilizado por la Gerencia de Hidrocapital:

Ubicación	Pob. 2029	Q Proy	Q por tubería (m ³ /s)	Diámetro necesario (m)	Diámetro necesario (pulg.)	Diámetro mercado (pulg.)
Planta de Tratamiento	0	0				N.A.
Estación de Bombeo	0	0	0,00	0,00	0,00	N.A.
Entrada a la P/T	45	0,13	0,00	0,00	0,00	0
Ventosa	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Matapalo	53	0,15	0,00	0,01	0,45	2
Parada	187	1,05	0,00	0,03	1,18	2
Pozo Rosas	134	0,39	0,00	0,02	0,71	2
Bar-Restaurante	285	0,86	0,00	0,03	1,06	2
Rompe Carga N° 2	202	0,58	0,00	0,02	0,88	2
Poste N° 18360080	134	0,39	0,00	0,02	0,71	2
Poste N° 18360391	59	0,17	0,00	0,01	0,48	2
Rompe Carga N° 3	205	0,59	0,00	0,02	0,88	2
Sector La Florida	131	0,38	0,00	0,02	0,71	2
Y	238	0,69	0,00	0,02	0,95	2
Torretera 1	24	0,07	0,00	0,01	0,30	2
Torretera 2	12	0,15	0,00	0,01	0,44	2
Florencia I	380	1,10	0,00	0,03	1,20	2
El Cipres (Flor. II y III)	1153	3,34	0,00	0,05	2,10	3
Rompe Carga Eliminada	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Las Guamas	294	0,85	0,00	0,03	1,06	2
Curva Fuerte	71	0,21	0,00	0,01	0,52	2
Rompe Carga N° 4	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Villa Trinidad	1156	3,35	0,00	0,05	2,10	3
Antena	36	0,10	0,00	0,01	0,37	2
Los Pinos III	178	0,52	0,00	0,02	0,82	2
Los Pinos II	53	0,15	0,00	0,01	0,45	2
Los Pinos I	178	0,52	0,00	0,02	0,82	2
San Pedro	473	1,37	0,00	0,03	1,34	2

Tabla N° 21 Diámetro en ramales

5.2.13 Selección de Válvulas reguladoras de presión

Debido al perfil topográfico del sector, se hace necesario el uso de válvulas reguladoras de presión a lo largo de la red de abastecimiento debido a las altas presiones alcanzadas por el fluido, por lo cual se calculan las presiones en cada nodo en el caso extremo que representa la demanda horaria mínima:

Demanda Horaria mínima 40% (1 am)

La tubería utilizada a lo largo de la red de abastecimiento (excepto del nodo (0) al nodo(2)) son de material PEAD Norma 5 (150 PSI) que puede soportar una presión máxima de 105 mca sin afectarse.

Primera evaluación: Sin válvula reguladora de presión

Nodo	Demanda (l/s)	Grado Hidráulico (m)	Presión (mca)
2	0,05	1.645	29
4	0	1.645	27
5	0,06	1.645	30
6	0,42	1.645	50
7	0,16	1.640	75
8	0,26	1.640	84
9	0,18	1.638	114
10	0,16	1.637	186
11	0,05	1.636	186
12	0,24	1.635	208
13	0,11	1.635	211
14	0,21	1.634	234
16	0,02	1.634	236
17	0,06	1.633	249
18	0,33	1.633	253
19	1	1.632	264
21	0,34	1.632	289
22	0,06	1.632	299
23	0	1.632	305
24	1,34	1.632	321
25	0,03	1.632	334
26	0,21	1.632	357
27	0,06	1.632	358
28	0,21	1.632	380
29	0,55	1.632	397

Tabla N° 22 Presión sin VRP

Se puede observar que luego del nodo (7) las presiones alcanzan una presión mayor a la recomendada para las viviendas (entre 20 y 70 mca. Por lo que se puede aplicar una VRP antes del nodo (7).

Segunda evaluación: 1 válvula reguladora de presión “entre nodo (6) y nodo (7)”

Nodo	Demanda (l/s)	Grado Hidráulico (m)	Presión (mca)
2	0,05	1645	29
4	0	1645	27
5	0,06	1645	30
6	0,42	1645	50
7	0,16	1608	43
8	0,26	1607	51
9	0,18	1606	81
10	0,16	1605	153
11	0,05	1603	154
12	0,24	1602	176
13	0,11	1602	179
14	0,21	1602	201
16	0,02	1601	204
17	0,06	1601	217
18	0,33	1600	221
19	1	1600	232
21	0,34	1600	257
22	0,06	1600	267
23	0	1599	273
24	1,34	1599	289
25	0,03	1599	302
26	0,21	1599	324
27	0,06	1599	325
28	0,21	1599	347
29	0,55	1599	364

Tabla N° 23 Presión con una VRP instalada

Se puede observar que con la VRP activa entre los nodos (6) y (7) las presiones alcanzan una presión mayor a la recomendada a partir del nodo (9) por lo que se puede aplicar una VRP cercana a este nodo.

Tercera evaluación: 1 válvula reguladora de presión “entre nodo (6) y nodo (7)”
1 válvula reguladora de presión “cercana al nodo (9)”

Nodo	Demanda (l/s)	Grado Hidráulico (m)	Presión (mca)
2	0,05	1645	29
4	0	1645	27
5	0,06	1645	30
6	0,42	1645	50
7	0,16	1608	43
8	0,26	1607	51
9	0,18	1606	81
10	0,16	1539	88
11	0,05	1538	89
12	0,24	1537	111
13	0,11	1537	114
14	0,21	1537	136
16	0,02	1536	139
17	0,06	1536	151
18	0,33	1535	156
19	1	1535	166
21	0,34	1534	192
22	0,06	1534	202
23	0	1534	208
24	1,34	1534	223
25	0,03	1534	236
26	0,21	1534	259
27	0,06	1534	260
28	0,21	1534	282
29	0,55	1534	299

Tabla N° 24 Presión con dos VRP instalada

Se puede observar que con la VRP activa entre los nodos (6) y (7) y otra cercana al nodo (9) las presiones alcanzan una presión mayor a la recomendada a partir del nodo (11) por lo que se puede aplicar una VRP cercana a este nodo.

- Cuarta evaluación:** 1 válvula reguladora de presión “entre nodo (6) y nodo (7)”
 1 válvula reguladora de presión “cercana al nodo (9)”
 1 válvula reguladora de presión “cercana al nodo (11)”

Nodo	Demanda (l/s)	Grado Hidráulico (m)	Presión (mca)
2	0,05	1645	29
4	0	1645	27
5	0,06	1645	30
6	0,42	1645	50
7	0,16	1608	43
8	0,26	1607	51
9	0,18	1606	81
10	0,16	1539	88
11	0,05	1538	89
12	0,24	1471	45
13	0,11	1471	48
14	0,21	1470	70
16	0,02	1470	73
17	0,06	1469	85
18	0,33	1469	90
19	1	1468	100
21	0,34	1468	126
22	0,06	1468	136
23	0	1468	141
24	1,34	1468	157
25	0,03	1468	170
26	0,21	1468	193
27	0,06	1468	194
28	0,21	1468	216
29	0,55	1468	233

Tabla N° 25 Presión con tres VRP instalada

Se puede observar que con las VRP activa nombradas anteriormente, las presiones alcanzan una presión mayor a la recomendada a partir del nodo (17) por lo que se puede aplicar una VRP cercana a este nodo.

- Quinta evaluación:** 1 válvula reguladora de presión “entre nodo (6) y nodo (7)”
 1 válvula reguladora de presión “cercana al nodo (9)”
 1 válvula reguladora de presión “cercana al nodo (11)”
 1 válvula reguladora de presión “cercana al nodo (17)”

Nodo	Demanda (l/s)	Grado Hidráulico (m)	Presión (mca)
2	0,05	1645	29
4	0	1645	27
5	0,06	1645	30
6	0,42	1645	50
7	0,16	1608	43
8	0,26	1607	51
9	0,18	1606	81
10	0,16	1539	88
11	0,05	1538	89
12	0,24	1471	45
13	0,11	1471	48
14	0,21	1470	70
16	0,02	1470	73
17	0,06	1469	85
18	0,33	1411	32
19	1	1410	42
21	0,34	1410	68
22	0,06	1410	78
23	0	1410	83
24	1,34	1410	99
25	0,03	1410	112
26	0,21	1409	135
27	0,06	1409	136
28	0,21	1409	158
29	0,55	1409	175

Tabla N° 26 Presión con cuatro VRP instalada

Se puede observar que con las VRP activa nombradas anteriormente, las presiones alcanzan una presión mayor a la recomendada a partir del nodo (23) pero actualmente ya existe una VRP en el nodo (20) por lo que asume la incorporación de dicha VRP.

- Sexta evaluación:**
- 1 válvula reguladora de presión “entre nodo (6) y nodo (7)”
 - 1 válvula reguladora de presión “cercana al nodo (9)”
 - 1 válvula reguladora de presión “cercana al nodo (11)”
 - 1 válvula reguladora de presión “cercana al nodo (17)”
 - 1 válvula reguladora de presión “en el nodo (20)”

Nodo	Demanda (l/s)	Grado Hidráulico (m)	Presión (mca.)
2	0,05	1645	29
4	0	1645	27
5	0,06	1645	30
6	0,42	1645	50
7	0,16	1608	43
8	0,26	1607	51
9	0,18	1606	81
10	0,16	1539	88
11	0,05	1538	89
12	0,24	1471	45
13	0,11	1471	48
14	0,21	1470	70
16	0,02	1470	73
17	0,06	1469	85
18	0,33	1411	32
19	1	1410	42
21	0,34	1396	54
22	0,06	1396	64
23	0	1395	69
24	1,34	1395	85
25	0,03	1395	98
26	0,21	1395	121
27	0,06	1395	122
28	0,21	1395	144
29	0,55	1395	161

Tabla N° 27 Presión con cinco VRP instalada

Se puede observar que con las cinco VRP activas nombradas anteriormente, las presiones alcanzan una presión mayor a la recomendada a partir del nodo (25) por lo que se puede aplicar una VRP cercana al nodo (25).

Séptima evaluación: 1 válvula reguladora de presión “entre nodo (6) y nodo (7)”

1 válvula reguladora de presión “cercana al nodo (9)”

1 válvula reguladora de presión “cercana al nodo (11)”

1 válvula reguladora de presión “cercana al nodo (17)”

1 válvula reguladora de presión “en el nodo (20)”

1 válvula reguladora de presión “cercana al nodo (25)”

Nodo	Demanda (l/s)	Grado Hidráulico (m)	Presión (mca)
2	0,05	1645	29
4	0	1645	27
5	0,06	1645	30
6	0,42	1645	50
7	0,16	1608	43
8	0,26	1607	51
9	0,18	1606	81
10	0,16	1539	88
11	0,05	1538	89
12	0,24	1471	45
13	0,11	1471	48
14	0,21	1470	70
16	0,02	1470	73
17	0,06	1469	85
18	0,33	1411	32
19	1	1410	42
21	0,34	1396	54
22	0,06	1396	64
23	0	1395	69
24	1,34	1395	85
25	0,03	1395	98
26	0,21	1317	43
27	0,06	1317	44
28	0,21	1317	66
29	0,55	1317	83

Tabla N° 28 Presión con seis VRP instalada

Se puede observar que con las seis VRP activas nombradas anteriormente, las presiones se mantienen dentro de rango permitido por el material de la tubería (105 mca)

Características de las VRP:

VRP	Elevación (msnm)	Diámetro (pulgadas)	Descarga (l/s)	Presión recibida (mca)	Presión entregada (mca)	Pérdida (m)	Velocidad (m/s)
1	1.580	6	5,56	30	62	32	0,3
2	1.520	6	4,97	20	85	65	0,27
3	1.436	6	4,76	35	101	66	0,26
4	1.381	6	4,13	30	88	58	0,23
5	1.366	6	2,80	30	44	14	0,15
6	1.287	6	1,02	30	108	78	0,06

Tabla N° 29 Presión de funcionamiento de las VRP

Con este cuadro podemos comparar las presiones recibidas por cada VRP y las entregadas por las mismas, así como la pérdida de presión en la válvula que nos permite confirmar la No cavitación de las válvulas según el anexo A14. También se puede observar las velocidades del flujo al salir de cada válvula. La ubicación de cada VRP se encuentra de forma detallada en el *Anexo C1*.

CAPITULO VI: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 POBLACIÓN BENEFICIADA Y DEMANDA DEL SISTEMA DE BOMBEO

Para el año 2.009 3824 personas 11,67 litros por segundos

Para el año 2.029 5682 personas 17,11 litros por segundos

Índice de crecimiento Poblacional $R = 0,02$

La diferencia estimada en 20 años desde el año actual representa un aumento de la población del 49% esto indica que en 20 años la población crecerá la mitad. Observando estos datos se puede inferir que dichos cálculos quedarán sobreestimados debido a que el sector está caracterizado en su mayoría por tener grandes terrenos dedicados a la agricultura y la siembra, y dichas viviendas dedicadas a tales labores son habitadas por un máximo de 4 personas. Por otro lado también existe el riesgo de pérdidas de volúmenes considerables del fluido (agua potable) debido a su mal uso en los sembradíos. La demanda para el año 2.029 fue proyectada sólo en base al crecimiento poblacional y las infraestructuras especiales ya presentes en el lugar, excluyendo la construcción de nuevos tipos de infraestructuras como son colegios, restaurantes, bares, locales comerciales, etc, debido a que se puede considerar parte del sector como zona rural.

6.2 ESTACIÓN DE BOMBEO ACTUAL

Comparando el comportamiento del grupo de bombas que existe actualmente con las características del sistema tenemos:

Para una eficiencia máxima

Sistema

de la bomba (70 %) "Caso Ideal"

Caudal aportado: 11,11 l/s

Demanda Actual: 11,67 l/s

ADT: 63 metros

ADT estimado: 60 metros

Por lo que el grupo de bombeo no satisface en determinadas horas la demanda de la población debido a que dependiendo de la variación horaria esta varía hasta llegar a un 200% de la demanda en horas críticas como son las 6 am y 7 am. Por consiguiente actualmente se viene aplicando la sectorización del servicio que se basa en las maniobras de diferentes válvulas para concentrar el caudal aportado en una zona en específico y mantenerlo por una cantidad de horas específicas hasta saturar dicho sub-sector.

6.3 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DISEÑADO

La configuración de la estación de bombeo se presenta en el anexo C2

6.3.1 Bombas

El diseño se basa en dos bombas centrífugas en paralelo para trabajar alternadas con las siguientes características:

§ Caudal a bombear promedio = 17,11 l/s = 272 GPM = 62 m³/h

§ Caudal máximo a bombear = 34,22 l/s = 543 GPM = 123 m³/h

§ Caudal mínimo a bombear = 6,844 l/s = 108 GPM = 25 m³/h

- § Rendimiento promedio de la Bomba = 65%
- § ADT = 60 metros
- § Potencia de las Bombas = 22,35 Hp c/u
- § Diámetro de succión = 8 pulgadas
- § Diámetro de descarga = 6 pulgadas
- § NPSH disponible = 8,32 metros por lo cual el NPSH requerido < 8,32

6.3.2 Motores

La Potencia de cada motor para satisfacer el diseño debe ser igual o mayor a 25,70 Hp por lo que plantea un motor de 30 HP que son los encontrados en el mercado.

6.3.3 Accesorios

- § 5 metros de tubería de acero Schedule 40 diámetro interno = 0,2027 metros, diámetro externo = 0,2192 metros y espesor de pared = 0,0082 metros para la succión de la bomba que será un sistema succión negativa.
- § 232 metros de tubería de acero Schedule 40 diámetro interno = 0,1417 metros diámetro externo = 0,1541 metros y espesor de pared = 0,0062 metros. Esta tubería se seleccionó de acero debido a que esta representa los primeros metros de descarga de la bomba por lo que se necesitan características de resistencia considerable.
- § Válvula de compuerta de 6 pulgadas (150mm) de diámetro nominal ANSI clase 150 de vástago ascendente para realizar los cierres y aperturas necesarios para el mantenimiento correctivo y preventivos de los componentes de la estación de bombeo
- § Válvula de retención (check) de 6 pulgadas (150 mm) de diámetro nominal para evitar retorno del fluido en caso de fallos eléctricos.

- § Válvula Ventosa combinada de 2 pulgadas (50 mm) de diámetro nominal para evitar la acumulación de burbujas que produzcan implosión dentro de la tubería, o rodete de las bombas y traigan como consecuencia el efecto de cavitación
- § Tee combinada (reducida) con extremos bridados (6x2 pulgadas) para la conexión de la válvula ventosa.
- § Tres Bridas de acero ANSI 150 6 pulgadas con cuello para soldar para uniones necesarias.
- § Válvula compuerta, DN 2 pulgadas(50 mm), PN16 en hierro dúctil ASTM A-536 de vástago fijo para mantenimiento preventivo y correctivo de la válvula ventosa.
- § 16 unidades de pernos y tuercas en Acero 1020 galvanizados ISO PN16. M20 x 65mm (para DN 6 pulgadas) para uniones varias.
- § 8 unidades de Pernos y tuerca en Acero 1020 galvanizados ISO PN16. M16 x 60mm (para DN 2 pulgadas) para uniones varias.
- § Volante de operaciones.
- § Ocho codos de 90° 3 cortes para el recorrido de la tubería de 232 metros de acero.
- § Once codos 45° 2 cortes para el recorrido de la tubería de acero de 232 metros de acero.
- § Dos unidades de empacaduras plana para uniones de extremos bridados de espesor 3 mm DN 50 mm para evitar fugas y ajustar los extremos bridados.
- § Panel de control para Grupo de Bombas en paralelo con características especificadas en el punto 6.3.1. para poder realizar el seguimiento del funcionamiento de la estación de bombeo.

6.4 RED DE ABASTECIMIENTO

6.4.1 Tuberías

- § 1.227 metros Tubería de diámetro nominal 6 pulgadas (150 mm) PEAD Norma 5 (150 PSI) para transportar el fluido en una segunda etapa que comprende del nodo (2) al nodo (6).
- § 2.579 metros Tubería de diámetro nominal 4 pulgadas (100 mm) PEAD Norma 5 (150 PSI) para transportar el fluido en una tercera etapa que comprende del nodo (6) al nodo (14).
- § 1.458 metros Tubería de diámetro nominal 3 pulgadas (75 mm) PEAD Norma 5 (150 PSI).) para transportar el fluido en una tercera etapa que comprende del nodo (14) al nodo (24).
- § 612 metros Tubería de diámetro nominal 2 pulgadas (100 mm) PEAD Norma 5 (150 PSI) para transportar el fluido en una tercera etapa que comprende del nodo (24) al nodo (29).

Si observamos las tuberías por etapas podemos observar que estas van disminuyendo de diámetro, esto se debe a la persecución de mantener las condiciones ideales del sistema en cuanto a las velocidades (Por Norma deben oscilar entre 0,5 y 3 m/s)

6.4.2 Conexiones

- § 103 Juntas rápida de 6 pulgadas (150 mm) de diámetro nominal ya que este tipo de tubería se presenta en tubos de 12 metros en el mercado
- § Juntas rápida de 4 pulgadas (100 mm) de diámetro nominal ya que este tipo de tubería se presentan en rollos de 100 metros en el mercado
- § Juntas rápida de 3 pulgadas (75 mm) de diámetro nominal ya que este tipo de tubería se presentan en rollos de 100 metros en el mercado.
- § 7 Juntas rápida de 2 pulgadas (50 mm) de diámetro nominal ya que este tipo de tubería se presentan en rollos de 100 metros en el mercado.

6.4.3 Ramales

- § 1 Tee combinada (reducida) con extremos bridados para el nodo (2) donde se une la tubería de acero 6 pulgadas con la tubería de PEAD 6 pulgadas.
- § 2 Faja Toma de 6x2” pulgadas (150 mm) para Nodos (5) y (6).
- § 6 Faja Toma de 4x2” pulgadas (100 mm) para Nodos (7) (8) (10) (11) (13) (14).
- § 5 Faja Toma de 3x2” pulgadas (75 mm) para Nodos (15) (17) (18) (21) (22).
- § 2 Faja Toma de 3” pulgadas (100 mm) para Nodos (19) (24).
- § 5 Faja Toma de 2” pulgadas (100 mm) para Nodos (25) (26) (27) (28) (29).

6.4.4 Accesorios

6.4.4.1 Válvulas reguladoras de Presión

- § 1 Válvula reguladora de Presión de 6 pulgadas (150 mm) de diámetro nominal.
- § 2 Válvulas reguladoras de Presión de 4 pulgadas (100 mm) de diámetro nominal.
- § 2 Válvulas reguladoras de Presión de 3 pulgadas (75 mm) de diámetro nominal.
- § 1 Válvula reguladora de Presión de 2 pulgadas (50 mm) de diámetro nominal.

Estas válvulas reguladoras de presión se hacen necesarias debido al perfil que recorre la tubería en diseño, mostrando unas pendientes en descenso muy pronunciadas que traen como consecuencia una ganancia de energía en el fluido

gracias al efecto de la gravedad, superando las presiones máximas soportadas por las tuberías.

6.4.4.2 Válvulas Ventosas

§ 7 Válvulas ventosas combinadas de 2 pulgadas (50 mm) de diámetro nominal.

Estas válvulas se incorporan al diseño debido a las longitudes extensas recorridas por la tubería y la cantidad de ramales, lo que facilita la formación de burbujas que afectan el correcto funcionamiento del sistema.

6.4.4.3 Válvulas de Compuerta

§ 2 Válvulas de compuerta de 6 pulgadas (150 mm) de diámetro nominal de vástago ascendente

§ 2 Válvulas de compuerta de 4 pulgadas (100 mm) de diámetro nominal de vástago ascendente.

§ 2 Válvulas de compuerta de 3 pulgadas (75 mm) de diámetro nominal de vástago ascendente.

§ 1 Válvulas de compuerta de 2 pulgadas (50 mm) de diámetro nominal de vástago ascendente.

Dichas válvulas se incorporan con la finalidad de:

- Ø Facilitar las maniobras en el sector.
- Ø Facilitar la sectorización en los momentos de racionamientos.
- Ø Facilitar los mantenimientos preventivos y correctivos a los diversos accesorios a lo largo de la red.

6.4.4.4 Reducciones

§ 1 Reducción 6x4 pulgadas (160x110 mm) PEAD

§ 1 Reducción 4x3 pulgadas (110x75 mm) PEAD

§ 1 Reducción 3x2 pulgadas (75x50 mm) PEAD

6.4.4.5 Bridas

- § 4 Bridas de acero con cuello para soldar de 6 pulgadas (150 mm) de diámetro nominal.
- § 6 Bridas de acero con cuello para soldar de 4 pulgadas (100 mm) de diámetro nominal.
- § 4 Bridas de acero con cuello para soldar de 3 pulgadas (75 mm) de diámetro nominal.
- § 2 Bridas de acero con cuello para soldar de 2 pulgadas (50 mm) de diámetro nominal.

El uso de bridas se hace necesario en este sistema debido a las presiones alcanzadas por el fluido a lo largo de su recorrido y a la vez por la concentración de energía que se puede lograr en las tuberías debido a los cierres bruscos de válvulas.

6.4.4.6 Varios

- § 48 Pernos y tuercas en Acero 1020 galvanizados PN16. (DN 6 pulgadas) debido a que las bridas con estas dimensiones presentan 12 agujeros cada una.
- § 48 Pernos y tuercas en Acero 1020 galvanizados PN16. (DN 4 pulgadas) debido a que las bridas con estas dimensiones presentan 8 agujeros cada una.
- § 32 Pernos y tuercas en Acero 1020 galvanizados PN16. (DN 3 pulgadas) debido a que las bridas con estas dimensiones presentan 8 agujeros cada una.
- § 8 Pernos y tuercas en Acero 1020 galvanizados PN16. (DN 4 pulgadas) debido a que las bridas con estas dimensiones presentan 4 agujeros cada una.
- § 2 Empacaduras planas para uniones de extremos bridados de espesor 3 mm DN 150 mm.

- § 3 Empacaduras plana para uniones de extremos bridados de espesor 3 mm DN 100 mm.
- § 2 Empacaduras planas para uniones de extremos bridados de espesor 3 mm DN 750 mm.
- § 1 Empacaduras plana para uniones de extremos bridados de espesor 3 mm DN 50 mm.

6.5 ACTIVIDADES DE OBRA

Como añadido a todos los materiales necesarios para la construcción del diseño de abastecimiento, se deben realizar actividades de obra que permiten el correcto ubicado, funcionamiento y resguardo de tuberías, dispositivos y accesorios del sistema. Las principales actividades de obra para este diseño son:

ACTIVIDADES DE OBRA			
Actividad	Unidad	Cantidad	
Replanteo Auxiliar	Km	6	
Excavación y demolición con zanjadora.	M	6108	
Excavación de Zanjas en Tierra entre 0-3,5m.(a mano)	m ³	489	
Relleno compactado con tierra material de la excavación al 95% de compactación	m ³	983	
Relleno compactado con tierra material de préstamo al 95% de compactación	m ³	421	
Colocación de tubería de ACERO. Ø 6 pulgadas	m	232	
Encofrado de Tanquilla	m ²	0,58	
Concreto para tanquilla RC-210 Kg/cm ²	m ³	0,84	
Colocación de tubería de PEAD. Ø 6 pulgadas	m	1227	
Colocación de tubería de PEAD. Ø 4 pulgadas	m	2579	
Colocación de tubería de PEAD. Ø 3 pulgadas	m	1458	
Colocación de tubería de PEAD. Ø 2 pulgadas	m	612	
Pavimento concreto pre-mezclado Rcc=210Kg/cm ² (incluye transporte de cemento y agregados hasta 50 Km, excluye refuerzo refuerzo y encofrado)	m ³	305	
Reconstrucción de pavimento mezcla asfáltica caliente (Incluye suministro, transporte, colocación, imprimación o riego)	Ton	120	
Bote sin arreglo mayor de 20 Km. Incluye carga, transporte y descarga.	m ³	928	
Relleno con material de préstamo piedra picada	m ³	122	

Tabla N° 30 Actividades de Obra

CONCLUSIONES

GENERALES

- Ø La falta de información (data técnica, poblacional, estadística) con respecto a las zonas sub-urbanas en nuestro país, retrasa y dificulta el desarrollo de proyectos sociales que beneficien a la mayoría.

- Ø Para el estudio de un sistema de abastecimiento en un sector específico se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:
 - Tipo de zona.
 - Tipo de Población.
 - Calidad del fluido.
 - Estado actual de los sistemas de abastecimiento y de bombeo.
 - Perfil topográfico.
 - Comportamiento del consumo según hora del día.
 - Fallas frecuentes.
 - Maniobras y tipos mantenimientos realizados.

- Ø Para la selección de un equipo de bombeo para abastecer un sector específico se hace necesario conocer:
 - El caudal demandado por el sector.
 - La altura dinámica total.
 - Las presiones óptimas necesarias en diversos puntos de la red.
 - Los diámetros de las tuberías necesarios para manejar los caudales demandados.
 - El material de las tuberías para soportar las presiones óptimas en la red.

- Ø El equipo de bombeo seleccionado se ajusta a los requerimientos hidráulicos, mecánicos y eléctricos de acuerdo a los cálculos realizados en el diseño de la estación.
- Ø El uso del software para la simulación de sistemas de abastecimiento de agua potable nos permite confirmar la viabilidad de los proyectos ejecutados.

ESPECÍFICAS

- Ø Después de inspeccionar la zona en estudio, se determinó que actualmente se cuenta con una estación de bombeo, la cual opera a su capacidad máxima y es incapaz de dar servicio al Sector Pozo Rosas de forma continua, con respecto a las tuberías que dan servicio en la zona encontramos tuberías de 4 y 3 pulgadas de material PVC incapaces de soportar las presiones alcanzadas por el fluido al recorrer los diferentes tramos con inclinaciones considerables presentes en sector, aunado a las maniobras realizadas a las válvulas por parte del personal operativo de Hidrocapital que colaboran a la formación del golpe de ariete.
- Ø Se definió el caudal demandado por el Sector Pozo Rosas en unos 17,11 litros por segundos, mediante la estimación de población para el año 2029 según datos aportados por el INE. Y la dotación diaria por habitante establecida por Hidrocapital para la zona donde se encuentra la población de consumo, dicho caudal satisface ampliamente el requerido de la zona.
- Ø Se obtuvo la altura dinámica total de 60 mca con este resultado se garantiza el suministro de agua al sistema de distribución, en las condiciones de presión adecuada.

- Ø La propuesta realizada en este trabajo sugiere la instalación de dos grupos moto- bomba y la instalación de una tubería en el tramo principal de la red de distribución, que va desde 6 pulgadas de diámetro hasta 2 pulgadas.
- Ø En el diseño propuesto, se debe garantizar que las tuberías que parten desde el nodo (6) hasta el nodo (29) mantengan una presión menor a 150 PSI (104 mca) con las correctas maniobras de las válvulas reguladoras de presión para evitar las fallas en el sistema.
- Ø La Tubería que configura el diseño de la estación de bombeo y en un primer tramo será de Acero ya que es lo recomendable para evitar fallas por diferencia de presiones y manejo de caudales considerables.
- Ø Es indispensable la incorporación de manera correcta de válvulas de cierre para la interrupción del servicio a lo largo de las tuberías principales y ramales para evitar pérdidas de volúmenes importantes de fluidos en caso de fallas en el sistema y también para poder realizar sectorizaciones cuando la ocasión lo amerite.
- Ø El diseño de la nueva estación de bombeo para el Sector Pozo Rosas suministrará agua potable, con el caudal y la presión requerida para este tipo de sistema de distribución, garantizando dicho suministro hasta el 2.029 satisfaciendo la creciente demanda de agua para la población adyacente a dicha estación, aunado a esto la estación contará con todos los equipos necesarios para realizar su normal operación.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe mejorar y aumentar la data existente respecto a los sistemas de abastecimiento de agua y estimaciones de población de las zonas rurales, de tal manera que no sea un obstáculo en el desarrollo de proyectos sociales.
- ✓ Realizar un estudio estadístico de demanda de agua potable en el sector Pozo Rosas por medio de la colocación de un medidor de flujo en la succión o descarga de la estación de bombeo con la finalidad de conocer el patrón de consumo del sector para los posteriores estudios del sistema.
- ✓ Unir esfuerzos para trabajar en conjunto con el personal de instalación, mantenimiento y el fabricante de los equipos y accesorios, de manera que se cubran aspectos técnicos del montaje y su correcto mantenimiento preventivo y correctivo.
- ✓ Se debe considerar con más ahínco las alternativas de ahorro de energía en los proyectos de ingeniería debido a la importancia de este tema en la realidad energética del nuevo milenio.
- ✓ Realizar programadamente el mantenimiento preventivo y correctivo correspondiente a los equipos presentes en el sistema de abastecimiento como son: motores eléctricos, bombas centrífugas, válvulas ventosas y válvulas reguladoras de presión.

- ✓ Revisar periódicamente el correcto funcionamiento de los dispositivos instalados en las tanquillas del sistema para evitar fallas que generen interrupción del servicio en el sector.

- ✓ Realizar una campaña de conciencia a los habitantes del sector donde se les informe:
 - El debido uso del agua potable y las consecuencia del uso indebido como en la agricultura, lavado de autos, sustitución de la escoba por agua en las viviendas.
 - Lo costoso del procesamiento del agua cruda para la obtención del agua potable.
 - La importancia de mantener los dispositivos de las viviendas en buen estado para evitar fugas del líquido.

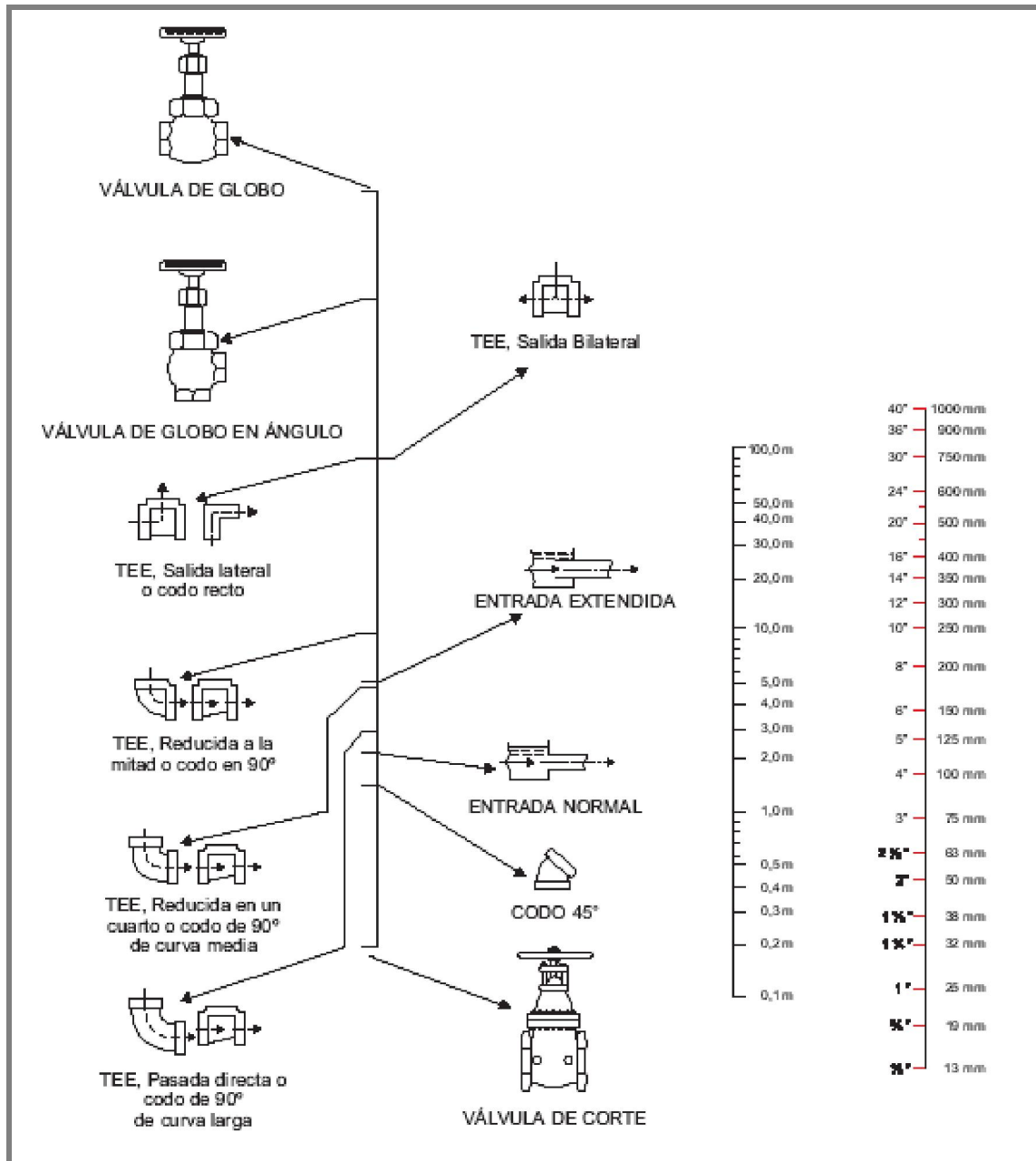
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ø Bávaro, G. (2005) *Bombas Centrífugas*. Caracas. 271 p.
- Ø Bolinaga, J. (1992) *Mecánica Elemental de los Fluidos*. Editorial Arte. Caracas. 804 p.
- Ø Crane, Co.(1989) *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías* McGraw-Hill. 215 p.
- Ø INOS. (1976). *Especificaciones de construcción de obras de acueductos y alcantarillados*.
- Ø Gaceta oficial de la República de Venezuela N° 4.044. (1988). *Normas sanitarias para proyecto, construcción, reparación, reforma y mantenimiento de edificaciones*. Caracas. Venezuela
- Ø Hidrocapital. (2007). *Manual de organización sistema panamericano, Caracas, Venezuela*
- Ø Hidrocapital. (2006). *Manual de organización sede corporativa*. Caracas, Venezuela
- Ø KSB. (2001). *Manual de entrenamiento*. Chile.
- Ø Matos Medina, C. (Diciembre 2000). *Estudio del Acueducto del Municipio Guaicaipuro Estado Miranda*.
- Ø Sabino, C. (1994) *Cómo Hacer una Tesis*. Editorial Panapo. 236p.
- Ø Saldarriaga, J. (1998). *Hidráulica de Tuberías*. McGraw-Hill Interamericana, S.A. Colombia
- Ø Streeter, V. *mecánica de Fluidos*. Mexico. McGraw-Hill Interamericana.
- Ø http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080004/contenido/Capitulo_4/Pages/caudales_continuacion1.htm [Consulta: 2009, julio 14]
- Ø <http://www.supermateriales.com.ve> [Consulta: 2009, agosto 25]

ANEXOS

ANEXOS A

Anexo A1. Largos equivalentes para las pérdidas de carga localizadas.



Anexo A2. Largos equivalentes para las pérdidas de carga localizadas.

Largos equivalentes para pérdidas de carga localizadas. (Expresado en metros de tubería recta)*

DIAMETRO D	Largos equivalentes para pérdidas de carga localizadas. (Expresado en metros de tubería recta)*																		
	CURVA LARGA CODO 90°	CURVA MEDIA CODO 90°	CURVA CORTA CODO 90°	CODO 45°	CURVA 90° R/D - 1/2	CURVA 90° R/D - 1	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA EXTENDIDA	VALVULA DE CORTE ABERTA	VALVULA DE GLOBO ABERTA	VALVULA DE GLOBO EN ANGULO ABERTA	TEE CON PASADRE DIRECTO	TEE CON SALIDA LATERAL	TEE CON SALIDA BILATERAL	VALVULA DE PIE Y FILTRO	SALIDA CANALIZACION	VALVULA DE RETENCION TIPO BOLA	VALVULA DE RETENCION TIPO CHAPALETA
mm																			
13	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	2,1	2,8	3,4	1,3	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9
125	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

Los valores indicados para válvulas de globo, también se aplican a grifos, válvulas de duchas y válvulas de descarga.

Anexo A3. Pérdidas por fricción para agua que circula a través de tuberías de acero al carbono. *Schedule* 40.

U.S. Gallons per Minute	2 in. (2.067" I.D.)			2½ in. (2.469" I.D.)			3 in. (3.068" I.D.)			3½ in. (3.548" I.D.)			U.S. Gallons per Minute
	V	$\frac{V^2}{2g}$	h_f	V	$\frac{V^2}{2g}$	h_f	V	$\frac{V^2}{2g}$	h_f	V	$\frac{V^2}{2g}$	h_f	
30	2.87	0.128	1.82	2.01	0.063	0.75							30
35	3.35	0.174	2.42	2.35	0.085	1.00							35
40	3.82	0.227	3.10	2.68	0.112	1.28							40
50	4.78	0.355	4.67	3.35	0.174	1.94	2.17	0.073	0.66				50
60	5.74	0.511	6.59	4.02	0.251	2.72	2.60	0.105	0.92	1.95	0.059	0.45	60
80	7.65	0.909	11.4	5.36	0.447	4.66	3.47	0.187	1.57	2.60	0.105	0.77	80
100	9.56	1.42	17.4	6.70	0.698	7.11	4.34	0.293	2.39	3.25	0.164	1.17	100
120	11.5	2.05	24.7	8.04	1.00	10.0	5.21	0.421	3.37	3.89	0.236	1.64	120
140	13.4	2.78	33.2	9.38	1.37	13.5	6.08	0.574	4.51	4.54	0.321	2.18	140
160	15.3	3.64	43.0	10.7	1.79	17.4	6.94	0.749	5.81	5.19	0.419	2.80	160
180	17.2	4.60	54.1	12.1	2.26	21.9	7.81	0.948	7.28	5.84	0.530	3.50	180
200	19.1	5.68	66.3	13.4	2.79	26.7	8.68	1.17	8.90	6.49	0.655	4.27	200
220	21.0	6.88	80.0	14.7	3.38	32.2	9.55	1.42	10.7	7.14	0.792	5.12	220
240	22.9	8.18	95.0	16.1	4.02	38.1	10.4	1.69	12.6	7.79	0.943	6.04	240
260	24.9	9.60	111	17.4	4.72	44.5	11.3	1.98	14.7	8.44	1.11	7.04	260
280	26.8	11.1	128	18.8	5.47	51.3	12.2	2.29	16.9	9.09	1.28	8.11	280
300	28.7	12.8	146	20.1	6.28	58.5	13.0	2.63	19.2	9.74	1.47	9.26	300
350				23.5	8.55	79.2	15.2	3.57	26.3	11.3	2.00	12.4	350
400				26.8	11.2	103	17.4	4.68	33.9	13.0	2.62	16.2	400
500				33.5	17.4	160	21.7	7.32	52.5	16.2	4.09	25.0	500
600							26.0	10.5	74.8	19.5	5.89	35.6	600
700							30.4	14.3	101	22.7	8.02	48.0	700
800							34.7	18.7	131	26.0	10.5	62.3	800
1000										32.5	16.44	96.4	1000

U.S. Gallons per Minute	4 in. (4.026" I.D.)			5 in. (5.047" I.D.)			6 in. (6.065" I.D.)			8 in. (7.981" I.D.)			U.S. Gallons per Minute
	V	$\frac{V^2}{2g}$	h_f	V	$\frac{V^2}{2g}$	h_f	V	$\frac{V^2}{2g}$	h_f	V	$\frac{V^2}{2g}$	h_f	
140	3.53	0.193	1.16	2.25	0.078	0.38							140
160	4.03	0.253	1.49	2.57	0.102	0.49							160
180	4.54	0.320	1.86	2.89	0.129	0.61							180
200	5.04	0.395	2.27	3.21	0.160	0.74	2.22	0.077	0.30				200
240	6.05	0.569	3.21	3.85	0.230	1.03	2.66	0.110	0.42				240
280	7.06	0.774	4.30	4.49	0.313	1.38	3.11	0.150	0.56				280
320	8.06	1.01	5.51	5.13	0.409	1.78	3.55	0.196	0.72				320
360	9.07	1.28	6.92	5.77	0.518	2.22	4.00	0.240	0.90				360
400	10.1	1.58	8.47	6.41	0.639	2.72	4.44	0.307	1.09	2.57	0.102	0.28	400
450	11.3	2.00	10.5	7.23	0.811	3.42	5.00	0.388	1.37	2.89	0.129	0.35	450
500	12.6	2.47	13.0	8.02	0.999	4.16	5.55	0.479	1.66	3.21	0.160	0.42	500
600	15.1	3.55	18.6	9.62	1.44	5.88	6.66	0.690	2.34	3.85	0.230	0.60	600
700	17.6	4.84	25.0	11.2	1.96	7.93	7.77	0.939	3.13	4.49	0.313	0.80	700
800	20.2	6.32	32.4	12.8	2.56	10.2	8.88	1.23	4.03	5.13	0.409	1.02	800
900	22.7	8.00	40.8	14.4	3.24	12.9	9.99	1.55	5.05	5.77	0.518	1.27	900
1000	25.2	9.87	50.2	16.0	4.00	15.8	11.1	1.92	6.17	6.41	0.639	1.56	1000
1200	30.2	14.2	72.0	19.2	5.76	22.5	13.3	2.76	8.76	7.70	0.920	2.20	1200
1400	35.3	19.3	97.6	22.5	7.83	30.4	15.5	3.76	11.8	8.98	1.25	2.95	1400
1600				25.7	10.2	39.5	17.8	4.91	15.4	10.3	1.64	3.82	1600
1800				28.8	12.9	49.7	20.0	6.21	19.4	11.5	2.07	4.79	1800
2000				32.1	16.0	61.0	22.2	7.67	23.8	12.8	2.56	5.86	2000
2400							26.6	11.0	34.2	15.4	3.68	8.31	2400
2800							31.1	15.0	46.1	18.0	5.01	11.2	2800
3200							35.5	19.6	59.9	20.5	6.55	14.5	3200
3600										23.1	8.28	18.4	3600
4000										25.7	10.2	22.6	4000

Anexo A4. Coeficiente de pérdidas K_L

DISPOSITIVO	L/D	DIAMETRO NOMINAL DE LA TUBERIA											
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	6	8-10	12-16
VALORES DE "K"													
VALVULAS DE COMPUERTA	8	0,22	0,2	0,18	0,18	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,12	0,11	0,10
VALVULAS DE GLOBO	340	9,2	8,5	7,8	7,5	7,1	6,5	6,1	6,1	5,8	5,1	4,8	4,4
VALVULAS DE BOLA	3	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
VALVULAS MARIPOSA													
VALVULAS DE RETENCION (CHECK) Tipo oscilante (swing)	100	2,7	2,5	2,3	2,2	2,1	1,9	1,8	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3
VALVULAS DE RETENCION (CHECK) Tipo operador ascendente (lift)	50	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	0,75	0,70	0,65
VALVULAS DE RETENCION (CHECK) Tipo operador descendente (lift)	600	16,2	15	13,8	13,2	12,6	11,4	10,8	10,8	10,2	9	8,4	7,8
VALVULAS DE RETENCION (CHECK) Tipo operador descendente (lift)	55	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1	1	0,94	0,83	0,77	0,72
VALVULAS DE RETENCION (CHECK) Tipo operador descendente (lift)	5 grad. 15 grad.							0,76	0,72	0,72	0,68	0,6	0,56
"T" ESTANDAR								2,3	2,2	2,2	2	1,8	1,2
Flujo directo	20	0,54	0,50	0,46	0,44	0,42	0,38	0,36	0,36	0,34	0,30	0,28	0,26
Flujo a través del brazo de intersección	60	1,62	1,50	1,38	1,32	1,26	1,14	1,08	1,08	1,02	0,90	0,84	0,78
CODO ESTANDAR: de 90 grad.	30	0,81	0,75	0,69	0,66	0,63	0,57	0,54	0,54	0,51	0,45	0,42	0,39
de 45 grad.	16	0,43	0,40	0,37	0,35	0,34	0,3	0,29	0,29	0,27	0,24	0,22	0,21
de radio largo, de 90 grad.	16	0,43	0,4	0,37	0,35	0,34	0,3	0,29	0,29	0,27	0,24	0,22	0,21

COEFICIENTE DE RESISTENCIA ("K") PARA ENTRADA Y SALIDA DEL FLUIDO EN TUBERIAS

ENTRADA DE LIQUIDO EN TUBERIAS :

ENTRADA EN TUBERIA PROYECTADA DENTRO DEL TANQUE K=0,78

ENTRADA EN TUBERIAS A RAS (nivelada):

- Filo agudo: K=0,50
- risa= 0,02 K=0,38
- risa= 0,04 K=0,34
- risa= 0,06 K=0,15
- risa= 0,10 K=0,09
- risa= 0,15 K=0,04

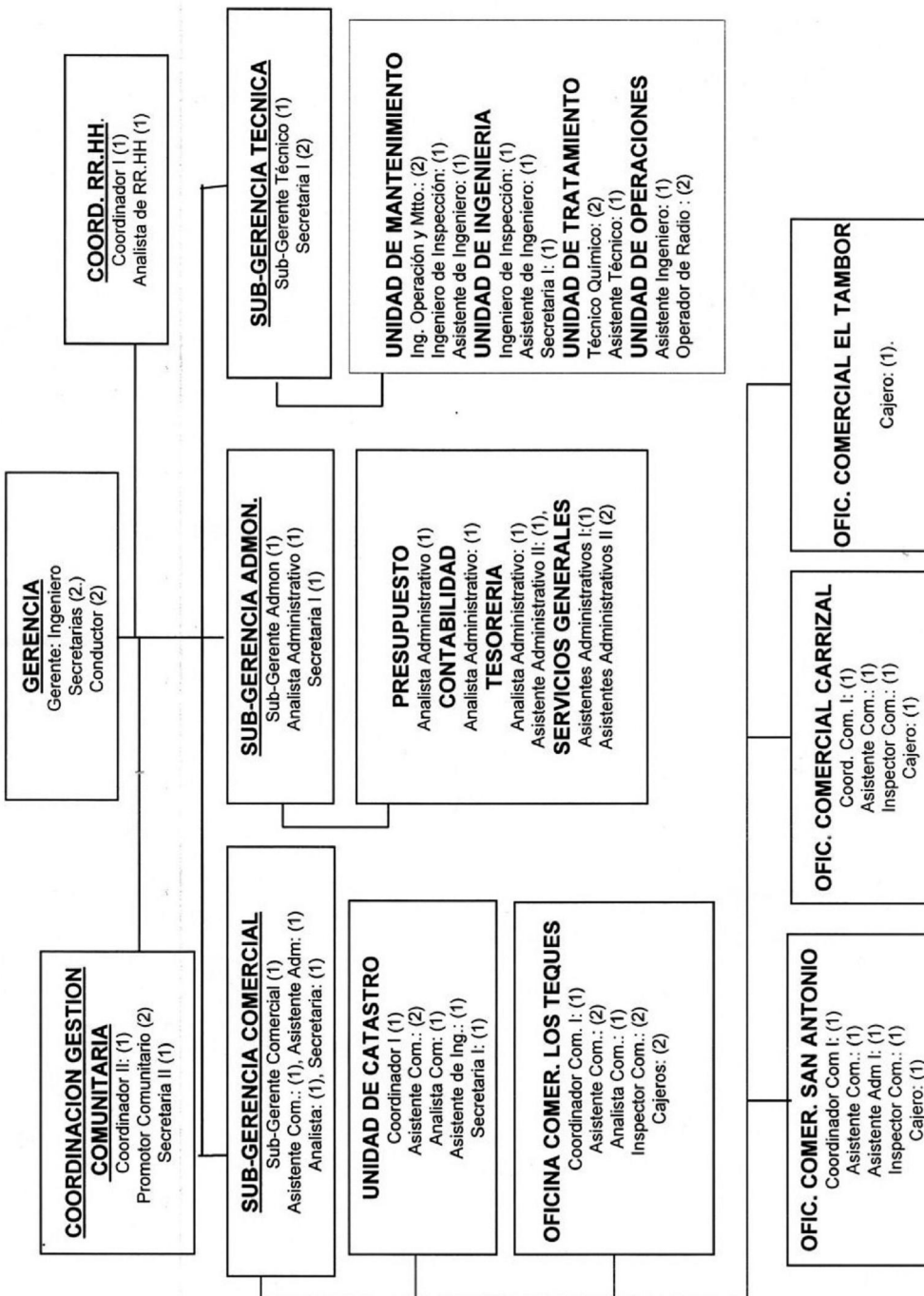
SALIDA DE LIQUIDO DE LA TUBERIA, BAJO EL NIVEL DE AGUAS (ej. HACIA UN TANQUE): K=1

Anexo A5. Módulo de Elasticidad de algunos Materiales


Anexo A6. Módulo de elasticidad volumétrico y densidad de líquidos comunes a la presión atmosférica.

Anexo A7. Organigrama Estructural de Hidrocapital

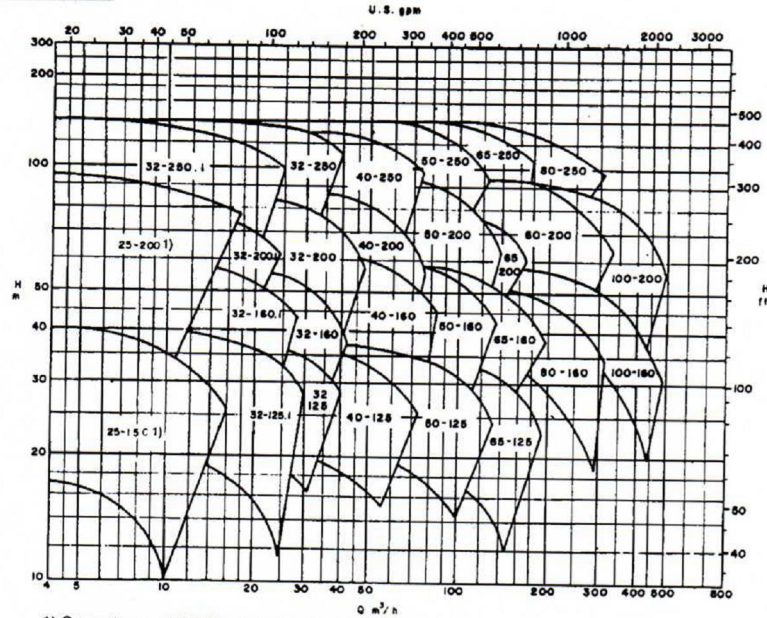
GERENCIA DE SISTEMA PANAMERICANO



Anexo A8. Manual para cálculo de Bombas (Marca KSB)

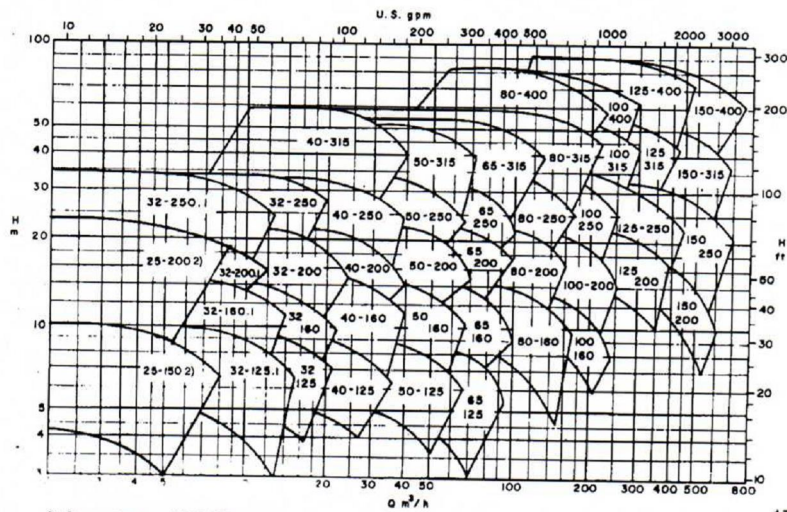
Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB MEGANORM KSB MEGABLOC KSB MEGACHEM	Campos de Aplicação Selection Charts Campo de Aplicación	60 Hz	KSB 
--	---	--	--------------	--

VOLTAR AO MENU



1) Somente para KSB Meganorm e Meganorm Bloc

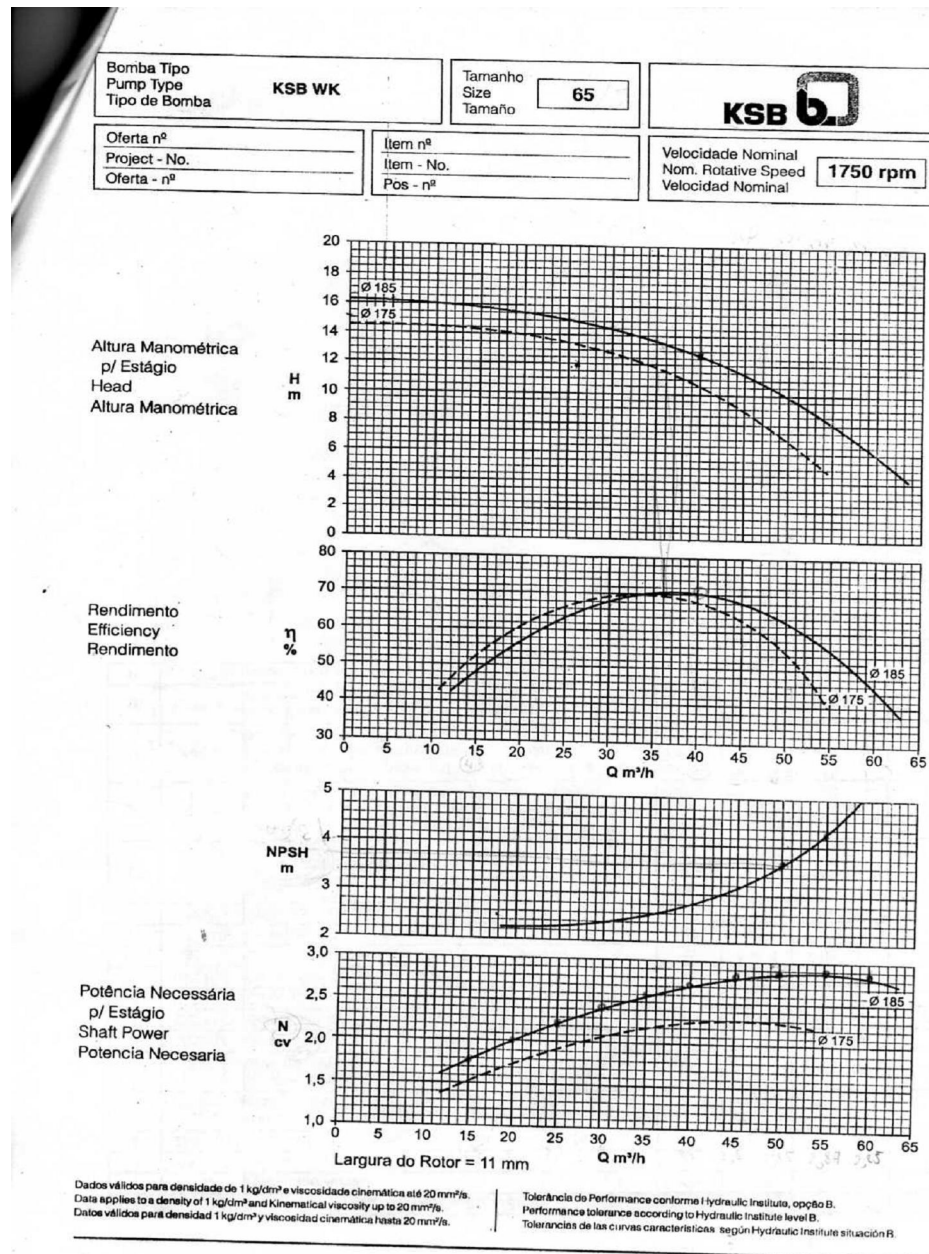
3500 rpm



2) Somente para KSB Meganorm.

1750 rpm

Anexo A9. Gráfica de comportamiento de Bomba Marca KSB Modelo WK/65



Anexo A10. Características de las Tuberías PEAD presentes en el mercado actualmente

Tuberías de Concreto. - Lista de Precios -

Página 1 de 1

LISTA DE PRECIOS DE TUBERIAS P.E.A.D.

Diámetro mm.	NORMA 3 40 mm		60 PSI	NORMA 4		90 PSI 60 mm	NORMA 5		150 PSI 100 mm
	Precio		Esp. (mm)	Precio		Esp. (mm)	Precio		Esp. (mm)
	Bs. ML	Bs. F.		Bs. ML	Bs. F.		Bs. ML	Bs. F.	
16	800,00	0.80	1.2	900,00	0.90	1.4	1.300,00	1.30	2.0
20	900,00	0.90	1.2	1.200,00	1.20	1.4	1.600,00	1.60	2.0
25	1.600,00	1.60	1.6	2.200,00	2.20	2.0	2.300,00	2.30	2.3
32	2.300,00	2.30	1.8	2.700,00	2.70	2.0	3.900,00	3.90	2.4
40	3.500,00	3.5	2.0	3.900,00	3.90	2.3	5.600,00	5.60	3.0
50	4.300,00	4.30	2.0	6.000,00	6.00	2.4	8.900,00	8.90	3.1
63	7.000,00	7.00	2.3	9.500,00	9.50	3.0	14.000,00	14.00	4.7
75	10.100,00	10.10	2.8	13.200,00	13.20	3.6	19.100,00	19.10	5.6
90	14.400,00	14.40	3.5	18.800,00	18.80	4.3	28.800,00	28.80	6.7
110	23.700,00	23.70	4.0	28.200,00	28.20	6.3	40.500,00	40.50	8.1
125	31.200,00	31.20	4.6	36.000,00	36.00	7.1	55.100,00	55.10	9.2
160	41.300,00	41.30	5.0	58.900,00	58.90	7.7	85.600,00	85.60	11.8
200	63.500,00	63.50	6.0	91.700,00	91.70	9.6	136.900,00	136.90	14.7
250	99.600,00	99.60	7.5	142.700,00	142.70	11.9	222.000,00	222.00	18.4
315	157.800,00	157.80	9.3	225.700,00	225.70	15.0	358.800,00	358.80	23.2
355	199.400,00	199.40	10.5	285.900,00	285.90	16.9	454.300,00	454.30	26.1
400	252.300,00	252.30	11.8	363.000,00	363.00	19.1	572.700,00	572.70	29.4

NOTA: Estos precios podrían ser modificados sin previo aviso.
Los precios no incluyen impuesto a las ventas, transporte ni servicio de equipo.

DESCUENTOS POR VOLUMEN.

Diámetro de 12mm a 110mm. Se presenta en Rollo de 100mts.
Diámetro de 110mm. NORMA 3 Se presenta en Rollo de 60mts.
Diámetro de 125mm. Se presenta en Rollo de 50mts.
Diámetro de 160mm a 400mm. Se presenta en Tubo de 12mts.

4
8
8
32

↓
b c c e e h

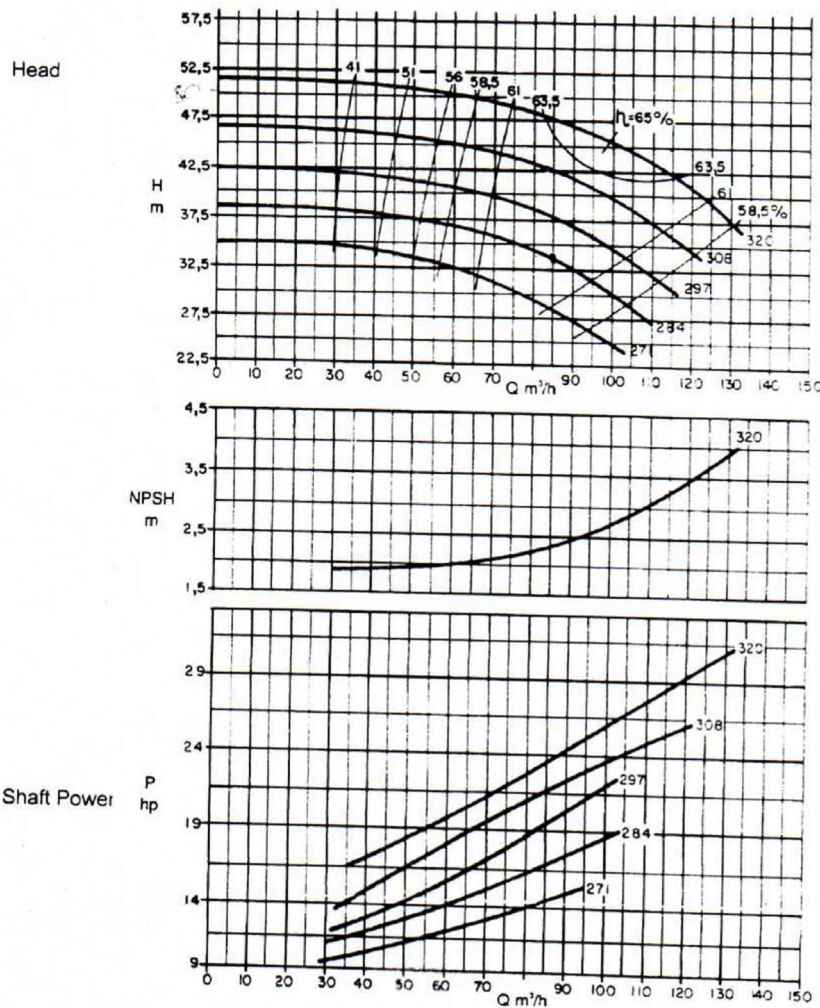
Anexo A11. Gráfica de comportamiento de Bomba Marca KSB Modelo 65-315
315



Pump Type	KSB MEGANORM KSB MEGANORM BLOC KSB MEGACHEM	Size	65-315
Project No.	Item No.		



1750 rpm



Anexo A12. Tabla con la gravedad específica del agua a diferentes temperaturas

Temp. °F	Temp. °C	GRAVEDAD ESPECIFICA 60 F Referenc	Wt. in Lb/Cu Ft	PRESION DE VAP Psi Abs	PRESION DE VAPOR Feet Abs. (At Temp.)
32	0	1.002	62.42	0.0885	0.204
40	4.4	1.001	62.42	0.1217	0.281
45	7.2	1.001	62.40	0.1475	0.340
50	10.0	1.001	62.38	0.1781	0.411
55	12.8	1.000	62.36	0.2141	0.494
60	15.6	1.000	62.34	0.2563	0.591
65	18.3	.999	62.31	0.3056	0.706
70	21.1	.999	62.27	0.3631	0.839
75	23.9	.998	62.24	0.4298	0.994
80	26.7	.998	62.19	0.5069	1.172
85	29.4	.997	62.16	0.5959	1.379
90	32.2	.996	62.11	0.6982	1.617
95	35.0	.995	62.06	0.8153	1.890
100	37.8	.994	62.00	0.9492	2.203
110	43.3	.992	61.84	1.275	2.965
120	48.9	.990	61.73	1.692	3.943
130	54.4	.987	61.54	2.223	5.196
140	60.0	.985	61.39	2.889	6.766
150	65.6	.982	61.20	3.718	8.735
160	71.1	.979	61.01	4.741	11.172
170	76.7	.975	60.79	5.992	14.178
180	82.2	.972	60.57	7.510	17.825
190	87.8	.968	60.35	9.339	22.257
200	93.3	.964	60.13	11.526	27.584
212	100.0	.959	59.81	14.696	35.353
220	104.4	.956	59.63	17.186	41.343
240	115.6	.948	59.10	24.97	60.77
260	126.7	.939	58.51	35.43	87.05
280	137.8	.929	58.00	49.20	122.18
300	148.9	.919	57.31	67.01	168.22
320	160.0	.909	56.66	89.66	227.55
340	171.1	.898	55.96	118.01	303.17
360	182.2	.886	55.22	153.04	398.49
380	193.3	.874	54.47	195.77	516.75
400	204.4	.860	53.65	247.31	663.42
420	215.6	.847	52.80	308.83	841.17
440	226.7	.833	51.92	381.59	1056.8
460	237.8	.818	51.02	466.9	1317.8
480	248.9	.802	50.00	566.1	1628.4
500	260.0	.786	49.02	680.8	1998.2
520	271.1	.766	47.85	812.4	2446.7
540	282.2	.747	46.51	962.5	2972.5
560	293.3	.727	45.3	1133.1	3595.7
580	304.4	.704	43.9	1325.8	4345.
600	315.6	.679	42.3	1542.9	5242.
620	326.7	.650	40.5	1786.6	6341.
640	337.8	.618	38.5	2059.7	7689.
660	348.9	.577	36.0	2365.4	9458.
680	360.0	.526	32.8	2708.1	11878.
700	371.1	.435	27.1	3093.7	16407.
705.4	374.1	.319	19.9	3206.2	23187.

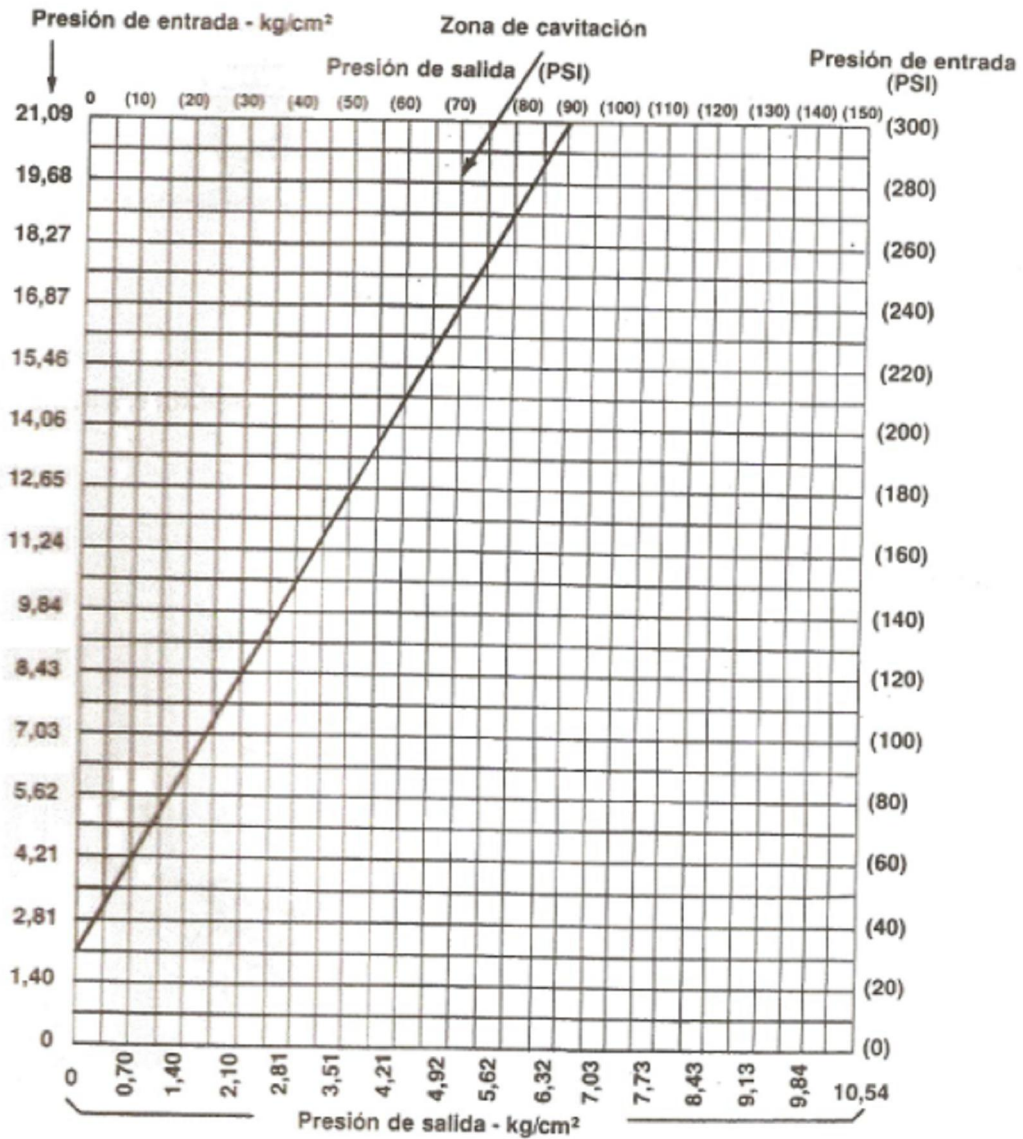
Anexo A13. Tabla con las temperaturas medias en diferentes ciudades en Venezuela

MISCELANEAS SOBRE VENEZUELA					
CLIMAS Y ALTITUDES					
Ciudades	Centígrados	Metros	Ciudades	Centígrados	Metros
Bailadores (Mérida)	18.5	1,744	Maturín (Monagas)	27	74
Barcelona (Anzoátegui)	27	13	Mérida (Mérida)	19	1,645
Barinas (Barinas)	27	180	Mesa Bolívar (Mérida)	12	1,427
Barquisimeto (Lara)	25	560	Mucuchies (Mérida)	11	2,938
Beconó (Trujillo)	19	1,250	Mucurubá (Mérida)	16.5	2,407
Caracas (D. F.)	22	920	Pueblo Llano (Mérida)	15.3	2,168
Ciudad Bolívar (Bolívar)	28	54	Puerta Ayacucho (Terr. Amazonas)	30	111
Colonia Tovar (Aragua)	16.7	1,796	San Antonio de los Altos (Miranda)	18	1,407
Coro (Falcón)	28	16	San Carlos (Cojedes)	27.5	150
Cumaná (Sucre)	28	17	San Cristóbal (Táchira)	22	825
Chachopo (Mérida)	16.5	2,601	San Diego (Miranda)	19	1,290
Chiguará (Mérida)	21.5	927	San Felipe (Yaracuy)	28	252
Ejido (Mérida)	22.5	1,170	San Fernando (Apure)	30	75
El Hatillo (Miranda)	21	1,160	San Juan de Lagunillas (Mérida)	22.5	1,059
El Junquito (D. F.)	16	1,930	San Juan de Los Morros (Guárico)	22.5	1,059
Escuque (Trujillo)	21	1,000	San Pedro de los Altos (Miranda)	19	1,217
Estanques (Mérida)	22	1,000	San Rafael de Mucuchies (Mérida)	9	3,140
Guanare (Portuguesa)	28	186	Santa Cruz de Mora (Mérida)	23	622
Jaji (Mérida)	18.8	1,781	Santo Domingo (Mérida)	16.3	2,178
La Asunción (Nueva Esparta)	28	108	Tabay (Mérida)	17.2	1,710
La Azulita (Mérida)	21	1,135	Timotés (Mérida)	16.5	2,025
La Grita (Táchira)	19.5	1,440	Tovar (Mérida)	-21.5	952
Lagunillas (Mérida)	22.5	1,709	Trujillo (Trujillo)	25	800
La Mesa (Mérida)	17.4	1,427	Tucupita (Terr. Delta Amacuro)	28	5
La Mesa de Esnujaque (Trujillo)	18	1,750	Valencia (Carabobo)	28	478
La Puerta (Trujillo)	18	1,750			
La Punta (Mérida)	19	1,290			
Las Piedras (Mérida)	17	1,736			
Los Teques (Miranda)	19.5	1,175			
Maracaibo (Zulia)	30	9			
Maracay (Aragua)	29	439			

Anexo A14. Tabla con las presiones máximas recomendadas para las V.R.P

GRAFICA DE CAVITACION

Esta gráfica se debe utilizar únicamente como un guía para seleccionar debidamente la caída de presión que se debe llevar a través de las válvulas CLA-VAL. Si la válvula se continúa utilizando dentro del área sombreada en la gráfica, podría causar deterioro extensivo al interior de la válvula.



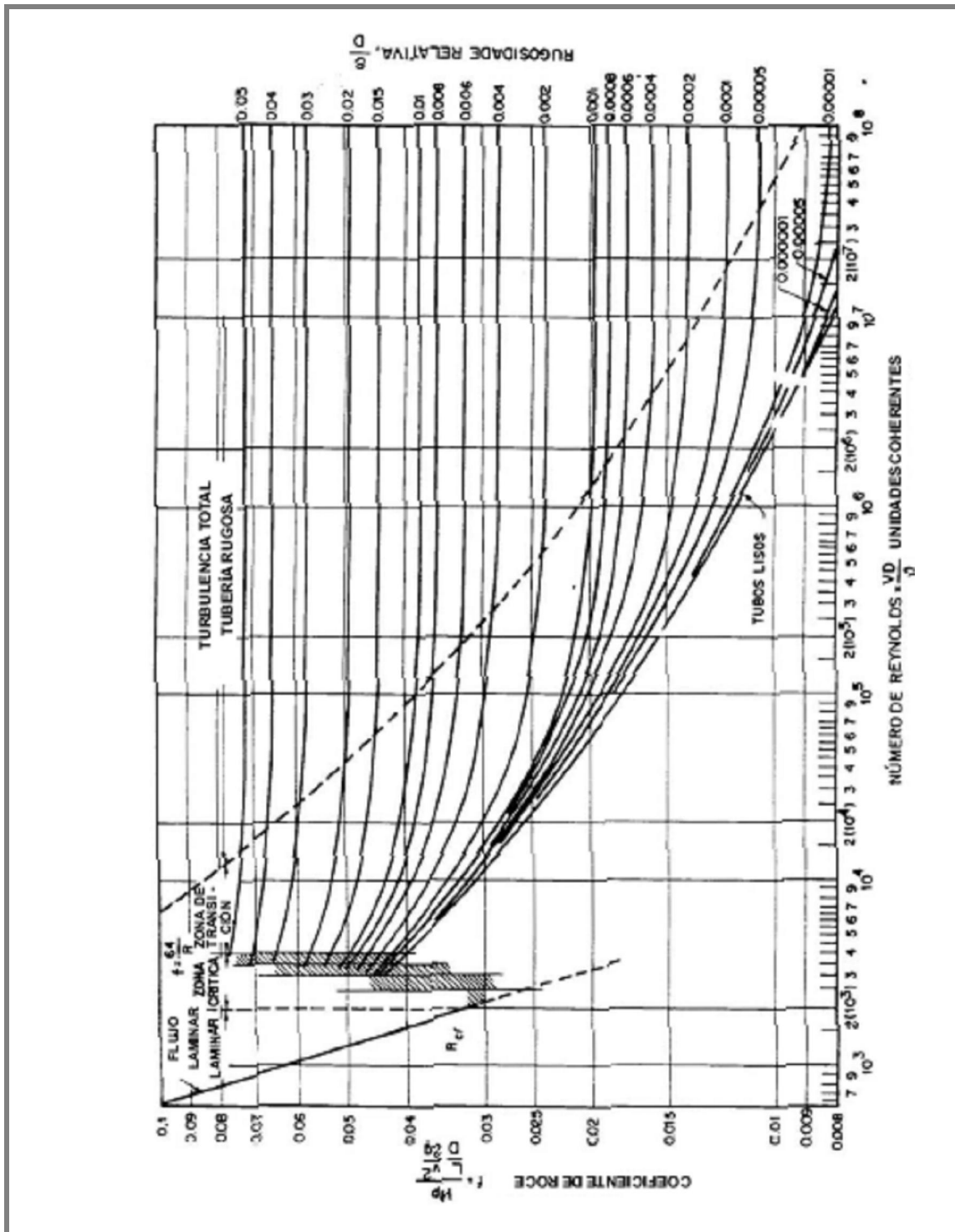
Anexo A15. Valores de K (Coeficiente de Fricción), obtenidos experimentalmente

PIEZAS QUE PRODUCEN PÉRDIDA	K
Ampliación gradual	0,30
Entrada	2,75
Compuerta abierta	2,50
Medidor de caudal	2,50
Codo de 90°	0,90
Codo de 45°	0,75
Cribo	0,40
Curva de 90°	0,40
Curva de 45°	0,20
Curva de 22,5°	0,10
Entrada normal en un canal	0,50
Entrada extendida	1,00
Pequeña derivación	0,03
Empalme	0,40
Medidor tipo Venturi	2,50
Reducción gradual	0,15
Válvula de globo en ángulo abierta	5,00
Válvula de corte abierta	0,20
Válvula de globo abierta	10,0
Tee, con pasada directa	0,60
Tee, con pasada lateral	1,30
Tee, con salida lateral	1,30
Tee, con salida bilateral	1,80
Válvula de pie	1,75
Válvula de retención	2,50
Velocidad	1,00

Anexo A16. Rugosidades de las paredes de las tuberías

MATERIAL	k (m) - TUBOS NUEVOS	k (m) - TUBOS USADOS
Acero galvanizado	0,00015 - 0,00020	0,0046
Acero remachado	0,0010 - 0,0030	0,0060
Acero remachado	0,0004	0,0005 - 0,0012
Acero soldado	0,00004 - 0,00006	0,0024
Chumbo	lisos	lisos
Cimento amianto	0,000013	-----
Cobre o latón	lisos	lisos
Concreto bien acabado	0,0003 - 0,0010	-----
Concreto común	0,0010 - 0,0020	-----
Fierro forjado	0,00004 - 0,00006	0,0024
Fierro fundido	0,00025 - 0,00050	0,0030 - 0,0050
Madera	0,0002 - 0,0010	-----
Tubería de desagüe cerámica	0,0006	0,0030
Vidrio	lisos	lisos
Plástico	lisos	lisos

Anexo A17. Determinación del coeficiente de fricción, utilizando el diagrama de Moody-Rouse



Anexo A18. Valores del coeficiente “C” para distintos materiales y estados de las paredes de la tubería.

MATERIAL	C
Acero corrugado (lámina ondulada)	060
Acero con uniones ("Look-Bar") nuevas	130
Acero galvanizado nuevo y usado	125
Acero remachado nuevo	110
Acero remachado usado	085
Acero soldado nuevo	120
Acero soldado usado	090
Acero soldado con revestimiento esp. nuevo y usado	130
Plomo	130
Cemento	140
Cobre	130
Concreto bien acabado	130
Concreto común	120
Fierro fundido nuevo	130
Fierro fundido usado	090
Fierro fundido revestido con cemento	130
Tubería de cerámica vidriada (tubería de desagüe)	110
Latón	130
Madera	120
Conductos de ladrillo	100
Vidrio	140
Plástico	140

Anexo A19. Valores del coeficiente “C” para distintos materiales dependiendo del tiempo de uso de los mismos

TIPO DE TUBERÍA	EDAD/AÑOS	DIÁMETRO (mm)	C
FIERRO FUNDIDO	NUEVO	Hasta - 100	118
		100 - 200	120
		200 - 400	125
		400 - 600	130
	10 AÑOS	Hasta - 100	107
		100 - 200	110
		200 - 400	113
		400 - 600	115
	20 AÑOS	Hasta - 100	89
		100 - 200	93
		200 - 400	95
		400 - 600	100
	30 AÑOS	Hasta - 100	65
		100 - 200	75
		200 - 400	80
		400 - 600	85
FIERRO FUNDIDO ASBESTO CEMENTO	NUEVO O USADO	Hasta - 100	120
		100 - 200	130
		200 - 400	135
		400 - 600	140
ACERO REVESTIDO INTERNAMENTE	NUEVO O USADO	500 - 1000	135
		> 1000	140
PVC	NUEVO O USADO	Hasta 50	125
		50 - 100	135
		100 - 300	140
TUBO DE CONCRETO ARM. PROTENDIDO CENTRIFUG.	NUEVO O USADO	Hasta 600	= fe. f. as. ce.
		> 600	= ace. revest.
ACERO S/ REVESTIMIENTO SOLDADO	NUEVO	= Fierro fundido nuevo	
	USADO	Fierro fundido usado	
ACERO S/ REVESTIMIENTO REMACHADO	NUEVO	= Fierro fundido con 10 años	
	USADO	mín. = Fierro fundido con 20 años	

ANEXOS B

Anexo B1. Presiones en cada Nodo por Hora del día

	Presiones (mca) por Nodo																												
Hora	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27	28	29				
0	29	27	30	50	43	51	81	88	89	45	48	70	72	83	31	40	53	62	67	83	95	42	43	65	81				
1	29	27	30	50	43	51	81	88	89	45	48	70	72	83	31	40	53	62	67	83	95	42	43	65	81				
2	29	27	30	50	43	51	81	88	89	45	48	70	72	83	31	40	53	62	67	83	95	42	43	65	81				
3	29	27	30	50	42	51	80	88	88	45	47	70	71	82	31	39	52	62	67	82	95	42	43	64	81				
4	29	26	29	49	41	48	76	87	87	45	47	69	69	78	30	36	51	61	64	80	92	41	42	63	79				
5	26	22	24	43	34	39	61	85	80	44	46	67	61	64	27	26	44	52	53	67	77	38	39	59	74				
6	18	12	12	28	0	0	7	66	51	42	42	60	42	29	5	-13	-7	-2	-10	1	7	12	13	30	42				
7	14	7	7	21	-20	-22	-21	35	16	24	23	40	16	-3	-34	-58	-56	-53	-65	-54	-50	-49	-48	-33	-22				
8	19	13	13	29	5	5	13	73	59	42	43	61	44	32	9	-7	1	6	-2	10	17	22	23	40	53				
9	21	16	17	33	18	20	32	80	69	43	43	62	49	41	21	9	20	26	21	33	41	33	34	51	65				
10	23	17	19	36	26	28	43	81	72	43	44	64	52	47	22	14	26	33	29	41	50	34	35	53	67				
11	23	19	20	38	28	31	47	82	73	43	44	64	54	51	23	17	30	37	34	47	56	35	36	54	68				
12	24	19	21	38	28	32	49	82	74	43	45	65	55	52	24	18	32	39	36	49	58	35	36	55	69				
13	24	19	21	38	28	32	49	82	74	43	45	65	55	52	24	18	32	39	36	49	58	35	36	55	69				
14	23	19	20	38	28	31	47	82	73	43	44	64	54	51	23	17	30	37	34	47	56	35	36	54	68				
15	22	17	18	35	22	24	38	81	70	43	44	63	50	44	22	12	23	29	25	37	45	33	34	52	66				
16	21	16	17	33	18	20	32	80	69	43	43	62	49	41	21	9	20	26	21	33	41	33	34	51	65				
17	23	18	20	37	27	30	46	82	73	43	44	64	53	49	23	16	29	36	32	45	54	35	36	54	68				
18	25	21	23	41	32	36	56	84	78	44	45	66	59	59	25	23	40	47	46	60	70	37	38	57	72				
19	27	24	26	46	37	43	68	86	83	44	46	68	65	70	28	31	49	58	59	74	85	39	40	60	76				
20	29	26	29	49	41	48	76	87	87	45	47	69	69	78	30	36	51	61	64	80	92	41	42	63	79				
21	29	27	29	50	42	50	80	88	88	45	47	70	71	81	31	39	52	62	66	82	94	42	43	64	81				
22	29	27	30	50	43	51	81	88	89	45	48	70	71	82	31	40	53	62	67	83	95	42	43	64	81				
23	29	27	30	50	43	51	81	88	89	45	48	70	72	83	31	40	53	62	67	83	95	42	43	65	81				
24	29	27	30	50	43	51	81	88	89	45	48	70	72	83	31	40	53	62	67	83	95	42	43	65	81				

Anexo B2. Velocidad del fluido en cada tubería por hora

VELOCIDADES EN CADA TUBERÍA POR HORA (M/S)																								
Hora	A	AA	B	BB	D	E	F	G1	G2	H	I	K	M	N	O	P	R	S	T	U	V	W	X	Z
0	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,9	0,9	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1
1	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,9	0,9	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1
2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,9	0,9	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1
3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	1,0	1,0	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1
4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	1,4	1,4	1,3	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,2
5	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	2,3	2,3	2,1	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	0,3
6	1,4	1,5	1,4	1,1	1,4	1,4	1,4	2,8	2,8	2,8	2,6	2,5	2,3	2,2	3,8	3,8	3,4	2,5	2,5	2,2	2,2	2,2	2,2	0,4
7	1,5	1,7	1,5	1,3	1,5	1,5	1,5	3,2	3,2	3,1	2,9	2,8	2,6	2,5	4,3	4,2	3,9	2,8	2,8	2,5	2,4	2,4	2,4	0,5
8	1,3	1,5	1,3	1,1	1,3	1,3	1,3	2,7	2,7	2,7	2,5	2,4	2,2	2,2	3,7	3,7	3,3	2,5	2,5	2,2	2,1	2,1	2,1	0,4
9	1,2	1,4	1,2	1,0	1,2	1,2	1,2	2,5	2,5	2,4	2,3	2,2	2,0	2,0	3,3	3,3	3,0	2,2	2,2	2,0	1,9	1,9	1,9	0,4
10	1,1	1,3	1,1	0,9	1,1	1,1	1,1	2,3	2,3	2,3	2,1	2,0	1,9	1,8	3,1	3,1	2,8	2,1	2,1	1,8	1,8	1,8	1,8	0,3
11	1,1	1,2	1,1	0,9	1,1	1,1	1,0	2,2	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	2,9	2,9	2,7	2,0	2,0	1,7	1,7	1,7	1,7	0,3
12	1,0	1,2	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,7	2,9	2,9	2,6	1,9	1,9	1,7	1,6	1,6	1,6	0,3
13	1,0	1,2	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,7	2,9	2,9	2,6	1,9	1,9	1,7	1,6	1,6	1,6	0,3
14	1,1	1,2	1,1	0,9	1,1	1,1	1,0	2,2	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	2,9	2,9	2,7	2,0	2,0	1,7	1,7	1,7	1,7	0,3
15	1,2	1,3	1,2	1,0	1,2	1,2	1,2	2,4	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	3,2	3,2	2,9	2,2	2,2	1,9	1,8	1,8	1,8	0,4
16	1,2	1,4	1,2	1,0	1,2	1,2	1,2	2,5	2,5	2,4	2,3	2,2	2,0	2,0	3,3	3,3	3,0	2,2	2,2	2,0	1,9	1,9	1,9	0,4
17	1,1	1,2	1,1	0,9	1,1	1,1	1,1	2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,8	1,8	3,0	3,0	2,7	2,0	2,0	1,8	1,7	1,7	1,7	0,3
18	0,9	1,0	0,9	0,7	0,9	0,9	0,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	2,5	2,5	2,3	1,7	1,7	1,5	1,4	1,4	1,4	0,3
19	0,7	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	2,0	2,0	1,8	1,3	1,3	1,1	1,1	1,1	1,1	0,2
20	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	1,4	1,4	1,3	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,2
21	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	1,1	1,1	1,0	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1
22	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	1,0	1,0	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1
23	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,9	0,9	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1
24	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,9	0,9	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1

Anexo B3. Descarga por el Grupo de Bombas por hora del día

Hora	Descarga (l/s)
0	6,09
1	6,09
2	6,09
3	6,85
4	9,14
5	15,23
6	25,13
7	28,18
8	24,37
9	22,08
10	20,56
11	19,42
12	19,04
13	19,04
14	19,42
15	21,32
16	22,08
17	19,8
18	16,75
19	12,95
20	9,14
21	7,23
22	6,47
23	6,09
24	6,09

Anexo B4. Demanda por nodo cada hora del día

Hora	Demanda por Nodo (l/s)																								
	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27	28	29
0	0,05	0	0,06	0,42	0,16	0,26	0,18	0,16	0,05	0,24	0,11	0,21	0,02	0,06	0,33	1	0,34	0,06	0	1,34	0,03	0,21	0,06	0,21	0,55
1	0,05	0	0,06	0,42	0,16	0,26	0,18	0,16	0,05	0,24	0,11	0,21	0,02	0,06	0,33	1	0,34	0,06	0	1,34	0,03	0,21	0,06	0,21	0,55
2	0,05	0	0,06	0,42	0,16	0,26	0,18	0,16	0,05	0,24	0,11	0,21	0,02	0,06	0,33	1	0,34	0,06	0	1,34	0,03	0,21	0,06	0,21	0,55
3	0,06	0	0,07	0,47	0,18	0,29	0,2	0,18	0,06	0,27	0,13	0,23	0,02	0,06	0,37	1,13	0,38	0,07	0	1,51	0,04	0,23	0,07	0,23	0,62
4	0,08	0	0,09	0,63	0,23	0,39	0,26	0,23	0,08	0,35	0,17	0,31	0,03	0,08	0,5	1,5	0,51	0,09	0	2,01	0,05	0,31	0,09	0,31	0,82
5	0,13	0	0,15	1,05	0,39	0,65	0,44	0,39	0,13	0,59	0,28	0,52	0,05	0,14	0,83	2,5	0,85	0,15	0	3,35	0,08	0,52	0,15	0,52	1,37
6	0,21	0	0,25	1,73	0,64	1,07	0,73	0,64	0,21	0,97	0,46	0,86	0,08	0,23	1,37	4,13	1,4	0,25	0	5,53	0,13	0,86	0,25	0,86	2,26
7	0,24	0	0,28	1,94	0,72	1,2	0,81	0,72	0,24	1,09	0,52	0,96	0,09	0,26	1,54	4,62	1,57	0,28	0	6,2	0,15	0,96	0,28	0,96	2,53
8	0,21	0	0,24	1,68	0,62	1,04	0,7	0,62	0,21	0,94	0,45	0,83	0,08	0,22	1,33	4	1,36	0,24	0	5,36	0,13	0,83	0,24	0,83	2,19
9	0,19	0	0,22	1,52	0,57	0,94	0,64	0,57	0,19	0,86	0,41	0,75	0,07	0,2	1,2	3,62	1,23	0,22	0	4,86	0,12	0,75	0,22	0,75	1,99
10	0,18	0	0,2	1,42	0,53	0,88	0,59	0,53	0,18	0,8	0,38	0,7	0,07	0,19	1,12	3,38	1,15	0,2	0	4,52	0,11	0,7	0,2	0,7	1,85
11	0,17	0	0,19	1,34	0,5	0,83	0,56	0,5	0,17	0,75	0,36	0,66	0,06	0,18	1,06	3,19	1,08	0,19	0	4,27	0,1	0,66	0,19	0,66	1,75
12	0,16	0	0,19	1,31	0,49	0,81	0,55	0,49	0,16	0,74	0,35	0,65	0,06	0,18	1,04	3,13	1,06	0,19	0	4,19	0,1	0,65	0,19	0,65	1,71
13	0,16	0	0,19	1,31	0,49	0,81	0,55	0,49	0,16	0,74	0,35	0,65	0,06	0,18	1,04	3,13	1,06	0,19	0	4,19	0,1	0,65	0,19	0,65	1,71
14	0,17	0	0,19	1,34	0,5	0,83	0,56	0,5	0,17	0,75	0,36	0,66	0,06	0,18	1,06	3,19	1,08	0,19	0	4,27	0,1	0,66	0,19	0,66	1,75
15	0,18	0	0,21	1,47	0,55	0,91	0,62	0,55	0,18	0,83	0,39	0,73	0,07	0,2	1,16	3,5	1,19	0,21	0	4,69	0,11	0,73	0,21	0,73	1,92
16	0,19	0	0,22	1,52	0,57	0,94	0,64	0,57	0,19	0,86	0,41	0,75	0,07	0,2	1,2	3,62	1,23	0,22	0	4,86	0,12	0,75	0,22	0,75	1,99
17	0,17	0	0,2	1,36	0,51	0,84	0,57	0,51	0,17	0,77	0,36	0,68	0,06	0,18	1,08	3,25	1,1	0,2	0	4,35	0,1	0,68	0,2	0,68	1,78
18	0,14	0	0,16	1,16	0,43	0,71	0,48	0,43	0,14	0,65	0,31	0,57	0,06	0,15	0,91	2,75	0,94	0,16	0	3,69	0,09	0,57	0,16	0,57	1,51
19	0,11	0	0,13	0,89	0,33	0,55	0,37	0,33	0,11	0,5	0,24	0,44	0,04	0,12	0,71	2,13	0,72	0,13	0	2,85	0,07	0,44	0,13	0,44	1,16
20	0,08	0	0,09	0,63	0,23	0,39	0,26	0,23	0,08	0,35	0,17	0,31	0,03	0,08	0,5	1,5	0,51	0,09	0	2,01	0,05	0,31	0,09	0,31	0,82
21	0,06	0	0,07	0,5	0,19	0,31	0,21	0,19	0,06	0,28	0,13	0,25	0,02	0,07	0,39	1,19	0,4	0,07	0	1,59	0,04	0,25	0,07	0,25	0,65
22	0,06	0	0,06	0,45	0,17	0,28	0,19	0,17	0,06	0,25	0,12	0,22	0,02	0,06	0,35	1,06	0,36	0,06	0	1,42	0,03	0,22	0,06	0,22	0,58
23	0,05	0	0,06	0,42	0,16	0,26	0,18	0,16	0,05	0,24	0,11	0,21	0,02	0,06	0,33	1	0,34	0,06	0	1,34	0,03	0,21	0,06	0,21	0,55
24	0,05	0	0,06	0,42	0,16	0,26	0,18	0,16	0,05	0,24	0,11	0,21	0,02	0,06	0,33	1	0,34	0,06	0	1,34	0,03	0,21	0,06	0,21	0,55

Anexo B5. Pérdidas por fricción de tubería (metros) por cada hora

Hora	Pérdidas por fricción de tubería (metros)																							
	A	AA	B	BB	D	E	F	G1	G2	H	I	K	M	N	O	P	R	S	T	U	V	W	X	Z
0	0,01	0,4	0,37	0,35	0,33	0,17	0,4	2,05	2,03	0,69	1,81	1,25	0,21	0,36	1,56	1,89	2,08	0,21	1,2	0,38	1,06	0,32	0,49	0
1	0,01	0,4	0,37	0,35	0,33	0,17	0,4	2,05	2,03	0,69	1,81	1,25	0,21	0,36	1,56	1,89	2,08	0,21	1,2	0,38	1,06	0,32	0,49	0
2	0,01	0,4	0,37	0,35	0,33	0,17	0,4	2,05	2,03	0,69	1,81	1,25	0,21	0,36	1,56	1,89	2,08	0,21	1,2	0,38	1,06	0,32	0,49	0
3	0,01	0,49	0,46	0,43	0,41	0,21	0,49	2,55	2,53	0,86	2,25	1,55	0,26	0,44	1,94	2,36	2,59	0,26	1,49	0,47	1,31	0,39	0,61	0
4	0,02	0,84	0,78	0,73	0,7	0,36	0,84	4,35	4,3	1,47	3,83	2,65	0,44	0,76	3,3	4,01	4,41	0,45	2,54	0,81	2,24	0,67	1,04	0
5	0,04	2,16	2,01	1,88	1,79	0,94	2,17	11,2	11,08	3,78	9,87	6,82	1,13	1,95	8,5	10,34	11,35	1,15	6,55	2,08	5,77	1,73	2,67	0,01
6	0,11	5,45	5,09	4,77	4,53	2,37	5,49	28,33	28,01	9,55	24,96	17,24	2,85	4,93	21,49	26,14	28,7	2,9	16,55	5,27	14,58	4,38	6,76	0,03
7	0,14	6,74	6,29	5,89	5,6	2,93	6,78	35,01	34,62	11,81	30,85	21,3	3,53	6,09	26,57	32,3	35,48	3,59	20,46	6,51	18,03	5,41	8,35	0,03
8	0,1	5,15	4,8	4,5	4,28	2,24	5,18	26,76	26,46	9,03	23,58	16,28	2,7	4,65	20,3	24,69	27,11	2,74	15,64	4,97	13,78	4,13	6,38	0,03
9	0,09	4,29	4	3,75	3,57	1,87	4,32	22,3	22,05	7,52	19,65	13,57	2,25	3,88	16,92	20,57	22,59	2,28	13,03	4,15	11,48	3,44	5,32	0,02
10	0,08	3,76	3,51	3,29	3,12	1,64	3,78	19,53	19,32	6,59	17,21	11,89	1,97	3,4	14,82	18,02	19,79	2	11,42	3,63	10,06	3,02	4,66	0,02
11	0,07	3,38	3,15	2,96	2,81	1,47	3,4	17,57	17,38	5,93	15,49	10,69	1,77	3,06	13,33	16,21	17,81	1,8	10,27	3,27	9,05	2,71	4,19	0,02
12	0,07	3,26	3,04	2,85	2,71	1,42	3,28	16,94	16,75	5,71	14,93	10,31	1,71	2,95	12,85	15,63	17,16	1,73	9,9	3,15	8,72	2,62	4,04	0,02
13	0,07	3,26	3,04	2,85	2,71	1,42	3,28	16,94	16,75	5,71	14,93	10,31	1,71	2,95	12,85	15,63	17,16	1,73	9,9	3,15	8,72	2,62	4,04	0,02
14	0,07	3,38	3,15	2,96	2,81	1,47	3,4	17,57	17,38	5,93	15,49	10,69	1,77	3,06	13,33	16,21	17,81	1,8	10,27	3,27	9,05	2,71	4,19	0,02
15	0,08	4,02	3,75	3,52	3,34	1,75	4,05	20,89	20,66	7,05	18,41	12,71	2,11	3,63	15,85	19,28	21,17	2,14	12,21	3,88	10,76	3,23	4,99	0,02
16	0,09	4,29	4	3,75	3,57	1,87	4,32	22,3	22,05	7,52	19,65	13,57	2,25	3,88	16,92	20,57	22,59	2,28	13,03	4,15	11,48	3,44	5,32	0,02
17	0,07	3,51	3,27	3,06	2,91	1,53	3,53	18,22	18,01	6,14	16,05	11,08	1,84	3,17	13,82	16,81	18,46	1,87	10,65	3,39	9,38	2,81	4,35	0,02
18	0,05	2,57	2,4	2,25	2,14	1,12	2,59	13,37	13,22	4,51	11,78	8,13	1,35	2,32	10,14	12,33	13,55	1,37	7,81	2,49	6,88	2,06	3,19	0,01
19	0,03	1,6	1,49	1,4	1,33	0,69	1,61	8,29	8,2	2,8	7,31	5,05	0,84	1,44	6,29	7,65	8,4	0,85	4,85	1,54	4,27	1,28	1,98	0,01
20	0,02	0,84	0,78	0,73	0,7	0,36	0,84	4,35	4,3	1,47	3,83	2,65	0,44	0,76	3,3	4,01	4,41	0,45	2,54	0,81	2,24	0,67	1,04	0
21	0,01	0,54	0,51	0,47	0,45	0,24	0,55	2,82	2,79	0,95	2,49	1,72	0,28	0,49	2,14	2,6	2,86	0,29	1,65	0,52	1,45	0,44	0,67	0
22	0,01	0,44	0,41	0,39	0,37	0,19	0,44	2,3	2,27	0,77	2,02	1,4	0,23	0,4	1,74	2,12	2,33	0,24	1,34	0,43	1,18	0,35	0,55	0
23	0,01	0,4	0,37	0,35	0,33	0,17	0,4	2,05	2,03	0,69	1,81	1,25	0,21	0,36	1,56	1,89	2,08	0,21	1,2	0,38	1,06	0,32	0,49	0
24	0,01	0,4	0,37	0,35	0,33	0,17	0,4	2,05	2,03	0,69	1,81	1,25	0,21	0,36	1,56	1,89	2,08	0,21	1,2	0,38	1,06	0,32	0,49	0

Anexo B6. Caudal Aportado por la P/T (l/s) por hora del día

Hora	Caudal (l/s)
0	6,09
1	6,09
2	6,09
3	6,85
4	9,14
5	15,23
6	25,13
7	28,18
8	24,37
9	22,08
10	20,56
11	19,42
12	19,04
13	19,04
14	19,42
15	21,32
16	22,08
17	19,8
18	16,75
19	12,95
20	9,14
21	7,23
22	6,47
23	6,09
24	6,09

Anexo B7. Diferencia de presión entrada/salida de VRP por hora

Hora	Diferencia de Presión en cada VRP					
	1	2	3	4	5	6
0	32,43	65,30	66,26	11,70	75,19	54,67
1	32,43	65,30	66,26	11,70	75,19	54,67
2	32,43	65,30	66,26	11,70	75,19	54,67
3	31,57	64,14	65,60	10,90	74,26	53,37
4	28,44	60,01	63,23	8,01	70,92	48,70
5	16,08	44,24	54,20	0,00	55,19	30,89
6	0,00	0,00	19,78	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	28,55	0,00	0,00	0,00
9	0,00	13,82	39,57	0,00	16,76	2,06
10	0,42	25,07	43,22	0,00	26,34	9,24
11	4,16	29,59	45,80	0,00	33,13	14,34
12	5,36	31,04	46,64	0,00	35,32	15,99
13	5,36	31,04	46,64	0,00	35,32	15,99
14	4,16	29,59	45,80	0,00	33,13	14,34
15	0,00	19,75	41,42	0,00	21,62	5,71
16	0,00	13,82	39,57	0,00	16,76	2,06
17	2,94	28,11	44,95	0,00	30,90	12,67
18	12,07	39,26	51,35	0,00	47,69	25,27
19	21,40	50,94	58,04	1,67	63,60	38,46
20	28,44	60,01	63,23	8,01	70,92	48,70
21	31,10	63,53	65,25	10,46	73,76	52,67
22	32,01	64,73	65,94	11,31	74,73	54,04
23	32,43	65,30	66,26	11,70	75,19	54,67
24	32,43	65,30	66,26	11,70	75,19	54,67

ANEXOS C

Anexo C1. Plano de Diseño del Sistema de Abastecimiento Pozo Rosas

Anexo C2. Plano de Diseño de la Estación de Bombeo Laguneta.

Anexo C3. Plano de diseño detalles de Nodos del Sistema de Abastecimiento
Pozo Rosas.

